



ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

«Μελέτη της επίδρασης των βιοκλιματικών παραμέτρων και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία στη νήσο Κρήτη. Ο ρόλος της κλιματικής αλλαγής»

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ
ΜΠΛΕΤΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

ΑΘΗΝΑ 2014

Επιβλέπων: Καθηγητής Νάστος Παναγιώτης

Η παρούσα έρευνα έχει συγχρηματοδοτηθεί από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο - ΕΚΤ) και από εθνικούς πόρους μέσω του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» του Εθνικού Στρατηγικού Πλαισίου Αναφοράς (ΕΣΠΑ) – Ερευνητικό Χρηματοδοτούμενο Έργο: Ηράκλειτος II.

Επένδυση στην κοινωνία της γνώσης μέσω του Ευρωπαϊκού Κοινωνικού Ταμείου.



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ
Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης





**NATIONAL AND KAPODISTRIAN UNIVERSITY OF ATHENS
FACULTY OF SCIENCE
FACULTY OF GEOLOGY AND GEOENVIRONMENT
DEPARTMENT OF GEOGRAPHY AND CLIMATOLOGY
LABORATORY OF CLIMATOLOGY AND ATMOSPHERIC ENVIRONMENT**

**«Influence of bioclimatic parameters and air pollution on public
health on the island of Crete.
The role of climate change»**

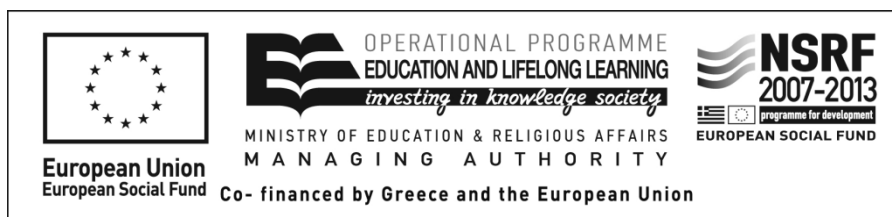
Doctorate Thesis

BLETA ANASTASIA

ATHENS, 2014

Supervisor: Professor Nastos Panagiotis

«This research has been co-financed by the European Union (European Social Fund – ESF) and Greek national funds through the Operational Program "Education and Lifelong Learning" of the National Strategic Reference Framework (NSRF) - Research Funding Program: Heracleitus II. Investing in knowledge society through the European Social Fund».



ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

«Μελέτη της επίδρασης των βιοκλιματικών παραμέτρων και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία στη νήσο Κρήτη.

Ο ρόλος της κλιματικής αλλαγής»

ΜΠΛΕΤΑ ΑΝΑΣΤΑΣΙΑ

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή

Παν. Νάστος, Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α. (επιβλέπων)

Νικ. Καμπάνης, Ερευνητής Α' βαθμίδας στο Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών (ΙΤΕ)

Παν. Αγγουριδάκης, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Κρήτης

Εξεταστική Επιτροπή

Παν. Νάστος, Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α. (επιβλέπων)

Νικ. Καμπάνης, Ερευνητής Α' βαθμίδας στο Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών (ΙΤΕ)

Παν. Αγγουριδάκης, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Κρήτης

Αν. Matzarakis, Καθηγητής Μετεωρολογίας-Κλιματολογίας, Πανεπιστήμιο Freiburg, Γερμανίας

Αθ. Παλιατσός, Καθηγητής Τεχνολογίας Περιβάλλοντος, Τ.Ε.Ι. Πειραιά

Κων. Πρίφτης, Επίκουρος Καθηγητής Ιατρικής σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών

Αθ. Γκοντελίτσας, Επίκουρος Καθηγητής Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος, Ε.Κ.Π.Α.

Κάλλιον το προλαμβάνειν ή το θεραπεύειν

Ιπποκράτης (460-377 π.Χ.)

Πατέρας της Ιατρικής

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Η παρούσα διδακτορική διατριβή εκπονήθηκε στο Εργαστήριο Κλιματολογίας και Ατμοσφαιρικού Περιβάλλοντος, του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών. Η έρευνα αυτή υποστηριζόταν από το πρόγραμμα «Ηράκλειτος», το οποίο ήταν συγχρηματοδοτούμενο από την Ευρωπαϊκή Ένωση και από Εθνικούς Πόρους.

Η διεξαγωγή και η αποπεράτωση μιας διδακτορικής διατριβής αποτελεί έναν σκληρό προσωπικό αγώνα αλλά συνάμα μια εποικοδομητική εμπειρία. Έτσι, χωρίς την παρουσία, υποστήριξη και καθοδήγηση πολλών ανθρώπων δε θα μπορούσε να υλοποιηθεί.

Πρωταρχικά, θα ήθελα να ευχαριστήσω για πολλαπλούς και ουσιαστικούς λόγους τον επιβλέποντα της διατριβής μου κ. Παναγιώτη Νάστο, Καθηγητή Κλιματολογίας του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α., ο οποίος μου έδωσε την ευκαιρία αρχικά να συνδυάσω διαφορετικά πεδία επιστημών, καθιστώντας τη έρευνα ένα αναπόσπαστο κομμάτι της ζωής μου. Συγκεκριμένα, γνωρίζοντας τον κ. Νάστο από τα πρώτα χρόνια της φοιτητικής μου ζωής και κατά τη διάρκεια της μεταπτυχιακής μου εργασίας, έμαθα να προσεγγίζω με λογική τα επιστημονικά θέματα, να αναλύω τα αποτελέσματα και να συνθέτω τα συμπεράσματα, δημιουργώντας έναν «επιστημονικό» τρόπο σκέψης. Η βοήθειά του κατά τη διάρκεια όλων αυτών των ετών υπήρξε ουσιαστική και καίρια στην επίλυση οίωνδηποτε προβλημάτων που ανέκυπταν. Σε όλη αυτή την πορεία υπήρξε αρωγός επιστημονικός, πνευματικός πρωτίστως ηθικός, με αποτέλεσμα να αναλάβω και να ολοκληρώσω την παρούσα διατριβή.

Ιδιαίτερη μνεία αξίζουν τα μέλη της τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής. Ο κ. Νικόλαος Καμπάνης, Ερευνητής Α΄ βαθμίδας στο Ινστιτούτο Υπολογιστικών Μαθηματικών του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας Κρήτης (ΙΤΕ-ΙΥΜ), ο οποίος με τις πολύτιμες συμβουλές του με καθοδήγησε στη λογική εκτύλιξη της έρευνας υποδεικνύοντας τη συλλογιστική πορεία εξαγωγής των συμπερασμάτων. Ο κ. Παναγιώτης Αγγουριδάκης, με τη διπλή του ιδιότητα ως Επίκουρος Καθηγητής Πνευμονολογίας της Ιατρικής Σχολής του Πανεπιστημίου Κρήτης καθώς και ως Διευθυντής στα ΤΕΠ του νοσοκομείου ΠΑ.Γ.Ν.Η., με διαφώτισε στα ιατρικά ζητήματα που ανέκυπταν κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας των δεδομένων και φυσικά με βοήθησε στη συλλογή του μεγάλου όγκου ιατρικών δεδομένων από τα δύο μεγάλα νοσοκομεία του Ηρακλείου.

Θερμές ευχαριστίες θα ήθελα να εκφράσω στα υπόλοιπα μέλη της επταμελούς εξεταστικής μου επιτροπής, τόσο για την πρόθυμη συμμετοχή τους στην κρίση της διδακτορικής μου διατριβής, όσο για την ουσιαστική βοήθειά τους στο αντίστοιχο γνωστικό αντικείμενο του καθενός. Ο κ. Ανδρέας Ματζαράκης, Καθηγητής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας στο Πανεπιστήμιο Albert-Ludwigs στο Freiburg έπαιξε σημαντικό ρόλο στην εφαρμογή και χρήση του απαραίτητου βιοκλιματικού λογισμικού, επιλύοντας κάθε είδους απορίας σε ζητήματα Βιομετεωρολογίας. Στη συνέχεια οφείλω να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στον κ. Αθανάσιο Παλιατσό, Καθηγητή Τεχνολογίας Περιβάλλοντος στα Τ.Ε.Ι. Πειραιά, ο οποίος επέδειξε από την αρχή τη θέληση για οιαδήποτε βοήθεια σε θέματα περιεχομένου και

δομής της διατριβής αυτής. Επιπλέον ευχαριστώ τον κ. Κωνσταντίνο Πρίφτη, Επίκουρο Καθηγητή Παιδιατρικής - Παιδοπνευμονολογίας Ιατρικής σχολής του Πανεπιστημίου Αθηνών, ΓΝ ΑΤΤΙΚΟΝ, τον οποίο γνώρισα καλύτερα από τη συνεργασία μας στο πλαίσιο συγγραφής εργασίας με θέμα την ανασκόπηση περιβαλλοντικών επιπτώσεων στα αναπνευστικά προβλήματα, μώνοντας με στη καλύτερη αντίληψη της ανθρώπινης φυσιολογίας. Επίσης ο κ. Αθανάσιος Γκοντελίτσας, Επίκουρος Καθηγητής Ορυκτολογίας και Χημείας Ορυκτών του τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α., με βοήθησε στην επίλυση προβλημάτων σχετικών με την ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων της αέριας ρύπανσης και οι επιστημονικές μας συζητήσεις οδήγησαν σε σημαντικές παρατηρήσεις και συμπεράσματα.

Ακολούθως, θα πρέπει να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Νότα, Επίκουρο Καθηγητή Εργαστηριακής Ενδοκρινολογίας για την επιστημονική κατάρτιση που μου προσέφερε στα ιατρικά ζητήματα καθώς και στην αποκωδικοποίηση και ερμηνεία των ιατρικών δεδομένων από το Πανεπιστημιακό Νοσοκομείο Ηρακλείου. Επιπλέον, θα ήθελα να μνημονεύσω τον αποθανόντα Μούνδερ Σλήμαν, τ. Διευθυντή ΤΕΠ του Βενιζελείου Νοσοκομείου Ηρακλείου, ο οποίος μου παρέσχε ιατρικά δεδομένα. Επίσης, θα πρέπει να αναγνωρίσω την αμέριστη βοήθεια του Δρος. Αθανάσιου Σαραντόπουλου της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας για την παροχή των κλιματολογικών δεδομένων.

Θα ήθελα να εκφράσω την αμέριστη ευγνωμοσύνη προς τα πρόσωπα των κ. Volker Dietze, και Dr. Uwe Kaminski, από τον Τομέα της Ιατρικής Μετεωρολογίας της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας Γερμανίας (DWD) στο Freiburg για την ολοκλήρωση της πειραματικής διαδικασίας, η οποία επετεύχθη με την παραχώρηση αρχικά τριών δειγματοληπτών για την παγίδευση της αέριας ρύπανσης, και στη συνέχεια με την ανάλυση των δειγμάτων της σωματιδιακής ρύπανσης στα εργαστήρια της DWD (Deutscher Wetterdienst). Οι συμβουλές τους ήταν πολύτιμες όσον αφορά το επιστημονικό μέρος και τη συνεργασία μας κατά τη διάρκεια των ταξιδιών μου στα εργαστήρια της DWD στην Γερμανία.

Παράλληλα δεν θα μπορούσε αυτή η διδακτορική διατριβή να πραγματοποιηθεί στον τομέα της αέριας ρύπανσης αν δεν υπήρχε η συλλογή των δειγμάτων ρύπανσης κάθε εβδομάδα κατά τη διάρκεια 18 μηνών περίπου. Συνακόλουθα, γινόταν αντικατάσταση των δειγμάτων στους τρεις δειγματολήπτες, οι οποίοι βρίσκονταν στη Φινοκαλιά, στο κέντρο του Ηρακλείου και στο αεροδρόμιο Καζαντζάκης του Ηρακλείου κατά σειρά από τους Δρα. Γεώργιο Κουβαράκη, του Εργαστηρίου Περιβαλλοντικών Χημικών Διεργασιών του Τμήματος Χημείας στο Πανεπιστήμιο Κρήτης, κ. Εμμανουήλ Φουκαδάκη, Μεταπτυχιακό Φοιτητή Γεωπονικού Πανεπιστημίου και κ. Ευάγγελο Μπροφίδη, Προϊστάμενο Γραφείου Περιβάλλοντος του Κρατικού Αερολιμένα Ηρακλείου. Η ολοκλήρωση της ανίχνευσης των στοιχείων στα αιωρούμενα σωματίδια έλαβε χώρα στο τμήμα Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης στο Τ.Ε.Ι. Αθηνών. Στο σημείο αυτό θα πρέπει να ευχαριστήσω τον κ. Αθανάσιο Καραμπότσο για την καθοδήγησή του και το χρόνο που μου διέθεσε.

Ιδιαίτερα, μάλιστα θα ήθελα να ευχαριστήσω την αγαπητή φίλη κ. Κυριακή Παπαχριστοπούλου, McS Φυσικής Περιβάλλοντος του τμήματος Φυσικής του Ε.Κ.Π.Α. για την ουσιαστική βοήθειά της στην ανάπτυξη στατιστικών μεθόδων που εφαρμόστηκαν. Επιπλέον, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Δρα Ιωάννη Καψωμενάκη για τη βοήθειά του στις

μελλοντικές εκτιμήσεις των κλιματικών παραμέτρων βασισμένες σε προσομειώσεις περιοχικών κλιματικών μοντέλων στην ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου Κρήτης.

Όμως, δεν πρέπει να παραλείψω να σημειώσω την αμέριστη κατανόηση της οικογένειάς μου κατά τη διάρκεια όλων των ετών εκπόνησης της διατριβής αυτής και κυρίως του συζύγου μου κ. Εμμανουήλ Μαρκάκη, Διδάκτορα του Τμήματος Γεωλογίας και Γεωπεριβάλλοντος του Ε.Κ.Π.Α., με τη στήριξη του οποίου υπερκέρασα δυσκολίες και εμπόδια κατά τη διάρκεια της έρευνας. Η συμπαράστασή του ήταν καταλυτική ακόμα και στο τέλος αυτού του μακρόχρονου ταξιδιού που όπως ένα οδυσσειακό ταξίδι στην καβαφική Ιθάκη, εκτός από τον προορισμό και στόχο του, μου προσέφερε καθ'οδόν γνώσεις και εμπειρίες ανεξίτηλες. Θα τις έχω πάντα στην ανθρώπινη και επιστημονική σκευή μου.

Περίληψη

Αντικείμενο της Διατριβής αυτής είναι η διερεύνηση της επίδρασης των καιρικών συνθηκών και της αέριας ρύπανσης στις καρδιοαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις των κατοίκων στο νησί της Κρήτης. Αρχικά γίνεται προσπάθεια να αξιολογηθούν και να αναλυθούν οι βιοκλιματικές συνθήκες του νησιού με τη χρήση θερμικών δεικτών (PET και UTCI) που βασίζονται στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου. Όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια (και τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης Σαχάρας), αυτά καταγράφηκαν με σύστημα παθητικών δειγματοληπτών, και στη συνέχεια με αυτοματοποιημένο οπτικό μικροσκόπιο υπολογίσθηκαν οι συγκεντρώσεις ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) των ολικών και των ανθρωπογενών σωματιδίων με γεωμετρική διάμετρο από 2.5 μm έως 80 μm , εμφανίζοντας τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις στην πόλη του Ηρακλείου κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης Σαχάρας. Επιπλέον, προκειμένου να εξεταστεί η ανόργανη σύνθεση της σκόνης από τη Σαχάρα πραγματοποιήθηκε σάρωση με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM), αποδεικνύοντας τη μεταφορά επιβλαβούς για την ανθρώπινη υγεία ορυκτής σκόνης. Ακολούθως, έγινε προσπάθεια συσχέτισης των βιοκλιματικών συνθηκών της πόλης του Ηρακλείου με τα καρδιοαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα. Διαφαίνεται σημαντική συσχέτιση μεταξύ του ψύχους και της αυξημένης συχνότητας εισαγωγών, ενώ ιδιαίτερα τα αναπνευστικά προβλήματα εντείνονται κατά τη διάρκεια της άνοιξης, περίοδος που σχετίζεται με την εμφάνιση μεταφοράς σκόνης Σαχάρας και ανέμων Föhn, οι οποίοι δρουν συνεργιστικά επιδεινώνοντας τις βιοκλιματολογικές συνθήκες. Οι επιπτώσεις των μετεωρολογικών-βιομετεωρολογικών παραμέτρων και της αέριας ρύπανσης στα καρδιοαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα των κατοίκων του Ηρακλείου αξιολογούνται, ποιοτικά και ποσοτικά, με τη βοήθεια γενικευμένων προσθετικών μοντέλων (GAM), φανερώνοντας αύξηση των καρδιοαγγειακών και αναπνευστικών εισαγωγών κατά 1.8% και 4% αντίστοιχα, που συνδέονται με την πτώση της θερμοκρασίας, της T_{mrt} και των βιοκλιματικών δεικτών και την αύξηση της νέφωσης. Η σχετική υγρασία δεν φαίνεται να επιδρά στις καρδιοαγγειακές και αναπνευστικές εισαγωγές. Επιπλέον, αύξηση των σωματιδίων μεγέθους από 2.5-10 μm οδηγούν σε αύξηση των εισαγωγών κατά μέσο όρο 10% στα καρδιοαγγειακά και 6.5% στα αναπνευστικά. Τέλος, εφαρμόστηκαν τα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα (GLM), που πρόεκυψαν μεταξύ των ιατρικών και των κλιματολογικών δεδομένων, στις μελλοντικές βιοκλιματικές συνθήκες (προσομοιώσεις του περιοχικού κλιματικού μοντέλου RAMKO (KNMI) για το σενάριο εκπομπών θερμοκηπιακών αερίων A1B με σκοπό να εκτιμηθούν οι εισαγωγές στο κοντινό μέλλον (2021-2050) και μακρινό μέλλον (2071-2100).

Abstract

The object of this PhD thesis is to investigate the effect of bioclimatic conditions and air pollution on cardiovascular and respiratory diseases of residents on the island of Crete. Initially, an attempt is made to evaluate and analyze bio-climatic conditions of the island using thermal indices (PET and UTCI) based on the humans' energy balance. As far as particulate matter and Saharan dust episodes are concerned, they were recorded by passive samplers and in the process, the concentrations (mg/m^3) of total and anthropogenic particles with geometric diameters between 2.5 μm and 80 μm , were estimated using an automated optical microscope methodology, depicting the largest concentrations in Heraklion city, during episodes of Saharan dust transport. Furthermore, the mineral composition of Saharan dust was examined, by scanning electron microscopy (SEM), indicating the harmful minerals to human health. Besides,, the relationships between bioclimatic conditions and cardiovascular and respiratory problems in Heraklion city were carried out, showing a significant correlation between cold and the increased frequency of daily hospital admissions and particularly the respiratory problems were intensified during spring period, which is associated with the appearance of Saharan dust episodes and Föhn winds, acting synergistically exacerbating the bioclimatic conditions. The impact of meteorological-biometeorological parameters and air pollution on cardiovascular and respiratory problems for residents of Heraklion city were evaluated qualitatively and quantitatively, using generalized additive models (GAM), indicating an increase in daily hospital cardiovascular and respiratory admissions by 1.8% and 4% respectively, with the decrease of temperature, radiant temperature (T_{mrt}) and bioclimatic indices and the increase of cloudiness. The relative humidity does not appear to affect the cardiovascular and respiratory admissions. Moreover, the increase in particle size from 2.5 μm to 10 μm lead to increased admissions of 10% for cardiovascular and 6.5% for respiratory admissions, on average. Finally, the generalized linear models (GLM), which emerged between the medical and climatological data, were applied in the future bioclimatic conditions (simulations of regional climate model RAMKO (KNMI) for SRES A1B) in order to assess the admissions in near future (2021-2050) and far future(2071-2100).

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πρόλογος και Ευχαριστίες.....	5
Περίληψη.....	8
Abstract	9
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ.....	10
Εισαγωγή.....	15
1 Καιρός – Κλίμα - Υγεία.....	17
1.1 Ορισμός - Γενικά.....	17
1.2 Καιρός και Υγεία	17
1.3 Καιρός και καρδιολογικά προβλήματα.....	20
1.3.1 Θερμοκρασία και καρδιολογικά προβλήματα	20
1.3.2 Σχετική υγρασία και καρδιολογικά προβλήματα	24
1.3.3 Βαρομετρική πίεση και καρδιολογικά προβλήματα.....	25
1.4 Καιρός και αναπνευστικά προβλήματα.....	25
1.4.1 Θερμοκρασία και αναπνευστικά προβλήματα	27
1.4.2 Σχετική υγρασία και αναπνευστικά προβλήματα	28
1.4.3 Βαρομετρική πίεση - υψόμετρο και αναπνευστικά προβλήματα.....	28
1.4.4 Ταχύτητα ανέμου και αναπνευστικά προβλήματα	29
1.5 Τύποι καιρού και καρδιαγγειακά – αναπνευστικά προβλήματα.....	29
2 Ατμοσφαιρική Ρύπανση	31
2.1 Εισαγωγή.....	31
2.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή.....	32
2.3 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων.....	40
2.4 Ο κύκλος των ρύπων στην ατμόσφαιρα	42
2.5 Χρόνος ζωής των αέριων ρύπων	46
2.6 Διαβάθμιση της αέριας ρύπανσης σε διάφορες χωρικές κλίμακες.....	47
2.7 Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, οι πηγές τους και οι επιδράσεις τους στο ανθρωπογενές περιβάλλον	50
2.7.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)	50
2.7.2 Διοξείδιο του θείου (SO ₂).....	50
2.7.3 Μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO ₂)	51
2.7.4 Όζον (O ₃).....	51
2.7.5 Υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις.....	53
2.7.6 Μόλυβδος (Pb)	53

2.7.7	Αιωρούμενα Σωματίδια	54
2.8	Αιωρούμενα Σωματίδια	55
2.8.1	Γενικά-Ορισμός.....	55
2.8.2	Κατανομή μεγέθους σωματιδίων	56
2.8.3	Είδη αιωρούμενων σωματιδίων	59
2.8.4	Μηχανισμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων.....	63
2.8.5	Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων.....	63
3	Βιοκλιματολογία και Βιοκλιματικοί δείκτες	74
3.1	Βιοκλιματολογία και η εξέλιξή της	74
3.1.1	Εισαγωγικές έννοιες.....	74
3.1.2	Ιστορική Αναδρομή	75
3.2	Άνθρωπος και περιβάλλον	77
3.2.1	Θερμική άνεση.....	77
3.2.2	Θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος.....	80
3.2.3	Βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση	83
3.3	Βιοκλιματικοί δείκτες – είδη τους	93
3.3.1	Γενικός δείκτης δυσφορίας (Discomfort Index, DI)	96
3.3.2	Δείκτης Θερμότητας (Heat Index, HI).....	97
3.3.3	Ψυκτική ικανότητα του ανέμου (Wind Chill Index, WCI)	98
3.3.4	Δείκτης προβλεπόμενης μόνωσης (Insulation predicted index, Iclp)	98
3.3.5	Μέσος αναμενόμενος θερμικός δείκτης (Predicted Mean Vote, PMV)	99
3.3.6	Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD).....	100
3.3.7	Δείκτης θερμικής επιβάρυνσης (Thermal Stress Index, TSI)	101
3.3.8	Λειτουργική θερμοκρασία T_o	101
3.3.9	Ισοδύναμη θερμοκρασία T_{eq}	102
3.3.10	Αισθητή θερμοκρασία ET ή αποτελεσματική θερμοκρασία T_{eff}	102
3.3.11	Προκύπτουσα θερμοκρασία (Resultant Temperature, RT).....	103
3.3.12	Θερμοκρασία υγραινόμενης σφαίρας (Wet Bulb Globe Temperature, WBGT) 103	
3.3.13	Τυπική αισθητή θερμοκρασία SET.....	104
3.3.14	Νέα αισθητή θερμότητα (SET*)	105
3.3.15	Ο δείκτης DISC (Predicted Percentage Dissatisfied)	106
3.3.16	Ο δείκτης TCI (Thermal Comfort Index)	107

3.3.17	Ο δείκτης Summer Simmer Index (SSI).....	108
3.3.18	Φυσιολογικά Ισοδύναμη Θερμοκρασία (Physiologically Equivalent Temperature, PET).....	108
3.3.19	Παγκόσμιος Θερμικός κλιματικός δείκτης (Universal Climate Thermal Index-UTCI) 112	
4	Περιοχή Μελέτης	116
4.1	Γεωγραφία της περιοχής.....	116
4.2	Γεωμορφολογία της περιοχής.....	116
4.3	Γεωλογία της περιοχής	117
4.4	Κλιματολογία της περιοχής.....	118
4.5	Ο Πληθυσμός της Κρήτης.....	119
4.6	Το φαινόμενο των ανέμων Föhn	119
4.6.1	Ορισμός – χαρακτηριστικά του ανέμου Föhn	119
4.6.2	Μηχανισμός δημιουργίας του ανέμου Föhn	119
4.6.3	Άνεμοι Föhn στο Ηράκλειο Κρήτης.....	121
4.7	Το φαινόμενο της μεταφοράς της αφρικανικής σκόνης	122
4.7.1	Ιστορικά στοιχεία μεταφοράς αφρικανικής σκόνης.....	123
4.7.2	Μηχανισμοί μεταφοράς σκόνης Σαχάρας.....	123
4.7.3	Μεταφορά αιωρούμενων σωματιδίων από την έρημο Σαχάρα	124
4.7.4	Επίδραση επεισοδίων Σαχάρας στην ανατολική Μεσόγειο - Ελλάδα.....	126
4.7.5	Χημική σύσταση της μεταφερόμενης σκόνης από τη Σαχάρα.....	129
4.7.6	Επίδραση σκόνης Σαχάρας στην υγεία	130
4.8	Συνδυασμός επεισοδίων μεταφοράς σκόνης Σαχάρας και ανέμων Föhn στο Ηράκλειο.....	133
4.9	Βιοκλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των επεισοδίων Σαχάρας και των ανέμων Föhn στο Ηράκλειο.....	137
5	Συλλογή Δεδομένων - Μεθοδολογία	140
5.1	Συλλογή δεδομένων	140
5.1.1	Κλιματολογικά δεδομένα	140
5.1.2	Δεδομένα αέριας ρύπανσης.....	140
5.1.3	Ιατρικά δεδομένα.....	143
5.2	Επεξεργασία δεδομένων.....	144
5.2.1	Βιοκλιματικό μοντέλο RayMan.....	144
5.2.2	Στατιστική ανάλυση	145
5.2.3	Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων	150

6	Βιοκλιματολογία Κρήτης.....	154
7	Σωματιδιακή Ρύπανση στην Κρήτη	177
7.1	Καταγραφή της σωματιδιακής ρύπανσης.....	177
7.2	Επεισόδια σκόνης Σαχάρας κατά την περίοδο μελέτης	182
7.3	Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων αέριας ρύπανσης.....	184
7.3.1	Ορυκτή σκόνη	185
7.3.2	Ανθρωπογενούς προέλευσης αιωρούμενα σωματίδια	192
7.3.3	Βιογενούς προέλευσης αιωρούμενα σωματίδια	193
7.3.4	Στοιχειακή χαρτογράφηση	195
8	Βιόκλιμα – Τύποι καιρού και Υγεία.....	200
8.1	Βιόκλιμα και Υγεία στο Ηράκλειο Κρήτης.....	200
8.2	Βιόκλιμα και καρδιοαγγειακά προβλήματα	201
8.3	Βιόκλιμα και αναπνευστικά προβλήματα.....	205
8.4	Τύποι καιρού και Δημόσια υγεία	209
8.5	Μελλοντικές βιοκλιματικές συνθήκες στην πόλη του Ηρακλείου	217
9	Επιπτώσεις βιομετεωρολογικών συνθηκών στη δημόσια υγεία στο Ηράκλειο Κρήτης 225	
	A. Παρούσες συνθήκες.....	225
9.1	Περιγραφική στατιστική	225
9.2	Κλιματολογικά - βιοκλιματολογικά δεδομένα Ηρακλείου	225
9.3	Επιδημιολογικά δεδομένα	227
9.3.1	Καρδιοαγγειακά δεδομένα	227
9.3.2	Αναπνευστικά δεδομένα.....	232
9.4	Μονομεταβλητή ανάλυση για τη συσχέτιση καιρού και ιατρικών δεδομένων ...	235
9.4.1	Καρδιοαγγειακά δεδομένα	235
9.4.2	Αναπνευστικά δεδομένα.....	243
9.5	Πολυμεταβλητή ανάλυση για τη συσχέτιση καιρού και ιατρικών δεδομένων	250
9.5.1	Καρδιολογικά δεδομένα	251
9.5.2	Αναπνευστικά δεδομένα.....	262
	B. Μελλοντικές συνθήκες.....	269
10	Επιπτώσεις της σωματιδιακής ρύπανσης στην υγεία στο Ηράκλειο Κρήτης	271
10.1	Δεδομένα αέρια ρύπανσης.....	271
10.2	Επιδημιολογικά δεδομένα κατά την περίοδο καταγραφής της αέριας ρύπανσης 273	

10.2.1	Καρδιοαγγειακά δεδομένα	273
10.2.2	Αναπνευστικά δεδομένα.....	278
10.3	Μονομεταβλητή ανάλυση για τη συσχέτιση αέριας ρύπανσης και ιατρικών δεδομένων.....	282
10.3.1	Καρδιοαγγειακά δεδομένα	282
10.3.2	Αναπνευστικά δεδομένα.....	287
10.4	Πολυμεταβλητή ανάλυση	291
10.4.1	Καρδιοαγγειακές εισαγωγές σε συνάρτηση με τον καιρό και την αέρια ρύπανση	292
10.4.2	Αναπνευστικές εισαγωγές σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης.....	297
11	Συμπεράσματα	301
	Βιβλιογραφία.....	306

Εισαγωγή

Η παρούσα διδακτορική διατριβή με τίτλο «Μελέτη της επίδρασης των βιοκλιματικών παραμέτρων και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία στη νήσο Κρήτη. Ο ρόλος της κλιματικής αλλαγής», έχει ως αντικείμενο μελέτης την εξέταση των επιδράσεων τόσο των κλιματικών, βιοκλιματικών συνθηκών, όσο και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα καρδιοαγγειακά και αναπνευστικά νοσήματα στη νήσο Κρήτη. Συνακόλουθα, η εν λόγω διατριβή συνδυάζοντας τις επιστήμες της Κλιματολογίας-Μετεωρολογίας με την Ιατρική και Βιολογία σιχεύει στη διαθεματική προσέγγιση της παραπάνω έρευνας. Οι επιστήμες μεταξύ τους αλληλοσυμπληρώνονται και επισημαίνεται το πρόβλημα της επίδρασης των βιοκλιματικών συνθηκών (τρεχουσών και μελλοντικών) και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη δημόσια υγεία στην ολότητά του. Συνεπώς καταβάλλεται προσπάθεια ολιστικής προσέγγισης του θέματος. Επιπρόσθετα, το περιβάλλον αποτελεί ένα συνεχώς μεταβαλλόμενο σύστημα που δέχεται τόσο φυσικές όσο και ανθρωπογενείς επιδράσεις, οπότε προκύπτει η αναγκαιότητα μελέτης του περιβάλλοντος ως δυναμικού συστήματος (συστημική προσέγγιση).

Είναι γνωστό ότι το ατμοσφαιρικό περιβάλλον επηρεάζει την ανθρώπινη υγεία, όπως επίσης ότι η παγκόσμια αλλαγή του κλίματος θα ασκήσει διάφορες επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία μερικές των οποίων είναι θετικές, στην πλειονότητά τους όμως οι επιδράσεις είναι αρνητικές. Με τη διδακτορική διατριβή καταβάλλεται προσπάθεια συμβολής στην κατανόηση της επίδρασης του καιρού και της αέριας ρύπανσης στην ανθρώπινη υγεία και αντιμετώπιση του προβλήματος μέσω της διερεύνησης της μελλοντικής εξέλιξης και επίδρασης του κλίματος στη υγεία των κατοίκων της νήσου Κρήτης. Η προσέγγιση υλοποιείται ποιοτικά και ποσοτικά με τη συνδυαστική χρήση πολυμεταβλητών μεθόδων ανάλυσης, όπως η εφαρμογή των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων (GAM) με κατανομή Poisson, Factor και Cluster Analysis καθώς και η χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης (SEM) για την ανίχνευση του είδους της αέριας ρύπανσης που είχε παγιδευτεί από τους τρεις παθητικούς δειγματολήπτες, τοποθετηθέντες για τις ανάγκες της έρευνας αυτής.

Το νησί της Κρήτης χρήζει ανάγκης μελέτης συνιστώντας κατάλληλη περιοχή για έρευνα, δεδομένου ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση, κυρίως σωματιδιακή λόγω των έντονων επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στις μεγαλύτερες πόλεις του νησιού και η γεωμορφολογία του νησιού υποκινούν την εμφάνιση ακραίων βιοκλιματικών συνθηκών, προκαλώντας έξαρση καρδιοαγγειακών και αναπνευστικών νοσημάτων. Επιπλέον, τα κρητικά βουνά είναι προσανατολισμένα κάθετα στη νότια ροή αερίων μαζών, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των καταβατών ξηρών και θερμών ανέμων (Föhn), οι οποίοι μπορούν να έχουν απότομη επίδραση στις επικρατούσες βιοκλιματικές συνθήκες.

Για πρώτη φορά εκτιμάται η ποιοτική και ποσοτική επίδραση των παρόντων και μελλοντικών βιοκλιματικών συνθηκών στην συχνότητα εμφάνισης των καρδιοαγγειακών και αναπνευστικών νοσημάτων με την εφαρμογή περιοχικού κλιματικού μοντέλου υποκλιμάκωσης (RAMKO/KNMI) για το σενάριο εκπομπής θερμοκηπιακών αερίων A1B, συμβάλλοντας στον επιχειρησιακό σχεδιασμό αντιμετώπισης μελλοντικών κρίσεων στον

τομέα της δημόσιας υγείας. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής είναι δυνατό να βοηθήσουν επίσης προς την κατεύθυνση υλοποίησης ενός αξιόπιστου συστήματος έγκαιρης προειδοποίησης, κυρίως των ευαίσθητων ομάδων του πληθυσμού, κατ'εξοχήν των ηλικιωμένων. Αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της αξιοπιστίας των διοικητικών φορέων στην πρόληψη και αντιμετώπιση εκτάκτων κρίσεων σε τοπικό και σε ευρύτερο κοινωνικό επίπεδο. Είναι γνωστό ότι η Κρήτη αποτελεί τόπο έλξης και έναν από τους σημαντικότερους προορισμούς τόσο για τους Έλληνες, όσο και για τους Ευρωπαίους πολίτες, με αποτέλεσμα να καθίσταται αναγκαία η πρόληψη και η προειδοποίηση των ακραίων βιοκλιματικών συνθηκών. Η ανάγκη είναι επιτακτικότερη, εφόσον ήδη οι Ευρωπαίοι πολίτες απολαμβάνουν στις χώρες τους υπηρεσίες έγκαιρης ενημέρωσης υψηλής ποιότητας, ενώ στη χώρα μας βρισκόμαστε ακόμα σε πρώιμο στάδιο. Η διδακτορική αυτή εργασία ευελπιστεί να συμβάλλει στη βελτίωση και προαγωγή των υπηρεσιών αυτών μέσω του ερευνητικού περιεχομένου της.

Τέλος, η παρούσα διατριβή αποτελείται από δέκα Κεφάλαια καλύπτοντας το περιεχόμενο του θέματος θεωρητικά, αλλά και πρακτικά. Αναλυτικότερα, στο Κεφάλαιο 1 πραγματοποιείται βιβλιογραφική επισκόπηση συναφής με την επίδραση του καιρού στα καρδιαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα, ενώ στο Κεφάλαιο 2 συσχετίζεται η ατμοσφαιρική ρύπανση με την ανθρώπινη υγεία μέσα από επιδημιολογικές μελέτες, παλαιές και σύγχρονες, πραγματοποιηθείσες σε εθνικό και παγκόσμιο επίπεδο. Στη συνέχεια στο Κεφάλαιο 3 γίνεται προσπάθεια κατανόησης των βιοκλιματικών εννοιών και των βιοκλιματικών δεικτών που θα χρησιμοποιηθούν ακολούθως. Τα χαρακτηριστικά (γεωγραφικά, γεωλογικά, κλιματολογικά) της υπό μελέτη περιοχής παρατίθενται στο Κεφάλαιο 4, ενώ η συλλογή δεδομένων από την περιοχή, αλλά και η μεθοδολογία που ακολουθείται σε κάθε επιμέρους άξονα της επιστημονικής μελέτης περιγράφονται στο Κεφάλαιο 5. Στο Κεφάλαιο 6 αποτυπώνονται οι βιοκλιματικές συνθήκες της νήσου Κρήτης, όπως αυτές προέκυψαν από βιοκλιματικό μοντέλο. Το Κεφάλαιο 7 αναφέρεται στην καταγραφή της σωματιδιακής ρύπανσης από τους παθητικούς δειγματολήπτες και στη χημική και ορυκτολογική ανάλυση των αιωρούμενων σωματιδίων. Η συσχέτιση μεταξύ των ιατρικών εισαγωγών και των βιοκλιματικών συνθηκών καθώς και του εκάστοτε τύπου καιρού για την πόλη του Ηρακλείου παρουσιάζονται στο Κεφάλαιο 8. Παράλληλα στο ίδιο Κεφάλαιο εκτίθενται οι βιοκλιματικές συνθήκες για το εγγύς και απώτερο μέλλον για την πόλη του Ηρακλείου. Στο Κεφάλαιο 9 αναλύονται οι επιπτώσεις των βιομετεωρολογικών συνθηκών στην υγεία των κατοίκων του Ηρακλείου, ενώ παρουσιάζεται σύμφωνα με τις μελλοντικές βιοκλιματικές συνθήκες η μελλοντική μεταβολή των ιατρικών εισαγωγών. Στο Κεφάλαιο 10 εκδιπλώνονται οι επιπτώσεις της σωματιδιακής αέριας ρύπανσης στην υγεία. Εν κατακλείδι, στο Κεφάλαιο 11 διατυπώνονται και αξιολογούνται τα συνολικά συμπεράσματα της παρούσας έρευνας.

1 Καιρός – Κλίμα - Υγεία

1.1 Ορισμός - Γενικά

Με το γενικό όρο καιρός νοείται η κατάσταση της ατμόσφαιρας της Γης σε συγκεκριμένο τόπο και χρόνο από την άποψη της θερμοκρασίας, της πίεσης, της υγρασίας και του υφισταμένου ανέμου (ένταση και διεύθυνση), με όποιο άλλο φαινόμενο συνοδεύει αυτά, τόσο στην ξηρά, όσο και στη θάλασσα ή στον υπερκείμενο αέρα του ίδιου πάντα τόπου. Η κατανομή του καιρού πάνω στην επιφάνεια της Γης σε μια δεδομένη χρονική στιγμή μπορεί να δώσει μια ποικιλία καιρικών καταστάσεων που επηρεάζουν το άβιο και έμβιο περιβάλλον.

Η μέση καιρική κατάσταση ή ο μέσος καιρός μιας περιοχής που προκύπτει από τις μακροχρόνιες παρατηρήσεις των μετεωρολογικών στοιχείων ονομάζεται κλίμα. Το κλίμα παίζει σπουδαιότατο ρόλο, τόσο στο φυτικό, όσο και στο ζωικό βασίλειο. Από το κλίμα ορίζονται οι ζώνες της βλάστησης καθώς και η κατανομή των ζώων και των ανθρώπων πάνω στη Γη, ενώ μελετώνται οι περιπτώσεις ακραίων καταστάσεων, οι τάσεις μεταβολής των κλιματικών παραμέτρων, οι τιμές πιθανότητας να συμβούν ακραία φαινόμενα κ.ά.

Για τον προσδιορισμό του κλίματος μιας περιοχής χρησιμοποιούνται οι ακόλουθοι μετεωρολογικοί παράμετροι που αναφέρονται στα φυσικά μεγέθη: θερμοκρασία, υγρασία, άνεμος (δieleύθυνση, ένταση), ηλιακή ακτινοβολία, ηλιοφάνεια, εξάτμιση, νέφωση, υετός, ατμοσφαιρική πίεση κ.ά. Κάθε κλιματικό στοιχείο παρουσιάζει για κάθε έμβιο ον μια άριστη περιοχή τιμών, δύο περιοχές προσαρμογής εκατέρωθεν αυτής και δύο ακραία όρια αντοχής ή θανάτου. Έτσι κάθε μορφή ζωής πάνω στη Γη παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ανάπτυξη σε περιοχές με κλιματικές συνθήκες, που κατά το δυνατόν πλησιάζουν τις άριστες, αφού η ανθρώπινη φυσιολογία μπορεί να χειριστεί εντός συγκεκριμένων ορίων τις σημαντικές μεταβολές του καιρού.

1.2 Καιρός και Υγεία

Υπάρχει άρρηκτη σχέση μεταξύ του καιρού και της υγείας και μάλιστα πολλές επιδημιολογικές μελέτες των τελευταίων ετών αποδεικνύουν τις αλληλεπιδράσεις του συστήματος της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής και της ανθρώπινης υγείας. Βέβαια για να εντοπιστεί και να μελετηθεί ο πιθανός τρόπος επίδρασης του κλίματος, απαιτείται συνδυασμένη ερευνητική προσπάθεια κλιματολόγων και ιατρών, αφού η εξιχνίαση της επιρροής του κλίματος απαιτεί διασφάλιση σταθερής επίδρασης όλων των υπολοίπων βασικών παραγόντων της ασθένειας (π.χ. διατροφή, ηλικία).

Το κλίμα επηρεάζει και διαμορφώνει από τη μια την αντίσταση του οργανισμού (των ασθενών μάλιστα μεγαλύτερης ηλικίας) και από την άλλη τους νοσογόνους μικροοργανισμούς (μικρόβια, ιούς, βακτήρια, μύκητες κ.ά.) και τους φορείς τους. Συνεπώς ορισμένες ασθένειες και παθήσεις ευνοούνται σε συγκεκριμένα κλίματα ή παρουσιάζουν έξαρση σε συγκεκριμένες εποχές του χρόνου.

Οι σύντομες ημέρες του χειμώνα (μικρή διάρκεια ηλιοφάνειας) σχετίζονται με την αυξημένη καρδιοαγγειακή θνησιμότητα και συνεπώς διερευνώνται από πολλές μελέτες οι επιπτώσεις του καιρού στις στεφανιαίες και αγγειακές παθήσεις. Επίσης οι θάνατοι από στεφανιαία νόσο είναι πιο πιθανό να συμβούν τις κρύες μέρες και η πιθανότητα να συμβούν τις ζεστές μέρες είναι πάρα πολύ μικρή, ενώ δεν βρέθηκαν διαφορές μεταξύ των χαρακτηριστικών των αιφνίδιων και μη αιφνίδιων θανάτων (Zipes, 1999).

Συγκεκριμένα οι μεταβολές του καιρού μπορούν να προκαλέσουν πλήθος ασθενειών και παθήσεων στα διάφορα συστήματα του ανθρώπινου οργανισμού. Μελέτες λοιπόν που έχουν διεξαχθεί σε διαφορετικές περιοχές αποδεικνύουν ότι:

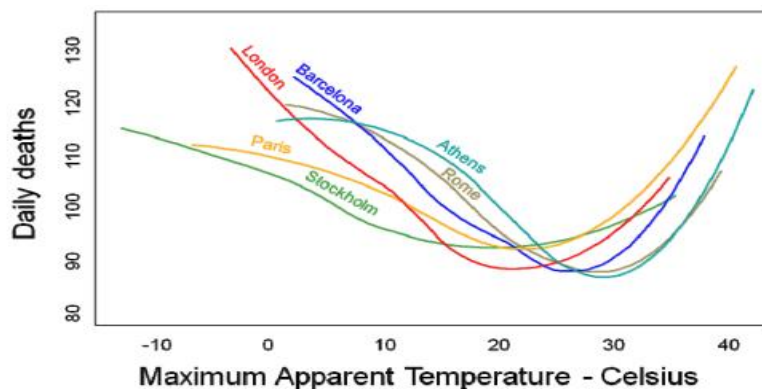
- Τα ποσοστά επιβίωσης από τον καρκίνο του στήθους στις μεγάλες αστικές πόλεις βρέθηκαν ότι είναι αντιστρόφως ανάλογα προς την ένταση του ηλιακής ακτινοβολίας (Garland et al., 1990; Grant, 2002).
- Κατά το χειμώνα παρατηρείται μείωση των επιπέδων της μελατονίνης, η οποία ενοχοποιείται για την ανάπτυξη των νεοπλασμάτων του μαστού (Holdaway et al., 1991), ενώ επιπλέον ευθύνεται για τις μεταβολές στη διάθεση και συμπεριφορά (Leppämäki et al., 2003).
- Η συχνότητα εμφάνισης οξέων εμφραγμάτων του μυοκαρδίου βρέθηκε να αυξάνει κατά τη διάρκεια ορισμένων τύπων καιρού, ενώ μειώνεται κατά τη διάρκεια άλλων (Kveton, 1991; Kriszbacher et al., 2009).
- Τα λευκά αιμοσφαίρια ποικίλουν από εποχή σε εποχή και μάλιστα έχει βρεθεί ότι κατά το φθινόπωρο παρουσιάζουν τις μέγιστες τιμές τους (Friedman et al., 1990; Mercer et al., 1999).
- Η αυξημένη έκθεση στο φως του ήλιου σχετίζεται θετικά με την προστασία κατά της στεφανιαίας νόσου (Scragg et al., 1990; Cornélissen et al., 2002).
- Βρέθηκε συσχέτιση ανάμεσα στα επίπεδα της αρτηριακής πίεσης των υπερτασικών ασθενών και της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (Kunes et al., 1991; Modesti et al., 2006).
- Το ποσοστό εισαγωγής για τις οξείες επιδεινώσεις του βρογχικού άσθματος στην παιδική ηλικία φαίνεται ότι σχετίζεται με τις απογευματινές αποκλίσεις του καιρού (Beer et al., 1991), ενώ διακυμάνσεις στη θερμοκρασία και την υγρασία επηρεάζουν τις εισαγωγές παιδιών με άσθμα (Mireku et al., 2009).
- Ο αριθμός των εισαγωγών στα επείγοντα για το άσθμα κατέδειξε εποχιακή διακύμανση, το χαμηλότερο ποσοστό παρουσιάζεται τον Ιούλιο, ενώ το υψηλότερο το Μάρτιο (Rossi et al., 1991; Villeneuve et al., 2005).
- Εποχιακή διακύμανση παρουσιάζουν και τα επίπεδα των δεικτών του νευροδιαβιβαστή στο εγκεφαλονωτιαίο υγρό (Hartikainen et al., 1991).
- Ο αριθμός των εισαγωγών για ψυχικές διαταραχές παίρνει τη μέγιστη τιμή κατά τους μήνες με αυξημένη ηλιοφάνεια και τα ποσοστά αυτοκτονιών αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας (Peck, 1990; Page et al., 2007).
- Η κατανάλωση βιταμίνης D κατά τη διάρκεια του χειμώνα ενδέχεται να μειώνει την συνολική οστική απώλεια στις γυναίκες (Dawson-Hughes et al., 1991).
- Η επιθετική συμπεριφορά ηλικιωμένων ασθενών με ψυχιατρικά νοσήματα διαπιστώθηκε ότι αυξάνει κατά το χειμώνα και είναι λιγότερο συχνή το φθινόπωρο (Meyer et al., 1991).

- Οι διαταραχές του ύπνου φαίνονται να επηρεάζονται από την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (Nastos and Matzarakis, 2008).

Οι ακραίες μεταβολές του καιρού έχουν επιπτώσεις στη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα του ανθρώπου (Medina-Ramon and Schwartz, 2007; Hu et al., 2008). Οι ακραίες τιμές της θερμοκρασίας είτε χαμηλές (Analitis et al., 2008), είτε υψηλές (Vaneckova et al., 2008) επιδρούν αρνητικά στην ανθρώπινη υγεία (Laaidi et al., 2006). Επίσης, παγκοσμίως έχουν καταγραφεί επεισόδια καύσωνα ανά τον κόσμο που επιφέρουν το θάνατο (Rooney et al., 1998) κυρίως στις ευαίσθητες ομάδες του πληθυσμού - παιδιά, ηλικιωμένους, άτομα με καρδιαγγειακά και πνευμονολογικά προβλήματα (Vaneckova et al., 2008). Συνεκδοχικά έχουν ληφθεί μέτρα για την ύπαρξη συστήματος πρόωρου συναγερμού καύσωνα για την προφύλαξη των ευπαθών ομάδων. Στη Μελβούρνη όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία ξεπεράσει το όριο των 30°C, η μέση ημερήσια θνησιμότητα για τα άτομα ηλικίας μεγαλύτερης των 65 ετών αυξάνει κατά 15-17% περισσότερο από τη συνηθισμένη (Nicholls et al., 2008).

Οι ακραίες ημερήσιες θερμοκρασίες που καταγράφονται κατά τη διάρκεια ενός καύσωνα προκαλούν πολλές φορές υπερθέρμανση και αφυδάτωση στον ανθρώπινο οργανισμό οδηγώντας τον στον αιφνίδιο θάνατο, όπως συνέβη στο καύσωνα του 2003 που επηρέασε τον πληθυσμό της δυτικής και κεντρικής Ευρώπης (Kysely and Kriz, 2008), της Αμερικής (Golden et al., 2008; Yip et al., 2008), αλλά και της Ασίας (Tan et al., 2007; Revich and Sharoshnikov, 2008). Ταυτόχρονα, μελέτη που πραγματοποιήθηκε σε 6 μεγάλες πόλεις (Βοστώνη, Ντάλας, Βουδαπέστη, Λισσαβώνα, Λονδίνο και Σίδνεϊ) έδειξε την συσχέτιση της θνησιμότητας με τη μέγιστη θερμοκρασία κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και στις έξι πόλεις, ενώ έγινε προσπάθεια έγκαιρης προειδοποίησης προ των επεισοδίων καύσωνα (Gosling et al., 2007; Gosling et al., 2009; Morabito et al., 2012).

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (Π.Ο.Υ.) (WHO, 2010) παρουσιάζει τη συσχέτιση της θερμοκρασίας και της θνησιμότητας στις ευρωπαϊκές πόλεις, η οποία παρουσιάζει σχήμα U και το κατώφλι θερμοκρασίας για τις πόλεις της Μεσογείου είναι 29.4°C ενώ για τις βορειότερες ευρωπαϊκές πόλεις είναι 23.3°C (Baccini et al., 2008) (Σχήμα 1-1), παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν στη πόλη των Αθηνών με μελέτη που διήρκησε μια δεκαετία (Nastos and Matzarakis, 2012).



Σχήμα 1-1 Σχέση θερμοκρασίας – θνησιμότητας σε αρκετές ευρωπαϊκές πόλεις (Baccini et al., 2008)

Στην περιοχή της Αθήνας πραγματοποιήθηκε μελέτη για ένα ημερολογιακό έτος (2001), στη διάρκεια του οποίου κατεγράφησαν 3126 θάνατοι οφειλόμενοι σε οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, ενώ απέρρευσε εποχιακή συσχέτιση των θανάτων με τη μέγιστη θνησιμότητα να καταγράφηκε το χειμώνα και την ελάχιστη το καλοκαίρι. Η εποχιακή διακύμανση των θανάτων λόγω των οξέων εμφραγμάτων του μυοκαρδίου παρατηρείται σχεδόν αποκλειστικά στους ηλικιωμένους. Οι θάνατοι λόγω των εμφραγμάτων εμφανίζουν συσχέτιση με τη μέση θερμοκρασία των προηγούμενων επτά ημερών πριν το θάνατο του πάσχοντα, ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές της σχετικής υγρασίας ήταν ανεξάρτητες των θανάτων από οξέα εμφράγματα του μυοκαρδίου (Dilaveris et al., 2006). Στη συνέχεια άλλη μελέτη στην περιοχή της Αθήνας απέδειξε ότι ο συνδυασμός της θερμοκρασίας και των αερίων μαζών που πνέουν σε μια περιοχή μπορούν να επιφέρουν αύξηση της θνησιμότητας. Συγκεκριμένα για τη χρονική περίοδο από το 1954 έως το 1999 υπάρχει άμεση συσχέτιση των νότιων αερίων μαζών με την αύξηση της θνησιμότητας (Kassomenos et al., 2007).

1.3 Καιρός και καρδιολογικά προβλήματα

Η καρδιά επηρεάζεται από τις ημερήσιες διακυμάνσεις του καιρού όσο και από τις εποχικές διακυμάνσεις και μάλιστα πολλές φορές μπορεί να οδηγήσει σε πρόωρους θανάτους (von Klot et al., 2012). Βέβαια υπό την επίδραση του καιρού, οι παθήσεις της καρδιάς παρουσιάζουν εξάρσεις με αποτέλεσμα να αυξάνουν στα νοσοκομεία οι εισαγωγές ασθενών κυρίως με χρόνιες καρδιολογικές ή πνευμονολογικές παθήσεις. Ένας εντυπωσιακός αριθμός εργασιών κατέδειξαν με σαφήνεια τη μεταβολή της καρδιακής λειτουργίας σε συνάρτηση με τις εποχικές διακυμάνσεις, εμφανίζοντας οξέα καρδιακά επεισόδια όπως εμφράγματα του μυοκαρδίου, ισχαιμική καρδιοπάθεια, κοιλιακές αρρυθμίες ή υπέρταση και θρομβωτικά εγκεφαλικά επεισόδια.

Η αλληλεπίδραση των εξωτερικών παραγόντων και των εσωτερικών μηχανισμών ενός οργανισμού έχει ως αποτέλεσμα την πρόκληση καρδιολογικών παθήσεων. Συνεπώς η κατανόηση της αλληλεπίδρασης αυτών των μηχανισμών με το εξωτερικό περιβάλλον μπορεί να οδηγήσει στη λήψη προληπτικών μέτρων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μειωθεί η επίδραση των περιβαλλοντικών στρεσογόνων καταστάσεων που προκαλούν οξέα καρδιολογικά προβλήματα τόσο στις ευάλωτες ομάδες, όσο και στο σύνολο του πληθυσμού (Čulić, 2006).

1.3.1 Θερμοκρασία και καρδιολογικά προβλήματα

Εξαιρετικά χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες μπορούν να προκαλέσουν την ανάπτυξη καρδιοαγγειακών παθήσεων στα ευάλωτα άτομα και κυρίως στους ηλικιωμένους. Οι φυσιολογικοί μηχανισμοί που συνδέουν το κρύο με την αυξημένη εποχική νοσηρότητα και θνησιμότητα έχουν αξιολογηθεί. Συγκεκριμένα το κρύο προκαλεί αύξηση του καρδιακού ρυθμού, συστηματική αγγειακή αντίσταση, μεταβάλλει τα επίπεδα των αγγειοσυσταλτικών πεπτιδίων και της πίεσης του αίματος, προκαλώντας ισχαιμική καρδιοπάθεια, αρρυθμίες και τέλος οδηγεί σε καρδιακή ανεπάρκεια (Stefanadis, 2007). Ο πληθυσμός που κατοικεί σε ψυχρότερες πόλεις επηρεάζεται περισσότερο από τις υψηλότερες θερμοκρασίες, ενώ όσοι διαμένουν σε θερμότερες πόλεις παρατηρήθηκε ότι

επηρεάζονται από τις χαμηλότερες θερμοκρασίες (Curriero et al., 2002; McMichael et al., 2006; Nastos et al., 2013b).

Σε μεμονωμένο επίπεδο, ο ανθρώπινος οργανισμός όταν αποτυγχάνει μέσω των μηχανισμών της θερμορύθμισης επηρεάζεται από τις μεταβολές των ψυχρών ή θερμών καιρικών συνθηκών. Αυτό συμβαίνει γιατί ο οργανισμός δεν καταφέρνει να εξισορροπήσει τις μεταβολές της θερμοκρασίας του σώματος ανάλογα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα στην αντιμετώπιση του κρύου, η κύρια μορφή της παραγωγής θερμότητας από τον ίδιο τον οργανισμό γίνεται μέσω της μυϊκής δραστηριότητας. Μια βαθμιαία αύξηση στο σκελετικό μυϊκό τόνο οδηγεί σε ρίγος (Vander et al., 1975), διότι οι μύες ενεργοποιούνται για την αύξηση της εσωτερικής θερμότητας και αυτό πραγματοποιείται με τη βοήθεια της αγγειοσυστολής (Vander et al., 1975). Το αντίθετο συμβαίνει σε απόκριση του οργανισμού σε υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Ο μυϊκός τόνος μειώνεται ακούσια (Vander et al., 1975) εμφανίζεται αγγειοσυστολή ως αποτέλεσμα της αυξημένης καρδιακής εξόδου και συνεπώς θερμότητα διαχέεται στην επιφάνεια του σώματος (Simon, 1993) μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα (Vander et al., 1975).

Η νοσηρότητα από οξεία στεφανιαία νοσήματα εξαρτάται άμεσα από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και την υγρασία. Αυτό έδειξε μελέτη που πραγματοποιήθηκε για ένα έτος σε πέντε διαφορετικές περιοχές της Ελλάδας (Καρδίτσα, Λαμία, Χαλκίδα, Καλαμάτα και Ζάκυνθος) και αφορούσε 1608 εισαγωγές ασθενών με οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου ή με ασταθή στηθάγχη και οι οποίοι διαχωρίστηκαν σε δύο ηλικιακές ομάδες: <65 ετών και >65 ετών. Η θερμοκρασία επιδρά στις εισαγωγές ανάλογα με την ηλικία (P= 0.031), ενώ δεν φαίνεται να επηρεάζει τον τύπο των στεφανιαίων συνδρόμων και το φύλο (Misailidou et al., 2006).

Πίνακας 1-1 Οι επιπτώσεις της έκθεσης στο ψύχος στην υγεία του ανθρώπου (Makinen and Hassi, 2009)

ΕΚΘΕΣΗ ΣΤΟ ΨΥΧΟΣ		
ΑΣΘΕΝΕΙΕΣ	ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ	ΤΡΑΥΜΑΤΙΣΜΟΙ
Αναπνευστικές Άσθμα, COPD, ρινόρροια	Αναπνευστικές Αυξημένη έκκριση βλέννας, δύσπνοια, συριγγμός, βήχα	Πάγωμα τραυματισμών Κρουοπαγήματα
Καρδιοαγγειακές Στεφανιαία νόσος & καρδιακές παθήσεις, αγγειακά περιστατικά εγκεφάλου	Καρδιοαγγειακές πόνος στο στήθος, αρρυθμίες, δύσπνοια	Μη πάγωμα τραυματισμών υποθερμία
Κυκλοφορικού Φαινόμενο Raynaud's, σύνδρομο δόνησης χεριού-βραχίονα	Κυκλοφορικού χρωματικές αλλαγές στα άκρα (λευκό, μπλε, κόκκινο), πόνος στο κρύο, μούδιασμα	Τραυματισμοί από κρύο Ολισθήσεις, παραπατήματα, πτώσεις
Μυοσκελετικές Σύνδρομο καρπιαίου σωλήνα, αυχενικό σύνδρομο, τενοντοελυτρίτιδα, περιτενοντίτιδα	Μυοσκελετικές πόνος, δυσκαμψία, πρήξιμο, περιορισμός κινήσεων, μυϊκή αδυναμία	
Δερματολογικές	Δερματολογικές	

Συνεπώς, η έκθεση στο κρύο δημιουργεί στρες στην καρδιά και η αύξηση του φόρτου εργασίας μπορεί να την επιβαρύνει ακόμα περισσότερο (Makinen and Hassi, 2009). Η εργασία στο κρύο είναι επίπονη κυρίως για τα άτομα που υποφέρουν από καρδιοαγγειακή πάθηση, προκαλώντας πλήθος προβλημάτων όπως φαίνεται στον Πίνακας 1-1.

1.3.1.1 Θερμοκρασία - έμφραγμα του μυοκαρδίου

Συγκεκριμένα το οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου εντείνεται από τη χαμηλή θερμοκρασία και τα περισσότερα περιστατικά έχουν καταγραφεί κατά τη διάρκεια του χειμώνα για το βόρειο ημισφαίριο, ενώ το αντίστροφο ισχύει για το νότιο. Ήδη, από την δεκαετία του 30 (Rosahn, 1937) παρατηρήθηκε αύξηση της θνησιμότητας από οξέα εμφράγματα του μυοκαρδίου κατά τους χειμερινούς μήνες. Ύστερα από αυτές τις πρώτες παρατηρήσεις πολλές επιδημιολογικές μελέτες έχουν διενεργηθεί σε διάφορες χώρες του πλανήτη και με διαφορετικές κλιματολογικές συνθήκες, αποδεικνύοντας τη συσχέτιση της στεφανιαίας καρδιακής νόσου με τις χαμηλές θερμοκρασίες (Rogers et al., 1994; Kloner et al., 2001). Έτσι, τις κρύες μέρες του έτους έχει αποδειχθεί ότι είναι πιο πιθανό να συμβούν θάνατοι από στεφανιαία νόσο και μάλιστα η πιθανότητα αυτή αυξάνει κατά 40% (Enquselassie et al., 1993; Crawford et al., 2003).

Επίσης, στη Γαλλία διεξήχθη μακροχρόνια επιδημιολογική μελέτη που απέδειξε ότι μείωση της θερμοκρασίας κατά 10°C οδηγεί σε αύξηση κατά 13% των οξέων εμφραγμάτων του μυοκαρδίου και αύξηση κατά 11% των περιστατικών με στεφανιαία νόσο και αυτών που οδηγούν σε θάνατο (Danet et al., 1999). Μελέτες διαρκείας άνω των 20 ετών δείχνουν ότι η συχνότητα των οξέων εμφραγμάτων του μυοκαρδίου υποδηλώνει την ύπαρξη ενδογενών-βιολογικών αλλά και εξωγενών παραγόντων. Αυτοί οι παράγοντες είτε λειτουργούν αυτόνομα, είτε συνεργατικά δημιουργώντας εποχικό ρυθμό τέτοιων περιστατικών, αν και ο διαχωρισμός των παραγόντων αυτών είναι δύσκολος (Boari et al., 2007).

Παράλληλα επιδημιολογική μελέτη που διεξήχθη στην Πορτογαλία κατά την περίοδο 2003-2007 και αφορούσε ημερήσιες εισαγωγές με οξέα εμφράγματα του μυοκαρδίου έδειξε την άμεση σχέση μεταξύ του κρύου καιρού (Νοέμβριος – Μάρτιος) και του αυξημένου κινδύνου νοσηλείων για εμφράγματα του μυοκαρδίου. Έτσι, μείωση ενός βαθμού του βιοκλιματικού δείκτη PET (Physiologically Equivalent Temperature) κατά τη διάρκεια του χειμώνα οδηγεί σε αύξηση 2.2% των ημερήσιων εισαγωγών για όλες τις ηλικίες και κατά 1.3% για τους ηλικιωμένους (Vasconcelos et al., 2013). Πιθανή εξήγηση για τη μικρότερη αύξηση στους ηλικιωμένους (=προστατευτικό αποτέλεσμα) είναι ότι τα άτομα νεαρής ηλικίας και οι ενήλικες συμμετέχουν συχνότερα σε εξωτερικές δραστηριότητες και συνεπώς βρίσκονται περισσότερο εκτεθειμένοι στο κρύο (Mercer, 2003).

Σε πολλές περιοχές του κόσμου μελέτες έδειξαν τη συσχέτιση μεταξύ των ψυχρότερων περιόδων και των καρδιοαγγειακών παθήσεων (Pell and Cobbe, 1999). Οι

διαπιστώσεις αυτές οδήγησαν στο συμπέρασμα ότι η χαμηλή θερμοκρασία περιβάλλοντος αποτελούν ένα σημαντικό παράγοντα δημιουργίας οξέος στεφανιαίου συνδρόμου. Έτσι, μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην Ταιβάν έδειξε αυξημένο ποσοστό εισαγωγών λόγω στεφανιαίων νοσημάτων κατά τη διάρκεια ημερών με χαμηλές ημερήσιες θερμοκρασίες ή με υψηλό ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος. Συγκεκριμένα, όταν το ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος υπερβαίνει το όριο των 9.6°C, αυξάνουν οι εισαγωγές για στεφανιαίο σύνδρομο (συμπεριλαμβανομένων των πιθανών παραγόντων που επηρεάζουν τις στεφανιαίες παθήσεις όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση, οι λοιμώξεις του αναπνευστικού και η εποχή του έτους) (Liang et al., 2008).

Στην Ουγγαρία μελέτη που διεξήχθη κατά την περίοδο 2004-2008 αποδεικνύει ότι τους μήνες Μάρτιο και Δεκέμβριο παρατηρείται αύξηση των εμφραγμάτων σε αντίθεση με τους μήνες Ιούνιο και Ιούλιο που καταγράφεται το μικρότερο ποσοστό (Halberg et al., 2005). Επίσης, μεταγενέστερη μελέτη απέδειξε ότι η κορύφωση των συμβάντων αυτών γίνεται κατά την πρώτη μέρα της βδομάδας, Δευτέρα, ενώ τα Σαββατοκύριακα τα περιστατικά παρουσιάζουν μείωση περίπου 24% (Kriszbacher et al., 2008).

Βέβαια, θα πρέπει να σημειωθεί ότι υπάρχει αλληλένδετη σχέση μεταξύ των περιστατικών των οξέων εμφραγμάτων και της αυξημένης θερμοκρασίας. Στην Βομβάη όπου η θερμοκρασία βρίσκεται πάνω από 25°C για περισσότερο από 10 μήνες το χρόνο, συσσωρεύεται φυσιολογικό στρες στην καρδιά. Το έργο της καρδιάς για αυτό το λόγο αυξάνεται με σκοπό να παρέχει επιπρόσθετα ποσά αίματος στην επιφάνεια του δέρματος προκειμένου να διασφαλίσει την ενέργεια και τη θερμοκρασία στο ανθρώπινο σώμα. Κατά αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η δύναμη και η ένταση του μυοκαρδίου και οι ασθενείς με έκδηλη ή λανθάνουσα στεφανιαία νόσο οδηγούνται σε κατάρρευση των ομοιοστατικών τους μηχανισμών και ακολούθως σε οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου (Rodrigues and Pinto, 1982).

Επιδημιολογική μελέτη που διεξήχθη σε μεγάλο δείγμα ασθενών (1003 άτομα που είχαν επιβιώσει από έμφραγμα του μυοκαρδίου) σε 6 Ευρωπαϊκές πόλεις (Ελσίνκι, Στοκχόλμη, Άουγκσμπουργκ, Ρώμη, Βαρκελώνη και Αθήνα) δείχνει ότι η μείωση της θερμοκρασίας σχετίζεται με αύξηση των δεικτών φλεγμονής, η οποία ενδεχομένως μπορεί να οδηγήσει σε αθηροσκλήρυνση (Schneider et al., 2008a).

Ταυτόχρονα είναι πιθανό υγιή άτομα να υποστούν έμφραγμα του μυοκαρδίου λόγω των αλλαγών της θερμοκρασίας, αφού οι κοινοί μηχανισμοί του ανθρώπινου οργανισμού για τις φυσιολογικές αποκρίσεις στις εποχιακές και θερμοκρασιακές διακυμάνσεις περιλαμβάνουν μεταβολές στην αρτηριακή πίεση, στο ιξώδες του αίματος, στην αγγειοσυστολή, στα λιπίδια του ορού, στα ινωδογόνα και στα υπόλοιπα συστατικά του αίματος (Ebi et al., 2004).

1.3.1.2 Θερμοκρασία – ισχαιμική καρδιοπάθεια

Είναι ευρέως γνωστό ότι τα περιστατικά της ισχαιμικής καρδιοπάθειας αυξάνουν κατά τη διάρκεια του χειμώνα, όπου η θερμοκρασία πέφτει, ενώ τα ερυθρά κύτταρα, η χοληστερόλη πλάσματος και τα ινωδογόνα πλάσματος αυξάνονται, οδηγώντας σε αρτηριακή θρόμβωση. Έτσι έρευνες εδώ και δεκαετίες έχουν αποδείξει την αύξηση των

περιστατικών των ισχαιμικών επεισοδίων κατά τον χειμώνα (Master et al., 1937; Rose, 1966; Dunnigan et al., 1970).

Θα πρέπει να τονιστεί ότι μια ευρωπαϊκή έρευνα (EurowinterGroup, 1997) έδειξε ότι το ποσοστό αύξησης της ισχαιμικής καρδιακής θνησιμότητας είναι μεγαλύτερο με την πτώση της θερμοκρασίας στον πληθυσμό που βρίσκεται σε περιοχές με χαμηλότερο γεωγραφικό πλάτος (ήπιοι χειμώνες) και για τα άτομα που ζουν σε ψυχρότερα σπίτια, που φορούν λιγότερα ρούχα και είναι λιγότερο δραστήρια στο εξωτερικό περιβάλλον. Έρευνα που έλαβε χώρα την ίδια χρονιά από τους Donaldson and Keatinge, (1997) απέδειξε ότι ισχαιμικά επεισόδια καταγράφονταν μετά από 3 μέρες από την κορύφωση του κρύου ($p < 0.001$) και το οποίο παρέμενε υψηλά για 15-25 μέρες πριν η θερμοκρασία επιστρέψει στα φυσιολογικά επίπεδα.

1.3.1.3 Θερμοκρασία – αρτηριακή πίεση

Η θερμοκρασία περιβάλλοντος έχει άμεση σχέση με την αρτηριακή πίεση (Modesti et al., 2006). Αυξημένη αρτηριακή πίεση μειώνει το ποσοστό ζήτησης του οξυγόνου στο μυοκάρδιο οδηγώντας σε ισχαιμία, κυρίως σε ευάλωτο μυοκάρδιο. Επιπλέον αυξάνεται η πίεση παλμών και αυτό πιθανό έχει ως αποτέλεσμα τον αρτηριακό διαχωρισμό και το οξύ στεφανιαίο σύνδρομο. Εκτός από τα παραπάνω, τα ινωδογόνα είναι αντιστρόφως ανάλογα με τη θερμοκρασία αέρα, αλλά μπορεί να αυξάνονται εξαιτίας των εποχιακών αναπνευστικών λοιμώξεων (Woodhouse et al., 1994; Horan et al., 2001).

Πολλοί μηχανισμοί, όπως η ενεργοποίηση του συμπαθητικού νευρικού συστήματος μπορούν να εξηγήσουν την αύξηση της μεταβλητότητας της αρτηριακής πίεσης με τη χαμηλή θερμοκρασία. Η έκκριση της κατεχολαμίνης μπορεί να συμβεί ως αντίδραση στο στρες λόγω του κρύου. Αυτή η αυξημένη εκροή από το συμπαθητικό σύστημα είναι ικανή να αυξήσει την αρτηριακή πίεση αυξάνοντας τον καρδιακό ρυθμό αλλά ακόμα πιο σημαντικό είναι ότι είναι δυνατό να αυξήσει την περιφερειακή αρτηριακή αντίσταση (Hanna, 1999).

Επιπρόσθετα, μελέτη στη Γερμανία στην περιοχή της Βαλτικής, έδειξε ότι ασθενείς με καρδιακά προβλήματα παρουσίασαν μεταβολές στον καρδιακό ρυθμό και στις παραμέτρους του ηλεκτροκαρδιογραφήματός τους, κατά τις μεταβολές του καιρού. Μάλιστα βρέθηκε για τις γυναίκες άμεση αύξηση της καρδιακής συχνότητας (3-4 παλμούς ανά λεπτό) κατά την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, της ισοδύναμης θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης. Επιπλέον, μείωση της συστολικής αρτηριακής πίεσης παρατηρήθηκε τις ημέρες με αυξημένη υγρασία. Σε αντίθεση με τις γυναίκες, οι άντρες είχαν δύο φορές πιο αυξημένο καρδιακό ρυθμό σε συνδυασμό με τη μείωση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, της ισοδύναμης θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής πίεσης. Μόνο οι άνδρες παρουσίασαν μικρή αντίδραση στον καρδιακό ρυθμό, όταν υπήρξε μεταβολή της σχετικής υγρασίας (Schneider et al., 2008b).

1.3.2 Σχετική υγρασία και καρδιολογικά προβλήματα

Η σχέση της υγρασίας με τα καρδιολογικά προβλήματα δεν είναι τόσο εμφανής όσο η σχέση τους με τη θερμοκρασία, ενώ δρα συνεργατικά με τις υπόλοιπες μετεωρολογικές παραμέτρους επιδεινώνοντας την καρδιακή λειτουργία (Schwartz et al., 2004). Παρόλα

αυτά έχει αποδειχθεί ότι η υψηλή υγρασία φαίνεται ότι αυξάνει τη συχνότητα εμφάνισης οξέος εμφράγματος του μυοκαρδίου και της καρδιακής προσβολής οδηγώντας σε θάνατο κυρίως τους ηλικιωμένους. Έτσι ο Αμερικανικός Οργανισμός Καρδιάς (American Heart Association) αναφέρει ότι η υπερβολική ζέστη μπορεί να προκαλέσει αφυδάτωση, θερμοπληξία και εγκεφαλικό επεισόδιο, αλλά αν προστεθεί και υψηλή υγρασία η κατάσταση θα γίνει ακόμα πιο επικίνδυνη, αφού με αυτές τις συνθήκες οι φυσικοί μηχανισμοί ψύξης του σώματος επηρεάζονται.

Επιδημιολογική μελέτη που περιελάμβανε περίπου 30500 ασθενείς μελέτησε τη συσχέτιση των τραυματικών και μη ασθενειών με τη θερμοκρασία και υγρασία. Συγκεκριμένα, όσον αφορά τη υγρασία βρέθηκε χαμηλό ποσοστό συσχέτισής της με τις ασθένειες που μελετήθηκαν (Choi et al., 2007). Οι μη τραυματικές ασθένειες που περιλαμβάνουν τα καρδιαγγειακά προβλήματα δείχνουν ότι έχουν θετική συσχέτιση με την υγρασία.

1.3.3 Βαρομετρική πίεση και καρδιολογικά προβλήματα

1.3.3.1 Βαρομετρική πίεση και αρτηριακή πίεση

Η αρτηριακή πίεση επηρεάζεται από τις μεταβολές του περιβάλλοντος και κυρίως από τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της βαρομετρικής πίεσης. Βέβαια, η σχέση μεταξύ της αρτηριακής πίεσης και της βαρομετρικής πίεσης δεν είναι τόσο ξεκάθαρη, έτσι οι διεξαχθείσες μελέτες είναι περιορισμένες. Η βαρομετρική πίεση έχει αρνητική συσχέτιση με την αρτηριακή πίεση σε μελέτη που αφορούσε 13 υπερτασικούς (Weinbacher et al., 1996).

Προαναφερθείσα μελέτη που αφορούσε την αρτηριακή πίεση, αναφέρει συσχέτιση τύπου σχήματος U μεταξύ της βαρομετρικής πίεσης και των καρδιολογικών παθήσεων (Danet et al., 1999). Νεότερη επιδημιολογική μελέτη (Jehn et al., 2002) έδειξε ότι αυξήσεις στη μεταβλητότητα της αρτηριακής πίεσης περιπλέκουν τη διάγνωση και τη διαχείριση της υπέρτασης κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου, ενώ παράλληλα σημαίνει ότι υψηλότερη αρτηριακή πίεση μπορεί να υπάρξει παροδικά κατά τη διάρκεια του ψυχρού καιρού, ανεξάρτητα από το μέσο όρο της αρτηριακής πίεσης. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να εξηγήσει εν μέρει γιατί τα καρδιαγγειακά επεισόδια συμβαίνουν συχνότερα κατά τους χειμερινούς μήνες παρά κατά τους θερινούς.

1.4 Καιρός και αναπνευστικά προβλήματα

Είναι ευρέως γνωστό ότι υπάρχει αυξανόμενη ανησυχία σχετικά με την επίδραση του καιρού στις πνευμονικές παθήσεις (Πίνακας 1-2). Επιπλέον, οι καιρικές συνθήκες είναι κινητήρια δύναμη για εξάπλωση των αναπνευστικών λοιμώξεων (Danielides et al., 2002). Το βρογχικό άσθμα είναι η πιο κοινή χρόνια αναπνευστική ασθένεια της παιδικής ηλικίας, η οποία χαρακτηρίζεται από συμπτωματικές περιόδους. Τα συμπτώματα χαρακτηρίζονται από συριγμό, δύσπνοια, σφίξιμο στο στήθος και βήχα. Οι συμπτωματικές περίοδοι που δημιουργούνται κυρίως από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, αποκαλύπτουν την κλινική εικόνα των ασθματικών ασθενών. Στην Δυτική Ευρώπη (57 κέντρα σε 12 χώρες), τα συμπτώματα έχουν αυξηθεί κατά 2.7% (95%CI 1.0% έως 4.5%) με αύξηση κατά 10% στην εκτιμώμενη ετήσια μέση σχετική υγρασία. Υπάρχει αρνητική συσχέτιση μεταξύ του

υψομέτρου, της ετήσιας μεταβολής της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας με τα συμπτώματα του άσθματος (Weiland et al., 2004).

Θα πρέπει να γίνει ειδική μνεία για τα μικρά παιδιά, τα οποία λόγω των μειωμένων ρυθμιστικών μηχανισμών που έχουν για να ανταπεξέλθουν τις ακραίες βιοκλιματικές συνθήκες, εκτίθενται σε υψηλό κίνδυνο. Μελέτη που έγινε στο Μπουένος Άιρες βρέθηκε αύξηση στις λοιμώξεις του κατώτερου αναπνευστικού σε παιδιά ηλικίας μικρότερης των 5 ετών κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Viegas et al., 2004). Επιπρόσθετα στην Αθήνα βρέθηκε ότι οι εισαγωγές των παιδιών με άσθμα αυξάνονται κατά την περίοδο του χειμώνα-άνοιξης και φθινοπώρου, επηρεαζόμενα από την αυξημένη σχετική υγρασία και την ατμοσφαιρική πίεση (Priftis et al., 2006; Nastos et al., 2008a). Ομοίως, οι Goncalves et al. (2005) στο Σάο Πάολο έδειξαν μείωση της νοσηρότητας σε θερμές και ξηρές καιρικές συνθήκες (Goncalves et al., 2005). Σε συμφωνία, μια άλλη μελέτη στην Cordoba της Αργεντινής από τους Amarillo and Carreras, (2012) αποκάλυψε ότι ο μεγαλύτερος κίνδυνος για λοιμώξεις του ανώτερου αναπνευστικού υφίσταντο κατά τη διάρκεια του χειμώνα, του φθινοπώρου και της άνοιξης, αλλά επιπλέον βρήκαν ότι αύξηση των λοιμώξεων του κατώτερου αναπνευστικού παρατηρείται κατά την άνοιξη.

Πολυάριθμες μελέτες έχουν αποδείξει ότι οι λοιμώξεις του αναπνευστικού επηρεάζονται από τη χαμηλή θερμοκρασία. Ωστόσο, οι λόγοι για αυτή την εποχικότητα παραμένουν αμφιλεγόμενοι, διότι πολλοί διαφορετικοί και βιολογικοί παράγοντες συνεισφέρουν στην αύξηση των περιστατικών αυτών των ασθενειών κατά τους χειμερινούς μήνες, όπως ο συνωστισμός που ευνοεί την μεταδοτικότητα των ιών, η εισπνοή κρύου αέρα που προκαλεί ξήρανση της μεμβράνης του βλεννογόνου, ενώ χαμηλότερες θερμοκρασίες ευνοούν την επιβίωση των παθογόνων (Amarillo and Carreras, 2012)

Πίνακας 1-2 Αναπνευστικές λοιμώξεις του καιρού στα παιδιά (Tsabouri et al., 2014).

Author	Location	Years of study	Sample characteristics	Respiratory morbidity	Meteorological condition
Viegas et al. (2004)	Buenos Aires	1/1998 12/2002	<5 years	Increased respiratory infections	lower wintertime
Goncalves et al. (2005)	Sao Paulo	12/1992 3/1993 12/1993 3/1994	<16 years	Decrease respiratory morbidity	Hot and dry weather
Amarillo and Carreras (2012)	Cordoba, Argentine	1/1/2005 31/12/2008	<6 years	Increased respiratory infections Increased respiratory infections	lower upper Spring Winter, fall, spring
Yüksel et al. (1996)	Izmir, Turkey	11/1993 6/1994	5-14 years	Increased asthmatic symptoms	Low temperature
Hashimoto et al. (2004)	Tokyo, Japan	3/1/1998 28/2/2002	2-15 years	Increased asthma attack	of humidity, High barometric pressure (autumn and spring)
Villaneuve et al. (2005)	Ottawa, Canada Athens	1992 - 2000	2-15 years 0-14 years	Increased asthma counts Increased asthma	high High wind speed, fog and thunderstorms Low temperature,

Nastos et al. (2008)			1978 - 2000			admissions	water vapour pressure, absolute humidity and cold anticyclonic presence. High wind speed
Wind et al. (2004)	Alaska		1/2000 12/2000	- 3-18 years		Increased asthma admissions	High wind speed and low temperature of wind
Kresno et al. (1994)	Indramayu, Indonesia		1/1991 3/1991	- <5 years		Increased acute respiratory infections	High wind speed
Kashiwabara et al. (2002)	Kyushu, Japan		1/4/1998 31/3/2000	- < 16 years		Increased asthmatic children	High mist and fog

1.4.1 Θερμοκρασία και αναπνευστικά προβλήματα

Οι μεταβολές της θερμοκρασίας φαίνεται ότι επιδρούν στο ποσοστό της δύσπνοιας ενός ανθρώπινου οργανισμού. Οι ακραίες θερμές και ψυχρές συνθήκες δημιουργούν στρες σε ολόκληρο το σώμα. Το σώμα στην προσπάθειά του να παραμείνει στους 36.6°C, ξοδεύει επιπρόσθετη ενέργεια για να παραμείνει ζεστό ή κρύο και αυτό έχει ως συνέπεια την αύξηση του ποσοστού οξυγόνου που χρησιμοποιεί το σώμα.

Αναπνέοντας ζεστό ή κρύο αέρα μπορεί επίσης να ξηράνει ή να ερεθίσει τους αεραγωγούς προκαλώντας βρογχόσπασμα, δηλαδή σύσπασση των λείων μυών που περιβάλλουν τον αεραγωγό. Το βρογχόσπασμα μειώνει το μέγεθος του αεραγωγού και για αυτό γίνεται δυσκολότερη η είσοδος και η έξοδος του αέρα στους πνεύμονες, δημιουργώντας δυσκολία στην αναπνοή. Πολλές έρευνες μελετώντας την αντίδραση των ασθενών, και κυρίως των ασθματικών και των ατόμων με χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) στον κρύο αέρα έχουν καταγράψει αύξηση στο συριγγό και τη δύσπνοιά τους.

Οι οξείες ιογενείς λοιμώξεις του ανώτερου αναπνευστικού δημιουργούνται από την έκθεση στο κρύο και τα πρώτα συμπτώματα που εμφανίζονται είναι καταρροή και δύσπνοια (Eccles, 2002b). Έχει αποδειχθεί ότι η οξεία ψύξη της επιφάνειας του σώματος προκαλεί αγγειοσυστολή στη μύτη και στους άνω αεραγωγούς. Η αγγειοσυστολή των αεραγωγών αναστέλλει την άμυνα του αναπνευστικού οδηγώντας σε λοίμωξη του αναπνευστικού. Η πτώση της θερμοκρασίας οδηγεί στο κοινό κρυολόγημα, η οποία δεν είναι μια απλή ασθένεια αλλά ένα σύνδρομο με συγγενή συμπτώματα που δημιουργείται από διαφορετικούς τύπους ιών προκαλώντας αναπνευστικά προβλήματα (Eccles, 2002a).

Επιπλέον επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει ότι μείωση της θερμοκρασίας αυξάνει τα συμπτώματα της αλλεργικής ρινίτιδας και η ρινική ανταπόκριση στην έκθεση στο κρύο είναι ακόμα εντονότερη στα ασθματικά άτομα (Hanes et al., 2006). Η εισπνοή κρύου αέρα επιφέρει λειτουργικές αλλαγές στους αεραγωγούς, που συμβαίνουν λόγω της ψύξης και της ξήρανσης του ρινικού βλεννογόνου και των αεραγωγών. Πειραματικές μελέτες έχουν δείξει ότι αυτές είναι οι αντιδράσεις του οργανισμού -η ρινική συμφόρηση και η καταρροή στις ανώτερες αναπνευστικές οδούς και η βρογχοσυστολή στους κατώτερους αεραγωγούς (Koskela, 2007).

Στη Φινλανδία, πρόσφατη μελέτη που αφορούσε νεαρά άτομα ηλικίας 20-27 ετών απέδειξε ότι, η αλλεργική ρινίτιδα σε συνδυασμό με το άσθμα που σχετίζεται με το κρύο αυξάνει τη δυσκολία στην αναπνοή ακόμα περισσότερο από ό,τι το άσθμα από μόνο του. Έτσι τα άτομα με άσθμα έχουν σημαντική επιβάρυνση στο κρύο και τα συμπτώματα της αλλεργικής ρινίτιδας δημιουργούν μεγαλύτερη επιβάρυνση. Ωστόσο, από μόνη της η αλλεργική ρινίτιδα δεν φαίνεται να επηρεάζει σημαντικά την αναπνοή κατά τη διάρκεια του κρύου (Hygkäs et al., 2014).

1.4.2 Σχετική υγρασία και αναπνευστικά προβλήματα

Η υψηλή υγρασία είναι επίσης μια αιτία της αύξησης της δύσπνοιας και αυτό συμβαίνει διότι καθώς αυξάνεται η υγρασία αυξάνεται και η πυκνότητα του αέρα. Πυκνότερος αέρας δημιουργεί περισσότερη αντίσταση στη ροή του αέρα στους αεραγωγούς και συνεπώς αυξημένο έργο κατά την αναπνοή δημιουργώντας δύσπνοια. Επιπλέον, τα αερομεταφερόμενα αλλεργιογόνα αυξάνονται με την αύξηση της υγρασίας, όπως τα ακάρεα της σκόνης και η μούχλα.

Επιδημιολογική μελέτη στην περιοχή της Κόστα Ρίκα που αφορούσε παιδιά έδειξε ότι οι μηνιαίες εισαγωγές για το άσθμα παρουσιάζουν αξιοσημείωτες εποχιακές διακυμάνσεις με αιχμή το Μάρτιο και τον Αύγουστο. Το μέσο ποσοστό διακύμανσης των εισαγωγών σχετίζεται σημαντικά με τη σχετική υγρασία και με την ποσότητα της βροχόπτωσης (Chavarria, 2001). Το γεγονός ότι οι άνθρωποι ξοδεύουν περισσότερο χρόνο εντός των κτιρίων κατά τη διάρκεια των βροχερών ημερών, πιθανό να αυξάνει την ικανότητα των ιών και των βακτηρίων να μεταδίδονται από ένα ξενιστή σε άλλο. Επιπλέον, στους εσωτερικούς χώρους τα παιδιά εκτίθενται σε μια ποικιλία αιτιών που προκαλούν άσθμα, όπως ζώα, ακάρεα της σκόνης και χημικά προϊόντα. Το ποσοστό εισαγωγής, συμπεριλαμβανομένης της ιογενούς αιτιολογίας κατά τη διάρκεια του έτους, μπορεί να διαταραχτεί κατά τις σχολικές διακοπές, Μάρτιο και Αύγουστο ακριβώς μετά το τέλος των σχολικών διακοπών το Φεβρουάριο και τον Ιούλιο (Chavarria, 2001).

1.4.3 Βαρομετρική πίεση - υψόμετρο και αναπνευστικά προβλήματα

Καθώς η βαρομετρική πίεση πέφτει, λιγότερο οξυγόνο είναι ελεύθερο στον αέρα και μάλιστα μεταβολή της πίεσης κατά 30-40mmHg οδηγεί σε μεταβολή της μερικής πίεσης οξυγόνου που φτάνει τους θύλακες αέρα των πνευμόνων κατά 5-10mmHg με αποτέλεσμα τέτοια μεταβολή να μπορεί να αυξήσει τη δύσπνοια. Μερικοί ασθενείς νιώθουν ανακούφιση στη δυσκολία της αναπνοής, όταν ο αέρας κυκλοφορεί.

Η επίδραση της βαρομετρικής πίεσης στα καρδιολογικά και αναπνευστικά προβλήματα έχει διαπιστωθεί αφού συστήματα αυξημένης πίεσης μπορούν να προκαλέσουν αναστροφή θερμοκρασίας και ασθενείς ανέμους, οδηγώντας σε καταστάσεις ευστάθειας της ατμόσφαιρας και συσσώρευση ρύπων στα χαμηλά στρώματα και προκαλώντας αύξηση τόσο των καρδιοαγγειακών, όσο και των αναπνευστικών παθήσεων. Στη Ρώμη τα αποτελέσματα έρευνας έδειξαν ότι οι εισαγωγές στα νοσοκομεία σχετίζονται με την ατμοσφαιρική πίεση και το ποσοστό αερισμού της περιοχής (Palmieri et al., 2008).

1.4.4 Ταχύτητα ανέμου και αναπνευστικά προβλήματα

Η ταχύτητα ανέμου από τις μετεωρολογικές παραμέτρους και η ψυκτική ισχύς των βιομετεωρολογικών δεικτών θα μπορούσε να είναι οι πρόδρομοι επιδείνωσης της υγείας των παιδιών με άσθμα, δηλαδή αύξηση της τάξης κατά 1m/sec στη μέση μηνιαία ταχύτητα του ανέμου σχετίζεται με αύξηση κατά 20% του παιδικού άσθματος (Nastos et al., 2008a). Επίσης, υψηλότερη ταχύτητα του ανέμου παρατηρείται τις ημέρες με υψηλό αριθμό άσθματος από τον Απρίλιο μέχρι τον Ιούνιο ($P < 0.001$) και από το Σεπτέμβριο μέχρι τον Νοέμβριο ($P = 0.002$), αλλά όχι κατά τη διάρκεια άλλων περιόδων που εξετάστηκαν στην Οτάβα, στον Καναδά (Villeneuve et al., 2005).

Μια άλλη έρευνα στην Αλάσκα έδειξε ότι ο κρύος αέρας είναι ένας από τους κύριους λόγους, που προκαλούν άσθμα ή επιδεινώνει τις κρίσεις άσθματος, σε παιδιά ηλικίας 3-18 που εκτίθενται στον κρύο αέρα (Wind et al., 2004). Επίσης, στο Indramayu της Ινδονησίας, η πιο συχνή αιτία για λοιμώξεις του αναπνευστικού είναι η είσοδος του αέρα στο σώμα μέσω ενός είδους ρίγους, καθώς τα άτομα εκθέτονται στην αλλαγή των καιρικών συνθηκών (Kresno et al., 1994).

1.5 Τύποι καιρού και καρδιαγγειακά – αναπνευστικά προβλήματα

Στις προηγούμενες παραγράφους έχουν αναφερθεί οι σχέσεις μεταξύ των καιρικών συνθηκών και οι εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακών και αναπνευστικών παθήσεων με τη χρήση μίας μετεωρολογικής παραμέτρου κάθε φορά (θερμοκρασία ή σχετική υγρασία ή ατμοσφαιρική πίεση). Πολλοί ερευνητές προσπάθησαν να λάβουν υπόψη τις συνδυασμένες επιπτώσεις των διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων, μεταχειριζόμενοι τον καιρό ως διμεταβλητό φαινόμενο (συνήθως θερμοκρασία και σχετική υγρασία ή ταχύτητα ανέμου), χρησιμοποιώντας απλούς βιομετεωρολογικούς δείκτες.

Ειδικότερα στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας κατεγράφησαν καρδιακά επεισόδια (5458) από 5 νοσοκομεία και διαχωρίστηκαν οι ασθενείς σε τρεις ομάδες με βάση την ηλικία τους (νεότεροι των 35 ετών, μεταξύ 36 και 64 και τέλος μεγαλύτεροι των 65 ετών). Η ανάλυση των χρονοσειρών αποκάλυψε στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και της σχετικής υγρασίας με τις εισαγωγές στα νοσοκομεία για οξύ στεφανιαίο σύνδρομο και η σχέση ήταν εντονότερη στις γυναίκες και στους ηλικιωμένους. Παράλληλα, βρέθηκε γραμμική σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας και των εισαγωγών στα νοσοκομεία και μάλιστα μείωση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας κατά 1°C έχει ως συνέπεια την αύξηση των εισαγωγών κατά 5% (Panagiotakos et al., 2004). Ακόμα, στην περιοχή των Αθηνών μελετήθηκαν οι επιπτώσεις των διαφορετικών τύπων καιρού στο παιδικό άσθμα παιδιών ηλικίας από 0 έως 14 ετών. Συγκεκριμένα οι τύποι καιρού που χαρακτηρίζουν τη κρύα περίοδο του έτους (κρύες αντικυκλωνικές συνθήκες) σχετίζονται με τις αυξημένες εισαγωγές των παιδιών (Nastos et al., 2006).

Θα πρέπει όμως να τονιστεί ότι μια κλιματολογική προσέγγιση, που περιγράφεται ως τύποι καιρού εξηγεί πληρέστερα τη συσχέτιση με την υγεία, κατηγοριοποιώντας τα συνοπτικά γεγονότα σύμφωνα με τις πιέσεις και τα πεδία ανέμου ή διαφορετικά τις αέριες μάζες (βασισμένα σε μια ευρεία ποικιλία καιρικών συνθηκών εδάφους). Οι εισαγωγές στα νοσοκομεία για έμφραγμα του μυοκαρδίου στη Φλωρεντία σχετίζονται με συγκεκριμένα

μοντέλα καιρού, δηλαδή ο κίνδυνος νοσηλείας εμφανίζεται υψηλότερος 24 ώρες μετά από ημέρα που χαρακτηρίζεται από αντικυκλωνικές κινήσεις από την ηπειρωτική περιοχή, παρά μετά από 24 ώρες από ημέρα χαρακτηριζόμενη από μικτές αέριες μάζες (Morabito et al., 2006). Η παραμονή των αντικυκλωνικών αέριων μαζών, οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλές θερμοκρασίες αέρα και υψηλό ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος που προκαλείται με καθαρό ουρανό και με απουσία ή με πολύ ασθενή άνεμο, συνδέθηκε με σημαντική αύξηση της νοσηλείας (Morabito et al., 2006).

Στην περιοχή της Σαλαμάνκας της Ισπανίας αξιολογήθηκαν οι συσχετίσεις μεταξύ των ημερήσιων εισαγωγών στο νοσοκομείο για καρδιαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις κατά την διάρκεια των χειμώνων 1995-2005. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σημαντικές αυξήσεις στις εισαγωγές των νοσοκομείων για καρδιαγγειακά προβλήματα ήταν εμφανείς 24-48 ώρες ύστερα από και ημέρα που χαρακτηρίζεται από αντικυκλωνικές αέριες μάζες, 4-5 ημέρες μετά από μια ημέρα χαρακτηριζόμενη από δυτική αέρια μάζα και 6-7 ημέρες μετά από ανατολική ροή αέρα. Επιπρόσθετα, οι εισαγωγές στο νοσοκομείο για αναπνευστικά προβλήματα αυξάνουν μετά από 2-3 ημέρες με κυκλωνική κίνηση, 4 ημέρες μετά από βορειοανατολική ροή αέρα, ενώ δεν παρατηρήθηκε καμιά καθυστέρηση στις ημέρες με νοτιοδυτικές αέριες μάζες (de Pablo et al., 2009). Προκύπτει λοιπόν το συμπέρασμα ότι οι επιδράσεις των καιρικών συνθηκών στις εισαγωγές στα νοσοκομεία εμφανίζονται μερικές ημέρες μετά την έκθεση των ασθενών.

2 Ατμοσφαιρική Ρύπανση

2.1 Εισαγωγή

Η ατμόσφαιρα της Γης εξελίσσεται με την πάροδο του χρόνου. Έτσι οι φυσικοχημικές και οι βιολογικές επιδράσεις που διαμορφώνουν τη σύστασή της συνεχίζουν να δρουν, ενώ προστίθενται συνεχώς μεγάλες ποσότητες αερίων και σωματιδίων και από άλλες πηγές π.χ. τη δράση των ηφαιστειών και των θερμών πηγών. Έτσι, από τη βιομηχανική εποχή ο άνθρωπος έγινε και αυτός παράγοντας διαμόρφωσης της ατμόσφαιρας επιβαρύνοντάς την. Η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί καταγιστικό πρόβλημα της εποχής μας.

Από τις πρώτες δεκαετίες του 18^{ου} αιώνα, οι αυξημένες ενεργειακές ανάγκες οδήγησαν σε αύξηση της χρήσης απολιθωμένων καυσίμων υλών, αύξηση η οποία έφτασε σε τρομακτικούς ρυθμούς στον εικοστό αιώνα. Οι ρύποι που εκπέμπονται στην ατμόσφαιρα από τις ανθρώπινες δραστηριότητες έρχονται να προστεθούν σε αυτούς που εκπέμπονται από φυσικές πηγές δημιουργώντας τις προϋποθέσεις για αλλοίωση της σύστασής της. Μπορεί η βασική σύσταση της ατμόσφαιρας σε άζωτο και οξυγόνο (το 99% του ατμοσφαιρικού αέρα) να μην αλλάζει, η αύξηση όμως των συγκεντρώσεων αερίων με μικρή συμμετοχή στη σύσταση της ατμόσφαιρας κάνει την παραμονή στη Γη δυσκολότερη ή στην πιο αισιόδοξη εκδοχή λιγότερο ευχάριστη. Η ανθρώπινη υγεία και ευεξία, η ευστάθεια του κλίματος, το φυσικό και ανθρωπογενές περιβάλλον, όλα αποδεικνύονται πολύ ευαίσθητα σε αλλαγές αερίων των οποίων η συγκέντρωση στην ατμόσφαιρα δεν υπερβαίνει το 0.04%.

Ένας διαισθητικός ορισμός της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνει την αύξηση ή τη μείωση των ατμοσφαιρικών συστατικών από τις τιμές που θα είχαν χωρίς τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Δυστυχώς ο ορισμός αυτός είναι περιορισμένης χρησιμότητας σε ένα δυναμικό σύστημα το οποίο εξελίσσεται συνεχώς. Ένας περισσότερο χρήσιμος ορισμός είναι ο εξής: *Ατμοσφαιρική ρύπανση ονομάζεται η παρουσία στην ατμόσφαιρα ρύπων, δηλαδή κάθε είδους ουσιών, θορύβου ή ακτινοβολίας σε ποσότητα, συγκέντρωση ή διάρκεια τέτοια ώστε να είναι δυνατόν να προκληθούν αρνητικές συνέπειες στην ανθρώπινη υγεία, στους ζωντανούς οργανισμούς και στα οικοσυστήματα.*

Αξίζει εδώ να αναφέρουμε και τον «επίσημο» ορισμό της ρύπανσης, όπως καταγράφεται στην οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης 96/61 για τη διαχείριση της ποιότητας του αέρα: «ρύπος», κάθε ουσία η οποία διοχετεύεται αμέσως ή εμμέσως από τον άνθρωπο στον αέρα του περιβάλλοντος και ενδέχεται να έχει επιβλαβείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία ή/και στο περιβάλλον στο σύνολό του.

Ρύπος όμως μπορεί να είναι και ένα τοξικό αέριο με κάποια μακροχρόνια αποτελέσματα σε ένα οργανισμό που δεν είναι κατ' ανάγκη άμεσα αντιληπτά. Μπορεί ρύπος να είναι ακόμη ένα μη ορατό ραδιενεργό, το οποίο έχει καταστρεπτικά αποτελέσματα στην εξέλιξη της ζωής. Ρύποι επίσης θεωρούνται οποιοσδήποτε ενώσεις είναι δυνατόν να εισέλθουν στην ατμόσφαιρα, είτε εσκεμμένα, είτε διαμέσου κάποιας φυσικής διαδικασίας και να έχουν έστω και έμμεσα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα, μείωση του οξυγόνου της ατμόσφαιρας ή κάποια άλλη αλλαγή της σύστασης του αέρα. Ένας ατμοσφαιρικός ρύπος δεν είναι απαραίτητα ανθυγιεινός, με την έννοια ότι προκαλεί

άμεσα αποτελέσματα στους ζώντες οργανισμούς. Για παράδειγμα η αύξηση των συγκεντρώσεων των θερμοκηπικών αερίων στην ατμόσφαιρα όπως το CO₂, CH₄, N₂O CFC_s και O₃ μπορεί να προκαλέσει την ενίσχυση του ήδη υπάρχοντος φαινομένου του θερμοκηπίου γεγονός που μπορεί να συμβάλλει μακροπρόθεσμα στην αλλαγή του κλίματος του πλανήτη με σοβαρές επιδράσεις στους ζώντες οργανισμούς. Επίσης, τα CFCs και άλλοι αλογονούχοι υδρογονάνθρακες που καταφέρνουν να φθάσουν στο στρατοσφαιρικό στρώμα του όζοντος που προστατεύει τον πλανήτη μας από την επικίνδυνη για την ζωή υπεριώδη (UV) ακτινοβολία και να το καταστρέψουν, αφορούν επίσης το θέμα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Το πρόβλημα λοιπόν είναι ευρύ και αναπόφευκτα ενδιαφέρον. Είναι δε συνεχώς μεταβαλλόμενο και διευρυνόμενο καθόσον η γνώση μας για την έμμεση ή άμεση βλαβερή επίδραση διαφόρων ουσιών στους ζώντες οργανισμούς εμπλουτίζεται συνεχώς.

2.2 Σύντομη ιστορική αναδρομή

Η περιβαλλοντική ρύπανση δεν είναι φαινόμενο της εποχής μας. Ένας από τους λόγους που ανάγκαζαν τις πρώτες φυλές να ζουν ως νομάδες, ήταν η ανάγκη να απομακρύνονται περιοδικά από τη δυσσομία την οποία δημιουργούσαν τα απόβλητα των ζώων και των ανθρώπων. Η ανακάλυψη της φωτιάς δημιούργησε πρόσθετα προβλήματα ρυπαίνοντας τον αέρα, στις περιοχές που κατοικούσαν, με προϊόντα ατελούς καύσης.

Η ανακάλυψη της καμινάδας μετατόπισε το πρόβλημα προς την ευρύτερη περιοχή και είχε σαν αποτέλεσμα η ατμόσφαιρα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές να είναι καπνώδης. Χαρακτηριστική είναι η αναφορά του Ρωμαίου φιλόσοφου Σενέκα το 61 μ.Χ. στην κακή ποιότητα του αέρα στην Ρώμη. «*Μόλις έφυγα μακριά από τον πνιγερό αέρα της Ρώμης και από τη βρωμιά των καπνοδόχων που κάπνιζαν, διαχέοντας ολόγυρα θανατηφόρα αέρια και αιθάλη, ένοιωσα να αλλάζει η διάθεσή μου*», Σενέκας, 61 μ.Χ.

Πρόσφατες αναλύσεις από πυρήνες γεωτρήσεων στους παγετώνες της Γροιλανδίας αποκάλυψαν ότι δείγματα πάγου της Ελληνιστικής και Ρωμαϊκής Περιόδου, από το 500 π.Χ. έως το 300 μ.Χ. περιείχαν μόλυβδο σε περιεκτικότητα 4 φορές μεγαλύτερη αφότου οι πολιτισμοί αυτοί άρχισαν να λιώνουν τα μέταλλα και να απελευθερώνουν μόλυβδο στην ατμόσφαιρα. Η ρύπανση με μόλυβδο παρατηρήθηκε επίσης σε δείγματα πάγου από τη Μεσαιωνική και Αναγεννησιακή Περίοδο. Επίσης, από τις μετρήσεις των πάγων της Γροιλανδίας, βρέθηκαν μεγάλες συγκεντρώσεις του χαλκού στην ατμόσφαιρα κατά την περίοδο που στην εξουσία ήταν η δυναστεία Song, 960-1270, λόγω της τήξης χαλκού για την παραγωγή νομισμάτων από τους Ρωμαίους και από τους Κινέζους.

Το 1157, η σύζυγος του βασιλιά Ερρίκου του 2^{ου} της Αγγλίας, Ελεονόρα, μετακόμισε από το Tutbury Castle του Nottingham, γιατί θεώρησε ανυπόφορη τη ρύπανση του αέρα εξ αιτίας της καύσης των ξύλων (Ζάνης, 2008). Άλλες αναφορές από τον Μεσαίωνα περιγράφουν τα προβλήματα καπνού που δημιουργούσε η καύση του κάρβουνου, με αποτέλεσμα, ο Βασιλιάς Εδουάρδος ο 1^{ος} να απαγορεύσει το 1307 την χρήση του κάρβουνου στις ασβεστοκάμινους του Λονδίνου (Encyclopedia, 2006). Αυτό το διάταγμα του 1307 ήταν το πρώτο διοικητικό μέτρο για τον περιορισμό της ρύπανσης. Μαρτυρίες αναφέρουν ότι ένα άτομο τιμωρήθηκε με απαγχονισμό για παράβαση του νόμου. Οι κυριότερες δραστηριότητες που συνδέονταν με την ατμοσφαιρική ρύπανση τους αιώνες που προηγήθηκαν της βιομηχανικής επανάστασης, ήταν η μεταλλουργία, η κεραμοποιεία και η διατήρηση κτηνοτροφικών προϊόντων. Προγενέστερα, την εποχή του χαλκού και του

σιδήρου, τα χωριά ήταν εκτεθειμένα σε σκόνη και καπνό από πολλές πηγές. Η εξόρυξη χαλκού και χρυσού και το ψήσιμο πυλού για παρασκευή οικιακών σκευών και τούβλων χρονολογείται πριν το 4000 π.Χ. Αργότερα, περίπου το 1000 π.Χ., μπήκε στη ζωή του ανθρώπου ο σίδηρος και το επεξεργασμένο δέρμα.

Η Βιομηχανική Επανάσταση ήλθε ως επακόλουθο της χρήσης του ατμού στην παραγωγή ενέργειας και την κίνηση μηχανών. Αυτό ξεκίνησε στα πρώτα χρόνια του 18^{ου} αιώνα, όταν ο Savery, ο Papin και ο Newcomen σχεδίασαν αντλίες οι οποίες το 1784 τελειοποιήθηκαν στην παλινδρομική ατμομηχανή του Watt. Η παλινδρομική ατμομηχανή κυριάρχησε μέχρι που αντικαταστάθηκε από τις τουρμπίνες ατμού του 20^{ου} αιώνα. Οι ατμομηχανές και οι τουρμπίνες απαιτούν βραστήρες ή καυστήρες, οι οποίοι τροφοδοτούνται με ορυκτά, κυρίως καύσιμα. Καθώς οι πόλεις και τα εργοστάσια αναπτύχθηκαν σε μέγεθος, αυξήθηκε και η σοβαρότητα του προβλήματος της ρύπανσης. Χαρακτηριστικά πρέπει να αναφερθεί ότι από το 1800 έως το 1900 η κατανάλωση κάρβουνου αυξήθηκε κατά δύο τάξεις μεγέθους στα πλαίσια της επέκτασης της βιομηχανικής επανάστασης σε χώρες όπως ΗΠΑ, Βέλγιο, Γερμανία, Ρωσία, Ιαπωνία, Ινδία, Νότια Αφρική και Αυστραλία.



Σχήμα 2-1 Χυτήριο στην βιομηχανική περιοχή Saar της Γερμανίας (χαρακτική, 1876)

Μια από τις βασικές τεχνολογικές αλλαγές που άμεσα επηρέασαν το ρυθμό και το βαθμό ρύπανσης ήταν η αντικατάσταση της ατμομηχανής από τον ηλεκτρικό κινητήρα. Αυτή η αλλαγή «μετέφερε» τις εκπομπές καπνού και ιπτάμενης τέφρας από τον καυστήρα καθενός ενός εργοστασίου και των δρόμων της πόλης στο χώρο του σταθμού παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας (συνήθως απομονωμένο από κατοικημένες περιοχές).

Το αποτέλεσμα ήταν η εμφάνιση πολύ μεγάλων περιβαλλοντικών προβλημάτων από τον καπνό και τη στάχτη. Το πρώτο σοβαρό επεισόδιο ατμοσφαιρικής ρύπανσης συνέβη το 1875 στο Λονδίνο, όπου σημειώθηκαν αρκετοί θάνατοι ανθρώπων και ζώων. Σε χώρες όπως το Ηνωμένο Βασίλειο και οι ΗΠΑ, αναλαμβάνεται δράση για τον περιορισμό της αέριας ρύπανσης και αναπτύσσονται αντιρρυπαντικές τεχνολογίες.



Σχήμα 2-2 London Going Out of Town or the March of Bricks and Mortar (Cruikshank, 1829)



Σχήμα 2-3 Ο Claude Monet πραγματοποίησε διάφορα ταξίδια στο Λονδίνο από το 1899 έως το 1901, κατά την διάρκεια των οποίων ζωγράφησε τον Τάμεση και το κοινοβούλιο. Ο ακόλουθος ζωγραφικός πίνακας του Monet δείχνει τις ακτίνες του ήλιου να προσπαθούν να διαπεράσουν την καπνο-ομιχλώδη ατμόσφαιρα του Λονδίνου. “The Sun Shining through the Fog, 1904”

Η αιθαλομίχλη, το 1909, στη Γλασκώβη και το Εδιμβούργο θεωρήθηκε η κύρια αιτία για 1000 περίπου θανάτους ανθρώπων. Τα τότε δεδομένα σωματιδίων που αφορούσαν ελαιώδεις αποθέσεις και αιθάλη ήταν 820 tons/mi^2 (Thorsheim, 2006). Το 1930, πάλι σε επεισόδιο αιθαλομίχλης, στη βιομηχανική περιοχή της κοιλάδας του Meuse στο Βέλγιο αρρώστησαν χιλιάδες άτομα, από τα οποία 63 πέθαναν τις επόμενες ημέρες.



Σχήμα 2-4 Γκραβούρα εποχής: Αιθαλομίχλη στη Γλασκώβη το 1909 (Coutes, 1909)



Σχήμα 2-5 Φωτογραφία εποχής: Άντρας ανάβει τσιγάρο κατά τη διάρκεια της ημέρας στο St. Louis το 1939, που χαρακτηρίστηκε ως «Black Tuesday» (<http://imgur.com/a/4CMgv>)

Το 1948 στην πόλη Donora της πολιτείας της Πενσυλβάνιας, των Ηνωμένων Πολιτειών κατά τη διάρκεια ενός τετραήμερου επεισοδίου ρύπανσης σημειώθηκαν 20 θάνατοι και 6000 άτομα ασθένησαν, γεγονός το οποίο συνδέθηκε με την αέρια ρύπανση. Για να εκτιμηθεί σωστά το μέγεθος του προβλήματος θα πρέπει να λάβουμε υπόψη ότι ο πληθυσμός της πόλης ήταν μόνο 14000 κάτοικοι. Η αιθάλη ήταν μια παχιά, κίτρινη μάζα από τοξικούς μολυντές συμπεριλαμβανομένων NO_2 , SO_2 και PO_3 . Μέσα σε αυτή την κατάσταση πρέπει να προστεθεί ότι οι κάτοικοι της Donora ήταν αδύνατο να δουν αντικείμενα λίγα μέτρα μακριά τους. Το γεγονός αυτό οδήγησε στη θέσπιση μέτρων από την κυβέρνηση των ΗΠΑ και το 1949 η πολιτεία της Πενσυλβάνιας θέσπισε το διάταγμα περί της διανομής και τον έλεγχο της αέριας ρύπανσης, με αποτέλεσμα 6 χρόνια αργότερα

το Πίτσμπουργκ να μειώσει εμφανώς τις εκπομπές έως 97%. Ενώ λίγο αργότερα, το 1950, στη Roza Rica (Μεξικό) εμφανίστηκε και άλλο σημαντικό επεισόδιο αέριας ρύπανσης.



Σχήμα 2-6 Φωτογραφίες εποχής: η πόλη της Donora's κατά το μεσημέρι της 29^{ης} Οκτωβρίου, 1948 (αριστερά) και εργάτης στην βιομηχανική περιοχή της Donora's το 1948 (δεξιά)(Brevard, 2012)

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι σύμφωνα με τον Ruth Podems (EPA) μετά το περιστατικό της Donora ήταν η πρώτη φορά που οι δημόσιοι λειτουργοί αναγνώρισαν την άμεση σύνδεση μεταξύ της αέριας ρύπανσης και δημόσιας υγείας και η πρώτη φορά που κινητοποιήθηκαν για να το αντιμετωπίσουν.

Το μεγαλύτερο, όμως επεισόδιο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης της σύγχρονης εποχής ήταν αυτό στο Λονδίνο το Δεκέμβριο του 1952. Προκλήθηκε από την εντατική χρήση του κάρβουνου ως καύσιμης ύλης. Χαρακτηρίστηκε ως «Great Smog of London». Ο όρος smog προκύπτει από το SMOKE και το Fog για να δηλώσει την πυκνή ομίχλη από καπνό που προκάλεσε 4015 επιπλέον των αναμενόμενων θανάτων (σύγκριση των ρυθμών θανάτου πριν και μετά το επεισόδιο) σε 4 μόλις ημέρες, όπου η ορατότητα ήταν αδύνατη ακόμα και για τους πεζοδούς που κρατούσαν φανάρια και αμέτρητοι άλλοι υπέφεραν από αναπνευστικά προβλήματα (BBC News, the great smog of London, 2002).





Σχήμα 2-7 Φωτογραφίες εποχής: Great smog of London 1952 (πηγή:BBC)

Τα βασικά συστατικά της βιομηχανικής αιθαλομίχλης είναι τα οξείδια του θείου και τα αιωρούμενα σωματίδια. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι τοποθεσίες τις οποίες οι άνθρωποι επέλεξαν να χτίσουν τις περισσότερες πόλεις χαρακτηρίζονται από κακό αερισμό, πράγμα το οποίο ευνοεί το σχηματισμό αιθαλομίχλης. Μέχρι τη δεκαετία του 1960 το Λονδίνο φημιζόταν για την πυκνή ομίχλη του που σε πολλές περιπτώσεις περιόριζε την ορατότητα σε λίγα μέτρα. Λόγω της κακής κυκλοφορίας του αέρα, η επίμονη ομίχλη πολλές φορές διαρκούσε μερικές ημέρες.

Λόγω του κρύου και των έντονων χιονοπτώσεων, οι Λονδρέζοι έκαιγαν μεγάλες ποσότητες ξύλων και τεράστιες ποσότητες καπνού εκλύονταν στην ατμόσφαιρα. Υπό κανονικές συνθήκες, αυτό δεν θα μπορούσε να δημιουργήσει τεράστιο πρόβλημα, καθώς ο καπνός θα διασκορπιζόταν στην ατμόσφαιρα. Ωστόσο, οι μετεωρολογικές συνθήκες των ημερών του Δεκεμβρίου του 1952 (αντικυκλώνας) οδήγησαν αέριες μάζες προς το έδαφος. Δεδομένου ότι ο αέρας εγγύτερα στο έδαφος είναι θερμότερος από εκείνον στα υψηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας, δημιουργείται η λεγόμενη αναστροφή θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα η τελευταία να οδηγήσει στην παγίδευση του καπνού που έβγαινε από τις καμινάδες, κοντά στο έδαφος. Εκτός από τον καπνό από τα σπίτια, το φαινόμενο της θερμικής αναστροφής είχε ως αποτέλεσμα να παγιδευτούν μικρο-σωματίδια και άλλοι ρύποι από βιομηχανίες, τόσο κοντά στο Λονδίνο όσο και στις γύρω περιοχές. Σε συνδυασμό με άλλες μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως η ηλιοφάνεια και οι υγροί άνεμοι, δημιουργήθηκε ένα στρώμα αιθαλομίχλης ύψους 100-200 μέτρων, ενώ απελευθερώθηκαν τόνοι σωματιδίων, διοξειδίου του άνθρακα, υδροχλωρικού οξέως και φθοριούχων συστατικών, εκτιμάται δε ότι 370 τόνοι διοξειδίου του θείου μετατράπηκαν σε 800 τόνους θειικού οξέως. Το γεγονός αυτό οδήγησε τη Βρετανική κυβέρνηση στην απαγόρευση λειτουργίας τζακιών μέσα στην πόλη. Θεσπίστηκε μία σειρά νόμων «Clean Air Act» για την προστασία του περιβάλλοντος που απαγόρευσε στους κατοίκους αστικών περιοχών να καίνε ξύλα στα τζάκια των σπιτιών τους. Παρόλα αυτά ένα ακόμα σοβαρό επεισόδιο καπνομίχλης συνέβη το Δεκέμβριο του 1962 στο Λονδίνο με 700 νεκρούς. Από τα αρχεία της εποχής της εφημερίδας «The Quardian» αναφέρεται ότι η πολιτική της κυβέρνησης για

την καθαρότητα του αέρα περιορίζει το ρυθμό θανάτου από την αιθάλη. Συγκεκριμένα οι εκπομπές περιορίστηκαν από 141000 τόνους σε 89000 τόνους από το 1952 έως το 1960, δηλαδή υπήρξε μείωση κατά 37%. Η έκθεση εκτιμά ότι οι μετεωρολογικές συνθήκες εμπόδισαν την εξάπλωση της ρύπανσης στην ατμόσφαιρα σε περίπου ίδιο βαθμό όπως με τον Δεκέμβριο του 1952. Επίσης οι επιστήμονες βρήκαν ότι η συγκέντρωση του SO₂ έφτασε σε υψηλά επίπεδα όπως ακριβώς την προηγούμενη δεκαετία. Τέλος, πρέπει να αναφερθεί ότι υπήρχε σημαντική μείωση του αριθμού των θανάτων στο επεισόδιο του 1962 σε σύγκριση με το επεισόδιο του 1952, αλλά οι εισαγωγές στα νοσοκομεία και οι ασθενείς σημείωσαν σημαντική αύξηση.



Σχήμα 2-8 Φωτογραφία εποχής: Αστυνομικός χρησιμοποιεί φωτιά στην περιοχή Marble Arch για να κατευθύνει την κίνηση στην αιθάλη του Λονδίνου το 1962. (Εφημερίδα: Trinity Mirror)

Αντίθετα, η ατμοσφαιρική ρύπανση σε πολλές σύγχρονες πόλεις προκαλείται από εκπομπές μονοξειδίου του άνθρακα, οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων τα οποία με την παρουσία του ηλιακού φωτός αντιδρούν μεταξύ τους σχηματίζοντας την φωτοχημική αιθαλομίχλη. Αν και υπάρχει συμβολή από στάσιμες πηγές, η φωτοχημική αιθαλομίχλη συνδέεται κυρίως με εκπομπές από τροχοφόρα. Η φωτοχημική αιθαλομίχλη δεν σχετίζεται με την ατμοσφαιρική υγρασία (όπως το νέφος της αιθαλομίχλης) και αντίθετα εμφανίζεται στις μεγαλουπόλεις σε περιόδους με αίθριο καιρό. Γνωστότερο παράδειγμα είναι η φωτοχημική αιθαλομίχλη του Los Angeles στις αρχές του 1940 όπου υπήρχαν ιδανικές προϋποθέσεις (εκατομμύρια αυτοκίνητα, αίθριος καιρός και μεγάλη ηλιοφάνεια). Η φωτοχημική αιθαλομίχλη προκάλεσε κνησμό στα μάτια και αίσθηση ξυσίματος στο λαιμό.

Πίνακας 2-1 Σοβαρά επεισόδια ατμοσφαιρικής ρύπανσης με σημαντικές επιδράσεις στην ανθρώπινη υγεία (Γεντεκάκης, 1999).

ΧΡΟΝΟΛΟΓΙΑ	ΤΟΠΟΘΕΣΙΑ	ΘΑΝΑΤΟΙ	ΑΣΘΕΝΗΣΑΝΤΕΣ
Δεκέμβριος 1930	Meuse Valley, Belgium	63	6000
28 Νοεμβρίου 1939	St.Louis	-	-
26 Ιουλίου 1943	Los Angeles	-	1500
Οκτώβριος, 1948	Donora, Pennsylvania	20	7000
26-30 Νοεμβ. 1948	Λονδίνο	700-800	-
21 Νοεμβρίου 1950	Poza Rica (Μεξικό)	22	320
5-9 Δεκεμβ. 1952	Λονδίνο	4000	-
Νοέμβριος, 1953	Νέα Υόρκη	-	170-260
3-6 Ιαν. 1956	Λονδίνο	1000	-
5-10 Δεκ. 1957	Λονδίνο	700-800	-

26-31 Ιαν. 1959	Λονδίνο	200-250	-
5-10 Δεκ. 1962	Λονδίνο	750	-
7-22 Ιαν. 1963	Λονδίνο	700	-
9 Ιαν.-12 Φεβ. 1963	Νέα Υόρκη, πολιτεία	405	-
23-25 Νοεμβ. 1966	Νέα Υόρκη, πολιτεία	80	-
24-30 Νοεμβ. 1966	Νέα Υόρκη, πόλη	169	-

Κατά τη διάρκεια της περιόδου 1950-1980 όλες σχεδόν οι Ευρωπαϊκές χώρες καθώς και η Ιαπωνία, η Νέα Ζηλανδία και η Αυστραλία είχαν την εμπειρία σοβαρών προβλημάτων αέριας ρύπανσης στις μεγάλες πόλεις με αποτέλεσμα αυτές οι χώρες να δράσουν για τη δημιουργία εθνικής νομοθεσίας ελέγχου της αέριας ρύπανσης. Επίσης, κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου τα αυτοκίνητα συνεχίζουν να αυξάνονται με μεγάλους ρυθμούς.

Στην περίοδο 1950-1980 η επιστημονική και η τεχνολογική έρευνα στην Ευρώπη και την Αμερική αυξάνονται εκθετικά. Το τεχνολογικό ενδιαφέρον επικεντρώνεται στην α) αέρια ρύπανση από τα αυτοκίνητα και τον έλεγχό της, β) τη ρύπανση του SO₂ και τον έλεγχο της με την αποθείωση των καυσίμων και γ) στον έλεγχο των NO_x που παράγονται από διαδικασίες καύσης. Στην επιστημονική έρευνα αναπτύσσονται μαθηματικά μοντέλα και όργανα μέτρησης διαφόρων χημικών στοιχείων ενώ αρχίζουν να εγκαθίστανται οι πρώτες μονάδες παρακολούθησης και μέτρησης της ποιότητας του αέρα.

Μετά το 1980 γίνεται κατανοητό ότι το πρόβλημα της αέριας ρύπανσης δεν είναι τοπικό αλλά επιδρά σε πολύ μεγαλύτερη κλίμακα από την περιοχική κλίμακα έως την ημισφαιρική και παγκόσμια κλίμακα. Εντείνεται το ενδιαφέρον για α) το φαινόμενο του θερμοκηπίου λόγω CO₂ και άλλων θερμοκηπικών αερίων με μεγάλο χρόνο ζωής, β) την καταστροφή όζοντος στη στρατόσφαιρα λόγω αλογονούχων ενώσεων και γ) την περιοχική, διακρατική και διηπειρωτική μεταφορά αερίων ρύπων (όξινη βροχή, αύξηση του υποβάθρου τροποσφαιρικού όζοντος σε ημισφαιρική κλίμακα). Αυτή την περίοδο έχουμε την εμφάνιση της οικολογικής και περιβαλλοντικής προσέγγισης από Οργανισμούς και Κυβερνήσεις κρατών ενώ για πρώτη φορά υπογράφονται παγκόσμιες συμφωνίες κρατών όπως το Πρωτόκολλο του Μόντρεαλ για την αντιμετώπιση της καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος και το Πρωτόκολλο του Κιότο για την αντιμετώπιση της ενίσχυσης του φαινομένου του θερμοκηπίου (Ζάνης, 2008).



Σχήμα 2-9 Φωτοχημική αιθαλομίχλη στο σύγχρονο Las Vegas και στο Los Angeles αντίστοιχα

Στις 20 Οκτωβρίου 2013 παρατηρήθηκε έντονο το φαινόμενο της αιθαλομίχλης στην πόλη Harbin στη βόρεια Κίνα και οι επιπτώσεις του φαινομένου είχαν εξαπλωθεί στη γύρω περιοχές Heilongjiang, Jilin και Liaoning. Με την έλλειψη ανέμου από την ΒΑ Κίνα σε συνδυασμό με τη λειτουργία των συστημάτων θέρμανσης που τροφοδοτούνται με άνθρακα

δημιούργησε έντονο το φαινόμενο της αιθαλομίχλης. Αεροδρόμια, παιδικοί σταθμοί, δημοτικά και γυμνάσια ήταν κλειστά για τρεις μέρες όπως και οι εθνικοί οδοί στο Heilongjiang. Τα ημερήσια επίπεδα σωματιδίων ήταν 40 φορές υψηλότερα από τα επίπεδα που συστήνει η Παγκόσμια Οργάνωση Υγείας, με συνέπεια να παρατηρηθεί αύξηση κατά 27% στη νοσηλεία ανθρώπων με αναπνευστικά προβλήματα (<http://smogimpacts.weebly.com/2013-harbin-smog.html>)



Σχήμα 2-10 Άνθρωποι ποδηλατούν κατά μήκος ενός δρόμου στο Daqing, στην περιοχή Heilongjiang στις 21 Οκτωβρίου 2013



Σχήμα 2-11 Φωτογραφία του Πεκίνου χωρίς επεισόδιο ρύπανσης (αριστερά) και με το φαινόμενο της αιθαλομίχλης το Αύγουστο 2005 στις 7:00-8:00πμ (δεξιά) (Bobak Ha' Eri)

2.3 Πηγές ατμοσφαιρικών ρύπων

Το μεγαλύτερο ποσοστό των παραγόμενων αέριων ρύπων προέρχεται από καθαρά φυσικές πηγές. Με τον όρο φυσικές πηγές αναφερόμαστε στις πηγές εκπομπών αέριων ρύπων που δεν οφείλονται στην ανθρώπινη δραστηριότητα. Παρ' όλα αυτά οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα μεγάλα περιβαλλοντικά προβλήματα που εμφανίστηκαν. Αυτό οφείλεται βεβαίως στην ανατροπή της φυσικής ισορροπίας αλλά επίσης και στην μεγάλη πυκνότητα των εκπομπών από ανθρωπογενείς εκπομπές οι οποίες συγκεντρώνονται σε μικρές γεωγραφικές περιοχές (κυρίως αστικές περιοχές και βιομηχανικές ζώνες). Αντίθετα, η καλή διασπορά των φυσικών πηγών ανά την υφήλιο προσφέρει τη δυνατότητα καλύτερης ανάμιξης των ρύπων με τον καθαρό αέρα. Κατά συνέπεια, με κάποιες μικρές εξαιρέσεις, οι εκπομπές αέριων ρύπων από φυσικές πηγές από μόνες τους δεν οδηγούν σε υψηλές συγκεντρώσεις.

Οι σημαντικότερες φυσικές πηγές είναι:

- i. Τα ηφαίστεια (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του θείου, υδρόθειο και μεθάνιο).

- ii. Οι πυρκαγιές δασών (κυρίως αιωρούμενα σωματίδια, μονοξείδιο και διοξείδιο του άνθρακα).
- iii. Οι ωκεανοί και γενικότερα οι θαλάσσιες εκτάσεις (κυρίως χλωριούχο νάτριο και θειικά άλατα).
- iv. Βιολογική αποσύνθεση των φυτών και των ζώων (κυρίως υδρογονάνθρακες, αμμωνία και υδρόθειο).
- v. Η αποσάθρωση του εδάφους (αιωρούμενα σωματίδια).
- vi. Τα φυτά και τα δέντρα (κυρίως υδρογονάνθρακες).

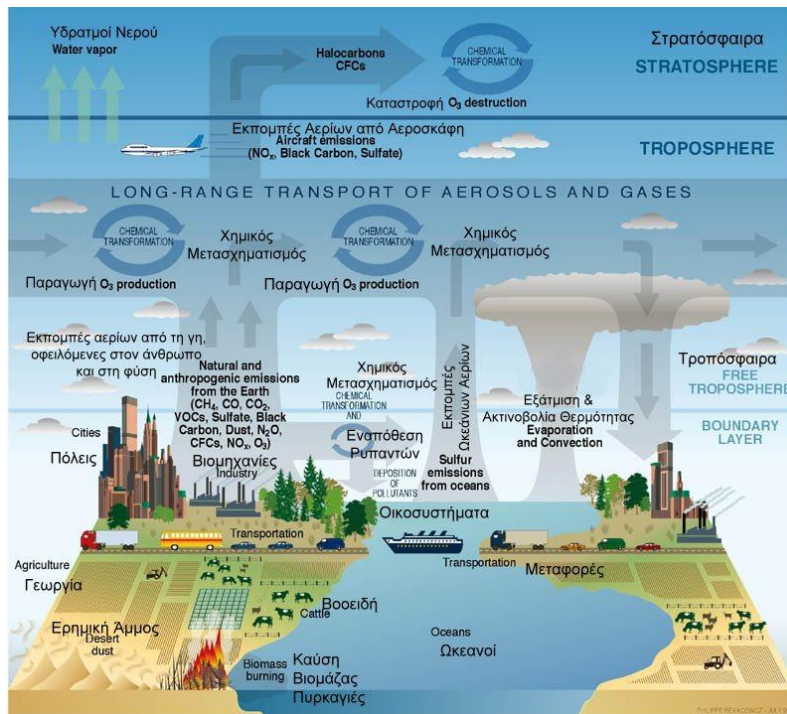
Ως κύριες ανθρωπογενούς δραστηριότητας πηγές ατμοσφαιρικής ρύπανσης μπορούν να θεωρηθούν:

- i. Τα μέσα μεταφοράς,
- ii. Η οικιακή θέρμανση,
- iii. Οι διεργασίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας,
- iv. Οι ανεπιθύμητες καύσεις και
- v. Οι βιομηχανικές καύσεις καυσίμων και γενικότερα οι λοιπές βιομηχανικές εκπομπές

Οι αέριοι ρύποι με κριτήριο την προέλευσή τους μπορούν να χαρακτηριστούν ως πρωτογενείς και δευτερογενείς. Οι πρώτοι εκπέμπονται απευθείας από την πηγή, ενώ οι δευτέροι που σχηματίζονται στην ατμόσφαιρα με χημικές αντιδράσεις από τους πρώτους.

Συνακόλουθα ως πρωτογενείς χαρακτηρίζονται το διοξείδιο του θείου, το υδρόθειο, οι υδρογονάνθρακες, τα οξείδια του αζώτου, το μονοξείδιο του άνθρακα, ο μόλυβδος, ο αμίαντος, τα αιωρούμενα σωματίδια και ο καπνός. Δευτερογενείς ρύποι, που σχηματίζονται από πολύπλοκες αντιδράσεις μεταξύ των οξειδίων του αζώτου, οξυγόνου και υδρογονανθράκων με την επίδραση του ηλιακού φωτός είναι το όζον, το διοξείδιο του αζώτου, οι διάφορες αλδεΐδες και κετόνες, τα πολύπλοκα προϊόντα γνωστά ως PAN (νιτρικά υπεροξυακετύλια) καθώς και τα προϊόντα οξειδώσεως των πρωτογενών που περιέχουν θείο (τριοξείδιο του θείου, θειικό οξύ και θειικά άλατα) (Καματάκη, 2009).

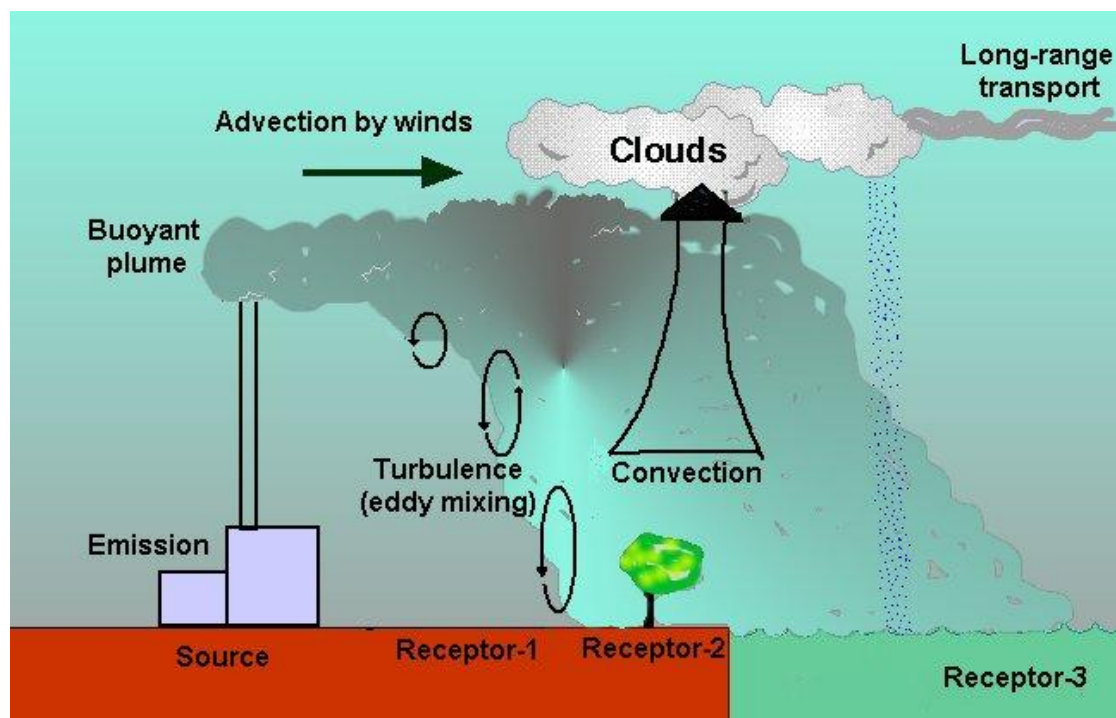
Είναι δύσκολό να καθοριστεί το ποσοστό ευθύνης που αναλογεί σε κάθε μια από αυτές τις πηγές. Μια αδρομερής κατανομή θα χρέωνε τη συνεισφορά όλων των τύπων μηχανών εσωτερικής καύσης για την κίνηση των αυτοκινήτων στο 60% της συνολικής ετήσιας εκπομπής. Οι μονάδες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας συνεισφέρουν κατά 10-15%, η οικιακή θέρμανση περίπου 10%, οι βιομηχανικές καύσεις και βιομηχανικές εκπομπές περίπου 20% και οι ανεπιθύμητες καύσεις περίπου 5%. Εφόσον η κοινωνία είναι εξελιγμένη, αυτά τα προσεγγιστικά ποσοστά δεν είναι σταθερά. Όσο κατασκευάζονται και διατίθενται περισσότερα αυτοκίνητα τόσο η συνεισφορά της αυτοκίνησης στην ατμοσφαιρική ρύπανση θα αυξάνεται.



Σχήμα 2-12 Οι διαφορετικές πηγές ρύπανσης της ατμόσφαιρας (<http://www.cawcr.gov.au>)

2.4 Ο κύκλος των ρύπων στην ατμόσφαιρα

Ο κύκλος των ρύπων περιλαμβάνει τη μεταφορά και διασπορά των ρύπων καθώς και οποιαδήποτε φυσικό ή χημικό μετασχηματισμό τους μεταξύ της πηγής και του αποδέκτη. Μεταφορά είναι ο μηχανισμός με τον οποίο μεταφέρεται η ρύπανση από μία πηγή σε ένα αποδέκτη. Ο άνεμος είναι το κύριο μέσο με το οποίο οι ρύποι μεταφέρονται. Στην απλούστερη περίπτωση ως μία σημειακή πηγή μπορούμε να θεωρήσουμε μία καμινάδα κάποιας βιομηχανικής μονάδας που ρυπαίνει την ατμόσφαιρα. Όμως, κατά την διάρκεια της μεταφοράς ο ρυπασμένος θύσανος που εκπέμπεται από την καμινάδα δεν παραμένει κυλινδρικού σχήματος της ίδιας διαμέτρου με την καμινάδα αλλά λόγω τύρβης και στροβίλων αναμειγνύεται στο χώρο με τον περιβάλλοντα αέρα και ο μηχανισμός αυτός χαρακτηρίζεται ως ατμοσφαιρική διάχυση. Η διάχυση έχει ως αποτέλεσμα ο ρυπασμένος θύσανος που εκπέμπεται από την καμινάδα να εξαπλώνεται καθώς μεταφέρεται με τον άνεμο. Αυτές οι δύο διαδικασίες, η ανάμειξη λόγω τύρβης και η εξάπλωση του ρυπασμένου θυσάνου τείνουν να μειώσουν την αρχική πυκνότητα του καθώς απομακρύνεται από την πηγή και πλησιάζει τον αποδέκτη. Το σύνολο αυτών των διαδικασιών το αποκαλούμε διασπορά (Σχήμα 2-13). Με τον όρο μετασχηματισμό ορίζεται η παραγωγή (ή καταστροφή) ενός δεδομένου στοιχείου διαμέσου φυσικών (π.χ. ξηρή και υγρή εναπόθεση) και χημικών (π.χ. χημικές αντιδράσεις) διαδικασιών (Σχήμα 2-14).

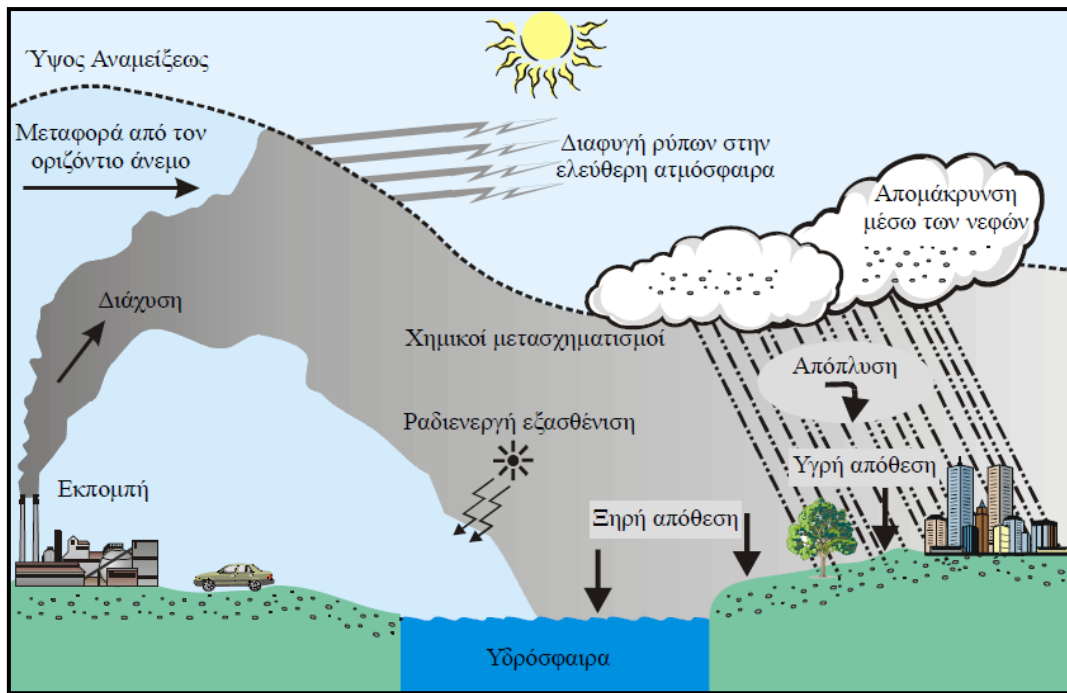


Σχήμα 2-13 Σχηματική απεικόνιση των μηχανισμών ατμοσφαιρικής διασποράς (<http://lap.physics.auth.gr>)

Γίνεται επομένως κατανοητό ότι ο κύκλος των ρύπων στην ατμόσφαιρα είναι μία ιδιαίτερα σύνθετη διαδικασία που εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες που δρουν σε διαφορετικές κλίμακες χώρου και χρόνου όπως:

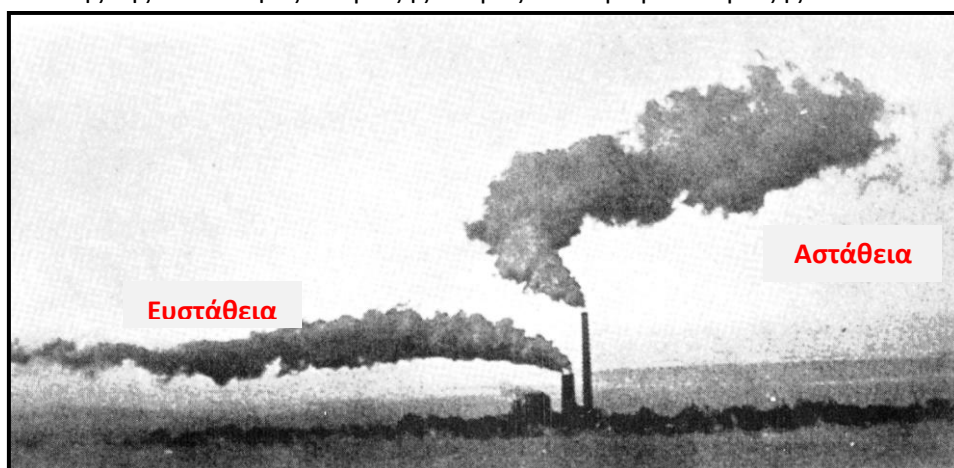
- α) τα μέσης και τοπικής κλίμακας συστήματα κυκλοφορίας που συνδέονται με τα συγκεκριμένα τοπογραφικά χαρακτηριστικά ενός τόπου (π.χ. θαλάσσια αύρα, αύρα κοιλάδας, κατακόρυφη μεταφορά λόγω θέρμανσης στους πρόποδες ορεινών όγκων),
- β) τη συνοπτική μετεωρολογική κατάσταση στην ατμόσφαιρα (π.χ. κυκλωνική ή αντικυκλωνική κατάσταση, μέτωπα, ταχύτητα του συνοπτικού ανέμου),
- γ) τη γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας για την κατανόηση της μεταφοράς ρύπων σε παγκόσμια κλίμακα,
- δ) το βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας και τη σχετιζόμενη ένταση των στροβίλων που καθορίζουν την διάχυση των ρύπων στην ατμόσφαιρα,
- ε) το χρόνο ζωής των ρύπων που εξαρτάται από το ρυθμό των φυσικών και χημικών μετασχηματισμών τους ή καταστροφής τους και
- στ) την χωρική κατανομή και ένταση των πηγών ρύπανσης.

Ο ρύπος μεταφέρεται μακριά από την πηγή από τον μέσο οριζόντιο άνεμο. Η οριζόντια μεταφορά αποτελεί τον πλέον σημαντικό μηχανισμό απομάκρυνσης και αραιώσης των ρύπων. Σε περιπτώσεις κατά τις οποίες η ταχύτητα του ανέμου είναι πολύ χαμηλή (άπνοια) οι συνθήκες διασποράς οδηγούν σε αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης επεισοδίου ρύπανσης σε περιοχές με μεγάλη πυκνότητα εκπομπών. Τέτοιες συνθήκες εμφανίζονται συνήθως κοντά στο κέντρο αντικυκλωνικών συστημάτων. Επίσης, σε περιπτώσεις που ο θύσανος ρύπανσης βρεθεί πάνω από το ύψος που συντελούνται ισχυρές στροβιλώδεις κινήσεις (π.χ. στην ελεύθερη τροπόσφαιρα πάνω από το οριακό στρώμα ανάμειξης) τότε ο ρυπασμένος αέρας μπορεί να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις αρκετών εκατοντάδων χιλιομέτρων.



Σχήμα 2-14 Σχηματική περιγραφή των ατμοσφαιρικών διεργασιών που επηρεάζουν τη διασπορά των ρύπων (Μελάς, 1997)

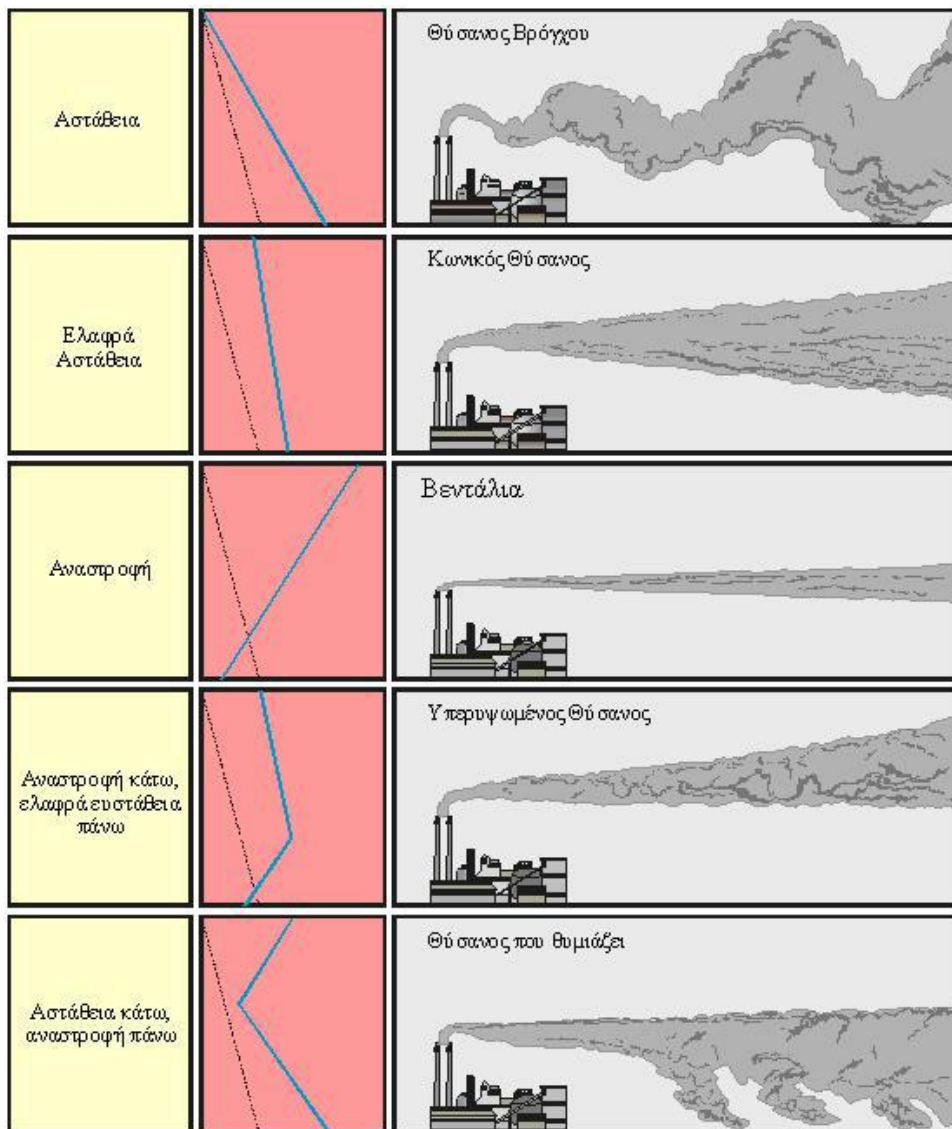
Παράλληλα οι αναταρακτικές κινήσεις του αέρα (τυρβώδεις στρόβιλοι) είναι υπεύθυνες για την κατακόρυφη μεταφορά και τη διαπλάτυνση του θυσάνου λόγω διάχυσης, με τελικό αποτέλεσμα την αραίωση. Η κλίμακα και η ένταση της αραίωσης εξαρτώνται από το βαθμό ανατάραξης της ατμόσφαιρας. Σε συνθήκες ευστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μικρότερης κλίμακας και η κατακόρυφη διάχυση γίνεται αργά ενώ σε συνθήκες μεγάλης αστάθειας οι τυρβώδεις στρόβιλοι είναι μεγαλύτεροι και η διάχυση πολύ έντονη. Η διάχυση των ρύπων γίνεται μέχρι ένα συγκεκριμένο ύψος από την επιφάνεια της Γης το οποίο ονομάζεται ύψος ανάμειξης. Το στρώμα το οποίο περιέχεται ανάμεσα στην επιφάνεια της Γης και το ύψος ανάμειξης ονομάζεται στρώμα ανάμειξης.



Σχήμα 2-15 Φαίνονται οι συνθήκες ευστάθειας (αριστερά) και αστάθειας (δεξιά) και η διάχυση των ρύπων στις αντίστοιχες περιπτώσεις (Μελάς, 1997).

Ένα μέρος της ρύπανσης είναι δυνατόν να διαφύγει από το στρώμα ανάμειξης στην ελεύθερη ατμόσφαιρα. Η απουσία αναταρακτικών κινήσεων στην ελεύθερη ατμόσφαιρα

έχει σαν αποτέλεσμα η διάχυση και η κατακόρυφη μεταφορά των ρύπων να γίνεται με πολύ βραδύτερους ρυθμούς. Από την άλλη μεριά, οι αντίστοιχοι ατμοσφαιρικοί μηχανισμοί είναι μεγαλύτερης χωρικής και χρονικής κλίμακας με αποτέλεσμα τα φαινόμενα να επηρεάζουν ευρύτερες περιοχές της Γης.



Σχήμα 2-16 Τυπική συμπεριφορά θυσάνων από βιομηχανικές καμινάδες. Στην αριστερή πλευρά του σχήματος εμφανίζεται η περιβαλλοντική θερμοβαθμίδα (πλήρης γραμμή) και η ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα (διακεκομμένη γραμμή). Στη δεξιά πλευρά του σχήματος εμφανίζεται η τυπική μορφή του θυσάνου για την συγκεκριμένη ατμοσφαιρική ευστάθεια (Μελάς, 1997).

Κατά τον χρόνο της παραμονής τους στην ατμόσφαιρα οι ρύποι υφίστανται διάφορους χημικούς μετασχηματισμούς λόγω αντιδράσεων είτε μεταξύ τους, είτε με τα συστατικά της καθαρής ατμόσφαιρας. Η ατμόσφαιρα είναι ένα αποτελεσματικό εργαστήριο αντιδράσεων μέσα στο οποίο διοχετεύονται χημικά ενεργά συστατικά με αποτέλεσμα την παραγωγή ενός αριθμού νέων ουσιών. Οι νέες αυτές ουσίες παράγονται από αέρια και υγρά τα οποία αντιδρούν μεταξύ τους και με τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Οι χημικές αντιδράσεις των ρύπων μπορεί να δώσουν και ουσίες οι οποίες δεν είναι ρύποι. Σε πολλές περιπτώσεις όμως στα προϊόντα των χημικών αντιδράσεων περιλαμβάνονται και νέοι ρύποι οι οποίοι ονομάζονται δευτερογενείς ρύποι σε

αντιδιαστολή με αυτούς που εκπέμπονται από τις πηγές οι οποίοι ονομάζονται πρωτογενείς ρύποι. Χαρακτηριστικά παραδείγματα χημικών μετασχηματισμών στην ατμόσφαιρα είναι οι χημικές αντιδράσεις οξείδωσης, οι φωτοχημικές αντιδράσεις φωτόλυσης κάποιων στοιχείων και οι ετερογενείς αντιδράσεις πάνω σε νεφοσταγονίδια και αιωρούμενα σωματίδια.

Τέλος, η μεταφορά των ρύπων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος καλείται εναπόθεση και είναι μια φυσική διαδικασία απομάκρυνσης των ρύπων από την ατμόσφαιρα (Σχήμα 2-14). Γενικά ξεχωρίζουμε τρεις διαφορετικούς τύπους εναπόθεσης:

I. Καθίζηση η οποία συνίσταται στην πτώση λόγω βαρύτητας των σχετικά μεγάλων και βαρέων σωματιδίων.

II. Ξηρή εναπόθεση την οποία υφίστανται τα μικρά σωματίδια και οι αέριες ενώσεις τα οποία ακολουθούν αδρανώς τις κινήσεις του αέρα και τα οποία κατακρατούνται, όταν έρθουν σε επαφή, από την υποκείμενη επιφάνεια

III. Υγρή απόθεση η οποία λαμβάνει χώρα σε περίπτωση υετού οπότε μπορεί να συμβεί κάποιο από τα παρακάτω ενδεχόμενα: Είτε σάρωση των ρύπων οι οποίοι βρίσκονται στην ατμόσφαιρα από την βροχή ή το χιόνι (απόπλυση), είτε πρόσληψη των ρύπων σε ένα προηγούμενο στάδιο από τα μικρά σταγονίδια του νέφους, τα οποία αργότερα ενώνονται μεταξύ τους σχηματίζοντας σταγόνες βροχής.

2.5 Χρόνος ζωής των αέριων ρύπων

Ο χρόνος ζωής ενός ατμοσφαιρικού στοιχείου καθορίζεται από το λόγο της αρχικής συγκέντρωσης του στοιχείου προς το ρυθμό καταστροφής του.

$$\text{Χρόνος ζωής} = \text{αρχική συγκέντρωση} / \text{ρυθμό καταστροφής}$$

Εάν υποθέσουμε ότι το αέριο A μετασχηματίζεται χημικά προς B ($A \rightarrow B$) τότε ο ρυθμός μετασχηματισμού του A προς B (η καταστροφή του A) ορίζεται ως:

$$-\frac{d[A]}{dt} = K[A]$$

όπου K είναι ο συντελεστής της αντίδρασης.

Έστω ότι σε χρόνο $t=0$ η συγκέντρωση του A είναι $[A] = [A]_0$ όπου $[A]_0$ η αρχική συγκέντρωση του A, σε χρόνο $t = t_{1/2}$ η συγκέντρωση του A μειώνεται στο μισό δηλαδή $[A] = [A]_0/2$, ενώ σε χρόνο $t = \tau$ η συγκέντρωση του A μειώνεται στο $1/e$. Τότε επιλύοντας τη παραπάνω διαφορική εξίσωση υπολογίζεται ο χρόνος ημίσειας ζωής του A ($t_{1/2}$) και ο χρόνος παραμονής του A (τ):

$$\text{Χρόνος ημίσειας ζωής του A} = t_{1/2} = \ln(2)/K$$

$$\text{Χρόνος παραμονής του A} = \tau = 1/K$$

Όλες οι αντιδράσεις μετασχηματισμού στην ατμόσφαιρα συμβαίνουν με ένα χαρακτηριστικό ρυθμό K σε μία χαρακτηριστική χρονική κλίμακα Δt_k όπου $K = 1/\Delta t_k$. Ο χρόνος ημίσειας ζωής $t_{1/2}$ (που είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη μείωση ενός στοιχείου στο μισό της αρχικής του συγκέντρωσης) ή ο χρόνος παραμονής τ (που είναι ο χρόνος που απαιτείται για τη μείωση ενός στοιχείου στο $1/e$ της αρχικής του συγκέντρωσης) είναι συνήθη μέτρα της χρονικής κλίμακας μετασχηματισμού Δt_k .

Οι άλλες φυσικές διαδικασίες στην ατμόσφαιρα όπως η μεταφορά και η διάχυση, επίσης συμβαίνουν σε μία χαρακτηριστική χρονική κλίμακα Δt_p . Συγκρίνοντας αυτές τις

χρονικές κλίμακες μετασχηματισμού και των άλλων φυσικών διαδικασιών τρεις περιπτώσεις μπορούμε να διακρίνουμε:

A) $\Delta t_k \ll \Delta t_p$: Για αυτές τις αντιδράσεις μετασχηματισμού μπορούμε να υποθέσουμε ότι τα προϊόντα δημιουργούνται αμέσως μόλις εμφανισθούν τα αντιδρώντα. Τέτοιες αντιδράσεις είναι ακαριαίες και ο ρυθμός παραγωγής των προϊόντων εξαρτάται από το ρυθμό παραγωγής των αντιδρώντων. Η κινητική των αντιδράσεων μπορεί να αγνοηθεί.

B) $\Delta t_k \gg \Delta t_p$: Τέτοιες αντιδράσεις μπορούν να αγνοηθούν για το σύστημα που μπορεί να θεωρηθεί ότι διατηρείται.

Γ) $\Delta t_k \approx \Delta t_p$: Σε αυτές τις αντιδράσεις δεν μπορεί να αγνοηθεί ούτε η αντίδραση ούτε η κινητική της αντίδρασης. Τέτοιες αντιδράσεις χαρακτηρίζονται ως «rate-limited», και επομένως ο ρυθμός παραγωγής των προϊόντων εξαρτάται από την κινητική του χημικού μετασχηματισμού. Αυτή η τρίτη περίπτωση αφορά τις χημικές αντιδράσεις που παρουσιάζουν ενδιαφέρον στην ατμόσφαιρα καθώς η σύγκριση της χρονικής κλίμακας μετασχηματισμού Δt_k των διάφορων χημικών στοιχείων με τη χρονική κλίμακα των φυσικών διαδικασιών μεταφοράς Δt_p καθορίζει και τη χωρική κατανομή αυτών των στοιχείων στην ατμόσφαιρα λαμβάνοντας βέβαια υπόψη και τη χωρική κατανομή των σχετικών πηγών τους.

2.6 Διαβάθμιση της αέριας ρύπανσης σε διάφορες χωρικές κλίμακες

Εφόσον ο κύκλος των ρύπων στην ατμόσφαιρα εξαρτάται από διαφορετικούς παράγοντες σε διαφορετικές κλίμακες χώρου και χρόνου γίνεται αντιληπτό ότι και το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που εκτείνεται σε διαφορετικές χωρικές κλίμακες. Μία συνηθισμένη διαβάθμιση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνει τις εξής κλίμακες:

(1) Την τοπική κλίμακα που εκτείνεται μέχρι μερικές εκατοντάδες μέτρα. Τα τοπικά προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης χαρακτηρίζονται συνήθως από μία ή περισσότερες πηγές έντονης ρυπογόνου δραστηριότητας ή από ένα μεγάλο αριθμό σχετικά μικρών εκπομπών. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ρύπανσης τοπικής κλίμακας είναι εκπομπές σε αυτοκινητόδρομους, ή εκπομπές από καμινάδες διάφορων βιομηχανιών πρωτογενών ρύπων, όταν και οι μετεωρολογικές συνθήκες υποβοηθούν την προσέγγιση των εκπεμπόμενων ρύπων στο έδαφος άμεσα. Τα προβλήματα ρύπανσης σε τοπική κλίμακα αφορούν τους πρωτογενείς ρύπους καθώς η αντίστοιχη χρονική κλίμακα μεταφοράς είναι μικρή ώστε να έχουμε μετασχηματισμό τους σε δευτερογενείς ρύπους.

(2) Την αστική και περι-αστική κλίμακα που εκτείνεται μέχρι μερικές δεκάδες χιλιόμετρα και στο πλαίσιο της οποίας έχουμε εκτός των πρωτογενών και την εμφάνιση δευτερογενών ρύπων. Έτσι από την μία πλευρά ρύποι που δεν είναι ιδιαίτερα δραστικοί όπως το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), τα αιωρούμενα σωματίδια και το διοξείδιο του θείου (SO₂) εκπεμπόμενοι από διάφορες μεμονωμένες πηγές παρουσιάζονται τελικά σε υψηλές συγκεντρώσεις σε αστικά κέντρα. Επίσης, πολύ σοβαρά προβλήματα προκύπτουν και από δευτερογενείς ρύπους στα αστικά κέντρα και στις περι-αστικές περιοχές. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ρύπανσης σε αστική κλίμακα είναι το φωτοχημικό νέφος των μεγαλουπόλεων

(π.χ. Αθήνα και Los Angeles) στο πλαίσιο του οποίου έχουμε το σχηματισμό όζοντος και PAN από φωτοχημικές αντιδράσεις παρουσία οξειδίων του αζώτου και υδρογονανθράκων.

(3) Την περιοχική κλίμακα που εκτείνεται μέχρι περίπου 1000km και αφορά πρωτογενείς ή δευτερογενείς ρύπους που έχουν μια σχετική χημική σταθερότητα ώστε να μπορούν να μεταφέρονται σε τέτοιες αποστάσεις με τον άνεμο. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ρύπανσης σε περιοχική κλίμακα είναι η όξινη βροχή, η μεταφορά φωτοχημικών οξειδωτικών και η μεταφορά αιωρούμενων σωματιδίων.

(4) Τη διηπειρωτική ή ημισφαιρική κλίμακα που αφορά πρωτογενείς ή δευτερογενείς ρύπους που έχουν μια τέτοια χημική σταθερότητα ώστε να μπορούν να μεταφέρονται από μία ήπειρο σε άλλη ήπειρο ή ακόμη και σε όλο το ημισφαίριο διαμέσου της γενικής κυκλοφορίας της ατμόσφαιρας. Χαρακτηριστικά παραδείγματα ρύπανσης τέτοιας κλίμακας είναι η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος και η έλλειψη αρρύπαντου αέρα στο βόρειο ημισφαίριο της Γης καθώς και το φαινόμενο της αρκτικής ομίχλης στο πλαίσιο του οποίου συναντούμε στις αρκτικές περιοχές στρώματα ομίχλης με αποχρώσεις καφέ και ερυθρού που προέρχονται από μεταφορά σωματιδιακής και αέριας ρύπανσης.

(5) Την παγκόσμια κλίμακα που περιλαμβάνει τα φαινόμενα ρύπανσης τα πλήττοντα όλο τον πλανήτη. Χαρακτηριστικό παράδειγμα ρύπανσης σε παγκόσμια κλίμακα είναι η εκπομπή χλωροφθορανθράκων (CFCs) που χρησιμοποιούνται ως προωθητικά αέρια στα σπρέι και τα κλιματιστικά, τα οποία λόγω του μεγάλου χρόνου ζωής μπορούν να φτάσουν στη στρατόσφαιρα και να αυξήσουν το ρυθμό καταστροφής του στρατοσφαιρικού όζοντος με αποτέλεσμα τη μείωση του και στα δύο ημισφαίρια. Στην Ανταρκτική λόγω των ιδιαίτερων μετεωρολογικών συνθηκών συνισταμένων από χαμηλές θερμοκρασίες και δημιουργία πολικών στρατοσφαιρικών νεφών η μείωση του όζοντος μεγιστοποιείται προκαλώντας την αποκαλούμενη τρύπα του όζοντος. Ένα άλλο χαρακτηριστικό παράδειγμα ρύπανσης σε παγκόσμια κλίμακα είναι η αύξηση της συγκέντρωσης του CO₂ στον πλανήτη απότοκη της ανθρώπινης δραστηριότητας με αποτέλεσμα την ενίσχυση του φαινομένου θερμοκηπίου που μπορεί να προκαλέσει μη αναστρέψιμες κλιματικές αλλαγές με τεράστιες επιδράσεις στα οικοσυστήματα και τον άνθρωπο. Στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου συμβάλλουν και άλλες ενώσεις που συνδέονται με ανθρώπινη δραστηριότητα όπως το μεθάνιο (CH₄), το υποξείδιο του αζώτου (N₂O), οι αλογονάθρακες (CFCs και HCFCs) και το όζον (O₃) που απορροφούν τη γήινη υπέρυθη ακτινοβολία.

Μία άλλη κατηγοριοποίηση για τη διαβάθμιση του προβλήματος της ατμοσφαιρικής ρύπανσης περιλαμβάνει τις εξής κλίμακες:

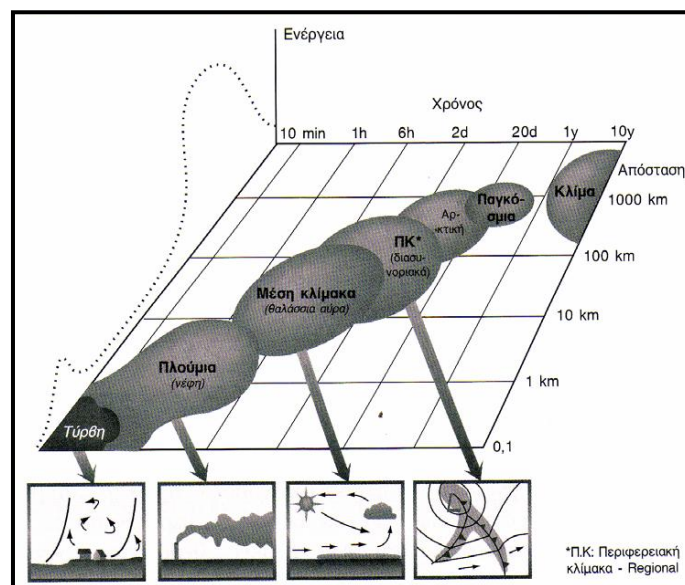
α) Τη μικροκλίμακα που αφορά φαινόμενα ρύπανσης σε έκταση της τάξης των 0-100m. Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαδικασιών μεταφοράς των αέριων ρύπων στη μικροκλίμακα είναι η τύρβη και οι θύσανοι καμινάδων.

β) Τη μεσοκλίμακα που αφορά φαινόμενα ρύπανσης σε έκταση της τάξης των δεκάδων έως εκατοντάδων χιλιομέτρων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαδικασιών μεταφοράς των αέριων ρύπων στη μέση κλίμακα είναι η θαλάσσια αύρα, η αύρα κοιλάδας, η κατακόρυφη μεταφορά λόγω θέρμανσης στους πρόποδες ορεινών όγκων.

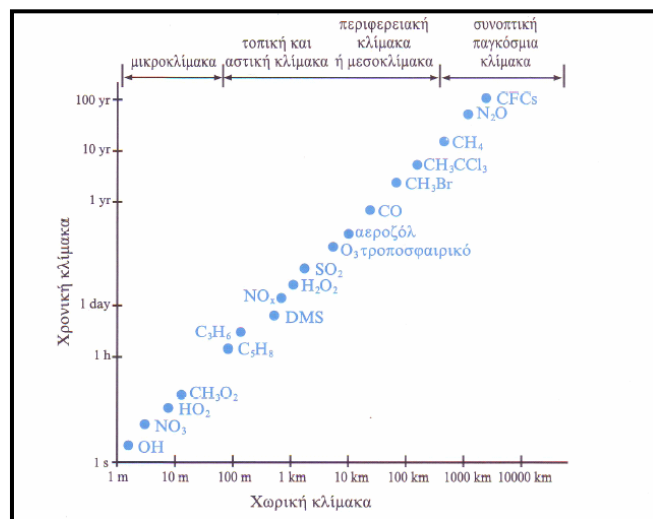
γ) Τη συνοπτική κλίμακα που αφορά φαινόμενα ρύπανσης σε έκταση της τάξης των εκατοντάδων έως χιλιάδων χιλιομέτρων. Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαδικασιών μεταφοράς των αέριων ρύπων στη συνοπτική κλίμακα είναι τα συστήματα καιρού και τα μέτωπα.

δ) Την παγκόσμια κλίμακα που αφορά φαινόμενα ρύπανσης που υπερβαίνουν τα 5000km. Χαρακτηριστικά παραδείγματα διαδικασιών μεταφοράς των αέριων ρύπων στην παγκόσμια κλίμακα είναι τα πλανητικά κύματα Rossby και η γενική κυκλοφορία της ατμόσφαιρας.

Το Σχήμα 2-17 και το Σχήμα 2-18 παρουσιάζουν χωρικές και χρονικές κλίμακες ορισμένων χαρακτηριστικών διαδικασιών μεταφοράς των αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα και το συσχετισμό των χρόνων ζωής διάφορων ατμοσφαιρικών χημικών ενώσεων με τις χωρικές κλίμακες που επηρεάζουν.



Σχήμα 2-17 Χωρικές και χρονικές κλίμακες ορισμένων χαρακτηριστικών διαδικασιών μεταφοράς των αέριων ρύπων στην ατμόσφαιρα (Λαζαρίδης, 2005)



Σχήμα 2-18 Διάγραμμα συσχέτισης του χρόνου ζωής διάφορων ατμοσφαιρικών χημικών ενώσεων με τις χωρικές κλίμακες που επηρεάζουν (Γεντεκάκης, 1999)

2.7 Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι, οι πηγές τους και οι επιδράσεις τους στο ανθρωπογενές περιβάλλον

Οι κυριότεροι ατμοσφαιρικοί ρύποι είναι:

- Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)
- Διοξείδιο του θείου (SO₂)
- Διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και μονοξείδιο του αζώτου (NO)
- Όζον (O₃)
- Υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις
- Μόλυβδος (Pb)
- Αιωρούμενα σωματίδια

2.7.1 Μονοξείδιο του άνθρακα (CO)

Το μονοξείδιο του άνθρακα είναι αέριο άοσμο, άχρωμο, άγευστο, ελαφρύτερο του αέρα και ελάχιστα διαλυτό στο νερό. Το CO οξειδώνεται από την ελεύθερη ρίζα του OH σε CO₂ έχοντας χρόνο ζωής 2-4 μήνες και παίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία του τροποσφαιρικού όζοντος.

Κυριότερες πηγές προέλευσης του μονοξειδίου του άνθρακα είναι οι εξατμίσεις αυτοκινήτων, ιδιαίτερα σε κλειστούς χώρους στάθμευσης ή κατά μήκος δρόμων με υψηλά κτίρια και κακό αερισμό σε περίοδο κυκλοφοριακής αιχμής, και οι εξατμίσεις πάσης φύσεως μηχανών όταν συντελείται ατελής καύση. Τα αυτοκίνητα συνεισφέρουν περίπου 75% στις ανθρωπογενείς πηγές του μονοξειδίου του άνθρακα, ενώ η ατελής καύση ορυκτών καυσίμων στη βιομηχανία συνεισφέρει άλλα περίπου 25%. Η σημαντικότερη φυσική πηγή του μονοξειδίου του άνθρακα στην ατμόσφαιρα είναι η οξείδωση του ατμοσφαιρικού μεθανίου.

Το μονοξείδιο του άνθρακα μειώνει την ικανότητα του αίματος να μεταφέρει οξυγόνο σε βασικούς ιστούς του οργανισμού, επιδρώντας κυρίως στο καρδιαγγειακό και νευρικό σύστημα. Υψηλές συγκεντρώσεις μονοξειδίου του άνθρακα προκαλούν ζαλάδες, πονοκεφάλους και κόπωση. Υγιή άτομα εκτεθειμένα σε ψηλά επίπεδα, μπορεί να υποστούν προσωρινή μείωση της πνευματικής τους διαύγειας καθώς και της όρασής τους.

2.7.2 Διοξείδιο του θείου (SO₂)

Είναι αέριο άχρωμο, άοσμο σε χαμηλές συγκεντρώσεις αλλά με έντονη ερεθιστική μυρωδιά σε πολύ ψηλές συγκεντρώσεις. Στην ατμόσφαιρα το SO₂ αντιδρά για να σχηματίσει SO₃ που εμφανίζει έντονη δραστηριότητα με τους υδρατμούς σχηματίζοντας ομίχλη θειικού οξέος, φαινόμενο που απαντάται στο πρόβλημα ρύπανσης από όξινη βροχή. Άλλες σημαντικές ενώσεις του θείου στην ατμόσφαιρα είναι το καρβονυλοσουλφίδιο (OCS), ο διθειάνθρακας (CS₂), το διμέθυλοσουλφίδιο (CH₃)₂S, το υδρόθειο (H₂S) και τα θειικά άλατα. Φυσικές πηγές των θειούχων ενώσεων είναι οι κοιλότητες συγκέντρωσης βιολογικής ύλης, η αναερόβια σήψη, η διάχυση σταγονιδίων από τη θάλασσα, οι ηφαιστειακές εκρήξεις και οι θερμές πηγές.

Κυριότερες ανθρωπογενείς πηγές προέλευσης του διοξειδίου του θείου είναι οι ηλεκτροπαραγωγοί σταθμοί, οι χημικές βιομηχανίες, τα διυλιστήρια πετρελαίου, τα συστήματα κεντρικής θέρμανσης και τα πετρελαιοκίνητα αυτοκίνητα που χρησιμοποιούν καύσιμο με υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Οι ανθρωπογενείς εκπομπές του SO₂ εκτιμάται

ότι αντιπροσωπεύουν ένα σημαντικό ποσοστό της ροής του θείου στην ατμόσφαιρα. Το θείο υπάρχει στον άνθρακα και στο πετρέλαιο συνήθως σε ποσότητες 0-6% κ.β. υπό μορφή οργανικών μορίων που όταν καίγονται παράγουν SO₂. Το επεξεργασμένο πετρέλαιο, που χρησιμοποιείται σαν καύσιμο κίνησης περιέχει 0.035% θείο.

Μακροχρόνια έκθεση στο διοξείδιο του θείου μπορεί να προκαλέσει αναπνευστικά προβλήματα, να τροποποιήσει τον αμυντικό μηχανισμό των πνευμόνων και να επιδεινώσει τυχόν υπάρχουσες καρδιαγγειακές παθήσεις. Άτομα με καρδιαγγειακές, χρόνιες πνευμονολογικές παθήσεις καθώς και μικρά παιδιά και οι ηλικιωμένοι είναι ιδιαίτερα ευπαθή σε τέτοιες συνθήκες. Υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα συμβάλλουν επίσης στη μείωση της ορατότητας, στην αύξηση της οξύτητας των λιμνών και των ποταμών και προκαλούν αλλοιώσεις στη βλάστηση, στα μέταλλα και τα μνημεία.

2.7.3 Μονοξείδιο του αζώτου (NO) και διοξείδιο του αζώτου (NO₂)

Το NO είναι πρωτογενής ρύπος ενώ το NO₂ είναι δευτερογενής ρύπος που προέρχεται από την αντίδραση του NO με το O₃. Είναι σύνηθες να χρησιμοποιούμε το όρο NO_x για το άθροισμα των συγκεντρώσεων NO και NO₂ καθώς η αλληλομετατροπή ανάμεσα στο NO και NO₂ γίνεται αρκετά γρήγορα (π.χ. σε μερικά λεπτά). Το NO₂ είναι αέριο με καφέ χρώμα, διαλυτό στο νερό, ισχυρό οξειδωτικό, με οξεία ερεθιστική οσμή. Σε υψηλές συγκεντρώσεις είναι υπεύθυνο για τη φαιά όψη του αστικού ουρανού. Τα οξείδια του αζώτου NO και NO₂ εμπλέκονται και ενεργοποιούν τον φωτοχημικό κύκλο αντιδράσεων στην ατμόσφαιρα και το σχηματισμό κατ'αυτόν τον τρόπο της φωτοχημικής ρύπανσης και παίζουν καθοριστικό ρόλο στον έλεγχο του τροποσφαιρικού όζοντος. Άλλες σημαντικές ενώσεις του αζώτου στην ατμόσφαιρα είναι το υποοξείδιο (N₂O), το νιτρικό οξύ (HNO₃), η αμμωνία (NH₃) και τα διάφορα νιτρικά (NO₃⁻), νιτρώδη (NO₂⁻) και αμμωνιακά άλατα (NH₄⁺).

Η καύση ορυκτών καυσίμων κυρίως σε αυτοκίνητα, σε ηλεκτροπαραγωγούς σταθμούς και κεντρικές θερμάνσεις παράγουν μεταξύ άλλων και μονοξείδιο του αζώτου (NO). Η καύση ορυκτών καυσίμων και τα αυτοκίνητα συμβάλλουν κατά 50% στις ανθρωπογενείς πηγές του NO. Αυτό με διάφορες χημικές αντιδράσεις που ενισχύονται με την παρουσία της ηλιακής ακτινοβολίας και του όζοντος, μετατρέπεται σε διοξείδιο του αζώτου (NO₂).

Το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) σε υψηλές συγκεντρώσεις προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, ιδιαίτερα σε άτομα που υποφέρουν από άσθμα και σε παιδιά. Στους ασθματικούς προκαλεί δυσκολία στην αναπνοή. Συνδράμει επίσης στη δημιουργία του όζοντος στην τροπόσφαιρα και της όξινης βροχής, επηρεάζοντας έτσι αρνητικά τη βλάστηση και το περιβάλλον γενικά.

2.7.4 Όζον (O₃)

Το όζον είναι αέριο άχρωμο, βαρύτερο του αέρα με δριμεία οσμή, το οποίο συναντάται στα πλέον γνωστά προβλήματα ρύπανσης από την αστική έως την παγκόσμια κλίμακα όπως το φωτοχημικό νέφος, η αύξηση των επιπέδων συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος.

Το όζον χαμηλά στο έδαφος είναι ένας ρύπος που συνδέεται με επεισόδια φωτοχημικού νέφους σε αστικά κέντρα και γύρω από αυτά και μπορεί να προκαλέσει ποικίλα προβλήματα στον άνθρωπο και τη φύση όταν ξεπεραστούν κάποιες οριακές τιμές.

Για αυτό το λόγο έχει επικρατήσει να αποκαλούμε το τροποσφαιρικό όζον ως το «κακό» όζον. Είναι χαρακτηριστική η φράση για το όζον «good up high, bad nearby» που σημαίνει καλό εκεί ψηλά, κακό εδώ γύρω. Στην τροπόσφαιρα το όζον είναι δευτερογενής ρύπος που παράγεται με διάφορες χημικές αντιδράσεις μεταξύ του οξυγόνου, πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) με τη βοήθεια της ηλιακής ακτινοβολίας. Ανθρωπογενείς πηγές εκπομπής πρόδρομων ουσιών του όζοντος (VOCs και NO_x) είναι τα οχήματα, τα χημικά εργοστάσια, τα χημικά διαλυτικά και τα βενζινάδικα.

Το τροποσφαιρικό όζον έχει πολλαπλή σημασία για τη γήινη ατμόσφαιρα. Καταρχήν το τροποσφαιρικό όζον κατέχει κεντρικό ρόλο στη χημεία της τροπόσφαιρας καθώς αποτελεί τη βασική πηγή του σημαντικότερου οξειδωτικού μέσου στην τροπόσφαιρα, της ρίζας του υδροξυλίου (OH). Με πιο απλά λόγια το υδροξύλιο αποτελεί το ισχυρότερο «απορρυπαντικό» της ατμόσφαιρας που την καθαρίζει από μια σειρά οργανικών και ανόργανων ενώσεων που εκπέμπονται από φυσικές ή ανθρωπογενείς πηγές. Ας αναλογιστούμε ότι στην περίπτωση έλλειψης της ρίζας του υδροξυλίου όλες αυτές οι ενώσεις θα είχαν πολύ μεγάλο χρόνο ζωής και θα συσσωρεύονταν στα ανώτερα στρώματα της τροπόσφαιρας δρώντας επικουρικά στο γνωστό φαινόμενο του θερμοκηπίου που προκαλείται από ενώσεις όπως το CO_2 , το μεθάνιο και βέβαια τους υδρατμούς. Αυτό θα είχε σαν συνέπεια μια σειρά από αέριες ενώσεις που δεν συνεισφέρουν στο φαινόμενο του θερμοκηπίου, να συμβάλλουν σε ακόμα μεγαλύτερες θερμοκρασίες στο πλανήτη μας.

Κατά δεύτερο λόγο το τροποσφαιρικό όζον που βρίσκεται στα υψηλότερα στρώματα της τροπόσφαιρας είναι από μόνο του ένα θερμοκηπιακό αέριο που σημαίνει ότι δρα και αυτό επικουρικά στο φαινόμενο του θερμοκηπίου αφού απορροφά τη γήινη υπέρυθη ακτινοβολία. Πρέπει να επισημανθεί ότι η αύξηση του τροποσφαιρικού όζοντος παγκοσμίως συνεισφέρει περίπου το 1/3 από την αύξηση του CO_2 στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου από τα προβιομηχανικά χρόνια έως σήμερα. Δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι το CO_2 είναι το βασικότερο αέριο που συνεισφέρει στην ενίσχυση του φαινομένου του θερμοκηπίου σε σχέση με τα προβιομηχανικά χρόνια.

Το όζον είναι επίσης ισχυρότατο οξειδωτικό μέσο π.χ. για το σχηματισμό της όξινης βροχής (οξειδώνει το SO_2 προς H_2SO_4).

Η σημασία του τροποσφαιρικού όζοντος έγκειται όμως και στις συνέπειες που έχει τόσο στον άνθρωπο, όσο και στο φυτικό βασίλειο και τα διάφορα υλικά. Όσον αφορά τις επιπτώσεις του όζοντος στον άνθρωπο, η συνεχής έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές τιμές όζοντος μπορεί να του προκαλέσει μόνιμη βλάβη στους πνεύμονες. Διαλύεται δύσκολα στο νερό και για αυτό μπορεί να διεισδύσει μέχρι τους πνεύμονες με όλες τις αρνητικές συνέπειες για την υγεία των ανθρώπων. Το όζον σε ψηλές συγκεντρώσεις (>140 ppbv) μπορεί να ερεθίσει το αναπνευστικό σύστημα, προκαλώντας βήχα, αίσθημα ξηρότητας στο λαιμό και πόνο στο στήθος, φλεγμονή στους πνεύμονες και πιθανή επιδεκτικότητα σε μολύνσεις του αναπνευστικού. Η υγεία των ατόμων που υποφέρουν από άσθμα μπορεί να επιδεινωθεί.

Το όζον έχει επίσης αρνητικές επιπτώσεις στις αγροτικές καλλιέργειες, δασική και άλλη βλάστηση καθώς είναι φυτο-τοξικό στοιχείο που σημαίνει ότι όταν βρίσκεται σε μεγάλες συγκεντρώσεις γίνεται επικίνδυνο για τα φυτά και τα δάση καθώς επηρεάζει την ικανότητα τους να παράγουν και να αποθηκεύουν τροφή κάνοντας τα έτσι πιο ευάλωτα στις ασθένειες, στα έντομα και στις άσχημες καιρικές συνθήκες. Σύμφωνα με την U.S. EPA (US EPA, 2002) η ρύπανση του όζοντος προκαλεί καταστροφές στη σοδειά που αντιστοιχεί

σε μείωση της αγροτικής παραγωγής πάνω από 0.5 δισεκατομμύριο δολάρια κάθε έτος σε πανεθνικό επίπεδο. Σαν όριο φυτο-τοξικότητας η Ευρωπαϊκή Ένωση θέτει το όριο των 32ppbv (μέρη ανά δισεκατομμύριο). Η υπέρβαση αυτού του ορίου δεν σημαίνει απαραίτητα ότι θα υπάρξει καταστροφή στη βλάστηση, αλλά ότι υπάρχει υπέρβαση των επιπέδων επικινδυνότητας για τη βλάστηση, δηλαδή ότι είναι υπαρκτό το ρίσκο της καταστροφής για ευαίσθητα είδη φυτών.

Το όζον ως οξειδωτικό μέσο επιδρά και σε διάφορα οργανικά υλικά, όπως στα οργανικά χρώματα που χρησιμοποιούνται στη ζωγραφική, στις εξωτερικές ζωγραφισμένες διακοσμήσεις κτιρίων, ή στη βαφή υφασμάτων, στο φυσικό καουτσούκ, στα συνθετικά ελαστικά υλικά από κυτταρίνη όπως το χαρτί, στα διάφορα εκθέματα των μουσείων φυσικής ιστορίας όπως φτερά, δέρμα ζώων, πάπυρο. Επομένως, η ρύπανση του όζοντος συνδέεται άρρηκτα και με προβλήματα υποβιβασμού της πολιτισμικής μας κληρονομιάς.

2.7.5 Υδρογονάνθρακες και άλλες οργανικές ενώσεις

Οι υδρογονάνθρακες θεωρούνται σημαντικοί πρωτογενείς ρύποι της ατμόσφαιρας γιατί συμβάλλουν στο σχηματισμό των φωτοχημικών οξειδωτικών (τοξικές και οξειδωτικές χημικές ενώσεις που δημιουργούνται κατά το φωτοχημικό νέφος). Με τον όρο υδρογονάνθρακες χαρακτηρίζονται χιλιάδες ενώσεις που περιέχουν άνθρακα και υδρογόνο στο μόριο τους. Οι πιο απλοί υδρογονάνθρακες περιέχουν 1-4 άτομα άνθρακα και είναι αέρια, 5-6 άτομα άνθρακα και είναι υγρά, ενώ από 7 άτομα και πάνω είναι στερεά. Από αυτές τις ενώσεις οι πιο σημαντικές είναι τα αέρια και από τις υπόλοιπες οι πιο πτητικές.

Οι οργανικές ενώσεις μπορούν να περιέχουν στο μόριό τους και άλλα στοιχεία (θείο, άζωτο, αλογόνα) ή ομάδες στοιχείων (ρίζες), ή ακόμα και άτομα οξυγόνου. Από τους οξυγονωμένους υδρογονάνθρακες δύο κατηγορίες παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ατμοσφαιρική ρύπανση, οι αλδεΐδες και οι κετόνες. Κατηγορίες οργανικών ενώσεων είναι τα αλκάνια, τα αλκένια, τα αλκίνια, τα αλκαδιένια, οι αρωματικοί υδρογονάνθρακες, οι αλδεΐδες, οι κετόνες και οι αλογονούχες ενώσεις όπως τα CFCs.

Η πιο επικίνδυνη τοξική πτητική οργανική ένωση στην ατμόσφαιρα είναι το βενζόλιο, η οποία αποτελεί ένα από τα δευτερεύοντα συστατικά της βενζίνης. Πηγές βενζολίου είναι τα πρατήρια βενζίνης και τα αυτοκίνητα μεταφοράς και διανομής της, καθώς επίσης και όλες οι μηχανές που χρησιμοποιούν βενζίνη σαν καύσιμο. Το βενζόλιο σαν αυτούσια ένωση μπορεί να προκαλέσει χρόνιες παθήσεις όπως καρκίνο, αταξία στο κεντρικό νευρικό σύστημα, ζημιές στη λειτουργία του ήπατος και των νεφρών, ανωμαλίες στην αναπαραγωγή και προβληματικές γεννήσεις.

2.7.6 Μόλυβδος (Pb)

Ο μόλυβδος είναι μαλακό μέταλλο αργυρόχρουν και ανήκει στην κατηγορία των βαρέων μετάλλων. Ένα ποσοστό της σωματιδιακής σκόνης αποτελείται από σωματίδια μολύβδου. Πηγές μολύβδου μπορεί να είναι τα διάφορων τύπων μεταφορικά μέσα που χρησιμοποιούσαν μολυβδόχα βενζίνη, τα εργοστάσια που χρησιμοποιούν μόλυβδο ή ουσίες που περιέχουν μόλυβδο και οι χώροι που καίνε απορρίμματα. Ο μόλυβδος χρησιμοποιούνταν στη βενζίνη των αυτοκινήτων παλαιάς τεχνολογίας ως αντικροτικό για την ανύψωση του αριθμού οκτανίων.

Υψηλά ποσοστά μολύβδου μπορούν να επηρεάσουν δυσμενώς την πνευματική ανάπτυξη και τη δραστηριότητα των ανθρώπων, τη λειτουργία των νεφρών και τη χημεία

του αίματος. Τα νεαρά άτομα διατρέχουν μεγαλύτερο κίνδυνο εξαιτίας της μεγαλύτερης ευαισθησίας των νεανικών ιστών και οργάνων στο μόλυβδο.

2.7.7 Αιωρούμενα Σωματίδια

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι μικρά τεμάχια ύλης σε στερεή ή υγρή φάση, που μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Ανάλογα με την προέλευσή τους μπορούν να παρουσιάζουν ανομοιογένεια στη μορφή, στο μέγεθος και στη χημική σύσταση. Οι κυριότερες πηγές εκπομπής αιωρουμένων σωματιδίων είναι οι διάφορες βιομηχανικές δραστηριότητες, τα αυτοκίνητα, οι πυρκαγιές, τα καψαλίσματα χωραφιών και άλλες γεωργικές δραστηριότητες, οι διάφορες κατασκευές, η επαναϊώρηση σκόνης λόγω ισχυρών ανέμων κ.λπ.

Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν την αναπνοή και προκαλούν ασθένειες στο αναπνευστικό σύστημα, στους πνεύμονες και στην καρδιά. Τα παιδιά, τα άτομα που πάσχουν από άσθμα ή έχουν καρδιολογικά προβλήματα και οι ηλικιωμένοι είναι ομάδες πληθυσμού ιδιαίτερα ευαίσθητες στην έκθεση σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρουμένων σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Όσο πιο μικρά είναι τα σωματίδια τόσο πιο επικίνδυνα είναι καθώς αυξάνει η πιθανότητα εισχώρησής τους στην αναπνευστική περιοχή των πνευμόνων, εναποτίθενται κυρίως στις κυψελίδες των πνευμόνων και με την πάροδο του χρόνου επιφέρουν σοβαρές βλάβες στην υγεία των ανθρώπων. Προβληματικά για τους πνεύμονες είναι τα σωματίδια με διάμετρο 0.1-1 mm. Η επικινδυνότητά τους εξαρτάται επίσης από τη χημική τους σύσταση. Τα αιωρούμενα σωματίδια συμβάλλουν επίσης στη μείωση της ορατότητας.

Ο χρόνος ζωής των σωματιδίων είναι αντιστρόφως ανάλογος με το μέγεθός τους. Οπότε τα μεγάλα σωματίδια έχουν χρόνο ζωής μερικών ωρών ενώ τα μικρά σωματίδια μερικών ημερών. Αναλόγως με το μέγεθός τους, η ταξινόμηση αιωρουμένων σωματιδίων γίνεται ως εξής:

- Aitken σωματίδια 0.001 – 0.1 μm
- λεπτά σωματίδια 0.1 – 1μm
- γιγαντιαία ή χονδρόκοκκα σωματίδια > 1 μm
- σωματίδια καπνού 1-1000 μm
- σκόνη μικρής διαμέτρου <100 μm
- σκόνη μεγάλης διαμέτρου >100 μm
- νεφροσταγονίδια 1-100 μm
- σταγόνες βροχής > 100 μm

Υπάρχουν διάφορες μετρήσεις σωματιδίων ύλης εκτός της κλασσικής που είναι το βάρος ανά μονάδα όγκου αέρα. Περιλαμβάνουν μέτρηση του ολικού αριθμού σωματιδίων ανά μονάδα όγκου αέρα, τη μέτρηση της μάζας, της επιφάνειας αλλά και του αριθμού των σωματιδίων σε συγκεκριμένα μεγέθη ακτίνας (κατανομή μεγεθών).

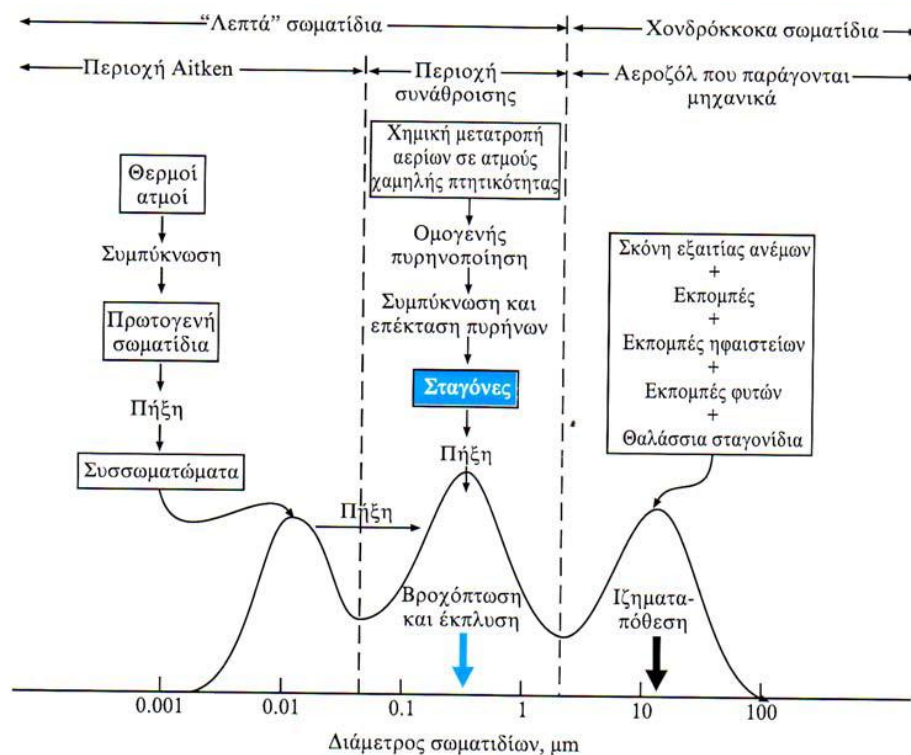
Στο Σχήμα 2-19 παρατηρείται η ύπαρξη τριών συνήθως μεγίστων ανάλογα με το μηχανισμό δημιουργίας σωματιδίων στην ατμόσφαιρα. Σωματίδια με μέγιστο κοντά στο 0.2μm προκύπτουν από το μηχανισμό πήξης και συμπύκνωσης και ονομάζονται «λεπτά» σωματίδια για να τα ξεχωρίζουμε από τα σωματίδια που παρουσιάζουν μέγιστο περίπου

στα 10μm και τα ονομάζουμε «χονδρόκοκκα». Τα λεπτά σωματίδια είναι κυρίως θειικά, νιτρικά οργανικά, αμμωνιακά άλατα και ενώσεις του μολύβδου.

Σωματίδια με εύρος 0.1-1.0μm σχηματίζονται από τη συμπύκνωση ατμών από προϊόντα καύσης και από ατμοσφαιρική σκόνη αλλά είναι αρκετά ελαφριά ώστε να παραμένουν στην ατμόσφαιρα για μήνες. Αυτά τα σωματίδια είναι υπεύθυνα για το σχηματισμό ομίχλης και τη μείωση της ορατότητας και συμμετέχουν σε συγκρούσεις και συσσωματώσεις.

Τα σωματίδια που έχουν μέγιστο στα 10μm εισάγονται στην ατμόσφαιρα από την επιφάνεια της Γης και της θάλασσας. Η σωματιδιακή ύλη στα ~ 10μm είναι κυρίως άμμος, θαλάσσιο αλάτι, σωματίδια από φυτικούς οργανισμούς. Υφίσταται ένας κύκλος συνεχούς δράσης κατά τον οποίο δημιουργούνται μικρά σωματίδια, γίνονται μεγαλύτερα και τελικά όταν γίνουν αρκετά μεγάλα απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα με ξηρή και υγρή εναπόθεση.

Στο εύρος των μεγεθών <0.1 μm βρίσκονται πυρήνες Aitken και ιόντα που είναι σε διαρκή κίνηση. Αυτά τα σωματίδια θεωρείται ότι δεν συμμετέχουν στο σχηματισμό νεφών. Πιθανές πηγές τους είναι οι καταιγίδες σκόνης, τα ηφαίστεια, οι πυρκαγιές δασών, οι εξατμίσεις αυτοκινήτων, οι φωτο-οξειδωτικές αντιδράσεις και οι βιομηχανικές πηγές.



Σχήμα 2-19 Σχηματική αναπαράσταση της κατανομής επιφανείας σωματιδίων ατμοσφαιρικού αεροζόλ. Δείχνονται οι πηγές, οι βασικές διεργασίες και οι μηχανισμοί σχηματισμού και απομάκρυνσης των σωματιδίων (Γεντεκάκης, 1999)

2.8 Αιωρούμενα Σωματίδια

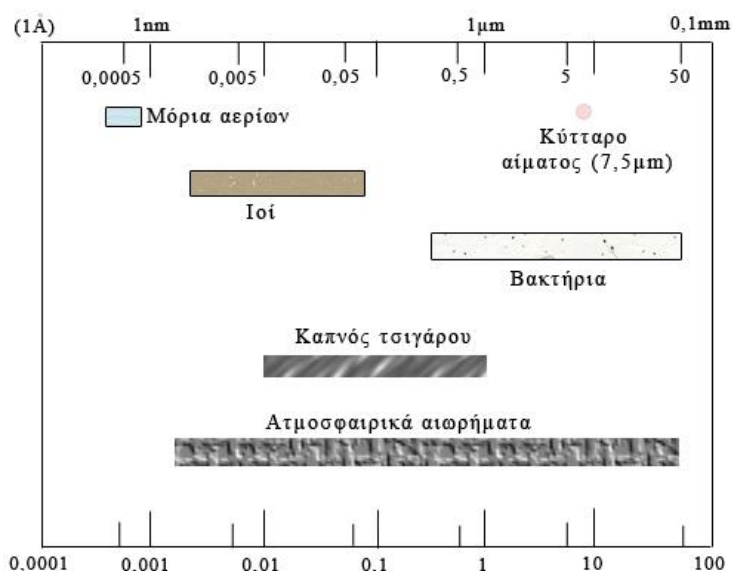
2.8.1 Γενικά-Ορισμός

Αιωρούμενα σωματίδια (αερολύματα) είναι όλα τα σταθερά αιωρήματα στερεών ή υγρών σωματιδίων ή και των δύο στον αέρα. Παρόλο που, σύμφωνα με τον ορισμό τους, τα ατμοσφαιρικά αερολύματα είναι ο συνδυασμός όλων των συμπυκνωμένων συστατικών

που είναι παρόντα στην ατμόσφαιρα, όπως επίσης και ο αέρας στον οποίο περιέχονται αυτά, σε πολλές περιπτώσεις αναφερόμαστε μόνο στο σωματιδιακό τμήμα αυτών (Λαζαρίδης, 2005).

Η ατμόσφαιρα περιέχει αιωρούμενα σωματίδια τα οποία βρίσκονται σε στερεά ή υγρή κατάσταση. Υπάρχει ποικιλία τόσο στη συγκέντρωση όσο και στα μορφολογικά, στα χημικά και τα φυσικά χαρακτηριστικά. Δύο είναι οι μηχανισμοί εισαγωγής των σωματιδίων στην ατμόσφαιρα, είτε εκπέμπονται και αιωρούνται κατευθείαν στην ατμόσφαιρα ή παράγονται δευτερογενώς στην ατμόσφαιρα μέσω της πυρηνοποίησης. Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι δυνατόν να γίνουν το μέσο μεταφοράς διαφόρων χημικών στοιχείων και ενώσεων καθώς και βιολογικών ρυπαντών, οι οποίοι απορροφώνται ή προσκολλώνται πάνω στα σωματίδια. Τα βασικά χαρακτηριστικά των αιωρούμενων σωματιδίων είναι το μέγεθος, η χημική τους σύσταση και η κατάσταση στην οποία βρίσκονται, υγρή ή στερεά (Λαζαρίδης, 2008).

Τα σωματίδια στην ατμόσφαιρα διαφέρουν από τα υπόλοιπα αέρια σε δύο σημεία. Πρώτον ένα αέριο αποτελείται από ξεχωριστά άτομα ή μόρια τα οποία είναι διαχωρισμένα, ενώ ένα σωματίδιο αποτελείται από μια συνάθροιση μορίων και ατόμων δεσμευμένα μεταξύ τους. Κατά συνέπεια, τα σωματίδια έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από τα άτομα και τα μόρια των αερίων (Σχήμα 2-20). Δεύτερον, σε αντίθεση με τα αέρια τα σωματίδια βρίσκονται σε υγρή ή στερεά φάση. Οι όροι αιωρούμενα σωματίδια και αερολύματα (aerosols) χρησιμοποιούνται σε πολλές περιπτώσεις αδιακρίτως.



Σχήμα 2-20 Διάφορα χαρακτηριστικά μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων (<http://www.lemie.gr>)

2.8.2 Κατανομή μεγέθους σωματιδίων

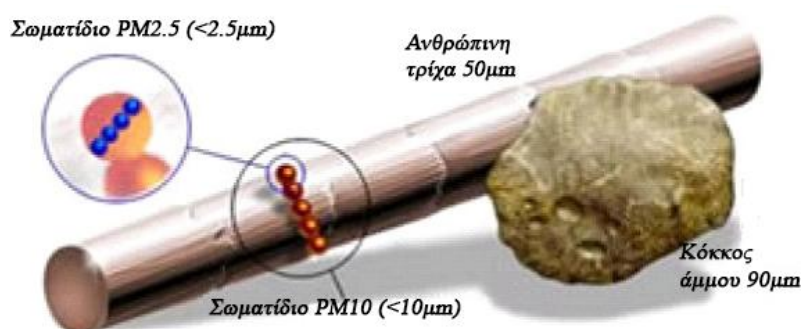
Το μέγεθος των σωματιδίων είναι η πιο σημαντική παράμετρος για τον χαρακτηρισμό της συμπεριφοράς των σωματιδίων. Όλες οι ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων εξαρτώνται από το μέγεθος των σωματιδίων (Hinds, 1999). Συνεπώς οι δύο κύριες κατηγορίες διαχωρισμού τους είναι λεπτόκοκκα και χονδρόκοκκα, η οποία γίνεται με βάση την ισοδύναμη διάμετρο. Η τελευταία αποτελεί τη διάμετρο που έχει ένα σφαιρικό σωματίδιο, που παρουσιάζει την ίδια αντίσταση στον αέρα κατά την κίνησή του με το προς εξέταση σωματίδιο (Λαζαρίδης, 2005). Έτσι, ως λεπτόκοκκα (fine particles) χαρακτηρίζονται

τα σωματίδια με ισοδύναμη διάμετρο μικρότερη από 2.5 μm , ενώ ως χονδρόκοκκα χαρακτηρίζονται αυτά με ισοδύναμη διάμετρο μεγαλύτερη από 2.5 μm .

Συγκεκριμένα τα αιωρούμενα σωματίδια διακρίνονται ανάλογα με τη διάμετρό τους σε:

- i. Σωματίδια διαμέτρου άνω των 10 μm (PM₁₀), που αποτελούνται από λεπτομερή ανόργανη ύλη (ορυκτά)
- ii. Σωματίδια διαμέτρου μεταξύ 2.5-10 μm (PM_{2.5-10}), γνωστά ως «coarse particles». Τα σωματίδια αυτά προέρχονται από σκόνη που μεταφέρεται από τον άνεμο, από τα οχήματα και τα μηχανήματα βιομηχανιών ενώ σχηματίζονται με την επίδραση της τριβής και άλλων μηχανικών δυνάμεων που προκαλούν σύνθλιψη.
- iii. Σωματίδια διαμέτρου μικρότερης των 2.5 μm (PM_{2.5}), τα οποία είναι λεπτόκοκκα και είναι γνωστά ως «fine particles». Σχηματίζονται με τη βοήθεια διαδικασιών συμπύκνωσης και μεταφοράς. Συνήθως το μέγεθος αυτό των σωματιδίων προέρχεται από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Ο αυστηρός ορισμός των PM₁₀, όπως αναφέρει η Ε.Ε. στις οδηγίες της είναι: «PM₁₀ νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους, το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 10 μm ». Ενώ ο αντίστοιχος ορισμός της Ε.Ε. για τα PM_{2.5} είναι: «PM_{2.5} νοούνται τα σωματίδια που διέρχονται δια στομίου επιλεγέντος μεγέθους, το οποίο συγκρατεί το 50% των σωματιδίων αεροδυναμικής διαμέτρου 2.5 μm ».



Σχήμα 2-21 Τα αιωρούμενα σωματίδια PM₁₀, και PM_{2.5} συγκρινόμενα με τη διάμετρο μιας ανθρώπινης τρίχας και το μέγεθος ενός κόκκου άμμου (<http://www.lemie.gr>)

Σύμφωνα με τους (Mather et al., 2003) τα σωματίδια μπορούν να διαχωριστούν και με περιγραφικό τρόπο. Συγκεκριμένα:

- i. Κατάσταση πυρηνοποίησης (nucleation mode) (<0.1 μm): Τα σωματίδια αυτά δημιουργούνται από τη μετατροπή αερίων ρύπων που εκλύονται στην ατμόσφαιρα μέσω της διαδικασίας της πυρηνοποίησης κάτω από υψηλές θερμοκρασίες.
- ii. Κατάσταση προσαύξησης (accumulation mode) (0.1 μm -2 μm): Τα προσαυξημένα σωματίδια προέρχονται από τη συμπύκνωση υδρατμών πάνω σε σωματίδια που βρίσκονται στην κατάσταση πυρηνοποίησης, με αποτέλεσμα να μεγαλώσει το μέγεθός τους.
- iii. Τραχιά κατάσταση (coarse mode) (>2 μm): Τα σωματίδια αυτής της κατηγορίας δημιουργούνται λόγω μηχανικών διεργασιών (π.χ. σωματίδια εδαφικής σκόνης από δυνατούς ανέμους).

Όπως προαναφέρθηκε, ο χρόνος παραμονής τους στην ατμόσφαιρα εξαρτάται τόσο από το μέγεθός τους, όσο και από το ατμοσφαιρικό στρώμα στο οποίο βρίσκονται. Έτσι ο μέσος χρόνος ζωής στην κατώτερη τροπόσφαιρα είναι 5 ημέρες ενώ στην ανώτερη τροπόσφαιρα φθάνει τον 1 μήνα. Όταν τα σωματίδια βρεθούν στη στρατόσφαιρα, π.χ. λόγω της έκρηξης ηφαιστείου, ο χρόνος παραμονής φθάνει τα 2-3 χρόνια.

Το μεγαλύτερο μέρος της μάζας των αερολυμάτων βρίσκεται στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Αυτό οφείλεται κατά κύριο λόγο στο γεγονός ότι οι σημαντικότερες πηγές εκπομπής βρίσκονται κοντά στο έδαφος οπότε οι μικροί, σχετικά, χρόνοι παραμονής των αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα δεν αφήνουν μεγάλα χρονικά περιθώρια για τη μεταφορά τους σε μεγάλα ύψη.

Συγκεκριστικά, οι συγκεντρώσεις των αερολυμάτων στην ανώτερη τροπόσφαιρα είναι 1-2 τάξεις μεγέθους μικρότερη από τις αντίστοιχες στην κατώτερη τροπόσφαιρα. Αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος που η ορατότητα βελτιώνεται δραματικά όταν ξεπεραστούν τα χαμηλότερα 1-2 χιλιόμετρα της ατμόσφαιρας. Παρ' όλα αυτά στην στρατόσφαιρα υπάρχει ένα σημαντικό στρώμα αερολυμάτων $H_2SO_4-H_2O$ στο ύψος ~15-25 χιλιομέτρων, το οποίο παίζει σημαντικό ρόλο στη χημεία του όζοντος. Το στρώμα αυτό προέρχεται κυρίως από την οξείδωση του σουλφιδίου του καρβονυλίου (COS), ενός αερίου βιογενούς προέλευσης το οποίο έχει σημαντικό χρόνο παραμονής στην ατμόσφαιρα και μπορεί να εισχωρήσει στη στρατόσφαιρα.

Τα μικρά σωματίδια λειτουργούν περισσότερο σαν αέρια και μεταφέρονται στις επιφάνειες με τη διάχυση Brown. Τα μεγαλύτερα σωματίδια προσκρούουν στην επιφάνεια λόγω της αδράνειάς τους, ενώ τα πολύ μεγάλα σωματίδια απομακρύνονται από την ατμόσφαιρα κάτω από την επίδραση της βαρύτητας (Mather et al., 2003). Τα σωματίδια που βρίσκονται στην κατάσταση προσαύξεσης έχουν μεγάλο χρόνο ζωής στην ατμόσφαιρα, εκτός αν λειτουργήσουν ως πυρήνες συμπύκνωσης νεφών ή αν βρεθούν κάτω από συνθήκες αλλαγής του μεγέθους τους και βγουν από αυτή την κατάσταση (Hobbs et al., 2000).

Τα αιωρούμενα σωματίδια στην ατμόσφαιρα προέρχονται κυρίως από τη συμπύκνωση αερίων και τη δράση του ανέμου πάνω στην επιφάνεια της γης. Τα μικρότερα σωματίδια (με διάμετρο μικρότερη του 1μm) προέρχονται σχεδόν αποκλειστικά από τη συμπύκνωση προδρόμων αερίων. Ένα πολύ σημαντικό πρόδρομο αέριο είναι το θειικό οξύ (H_2SO_4), το οποίο παράγεται στην ατμόσφαιρα από την οξείδωση του SO_2 . Το θειικό οξύ συμπυκνώνεται για το σχηματισμό υδάτινων θειικών αλάτων.

Ο οργανικός άνθρακας αποτελεί ένα μεγάλο μέρος των μικρών σωματιδίων και αποδίδεται κυρίως στη συμπύκνωση υδρογονανθράκων τόσο βιογενούς, όσο και ανθρωπογενούς προέλευσης. Μία ακόμη σημαντική συνιστώσα των μικρών σωματιδίων είναι η αιθάλη η οποία παράγεται από τη συμπύκνωση αερίων κατά τη διάρκεια της καύσης. Η αιθάλη περιλαμβάνει τόσο στοιχειώδη άνθρακα, όσο και συμπυκνώσεις μαύρων οργανικών.

Η μηχανική δράση του ανέμου πάνω στην επιφάνεια της Γης εκπέμπει θαλάσσιο αλάτι, σκόνη από χώμα και σωματίδια από τη βλάστηση. Τα σωματίδια αυτά είναι συνήθως μεγάλης διαμέτρου, 1-10μm. Μικρότερα σωματίδια είναι δύσκολο να δημιουργηθούν με μηχανικό τρόπο γιατί έχουν μεγάλη αναλογία επιφάνειας ως προς όγκο, οπότε η επιφανειακή τους τάση ανά μονάδα όγκου αερολύματος είναι μεγάλη. Τα σωματίδια με διάμετρο μεγαλύτερη από 10μm είναι δυσκολότερο να ανυψωθούν από τον άνεμο και

έχουν μεγάλες ταχύτητες καθίζησης οπότε δεν παραμένουν για μεγάλο χρονικό διάστημα στην ατμόσφαιρα (Πίνακας 2-2).

Πίνακας 2-2 Χρόνος που απαιτείται για την κάθοδο ενός σωματιδίου λόγω βαρύτητας κατά 1 χιλιόμετρο στην ατμόσφαιρα (Μελάς, 1997)

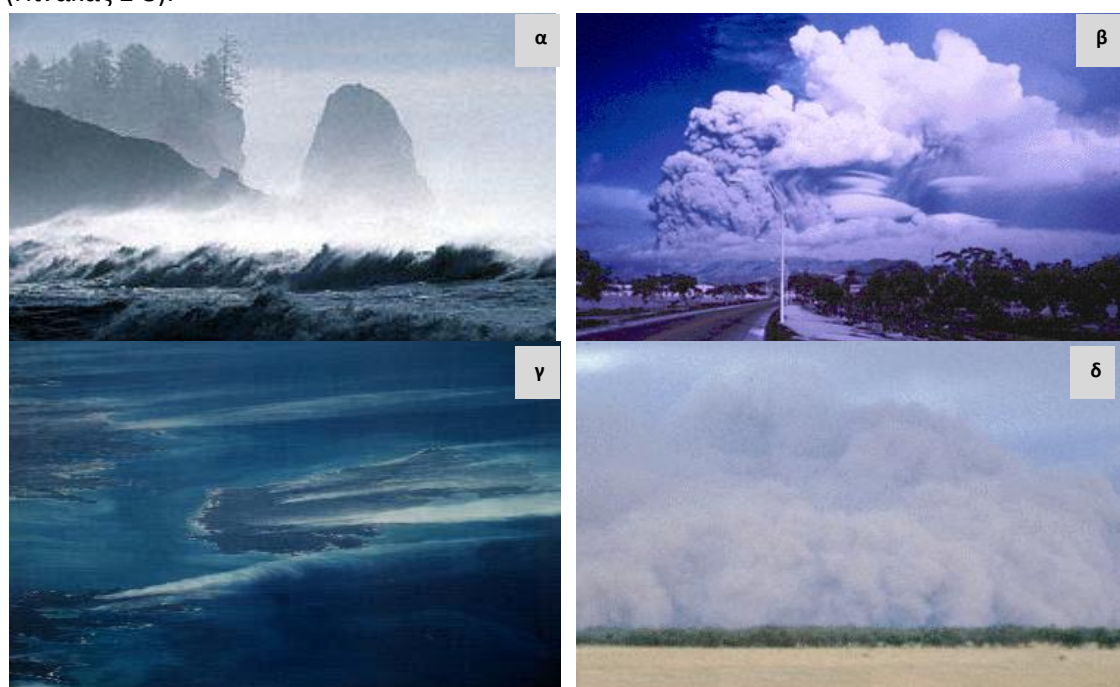
Διάμετρος σωματιδίου	Χρόνος καθίζησης 1 χιλιομέτρου
0.02	228 χρόνια
0.1	36 χρόνια
1	328 ημέρες
10	3.6 ημέρες
100	1.1 ώρες
1000	4 λεπτά

Τέλος θα πρέπει να αναφερθεί ότι το σχήμα και κυρίως το μέγεθος των σωματιδίων επηρεάζουν όχι μόνο το χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα, αλλά και το μηχανισμό της σωματιδιακής σκέδασης και καθορίζουν αν τα σωματίδια αυτά είναι εισπνεύσιμα. Η σωματιδιακή σκέδαση επιτρέπει τον εντοπισμό των σωματιδίων και καθορίζει την συνεισφορά τους στο ενεργειακό ισοζύγιο του πλανήτη. Το βάθος διείσδυσης των σωματιδίων στον οργανισμό καθορίζεται από τη διάμετρό τους.

2.8.3 Είδη αιωρούμενων σωματιδίων

2.8.3.1 Είδη αιωρούμενων σωματιδίων με βάση τις πηγές προέλευσής τους

Τα αιωρούμενα σωματίδια ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους διαχωρίζονται σε πρωτογενή και δευτερογενή, ενώ ανάλογα με την προέλευσή τους, δηλαδή με τις πηγές εκπομπής τους κατατάσσονται σε φυσικά ή ανθρωπογενή (Σχήμα 2-22). Οι φυσικές πηγές μάλιστα είναι υπεύθυνες για το 70-90% του συνόλου των αιωρούμενων σωματιδίων (Πίνακας 2-3).



Σχήμα 2-22 Φυσικές πηγές εκπομπής αερολυμάτων

(α) Ο άνεμος συμπαρασύρει υδροσταγονίδια από την θάλασσα τα οποία περιέχουν άλατα (πάνω αριστερά).

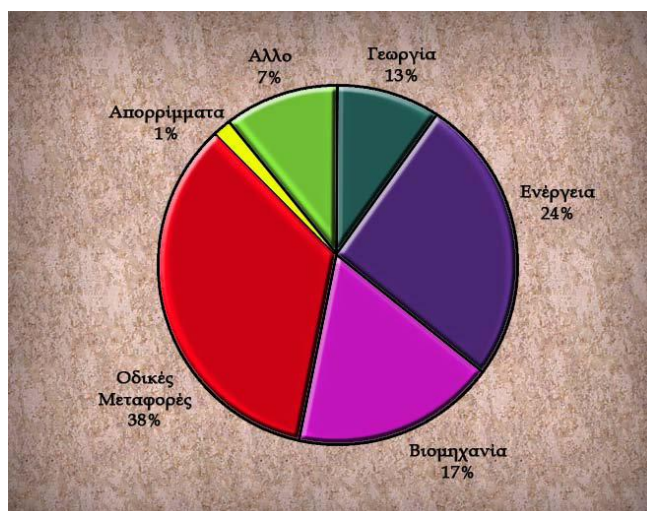
(β) Η έκρηξη του ηφαιστείου Pinatubo στις Φιλιππίνες, το 1991, ήταν η μεγαλύτερη του 20^{ου} αιώνα. Μετά από μια έκρηξη ηφαιστείου απαιτούνται δύο περίπου χρόνια ώστε να επανέλθουν οι τιμές των αεροζόλ στα «κανονικά» τους επίπεδα (πάνω δεξιά).

(γ) Δορυφορική εικόνα από τις ανατολικές ακτές της Αυστραλίας. Διακρίνονται καθαρά οι θύσανοι που δημιουργούνται από τις εκτεταμένες πυρκαγιές – συχνό φαινόμενο τις καλοκαιρινές περιόδους (κάτω αριστερά).

(δ) Θύελλα σκόνης στην περιοχή Hay Plain NSW (κάτω δεξιά)

Πίνακας 2-3 Φυσικές και ανθρωπογενείς πηγές ατμοσφαιρικών σωματιδίων (10⁶τόνοι/έτος) (Μελάς, 1997)

ΦΥΣΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ	
Σκόνη	100-500
Πυρκαγιές δασών	3-150
Ηφαίστεια	25-150
Θάλασσες	4-300
Μετατροπή αερίων σε σωματίδια	270-900
Φωτοχημική μετατροπή αερίων σε σωματίδια	75-200
ΣΥΝΟΛΟ	480-2200
ΑΝΘΡΩΠΟΓΕΝΕΙΣ ΠΗΓΕΣ	
Εκπομπές	10-90
Μετατροπή αερίων σε σωματίδια	160-240
Φωτοχημική μετατροπή αερίων σε σωματίδια	15-90
ΣΥΝΟΛΟ	185-420



Σχήμα 2-23 Εκπομπές των σωματιδίων με διάμετρο μικρότερη από 10μm (PM₁₀) στην Ευρωπαϊκή Ένωση ανά τομέα

Συμπληρωματικά αξίζει να αναφερθεί ότι οι εκρήξεις ηφαιστείων τροφοδοτούν την ανώτερη τροπόσφαιρα και τη στρατόσφαιρα με σωματίδια τα οποία περιέχουν τα στοιχεία του μανδύα της Γης, καθώς και την καύση βιομάζας (όπως οι πυρκαγιές δασών).

Η καύση ορυκτών καυσίμων είναι ίσως η σημαντικότερη ανθρωπογενής πηγή αιωρούμενων σωματιδίων. Από αυτή την άποψη σημαντικότερα ορυκτά καύσιμα είναι το κάρβουνο, το πετρέλαιο και το diesel. Η καύση βενζίνης εκπέμπει μικρές μόνο ποσότητες σωματιδίων. Η κατανομή των πηγών των αερολυμάτων στην Ευρωπαϊκή Ένωση

εμφανίζεται στο Σχήμα 2-23. Έτσι, ως κύρια ανθρωπογενή αιωρούμενα σωματίδια μπορούμε να αναφέρουμε την αιθάλη, τη σκόνη (από εκπομπές πρωτογενούς σωματιδιακής ρύπανσης) και τα θειικά και τα νιτρικά ιόντα από οξείδωση αερίων SO₂ και NO₂ αντίστοιχα (δευτερογενή αιωρήματα που είναι προϊόντα αέριων ανθρωπογενών εκπομπών ορυκτών καυσίμων).

2.8.3.2 Είδη αιωρούμενων σωματιδίων με βάση τη χωρική τους προέλευση

Τα αιωρούμενα σωματίδια διαχωρίζονται επίσης ανάλογα με την προέλευσή τους σε:

- i. Θαλάσσια: είναι τα σωματίδια που βρίσκονται πάνω από απομακρυσμένους ωκεανούς και οι συγκεντρώσεις είναι συνήθως μεταξύ 100 και 300cm⁻³. Οι κατανομές των μεγεθών τους χαρακτηρίζονται από τρεις περιοχές: την περιοχή των πυρήνων (Dp<0.1μm), την περιοχή συσσώρευσης (0.1<Dp<2μm) και την περιοχή των χονδρόκοκκων (Dp>2μm). Συνήθως τα χονδρόκοκκα σωματίδια αντιπροσωπεύουν το 95% της συνολικής μάζας αλλά μόλις το 5%-10% του συνολικού αριθμού των σωματιδίων (Seinfeld and Pandis, 1998).
- ii. Αγροτικά ηπειρωτικά: είναι κυρίως φυσικής προέλευσης αλλά με κάποιες επιρροές από ανθρωπογενείς πηγές. Οι κατανομές του αριθμού των σωματιδίων τους έχουν συνήθως περιοχές δύο διαμέτρων περίπου 0.02 και 0.08μm αντίστοιχα, ενώ οι κατανομές μάζας αφορούν κυρίως χονδρόκοκκα περίπου στα 7μm (Seinfeld and Pandis, 1998).
- iii. Απομακρυσμένα ηπειρωτικά: είναι πρωτογενή και δευτερογενή και αποτελούνται κυρίως από θειικά άλατα, αμμώνιο και οργανικά στοιχεία. Οι συγκεντρώσεις των PM₁₀ είναι περίπου 10μg/m³, ενώ τα σωματίδια που διάμετρο μικρότερη από 2.5μm αντιπροσωπεύουν το 40% με 80% της μάζας των PM₁₀ (Seinfeld and Pandis, 1998).
- iv. Πολικά: είναι τα σωματίδια που βρίσκονται κοντά στην επιφάνεια της Αρκτικής και της Ανταρκτικής. Αυτά έχουν πολύ χαμηλές συγκεντρώσεις και κατά τη χειμερινή περίοδο και στις αρχές της άνοιξης τα αρκτικά σωματίδια επηρεάζονται σημαντικά από ανθρωπογενείς πηγές. Έτσι την περίοδο αυτή η συγκέντρωσή τους αυξάνει πάνω από 200cm⁻³ και περιέχουν ανθρακικά συστατικά προερχόμενα από μέσα γεωγραφικά πλάτη, θαλάσσιο αλάτι από τους ωκεανούς και εδαφικά υλικά που προέρχονται από περιοχές του ανάλογου ημισφαιρίου.
- v. Ερημικά: είναι τα αιωρούμενα σωματίδια που βρίσκονται πάνω από περιοχές ερήμων και συνήθως εκτείνονται και σε γειτονικές περιοχές όπως είναι οι ωκεανοί. Η κατανομή τους φέρει ομοιότητες με εκείνη της κατανομής των απομακρυσμένων ηπειρωτικών περιοχών, αλλά εξαρτάται και από την ένταση του ανέμου. Τα μεγάλα σωματίδια (διάμετρος ως 100μm) δεν απομακρύνονται από τις περιοχές ερήμων, ενώ τα μικρότερα με διάμετρο <10μm μεταφέρονται σε αποστάσεις km.
- vi. Αστικά: είναι σωματίδια μείγματα πρωτογενών εκπομπών σωματιδίων (τομείς βιομηχανίας, μεταφορών και παραγωγής ενέργειας) και φυσικών πηγών καθώς και δευτερογενών υλικών που σχηματίζονται από μηχανισμούς μετατροπής από αέρια σε σωματιδιακή μορφή. Κυρίως αποτελούνται από σωματίδια μικρότερα από 1μm και πλησίον των πηγών εκπομπής βρίσκονται υψηλές συγκεντρώσεις λεπτόκοκκων σωματιδίων, ενώ οι συγκεντρώσεις τους μειώνονται γρήγορα με την απομάκρυνση από την πηγή (Seinfeld and Pandis, 1998).

2.8.3.3 Είδη αιωρούμενων σωματιδίων με βάση τη χημική τους σύσταση

Η χημική σύσταση του αερολύματος αποτελεί σημαντικό χαρακτηριστικό τους εξαιτίας:

- i. της επίδρασης των ρύπων στην ανθρώπινη υγεία ανάλογα με τη χημική τους συμπεριφορά και ιδιότητες
- ii. της αναγνώρισης της πηγής των αερολυμάτων από τη χημική τους σύσταση.

Τα κύρια συστατικά ατμοσφαιρικού αερολύματος αποτελούν:

- α) ορυκτογενή μέταλλα από επαναιώρηση σκόνης,
- β) καθαρός άνθρακας από διαδικασίες καύσης,
- γ) οργανικές ενώσεις από προϊόντα ημιτελών καύσεων,
- δ) άλατα του αμμωνίου, προϊόντα εξουδετέρωσης όξινων ουσιών στην ατμόσφαιρα από την αμμωνία,
- ε) άλατα από το θαλασσινό νερό,
- ζ) άλατα του ασβεστίου από οικοδομικά υλικά και σκόνη,
- η) θειικά άλατα, προϊόντα αντιδράσεων του διοξειδίου του θείου,
- θ) νιτρικά άλατα, προϊόντα αντιδράσεων των οξειδίων του αζώτου.

Συγκεκριμένα, τα σωματίδια θαλάσσιου άλατος σχηματίζονται σε θαλάσσιο περιβάλλον εξαιτίας των φυσαλίδων που δημιουργούνται από σταγόνες βροχής, νιφάδες χιονιού ή από υπερκορεσμό του θαλασσινού νερού λόγω μεταβολής της θερμοκρασίας ή whitescap (το σπάσιμο της κορυφής ενός κύματος και η δημιουργία αφρού με την απελευθέρωση παγιδευμένου αέρα). Τα σωματίδια του θαλάσσιου άλατος αποτελούνται κυρίως από NaCl και $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, ενώ πάνω από το επίπεδο της θάλασσας έχουν βρεθεί και θειικές ενώσεις (H_2SO_4), οι οποίες δεν κατηγοριοποιούνται ως θαλάσσια αιωρούμενα σωματίδια.

Επιπρόσθετα, τα θειικά σωματίδια μπορούν να θεωρηθούν ότι αποτελούνται από σωματίδια θειικού οξέος τα οποία μερικώς ή ολικώς αδρανοποιούνται από την αμμωνία και εμφανίζονται ως υγρά ή κρυσταλλοποιημένα σωματίδια. Η κύρια πηγή θειικών αερολυμάτων είναι η εκπομπή SO_2 από καύση ορυκτών καυσίμων και βιομάζας και από φυσικές πηγές (φυτοπλαγκτόν και ηφαιστεια).

Οι ηφαιστειακές εκρήξεις εκλύουν μη διαλυτή στάχτη και σκόνη (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3) καθώς και σημαντικές ποσότητες ενεργών αερίων όπως H_2S , SO_2 και HCl . Η σκόνη και η στάχτη προέρχονται από τη θραυσματοποίηση του βουνού, ενώ το μέγεθος εξαρτάται από το είδος και την ένταση της έκρηξης. Τα αέρια που εκλύονται μετατρέπονται σε σωματίδια με διαδικασίες συσσωμάτωσης και σχηματίζουν σταγονίδια H_2SO_4 (IPCC, 2007).

Η παραγωγή των αερίων που περιέχουν άζωτο οφείλεται σε φυσικές και ανθρωπογενείς διεργασίες. Το N_2O παράγεται από το έδαφος και είναι εποχικό φαινόμενο καθώς εξαρτάται από τη συγκέντρωση του αζώτου και την ποσότητα της οργανικής ύλης σε αποσύνθεση, ενώ μπορεί να προέρχεται από τη διάσπαση του N_2O_3 . Το NO_2 συνεπώς βρίσκεται σε υψηλότερη συγκέντρωση σε αστικές περιοχές λόγω των καύσεων, αλλά και σε τροπικές λόγω των καταιγίδων και της οργανικής αποσύνθεσης.

Τα ανθρακικά συστατικά είναι μια μεγάλη ομάδα ατμοσφαιρικών σωματιδίων και μάλιστα μετρήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί πάνω από τον Ατλαντικό ωκεανό δείχνουν ότι τα ανθρακικά σωματίδια σκεδάζουν όσο και τα θειικά (IPCC, 2001). Η κύρια πηγή των

ανθρακικών σωματιδίων είναι η καύση βιομάζας και ορυκτών καυσίμων και μετεωρολογικοί παράγοντες καθορίζουν την οριζόντια και την κατακόρυφη κατανομή τους καθώς και τον χρόνο παραμονής τους στην ατμόσφαιρα (IPCC, 2007).

Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια εξωγήινης προέλευσης προέρχονται από υπολείμματα κομητών καθώς και μετεωριτών που διαλύονται κατά την είσοδό τους στην ατμόσφαιρα ή όταν προσκρούσουν στην επιφάνεια της Γης. Στα αιωρούμενα αυτά σωματίδια έχουν βρεθεί τα ακόλουθα στοιχεία: Fe, Si, Mg, S, Ar, Ca, Ni, Al, Na, Cr, Mn, Cl, K και Ti και συναντώνται κυρίως στις πολικές περιοχές.

2.8.4 Μηχανισμοί απομάκρυνσης των αιωρούμενων σωματιδίων

Ο χρόνος παραμονής των αιωρούμενων σωματιδίων στην τροπόσφαιρα κυμαίνεται από λίγες ημέρες έως λίγες εβδομάδες. Όσο μεγαλύτερη είναι η διάμετρος των σωματιδίων αυτών, τόσο αυξάνεται η πιθανότητα να κατακρημνισθούν προς την επιφάνεια της Γης. Η μεταφορά των αιωρούμενων σωματιδίων από την ατμόσφαιρα στο έδαφος γίνεται με τους παρακάτω μηχανισμούς απομάκρυνσης:

1. εναπόθεση στην επιφάνεια του εδάφους (ξηρή εναπόθεση),
2. ενσωμάτωση σε σταγονίδια νεφών κατά τη δημιουργία κατακρημνίσεων (υγρή εναπόθεση).

Η ξηρή και η υγρή εναπόθεση οδηγούν σε μικρούς χρόνους παραμονής των αερολυμάτων στην τροπόσφαιρα και αυτό οδηγεί στη μεταβολή της κατανομής του μεγέθους και της συγκέντρωσης των σωματιδίων.

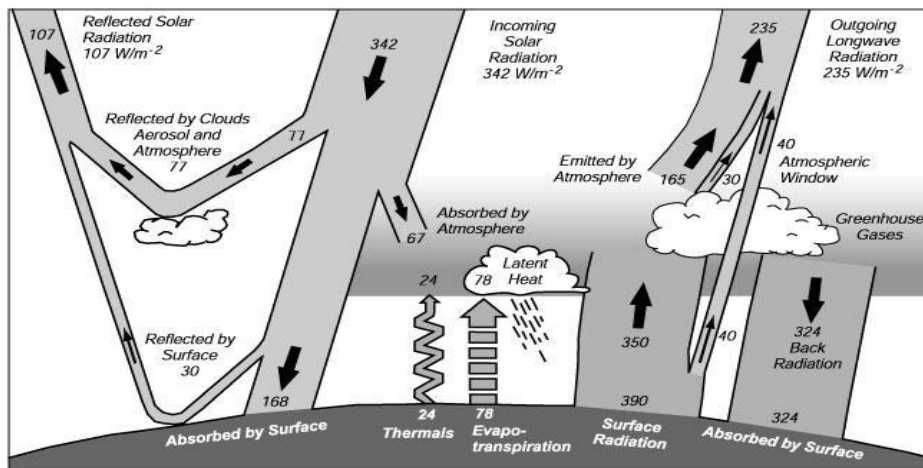
2.8.5 Επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων

Τα αιωρούμενα σωματίδια αποτελούν έναν από τους σημαντικότερους ρύπους της ατμόσφαιρας στις κατοικημένες περιοχές και η ρύπανση της ατμόσφαιρας που προκαλούν αποτελεί περιβαλλοντικό θέμα αιχμής και μελετάται διαρκώς. Τα αιωρούμενα σωματίδια επηρεάζουν τις διαδικασίες στο ατμοσφαιρικό οριακό στρώμα, στον υδρολογικό κύκλο και στις θερμοκρασίες επιφανείας σε όλο τον πλανήτη. Επίσης, οι επιδράσεις τους στην υγεία είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με το μέγεθός τους, τη σύστασή τους, τις οπτικές τους ιδιότητες καθώς και τους μηχανισμούς δημιουργίας τους.

2.8.5.1 Επιδράσεις των σωματιδίων στο κλίμα

Τα τελευταία χρόνια εκδηλώνεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον για τις επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στο κλίμα, αφού επηρεάζουν άμεσα ή έμμεσα την ακτινοβολία. Η άμεση επίδρασή τους γίνεται με τη σκέδαση και την απορρόφηση της ηλιακής και της θερμικής ακτινοβολίας, ενώ η έμμεση επίδρασή τους εστιάζει στην μεταβολή των ιδιοτήτων των νεφών και του χρόνου ζωής αυτών με συνέπεια να μεταβάλλουν το καθεστώς των κατακρημνίσεων.

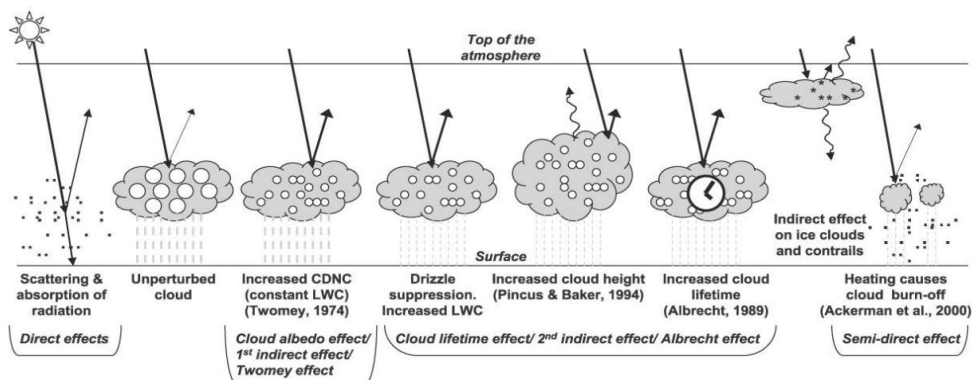
Τα αιωρούμενα σωματίδια διαδραματίζουν συνεπώς σημαντικό ρόλο στη χημεία της ατμόσφαιρας, αλλάζοντας τις συγκεντρώσεις κύριων συστατικών της ατμόσφαιρας όπως το όζον και μπορούν είτε να προκαλούν θέρμανση, είτε ψύξη της ατμόσφαιρας. Στο Σχήμα 2-24 φαίνεται ο ρόλος των αερολυμάτων στο ισοζύγιο ακτινοβολίας και στο θερμικό ισοζύγιο της Γης.



Σχήμα 2-24 Ισοζύγιο ακτινοβολίας και θερμικό ισοζύγιο, ο ρόλος των αερολυμάτων (Houghton J.T. et al., 1996)

Αν θεωρήσουμε την παγκόσμια ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στην ατμόσφαιρα ίση με 100 μονάδες, τότε οι 51 μονάδες τη διαπερνούν και φτάνουν στη γήινη επιφάνεια. Από τις υπόλοιπες 49, οι 3 απορροφώνται από τα νέφη και οι 16 απορροφώνται από τα αερολύματα και το CO₂. Επίσης τα νέφη αντανακλούν πίσω στο διάστημα 17 μονάδες, η επιφάνεια της Γης 6 μονάδες και τα αερολύματα 7 μονάδες. Στη συνέχεια από τις 51 μονάδες που έφτασαν τελικά στη Γη, οι 23 μονάδες απελευθερώνονται σαν λανθάνουσα θερμότητα, οι 7 μονάδες εκπέμπουν στο ορατό και οι 21 μονάδες στο υπέρυθρο. Από τις 21 μονάδες υπέρυθρης ακτινοβολίας οι 15 απορροφώνται από τα αερολύματα, τους υδρατμούς και το CO₂.

Επιπρόσθετα, τα αιωρούμενα σωματίδια επιδρούν στο ισοζύγιο της ακτινοβολίας του πλανήτη και στην κατακόρυφη ψύξη και θέρμανση του ατμοσφαιρικού αέρα μέσω της ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας και της απορρόφησης της γήινης, ενώ είναι αυτά που παράγουν τη βροχή και παίρνουν μέρος στον υδρολογικό κύκλο. Ωστόσο, η πρόκληση μεταβολών στις ιδιότητες των νεφών λόγω της αλληλεπίδρασής τους με τα αερολύματα είναι πολύπλοκη (Kawamoto et al., 2004). Τα αερολύματα επιδρούν στην ανακλαστικότητα των νεφών (cloud albedo effect) και στη μεταβολή του χρόνου ζωής τους (cloud lifetime effect) (IPCC, 2007). Στο Σχήμα 2-25 που ακολουθεί παρουσιάζονται οι επιδράσεις των νεφών στην ακτινοβολία, που σχετίζονται με την παρουσία αερολυμάτων στην ατμόσφαιρα.



Σχήμα 2-25 Σχηματικό διάγραμμα των μηχανισμών σχετικά με την επίδραση των νεφών στην ακτινοβολία, για τους οποίους έχει αναγνωριστεί η σχέση των aerosols. Τα μικρά μαύρα σημεία αντιπροσωπεύουν τα aerosols, ενώ οι μεγάλοι λευκοί κύκλοι αντιστοιχούν στα νεφοσταγονίδια. Τα ευθεία βέλη δηλώνουν την προσπίπτουσα και ανακλώμενη ακτινοβολία, ενώ τα κυματιστά την

γήνη. Οι κατακόρυφες διακεκομμένες, γκρι γραμμές αναπαριστούν τη βροχόπτωση. Τα νέφη που έχουν σαν πυρήνες συμπύκνωσης φυσικά aerosols (unperturbed) περιέχουν μεγαλύτερα νεφοσταγονίδια, ενώ τα νέφη που έχουν σαν πυρήνες συμπύκνωσης φυσικά και ανθρωπογενή aerosols αποτελούνται από μεγαλύτερο αριθμό μικρότερο νεφοσταγονιδίων (IPCC, 2007).

Η αποτελεσματικότητα ενός αιωρούμενου σωματιδίου να δράσει στην ατμόσφαιρα σαν πυρήνας συμπύκνωσης, είναι συνάρτηση του μεγέθους, της χημικής σύνθεσης, της κατάστασης ανάμιξης και του φυσικού περιβάλλοντος (Nastos et al., 2013c). Το μέγεθος και η χημική σύσταση των πρωτογενών πυρήνων (π.χ. θειικά ανθρωπογενή, νιτρικά, σκόνη, οργανικός και μαύρος άνθρακας) είναι σημαντικά για την ενεργοποίηση και γρήγορη ανάπτυξη των νεφοσταγονιδίων και ιδιαίτερα η παρουσία συστατικών που επηρεάζουν την επιφανειακή τάση (McFiggans et al., 2006). Επιπρόσθετα, η μείωση στη θέρμανση της επιφάνειας της Γης, εξαιτίας της εξασθένισης της ηλιακής ακτινοβολίας από τα αιωρούμενα σωματίδια της ατμόσφαιρας, σε συνδυασμό με τη θέρμανση της ατμόσφαιρας λόγω των απορροφητικών σωματιδίων, μπορεί να οδηγήσει σε μείωση των βροχοπτώσεων (Bell et al., 2008b).

2.8.5.2 Επιδράσεις των σωματιδίων στην υγεία

Τα αιωρούμενα σωματίδια υποβαθμίζουν την ποιότητα του ατμοσφαιρικού αέρα που αναπνέει ένας ανθρώπινος οργανισμός διαδραματίζοντας σημαντικό ρόλο στη διαμόρφωση της υγείας του. Η Υπηρεσία Προστασίας του Περιβάλλοντος της ΗΠΑ έχει εισαγάγει ένα δείκτη ποιότητας του αέρα (Air Quality Index – AQI), ο οποίος αναφέρεται στην καθημερινή ποιότητα του αέρα και χωρίζεται σε 6 κατηγορίες (Πίνακας 2-4).

Πίνακας 2-4 Οι κατηγορίες του δείκτη ποιότητας αέρα AQI από την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος της ΗΠΑ και οι αντίστοιχες επιδράσεις στην υγεία (EPA, 2014)

Κατηγορία του AQI	Τιμές του AQI	PM ₁₀ (μg m ⁻³)	Επιδράσεις στην υγεία
Καλή	0-50	0-54	Η ποιότητα του αέρα θεωρείται ικανοποιητική και η ατμοσφαιρική ρύπανση αποτελεί μικρό ή μηδενικό κίνδυνο.
Μέτρια	51-100	55-154	Η ποιότητα του αέρα είναι αποδεκτή, ωστόσο για ορισμένους ρύπους μπορεί να υπάρχει μέτρια ανησυχία για την υγεία για ένα πολύ μικρό αριθμό ανθρώπων που είναι ασυνήθιστα ευαίσθητα στην ατμοσφαιρική ρύπανση.
Ανθυγιεινή για ευαίσθητες ομάδες	101-150	155-254	Μέλη ευαίσθητων ομάδων ενδέχεται να αντιμετωπίσουν επιπτώσεις στην υγεία. Το ευρύ κοινό δεν είναι πιθανό να επηρεαστεί.
Ανθυγιεινή	151-200	255-354	Ο καθένας μπορεί να βιώσει τις επιπτώσεις στην υγεία, οι πιο ευαίσθητες ομάδες εμφανίζουν σοβαρότερα προβλήματα.
Πολύ ανθυγιεινή	201-300	355-424	Το σύνολο του πληθυσμού είναι πιθανό να επηρεαστεί και υπάρχουν προειδοποιήσεις για την υγεία.
Επικίνδυνη	301-500	>424	Ο καθένας μπορεί να εμφανίσει σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία.

Τα τελευταία 20 χρόνια έχουν διεξαχθεί πολυάριθμες επιδημιολογικές έρευνες για τις επιπτώσεις των αιωρούμενων στην υγεία. Έχει αποδειχθεί η άρρηκτη σχέση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης με την ολική θνησιμότητα (Katsouyanni et al., 1997) σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις (Katsouyanni et al., 2001), τη θνησιμότητα από καρδιο-αναπνευστικά νοσήματα και τον καρκίνο του πνεύμονα (Pope et al., 2004), αποκαλύπτοντας τις καρκινογόνες ιδιότητες των αιωρούμενων σωματιδίων.

Συγκεκριμένα, είναι δυνατό να προκαλέσουν άμεσες επιπτώσεις στο αναπνευστικό όπως ρινίτιδα, αλλεργίες, βρογχίτιδα, πνευμονία (Johnston et al., 2005), ενώ δημιουργούν λοιμώξεις και θρομβώσεις του αίματος στο κυκλοφορικό σύστημα (Maitre A. et al., 2006). Επιπλέον, έχει αναγνωριστεί η δυνατότητα των αιωρούμενων σωματιδίων να αυξάνουν τον κίνδυνο παρουσίας ισχαιμικών παθήσεων (Hazell et al., 1999) και όπως είναι φυσικό επηρεάζουν και επιδεινώνουν τις χρόνιες αποφρακτικές νόσους του αναπνευστικού και τις καρδιολογικές παθήσεις (Pope et al., 2004).

Τα αιωρούμενα σωματίδια είναι ένα μίγμα αρκετών τοξικών και καρκινογόνων χημικών ουσιών που καθορίζονται από τη χημική τους σύσταση, την περιεκτικότητά τους και το μέγεθός τους. Μάλιστα τα μικρά σε μέγεθος σωματίδια παρουσιάζουν αυξημένη τοξικότητα, αφού έχουν την ικανότητα να εισχωρούν σε δυσπρόσιτες περιοχές του αναπνευστικού συστήματος και στις ατέλειες της επιφανειακής δομής των πνευμόνων (Donaldson and MacNee, 1998).

Όσον αφορά τα κύρια συστατικά των σωματιδίων, τα θειικά είναι τα περισσότερο επικίνδυνα μειώνοντας την ικανότητα των πνευμόνων να αποβάλλουν σωματίδια. Συνεπώς η ταυτόχρονη έκθεση σε ρύπους όπως το όζον, τα οξειδία του θείου και τα οξειδία του αζώτου αυξάνει την τοξικότητα των αιωρούμενων σωματιδίων. Η ύπαρξη μεγάλης περιεκτικότητας οργανικών ενώσεων (από γεωλογικά πετρώματα) στα αιωρούμενα σωματίδια οδηγεί στην εμφάνιση μεταλλαξογόνου χαρακτήρα. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν, ότι τα χημικά συστατικά των PM_{10} είναι πολύ διαφορετικά. Συγκεκριμένα, μπορεί να κυμαίνονται από ουδέτερες και εξαιρετικά διαλυτές ουσίες όπως το θειικό αμμώνιο, το αμμώνιο νιτρικών αλάτων και το χλωριούχο νάτριο, οι οποίες είναι υπεύθυνες για την πνευμονική τοξικότητα (Adamson et al., 1999; Erbas and Hyndman, 2005), ενώ μπορεί να αποτελούνται από σωματιδιακό άνθρακα επικαλυμμένο με οργανικές ενώσεις και ουσιαστικά αδιάλυτα ορυκτά όπως τα σωματίδια της αργίλου (Harrison and Yin, 2000). Σε γενικές γραμμές, η συνολική ημερήσια θνησιμότητα αυξάνεται κατά 1% για κάθε $10mg\ m^{-3}$ αύξησης της συγκέντρωσης των PM_{10} . Αυτά τα ευρήματα φαίνεται ότι ισχύουν τόσο στις αναπτυγμένες όσο και στις αναπτυσσόμενες χώρες, όπου τα μείγματα των ρύπων αναμένεται να είναι διαφορετικά (Lippmann, 1998).

Η είσοδος των σωματιδίων εξαρτάται από το μέγεθος (αεροδυναμική διάμετρος), τη συγκέντρωση, τις φυσικές και χημικές ιδιότητες του σωματιδίου, ενώ οι κύριες πύλες εισόδου στον οργανισμό είναι το αναπνευστικό σύστημα με την εισπνοή, το γαστρεντερικό σύστημα (λήψη τροφών και υγρών), το ενδοκρινικό, το αιμοποιητικό και το κυκλοφορικό. Τα αιωρούμενα σωματίδια μετά την είσοδό τους στον ανθρώπινο οργανισμό μπορούν ακόμα να διαλυθούν ταχύτατα σε υγρά που επενδύουν τα τοιχώματα του αναπνευστικού συστήματος προκαλώντας τη δημιουργία ελεύθερων ριζών, που με τη σειρά τους οδηγούν στον ερεθισμό των ιστών αυξάνοντας την τοξικότητα στον οργανισμό (Donaldson et al., 1997; Valavanidis et al., 2000).

Συνεπώς, ακόμα και αν τα σωματίδια βρίσκονται σε μικρές συγκεντρώσεις μπορούν να προκαλέσουν βλάβες, οι οποίες σταδιακά αθροίζονται δημιουργώντας ασθένειες που παρουσιάζονται σε βάθος χρόνου. Οι βλάβες αυτές επιβαρύνουν συνήθως τις ευπαθείς ομάδες (παιδιά, ηλικιωμένοι και άτομα με χρόνιες καρδιολογικές και πνευμονολογικές παθήσεις) (Schwartz et al., 2005; Nastos et al., 2008b; Nastos et al., 2010; Moustiris et al., 2012). Έτσι λοιπόν, εκτός από τις άμεσες επιδράσεις τους μπορούν να έχουν τοξική δράση στα επιθηλιακά κύτταρα των βρόγχων (in vitro).

Αντίστοιχες μελέτες που έγιναν σε τρωκτικά αποδεικνύουν ότι τα αιωρούμενα σωματίδια της ιπτάμενης τέφρας επιφέρουν την τοξικότητα και την υπερέκκριση βλεννών στα επιθηλιακά κύτταρα της αναπνευστικής οδού. Η παραπάνω επίδραση γίνεται δυνατή μέσω της παραγωγής ενδοκυτταρικών οξειδωτικών ουσιών, ως αποτέλεσμα της έκθεσης των κυττάρων της τραχείας στα αιωρούμενα σωματίδια (Fernandez et al., 2003).

2.8.5.2.1 Επιδράσεις των σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα

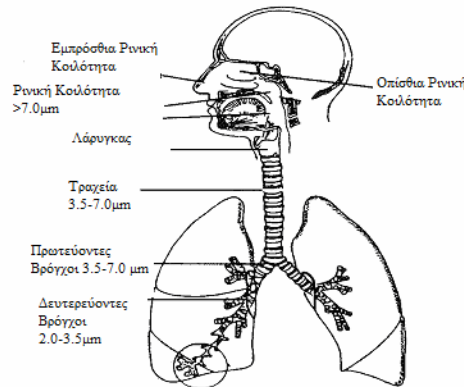
Το αναπνευστικό σύστημα είναι το σύστημα οργάνων που χρησιμεύουν στην πρόσληψη του ατμοσφαιρικού αέρα από το περιβάλλον, που για έναν μέσο ενήλικα οι απαιτήσεις σε αέρα είναι 10000 λίτρα την ημέρα. Συνεπώς, τα αιωρούμενα σωματίδια ευρισκόμενα στον ατμοσφαιρικό αέρα εισέρχονται μέσω της αναπνευστικής οδού στον ανθρώπινο οργανισμό και εναποτίθενται στο ανώτερο (μύτη, φάρυγγα, λάρυγγα και τραχεία) και κατώτερο (βρόγχους, πνεύμονες) αναπνευστικό σύστημα.

Το μέγεθος του αιωρούμενου σωματιδίου παίζει κυρίαρχο ρόλο σε σχέση με τα προβλήματα υγείας που δημιουργούνται στο αναπνευστικό σύστημα, καθώς καθορίζει τη θέση εναπόθεσής του στην αναπνευστική οδό. Επομένως, η συμπεριφορά των σωματιδίων μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό (Σχήμα 2-26) εξαρτάται από το μέγεθος της αεροδυναμικής διαμέτρου των ολικών αιωρούμενων στερεών (TSP):

- Εισπνεύσιμα σωματίδια (inhalable particles). Είναι τα αιωρούμενα σωματίδια που εισέρχονται στο ανώτερο αναπνευστικό (ρινοφαρυγγας) και αυτό το κλάσμα περιλαμβάνει σωματίδια με διαμέτρους μικρότερες από 10μm, καθώς η πλειοψηφία των σωματιδίων με διαμέτρους μεγαλύτερες από 10μm κατακρατώνται στην στοματική και ρινική κοιλότητα. Έτσι, τα σωματίδια αυτά έχουν την τάση να αποτίθενται στην άνω θωρακική χώρα (μύτη και λάρυγγα)
- Θωρακικά σωματίδια (thoracic particles). Είναι το κλάσμα των PM₁₀-PM_{2.5} που καταφέρνουν να διαπεράσουν το ανώτερο τμήμα της αναπνευστικής οδού (ρινοφάρυγγας). Θεωρείται ότι έχουν μέγεθος < 7μm.
- Αναπνεύσιμα σωματίδια (respirable particles). Είναι το κλάσμα αεροδυναμικής διαμέτρου έως περίπου 2.5μm και καταφέρνουν να διεισδύσουν ως τους πνεύμονες και την κυψελιδική περιοχή. Εκεί, παρακάμπτοντας τους μηχανισμούς παγίδευσης, εναποτίθενται με μηχανισμούς καθίζησης και διάχυσης.

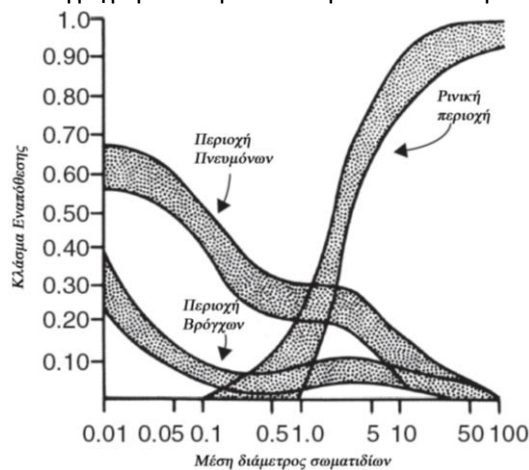
Τα σωματίδια με μέγεθος μεγαλύτερο από 10μm κατακρατώνται και αποβάλλονται από τον οργανισμό από το ανώτερο σύστημα εισπνοής/εκπνοής μέσω τριχών και βλεφαρίδων που υπάρχουν είτε στη ρινική κοιλότητα, είτε στα τοιχώματα του ανώτερου αναπνευστικού συστήματος των βρόγχων και των βρογχιόλων. Τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη από 5μm είναι αρκετά μεγάλα ώστε η τελική ταχύτητα καθίζησής τους να επιτρέπει την εναπόθεσή τους σε μέρη που προκαλούν σημαντικές βλάβες (Hinds, 1999).

Γενικά όσο μικρότερη διάμετρο έχει ένα σωματίδιο, τόσο βαθύτερα μπορεί να διεισδύσει μέσω του αναπνευστικού συστήματος στους πνεύμονες (Σχήμα 2-26).



Σχήμα 2-26 Αναπαράσταση του αναπνευστικού συστήματος και αντιστοιχία απόθεσης σωματιδίων στο αναπνευστικό σύστημα βάση διαμέτρου σωματιδίων (Hinds, 1999; Κουϊμτζής et al., 2004).

Στο Σχήμα 2-27 παρουσιάζεται μια πρόβλεψη της απόθεσης των σωματιδίων διαφόρων μεγεθών στα διάφορα τμήματα του αναπνευστικού συστήματος. Κάθε μία από τις σκιαζόμενες περιοχές δείχνει το εύρος της απόθεσης για μια δεδομένη αεροδυναμική διάμετρο σωματιδίων. Παρατηρούμε ότι στη ρινοφαρυγγική κοιλότητα αντιστοιχούν σωματίδια μεγάλης διαμέτρου. Αντίθετα, το μέγιστο της απόθεσης στους πνεύμονες αντιστοιχεί στις μικρές διαμέτρους και η καμπύλη που αντιστοιχεί στους βρόγχους και στην τραχεία καλύπτει ευρύ φάσμα διαμέτρων με σχετικά χαμηλά ποσοστά απόθεσης. Συνεπώς, το μέγεθος των σωματιδίων καθορίζει το σημείο της αναπνευστικής οδού όπου θα αποτεθεί καθώς και το πόσο γρήγορα και με ποιο τρόπο θα απομακρυνθεί.



Σχήμα 2-27 Απόθεση των σωματιδίων σε σχέση με το μέγεθος της διαμέτρου στις διάφορες περιοχές του πνεύμονα. Η ρινική περιοχή περιλαμβάνει την μύτη και το λαιμό. Η περιοχή των βρόγχων περιλαμβάνει τους αεραγωγούς, ενώ η πνευμονική περιοχή αποτελείται από τους μικρούς βρόγχους και τους αεροφόρους σάκους (Wilson and Spengler, 1996).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι εκτός από το μέγεθος των σωματιδίων και οι υπόλοιπες φυσικές τους ιδιότητες παίζουν σημαντικό ρόλο στην ανθρώπινη υγεία. Αναλυτικότερα, ο αριθμός των σωματιδίων, η ολική επιφάνεια, οι ηλεκτροστατικοί παράγοντες, η χημική και η βιολογική σύσταση επιδρούν στον ανθρώπινο οργανισμό (Utell and Samet, 1996). Συγκεκριμένα, η χημική σύσταση των σωματιδίων είναι εκείνη που

καθορίζει κατά κύριο λόγο το πώς θα αντιδράσει ένα ανθρώπινο όργανο όταν έρθει σε επαφή με τα σωματίδια (Oberdorster et al., 1995).

Η τύχη των εισπνεόμενων σωματιδίων δεν είναι πλήρως γνωστή. Γνωρίζουμε όμως ότι τα υδατοδιαλυτά συστατικά των σωματιδίων διαλύονται στην υγρή φάση των βρόγχων και εισέρχονται στην λέμφο ή στην κυκλοφορία σε κάποιο επίπεδο του αναπνευστικού συστήματος. Τα σωματίδια που είναι αδιάλυτα στην υδατική φάση, φαγοκυτταρώνονται από τα κυψελικά μακροφάγα μέσα σε λίγες ώρες. Ο βιολογικός χρόνος της ημιζωής τους κυμαίνεται από ημέρες ως και χρόνια (MacNee and Donaldson, 2003). Η καθημερινή εισπνοή σωματιδίων χαμηλής τοξικότητας μπορεί να οδηγήσει σε μειωμένη φαγοκυττάρωση καθώς ο αριθμός των κυψελιδικών μακροφάγων πλησιάζει το μέγιστο ωφέλιμο φορτίο τους (Tran et al., 2000). Κατά αυτόν τον τρόπο τα φορτωμένα μακροφάγα θα γίνονται όλο και λιγότερο ευκίνητα και πιο πιθανό να χαθούν, απελευθερώνοντας το φορτίο τους από την κατάποση των σωματιδίων στην κυψελιδική επιφάνεια (Tran et al., 2000). Συνεπώς η μακροχρόνια έκθεση μπορεί να προκαλέσει μια διαφορετική πνευμονική διαπερατότητα, λόγω της καταστροφής των μακροφάγων και των κυψελίδων.

Επιπρόσθετα, ο εγκλωβισμός των σωματιδίων στις κυψελίδες οδηγεί σε αύξηση των κυτταροτοξικών τους ιδιοτήτων. Αυτές οι ξеноβιοτικές ουσίες ενεργοποιούν την αντίδραση των φαγοκυττάρων, τα οποία εκκρίνουν χημειοτακτικές ουσίες και οξειδωτικές ενώσεις για να αντιμετωπίσουν την «εισβολή». Οι φλεγμονές που σχηματίζονται με αυτό τον τρόπο είναι βασικές αιτίες καρκινογένεσης. Άλλες επιβλαβείς δράσεις των σωματιδίων είναι η υπεροξειδωση λιπιδίων (lipid peroxidation) των κυτταρικών μεμβρανών που μπορεί να καταστεί αιτία σειράς αντιδράσεων και έναρξης καρκινογένεσης. Οι οξειγονούχες αυτές ελεύθερες ρίζες προκαλούν σημαντικές οξειδωτικές βλάβες στις νουκλεοβάσεις του DNA, προκαλώντας μεταλλάξεις, παρεμποδίζουν τους επιδιορθωτικούς ενζυμικούς μηχανισμούς του DNA και παρεμβάλλουν τη δράση των κατασταλτικών ογκογονιδίων. Το τελευταίο επιβαρύνεται και από την αποβολή σιδήρου (Fe^{+3}) λόγω οξειδωτικής δράσης ριζών από το ένζυμο φερριτίνη, που συμπλοκοποιεί το σίδηρο και δεν το αφήνει να δράσει καταλυτικά για την παραγωγή ελευθέρων ριζών.

Σύμφωνα με τα ανωτέρω, τα αιωρούμενα σωματίδια τόσο τα μικρού μεγέθους όσο και τα μεγαλύτερα, είναι βλαβερά για το αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου και γενικότερα των ζώντων οργανισμών και συνδέονται με πολυάριθμες επιπτώσεις στην υγεία. Αναλυτικότερα, η έκθεση σε μεγάλα σωματίδια ερεθίζει το αναπνευστικό σύστημα και παρουσιάζει ασθένειες όπως ρινίτιδα, αλλεργίες, μολύνσεις στα ιγμόρεια, άσθμα και χρόνια βρογχίτιδα (Norbert, 2004; Chen et al., 2007). Τα λεπτά σωματίδια συνδέονται περισσότερο με επιπτώσεις στην υγεία που απαιτούν την εισαγωγή στο νοσοκομείο, όπως προβλήματα καρδιάς και πνευμόνων, συμπτώματα στο αναπνευστικό σύστημα, μειωμένη πνευμονική λειτουργία, βλάβη στους ιστούς των πνευμόνων, καρκινογένεσεις και πρόωρο θάνατο (Petaloti et al., 2006). Στις συνέπειες συγκαταλέγονται ακόμα και κάποιες λιγότερο επώδυνες, όπως επίμονος βήχας, φλέγματα, ζαλάδες και αδιαθεσία (Karros et al., 2004). Είναι γενικά παραδεκτό ότι η μακροχρόνια έκθεση του ανθρώπου σε υψηλές συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων μπορεί να μειώσει το προσδόκιμο της ζωής από 1 έως 2 χρόνια κατά μέσο όρο και αυτό αυξάνεται όταν τα άτομα βρίσκονται σε ομάδες υψηλού κινδύνου (Schwartz et al., 1993).

Επιδημιολογική μελέτη δείχνουν ότι μια πιθανή αύξηση στη συγκέντρωση των εισπνεύσιμων (inhaled) σωματιδίων κατά $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ θα προκαλέσει 1% αύξηση στην πρόωρη

παιδική θνησιμότητα (premaure mortality) (Schwartz, 1994). Πρόσφατη επιδημιολογική μελέτη απέδειξε ότι τα παιδιά ηλικίας κάτω των 5 ετών παρουσιάζουν αύξηση κατά 2% του κινδύνου νοσηλείας τους λόγω αναπνευστικών παθήσεων με αύξηση κατά $10\mu\text{gm}^{-3}$ της συγκέντρωσης των PM_{10} και αύξηση κατά $10\mu\text{gm}^{-3}$ της συγκέντρωσης του SO_2 οδηγεί σε αύξηση κατά 2% του κινδύνου νοσηλείας για τους ηλικιωμένους άνω των 65 ετών. Η αύξηση κατά $10\mu\text{gm}^{-3}$ συμβάλλει στην αύξηση κατά 0.1% του κινδύνου νοσηλείας των παιδιών κάτω του ενός έτους (Sousa et al., 2012a).

Έρευνες δείχνουν ότι οι συνέπειες των αερολυμάτων στην υγεία εμφανίζονται ακόμη και σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις. Εκτιμάται ότι τα βραχυχρόνια επεισόδια ρύπανσης είναι υπεύθυνα για το 7-10 % των ασθενειών του κατώτερου αναπνευστικού στα παιδιά και ότι το ποσοστό αυτό αυξάνεται στο 20% στις ρυπασμένες αστικές περιοχές. Ακόμη, σχετικά πρόσφατες εκτιμήσεις δείχνουν ότι 4-8% των πρώιμων θανάτων οφείλεται σε έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια (Hoek and Brunekreef, 1995).

2.8.5.2.1.1 Όζον και αναπνευστικά

Το όζον είναι πολύ δραστικό αέριο που προκύπτει κατά κύριο λόγο από τη δράση του ηλιακού φωτός στους υδρογονάνθρακες και στις εκπομπές του NO_x από την καύση του καυσίμου. Το όζον προκαλεί οξειδωση των ιστών των πνευμόνων όταν εισπνέεται, δρώντας έτσι ως ένα ισχυρό ερεθιστικό όταν βρίσκεται σε υψηλά επίπεδα όπως τα στις αστικές πόλεις κατά τη διάρκεια των θερινών μηνών (US EPA, 2002). Επιδημιολογικές και κλινικές μελέτες έχουν δείξει ότι το O_3 μέσα στις πρώτες λίγες ώρες μετά την έναρξη της έκθεσης, σχετίζεται με επιδείνωση της αθλητικής απόδοσης, τη μείωση της λειτουργίας των πνευμόνων, τη δύσπνοια, τον πόνο στο στήθος κατά τη διάρκεια βαθιάς εισπνοής, το συριγμό και το βήχα, τις παροξύνσεις άσθματος στα άτομα όπου έχουν διαγνωστεί με άσθμα. Η έκθεση στο O_3 και στα αιωρούμενα σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου $2.5\mu\text{m}$ ή λιγότερο ($\text{PM}_{2.5}$), είναι ένας παράγοντας κινδύνου για αναπνευστικά συμπτώματα σε παιδιά με άσθμα (US EPA, 2002).

2.8.5.2.1.2 Οξειδία του αζώτου και αναπνευστικά

Οι κύριες πηγές των οξειδίων του ατμοσφαιρικού αζώτου (NO_x) είναι οι κινητήρες ντίζελ και βενζίνης των οχημάτων και οι σταθμοί παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας από τον άνθρακα και το πετρέλαιο, οι οποίοι κατά κανόνα δημιουργούν σταθεροποίηση του αζώτου στον αέρα κατά τη διάρκεια της καύσης, με αποτέλεσμα να θεωρείται καλός δείκτης της ρύπανσης του μεταφερόμενου αέρα. Οι διαθέσιμες επιδημιολογικές μελέτες είναι συχνά δύσκολο να ερμηνεύσουν και να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις του NO_2 , λόγω του συνεργιστικού του ρόλου με άλλους εξωτερικούς ατμοσφαιρικούς ρύπους όπως το SO_2 , που δημιουργεί ασθένειες στο κατώτερο αναπνευστικό σύστημα (Trasande and Thurston, 2005). Πολλές μελέτες έχουν δείξει την άρρηκτη σχέση μεταξύ του NO_2 και των PM_{10} και την αύξηση της συχνότητας των συμπτωμάτων άσθματος, τη μείωση της λειτουργίας των πνευμόνων στα παιδιά σε ημερήσια κλίμακα (Ostro et al., 2001; Samoli et al., 2011b) και την αύξηση των αναπνευστικών συμπτωμάτων.

Ακόμα μία μελέτη κατέληξε στο συμπέρασμα ότι ακόμα και αερομεταφερόμενου O_3 σε «αποδεκτά» επίπεδα μπορεί να σχετίζεται με επιδείνωση του άσθματος. Ωστόσο, η κατάσταση δεν είναι τόσο ξεκάθαρη (Zweiman and Rothenberg, 2004). Υπάρχει καταστρεπτική επίδραση του NO_2 στα συμπτώματα ή στη λειτουργία των πνευμόνων και

μια άλλη μελέτη στη νότια Καλιφόρνια διαπίστωσε ότι ο σχετικός κίνδυνος για την ανάπτυξη του άσθματος ήταν αυξημένος σε παιδιά ηλικίας έως 16 ετών, που ήταν εκτεθειμένα σε περιβάλλον με υψηλά επίπεδα O_3 κατά τη διάρκεια εξωτερικών ομαδικών αθλημάτων (Zweiman and Rothenberg, 2004). Στο Λονδίνο και την Ιαπωνία τα ευρήματα έδειξαν τη συσχέτιση του εξωτερικού NO_2 με το άσθμα και ασθένειες του κατώτερου αναπνευστικού (Hajat et al., 1999; Shima and Adachi, 2000).

Επιπλέον, πολλές επιδημιολογικές έρευνες δείχνουν θετική συσχέτιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, δηλαδή υψηλά επίπεδα O_3 , NO_x , SO_x , με την αύξηση των αναπνευστικών ασθενειών και των χρόνιων αναπνευστικών συμπτωμάτων. Μάλιστα στην Ελλάδα, τα τελευταία επιδημιολογικά στοιχεία έδειξαν ότι το άσθμα και τα συμπτώματα σχετικά με το άσθμα είναι κοινά σε παιδιά και σε ενήλικες. Παρατηρήθηκε μεγάλη αρνητική συσχέτιση των υψηλότερων επιπέδων των σωματιδίων με το απογευματινό μέγιστο εκπνευστικής ροής (PEF), η οποία έγινε εμφανής μετά από μία ημέρα στις αστικές περιοχές. Σημαντικά θετική συσχέτιση βρέθηκε μεταξύ πρωινής PEF και του μαύρου καπνού με υστέρηση μηδέν ημερών. Τα αποτελέσματα της επίδρασης NO_2 είναι δύσκολο να ερμηνευθούν, επειδή συνδέονται με εκτεταμένη χρονική υστέρηση και η υποβολή σε έκθεση με υστερήσεις μεγαλύτερου χρονικού διαστήματος απαιτεί ευρύτερες μελέτες ώστε να κριθούν καλύτερα οι επιδράσεις των υπό παρακολούθηση των εξωτερικών καταγραφών του NO_2 . Ωστόσο, μια παρατεταμένη έκθεση σε NO_2 και SO_2 επηρεάζουν τη συχνότητα εμφάνισης των συμπτωμάτων (Gratziou et al., 2001).

2.8.5.2.1.3 Οξείδια του θείου και αναπνευστικά

Το διοξείδιο του θείου (SO_2) που εκπέμπεται κυρίως από τον άνθρακα και το πετρέλαιο με βιομηχανικές διαδικασίες, που περιλαμβάνουν την καύση ορυκτών καυσίμων, όπως το θείο, είναι ένα φυσικό συστατικό αυτών των ορυκτών καυσίμων. Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, συμπεριλαμβανομένων του SO_2 και άλλων σωματιδίων που ρυθμίζονται άμεσα από την οδηγία «Clean Air Act», ενώ η πιθανότητα του προτύπου για όξινα αερολύματα έχει πρόσφατα θεωρηθεί από την EPA των ΗΠΑ. Αυτά τα σωματίδια και τα όξινα αερολύματα απελευθερώνονται από διεργασίες καύσης ορυκτών καυσίμων και συνήθως παρουσιάζουν ως συστατικά ένα σύμπλοκο μείγμα, προκαλώντας αύξηση της θνησιμότητας και της αντίστασης των αεραγωγών, ειδικά κατά τη στοματική αναπνοή (Koren, 1995).

Το SO_2 , σε αντίθεση με τους άλλους ρύπους, είναι αναπνευστικό ερεθιστικό που όμως δεν προκαλεί σημαντικές οξείες ή χρόνιες δυσμενείς επιπτώσεις στον άνθρωπο που εκτίθεται σε συγκεντρώσεις περιβάλλοντος (Alarie et al., 1972; Amdur, 1974; Nastos, 2008), αλλά επειδή είναι 50 φορές περισσότερο διαλυτό από το CO_2 στο νερό στους $30^\circ C$, μπορεί από τη μία να απορροφηθεί στις ανώτερες αναπνευστικές οδούς κατά την ηρεμία και από την άλλη αυξάνει την απόθεση στα βαθύτερα τμήματα των πνευμόνων (Koren, 1995). Ελεγχόμενες μελέτες σε υγιή άτομα που εκτίθενται σε SO_2 σε κατάσταση ηρεμίας ή κατά τη διάρκεια άσκησης έχουν αποτύχει να αποδείξουν επιπτώσεις στην αναπνευστική μηχανική σε επίπεδα μέχρι 10ppm (Stacy et al., 1983; Kulle et al., 1984; Schachter et al., 1984; Folinsbee et al., 1985). Σε αντίθεση, η έκθεση σε χαμηλά επίπεδα SO_2 μεταβάλλει τη λειτουργία των πνευμόνων των ασθενικών (Koenig et al., 1980; Sheppard et al., 1980).

Πίνακας 2-5 Ατμοσφαιρικοί ρύποι και επιπτώσεις στο αναπνευστικό σύστημα (Tsabouri et al., 2014).

Μολυντής	Πηγές	Επιδράσεις στην υγεία	
		Βραχυπρόθεσμες	Μακροπρόθεσμες
Αιωρούμενα Σωματίδια	Καυσαέρια αυτοκινήτων, λεωφορείων, φορτηγών, καύση καυσίμων, κατασκευές, βιομηχανίες,	ρινίτιδα, φαρυγγίτιδα, Λαρυγγίτιδα,	Παθήσεις κατώτερου αναπνευστικού Πνευμονία Αυξημένος κίνδυνος άσθματος
Όζον	Από τις αντιδράσεις των οξειδίων του αζώτου και τις οργανικές ενώσεις (VOC) με το φως του ήλιου	Βρογχίτιδα	Αυξημένη κρίσεις άσθματος
Διοξείδιο του θείου	Βιομηχανίες, μονάδες άνθρακα και πετρελαίου, μονάδες χάλυβα	Επιδείνωση του άσθματος σε ασθματικούς	
Διοξείδιο του αζώτου	Από την καύση των καυσίμων και τις ατμοσφαιρικές αντιδράσεις	Μειωμένη πνευμονική λειτουργία	

2.8.5.2.2 Επιδράσεις των σωματιδίων στο καρδιολογικό σύστημα

Επιδημιολογικές μελέτες απέδειξαν ότι μετά την εισπνοή λεπτών σωματιδίων είναι δυνατόν μέσω των πνευμόνων να καταλήξουν στο κυκλοφορικό σύστημα. Τα πολύ λεπτά (UF) σωματίδια είναι ικανά να προκαλέσουν πολύ μεγαλύτερη βλάβη των ιστών από τα μεγαλύτερα σωματίδια όταν αυτά εναποτίθενται. Συγκεκριμένα, τα πολύ λεπτά σωματίδια άνθρακα (ultrafine carbon particles), τα οποία χαρακτηρίζονται ως ραδιενεργά, μπορούν να ανιχνευθούν στο αίμα μέσα σε ένα λεπτό από την εισπνοή τους και φτάνουν το μέγιστο των συγκεντρώσεών τους στο περιφερειακό αίμα μέσα σε 10 με 20 λεπτά (Nemmar et al., 2002) δημιουργώντας αθηροσκλήρυνση και θρομβώσεις (Ross, 1999), καθιστώντας αυξημένο τον κίνδυνο για σοβαρές καρδιακές παθήσεις (Peters, 2006; Grigoropoulos et al., 2009). Οι αυξήσεις των συγκεντρώσεων των λεπτών σωματιδίων PM_{2.5} προκαλούν αύξηση του μέσου καρδιακού παλμού και πτώση της μεταβλητότητάς του, γεγονός που υποδηλώνει αλλοιωμένο αυτόνομο έλεγχο του καρδιακού παλμού και μπορεί να συσχετιστεί με υψηλό κίνδυνο καρδιακών αρρυθμιών (Pope et al., 1999; Gold et al., 2000).

Μάλιστα, άλλη επιδημιολογική έρευνα έδειξε ότι υπάρχει σημαντική αύξηση του κινδύνου πρόκλησης εμφράγματος μυοκαρδίου μέσα σε μία με τρεις ώρες από την ξαφνική αύξηση της συγκέντρωσης των λεπτόκοκκων σωματιδίων (d=2.5μm) και ο κίνδυνος αυτός παραμένει αρκετές μέρες μετά την έκθεση (Peters et al., 2001b). Επιπρόσθετα η βραχυπρόθεσμη έκθεση σε περιβάλλον με υψηλές συγκεντρώσεις PM_{2.5} οδηγεί σε ισχαιμική καρδιοπάθεια (Pope et al., 2006). Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν σε διαφορετικές περιοχές όπως στη Βοστώνη (Peters et al., 2001a), στη Ρώμη (D'Ippoliti et al., 2003) και σε 21 πόλεις των ΗΠΑ (Zanobetti and Schwartz, 2005), όπου τα χαρακτηριστικά της ισχαιμικής καρδιοπάθειας συσχετίζονται με τα λεπτά σωματίδια, όπως η υπέρταση (Dubowsky et al., 2006), η στηθάγχη και η καρδιακή ανεπάρκεια (Mann et al., 2002). Ενώ πιο πρόσφατη επιδημιολογική μελέτη βρήκε ότι αύξηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{2.5} σχετίζεται με μείωση του καρδιακού ρυθμού (Cardenas et al., 2008)

Η καταστροφή των μακροφάγων εξαιτίας της εισβολής μικροσωματιδίων στον οργανισμό μπορεί να αποδειχθεί θανατηφόρα, κυρίως για όσους διατρέχουν κίνδυνο εμφάνισης καρδιαγγειακών νοσημάτων. Οι πνεύμονες που παθαίνουν φλεγμονή εξαιτίας της ρύπανσης εκκρίνουν ιντερλευκίνη-6, μία ουσία του ανοσοποιητικού συστήματος η οποία έχει αποδειχθεί ότι διευκολύνει τη θρόμβωση του αίματος (Conway et al., 2004; Mossman et al., 2007). Οι μακροφάγοι αποτελούν το βασικό δομικό υλικό των αθηρωματικών πλακών στα τοιχώματα των αρτηριών. Η συγκέντρωση τέτοιων στρωμάτων παρεμποδίζει τη φυσιολογική ροή του αίματος, ενώ η διάρρηξή τους προκαλεί τη δημιουργία αρρυθμιών και θρόμβων που μπορεί να πυροδοτήσουν καρδιακή προσβολή ή εγκεφαλικό επεισόδιο (Dockery, 2001), ενώ οι αρρυθμίες αποτελούν συχνό φαινόμενο (Dockery, 2001) και παρατηρούνται αλλαγές στα αιματολογικά χαρακτηριστικά ενός οργανισμού (C αντιδρώσα πρωτεΐνη, πίεση) (Cheng et al., 2003).

Θα πρέπει να αναφερθεί ότι μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους (Abushaban et al., 2004) στον Κόλπο του Περσικού έδειξε ότι οι συγγενείς ανωμαλίες της καρδιάς αυξήθηκαν από 39.5 σε 103.4 ανά 10000 γεννήσεις ($p < 0,001$) μετά τον πόλεμο. Μητέρες που ζουν σε περιοχή με αυξημένη ατμοσφαιρική ρύπανση, έχουν μεγαλύτερες πιθανότητες να γεννήσουν παιδιά με συγγενείς καρδιακές ανωμαλίες (Beigelman and Bacharier, 2013).

Η αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$ και του επιφανειακού όζοντος είναι δυνατό να προκαλέσει σημαντικά καρδιακά προβλήματα όπως παροξυσμική κολπική μαρμαρυγή. Έτσι, αύξηση κατά 22ppb σε μια ώρα στη συγκέντρωση του επιφανειακού όζοντος οδηγεί σε αύξηση των ασθενών με αρρυθμία (Rich et al., 2006). Επίσης, η βραχυπρόθεσμη επίδραση των PM_{10} σωματιδίων, σε συνδυασμό με αυξημένες συγκεντρώσεις CO και NO_2 οδηγεί σε οξεία καρδιακή ανεπάρκεια και σε αύξηση των εισαγωγών στα νοσοκομεία ειδικά σε άτομα που έχουν υποστεί έμφραγμα του μυοκαρδίου (Wellenius et al., 2005). Οι βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις των PM_{10} στο καρδιοαγγειακό σύστημα συνοψίζονται από τους Anderson and Atkinson (2001), οι οποίοι παρουσιάζουν τις πόλεις που έχουν συμπεριληφθεί στην έρευνά τους καθώς και η αντίστοιχη καρδιολογική πάθηση που εμφανίζεται από την έκθεση στα αιωρούμενα σωματίδια PM_{10} (Πίνακας 2-6).

Πίνακας 2-6 Περιγραφή των μελετών των καρδιαγγειακών εισαγωγών και των σωματιδίων που περιλαμβάνονται στην ανασκόπηση των (Anderson and Atkinson, 2001)

Συγγραφέας	Πόλη	Έτος	Διάγνωση	Ηλικία	Ρύπος
Schwartz	Detroit	1995	HF, IHD, AR	65+	PM_{10}
Burnett	Toronto	1997	CA	Όλες	$PM_{10}, PM_{10}, PM_{10-2.5}$
Schwartz	Tucson	1997	CA	65+	PM_{10}
Wordley	Birmingham	1997	ST, IHD	Όλες	PM_{10}
Poloniecki	London	1997	CV, ST, HF, IHD, AN, AR, AMI	Όλες	BS
Prescott	Edinburgh	1998	CV	0-65, 65+	PM_{10}, BS
Morris	Chicago	1998	HF	65+	PM_{10}
Atkinson	London	1999	CV, IHD	Όλες, 0-65, 65+	PM_{10}, BS
Wong	Hong Kong	1999	CV, CE, HF, IHD	Όλες, 0-65, 65+	PM_{10}
Schwartz	8 US cities	1999	CA	65+	PM_{10}
Gwynn	Buffalo	2000	CA	Όλες	PM_{10}
Linn	Los Angeles	2000	CV, HF, AMI, AR, ST	30+	PM_{10}

Έτος: Αποτελεί το έτος της δημοσίευσης της κάθε επιδημιολογικής έρευνας

HF: καρδιακή ανεπάρκεια, IHD: ισχαιμική καρδιακή νόσος, AR: αρρυθμία, CA: καρδιακή νόσος, ST: εγκεφαλικό επεισόδιο, AN: στηθάγχη, AMI: οξύ έμφραγμα του μυοκαρδίου, CV: καρδιαγγειακή νόσος, BS: Black Smoke = Μαύρος καπνός

3 Βιοκλιματολογία και Βιοκλιματικοί δείκτες

3.1 Βιοκλιματολογία και η εξέλιξή της

3.1.1 Εισαγωγικές έννοιες

Το κλίμα αποτελεί ένα πολύ σπουδαίο στοιχείο του φυσικού περιβάλλοντος για το ανθρώπινο γένος, γιατί αν και ο άνθρωπος θεωρεί τον εαυτό του δημιουργήμα της ξηράς στην πραγματικότητα ζει και κινείται στο πυθμένα ενός πολύ βαθέος ωκεανού, που είναι η ατμόσφαιρα (Φλόκας, 1997).

Το ατμοσφαιρικό περιβάλλον, ιδιαίτερα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους, επηρεάζει καθοριστικά τις συνθήκες διαβίωσης φυτικών και ζωικών οργανισμών. Ορισμένοι από τους έμβιους οργανισμούς μπορούν, ανάλογα με τους μηχανισμούς άμυνας που διαθέτουν, να ανταπεξέλθουν σε εξαιρετικά αντίξοες συνθήκες ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος και να επιβιώσουν, ενώ άλλοι θα μετακινηθούν προς αναζήτηση βελτιωμένων συνθηκών περιβάλλοντος. Τέλος, κάποιοι άλλοι αδυνατούν να αντιμετωπίσουν τις συνθήκες αυτές και δεν επιβιώνουν (εξαφάνιση φυτικών ειδών και ζώων).

Οι φυτικοί και ζωικοί οργανισμοί με τους μηχανισμούς προσαρμογής που διαθέτουν για την αντιμετώπιση των δυσμενών επιδράσεων του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος, μπορούν να επιβιώσουν σ' ένα εύρος τιμών περιβαλλοντικών παραμέτρων πέραν των οποίων η ζωή τους είναι επισφαλής. Το εύρος αυτό διαφοροποιείται έντονα ανάλογα με το είδος και την ποικιλία των φυτών ή το είδος και τις φυλές των ζώων. Αποτέλεσμα αυτού είναι η χωροταξική κατανομή των διαφορετικών φυτών και ζώων στον πλανήτη, η οποία καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό από τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν κατά τη διάρκεια του έτους σε κάθε περιοχή. (Χρονοπούλου-Σερέλη and Φλόκας, 2010)

Από τις περιβαλλοντικές παραμέτρους ιδιαίτερο ενδιαφέρον στην ανάπτυξη και την παραγωγικότητα των φυτικών οργανισμών παρουσιάζει η ακτινοβολία, η θερμοκρασία (WMO, 1954; Blennow and Persson, 1998) και η ατμοσφαιρική υγρασία. Οι παράμετροι αυτές επηρεάζουν τόσο την υγιεινή κατάσταση, όσο και την παραγωγικότητα των ζωικών οργανισμών. Ιδιαίτερο ρόλο στις συνθήκες διαβίωσης του ανθρώπινου οργανισμού παίζουν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες, με αποτέλεσμα σε ορισμένες οριακές καταστάσεις να έχουν καθοριστική σημασία και για την επιβίωσή του. Τόσο οι φυτικοί, όσο και οι ζωικοί οργανισμοί μέσω των φυσιολογικών τους διεργασιών και δραστηριοτήτων επηρεάζουν με τη σειρά τους το ατμοσφαιρικό περιβάλλον μέσα στο οποίο διαβιών. Αυτή η αλληλεπίδραση ατμοσφαιρικών συνθηκών και έμβιων οργανισμών αποτελεί το αντικείμενο της Βιομετεωρολογίας-Βιοκλιματολογίας (Burton et al., 2009).

Βιοκλιματολογία ονομάζεται η επιστήμη που ασχολείται με τις άμεσες και έμμεσες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις μεταξύ του γεωφυσικού και γεωχημικού περιβάλλοντος της ατμόσφαιρας και των ζωντανών οργανισμών, φυτών, ζώων και ανθρώπων. Ο χαρακτηρισμός «περιβάλλον» στον ορισμό εμπεριέχει το μικρο-, μάκρο- και μέσο- (κοσμικό)

περιβάλλον. Αργότερα, το 1960, επικράτησε ένας άλλος ορισμός ο οποίος χαρακτηρίζει την επιστήμη αυτή ως τον κλάδο της Οικολογίας, που πραγματεύεται την επίδραση του φυσικού περιβάλλοντος στα έμβια όντα (Hawkins, 1954).

Η Βιομετεωρολογία – Βιοκλιματολογία που αφορά τον άνθρωπο είναι μέρος της Περιβαλλοντικής Μετεωρολογίας. Σκοπός της, εκτός των άλλων, είναι η απάντηση μιας σειράς ερωτημάτων σχετικά με την εφαρμογή της Ιατρικής επιστήμης σε βλάβες που προκαλούνται στον ανθρώπινο οργανισμό από την επίδραση δυσμενών συνθηκών του περιβάλλοντος. Για να διερευνηθεί το φάσμα των επιδράσεων, η Βιομετεωρολογία χρησιμοποιεί σχετικές μεθόδους με την Επιδημιολογία στη μελέτη των δυνητικών βλαβών, στη λήψη πληροφοριών, στα όρια της ασφαλούς έκθεσης σε διάφορες συνθήκες με τις ασθένειες και επιδημίες, στη δυσφορία και τέλος στον καθορισμό της διάκρισης των ωφέλιμων και επιβλαβών περιβαλλοντικών συνθηκών για τον άνθρωπο (WMO, 2004).

Η ατμόσφαιρα είναι τμήμα του περιβάλλοντος το οποίο ο άνθρωπος αντιμετωπίζει καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής του, αφού αυτό εμπλέκεται σχεδόν στο σύνολο των βασικών βιολογικών του λειτουργιών. Οι αντιδράσεις του οργανισμού μπορούν να θεωρηθούν αποτέλεσμα της προσπάθειας του ανθρώπου να αντεπεξέλθει στις όποιες μεταβολές της ατμόσφαιρας, φυσικές ή χημικές. Για να γίνει κατανοητή η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στην ανθρώπινη υγεία και την ευζωία, θα πρέπει να μεταφραστεί η βασική – πρωτογενής μετεωρολογική πληροφορία σε έννοιες σχετιζόμενες με τη βιολογία του ανθρώπου. Για να γίνει εφικτό το παραπάνω, η επίδραση της ατμόσφαιρας στον άνθρωπο διαχωρίστηκε σε τρεις βασικούς τομείς. Στον τομέα του θερμικού περιβάλλοντος, δηλαδή των συνθηκών που επιδρούν στην ανταλλαγή θερμότητας στο σύστημα άνθρωπος – περιβάλλον. Στον τομέα της άμεσης βιολογικής επίδρασης της ηλιακής ακτινοβολίας και τέλος στο τομέα της επίδρασης της αέριας ρύπανσης συμπεριλαμβανομένων και των αλλεργιογόνων ουσιών όπως η γύρη κ.ά. (Lowry, 1969; Fanger, 1973; WMO, 2004; Allaby, 2007)

Αντικείμενο της Βιοκλιματολογίας είναι η επίδραση των ατμοσφαιρικών συνθηκών στους έμβιους οργανισμούς και το αντίστροφο. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες επηρεάζουν τόσο τα φυτά και κατ' επέκταση τη γεωργική παραγωγή, όσο και την υγεία των ανθρώπων. Έχει ως κύριο κλάδο της τη Βιοκλιματολογία του ανθρώπου (Ανθρωποκλιματολογία ή Ιατρική Κλιματολογία), η οποία μελετά σε έκταση το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος και τις επιδράσεις πάνω σε αυτό των ακτινοβολιών, της ατμοσφαιρικής σύνθεσης και των μεταβολών του καιρού. Τις τελευταίες δεκαετίες, οι αντιδράσεις αυτές παρακολουθούνται από συστηματικές επιστημονικές έρευνες.

3.1.2 Ιστορική Αναδρομή

Η επιστήμη της Βιομετεωρολογίας-Βιοκλιματολογίας είναι μια από τις παλαιότερες περιβαλλοντικές επιστήμες. Το ενδιαφέρον του ανθρώπου για τον κόσμο που τον περιβάλλει τον οδήγησε στη μελέτη του καιρού και του κλίματος και των επιπτώσεών τους στην υγιά του κατάσταση. Οι αρχαίοι Έλληνες φιλόσοφοι αναζήτησαν τη διερεύνηση των μετεωρολογικών φαινομένων, βασιζόμενοι στην παρατήρηση, ενώ ο πρώτος που επεσήμανε το σημαντικό ρόλο των μετεωρολογικών παραμέτρων στην υγιά κατάσταση του ανθρώπου ήταν ο Ιπποκράτης, όπως αυτό αναλύεται με εξαιρετικό τρόπο στην πραγματεία

του «Αέρας-Νερό-Γη». Εκτός όμως από τον Ιπποκράτη και άλλοι Έλληνες φιλόσοφοι, μεταξύ των οποίων ο Αριστοτέλης, ο Θεόφραστος και ο Πλίνιος, διαπίστωσαν την ιδιαίτερη σημασία που έχουν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες στη ζωή του ανθρώπου και στις διεργασίες της φύσης (Taub, 2003).

Πρέπει να σημειωθεί ότι τα πρώτα δείγματα βιοκλιματικού σχεδιασμού εντοπίζονται στην αρχαία πόλη των Μυκηνών. Εγκλώβιζαν τον αέρα με στενές οδούς περιμετρικά ανοικτών χώρων, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητά του και αποκτούσαν φυσικό κλιματισμό στην άλλη έξοδο των διοδίων στους προαύλιους χώρους των κατοικιών. Οι περισσότερες αναφορές στο βιοκλιματικό σχεδιασμό, στα αρχαία χρόνια, αφορούν κυρίως κτήρια - με σημαντικά δείγματα να έχουν βρεθεί στη Δήλο, στην Ιωνία της Μ. Ασίας και στη Χαλκιδική (Κολοβού, 2007).

Κατά τα νεώτερα χρόνια, οι αναζητήσεις αυτές δεν έπαψαν να αποτελούν αντικείμενο έρευνας πολλών επιστημόνων, ιδιαίτερα σε ό,τι αφορά στη διερεύνηση των σχέσεων μεταξύ των ατμοσφαιρικών συνθηκών και της ζωής του ανθρώπου. Κατά το μεσαίωνα, η διερεύνηση αυτή στον ευρωπαϊκό χώρο ανεστάλη λόγω των θρησκευτικών αντιλήψεων και του πολιτικού κλίματος που επικρατούσε στην Ευρώπη κατά την περίοδο εκείνη. Αντίθετα, οι Άραβες επιστήμονες συνέχισαν το έργο τους και τα αποτελέσματα των ερευνών τους διοχετεύθηκαν στο δυτικό κόσμο σε μια εποχή που συνέπεσε με το διαφωτισμό, με αποτέλεσμα να βρουν πρόσφορο επιστημονικά έδαφος για περαιτέρω ανάπτυξη.

Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες για μεγάλο χρονικό διάστημα, ήταν οι μόνοι που λαμβάνονταν υπόψη στην προσπάθεια εξήγησης της έξαρσης επιδημιών και ασθενειών του ανθρώπου (Ματζαράκης, 1995; Rizzo et al., 2004; Allaby, 2007). Στο δεύτερο μισό του 19^{ου} αιώνα, με τη βοήθεια των ανακαλύψεων του L. Pasteur στράφηκε το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας (Lussac, von Humboldt, Fourier και Carnot) σε άλλες περιβαλλοντικές επιστήμες όπως η Βακτηριολογία και η Μικρολογία με αποτέλεσμα να αναπτυχθεί η Μετεωρολογική επιστήμη.

Βέβαια παρόλο που ο Ιπποκράτης ήταν ο πρώτος που πριν από 2000 χρόνια, επισήμανε την επίδραση του κλίματος στους οργανισμούς στο έργο του «Αέρας-Νερό-Γη», η επιστήμη της Βιοκλιματολογίας είναι σχετικά νέα. Αναπτύχθηκε σε ένα συγκεκριμένο πεδίο μελέτης κατά της διάρκεια της δεκαετίας του 1960 εξαιτίας της μεγάλης ανησυχίας για την υποβάθμιση του περιβάλλοντος. Αργότερα, όμως, ο ορισμός και η περιγραφή της επιστήμης αυτής υπέστη αναθεωρήσεις και εμπλουτίστηκε μέχρι να καταλήξει στη σημερινή του μορφή. Έτσι, σήμερα ως Βιομετεωρολογία - Βιοκλιματολογία χαρακτηρίζεται η επιστήμη που ασχολείται με τις άμεσες και τις έμμεσες σχέσεις και αλληλεπιδράσεις γεωφυσικού και γεωχημικού περιβάλλοντος της ατμόσφαιρας και των ζώντων οργανισμών (WMO, 2004). Η επιστήμη αυτή βρίσκει σημαντικές εφαρμογές στη θερμική αίσθηση του ανθρώπου σε διαφορετικά περιβάλλοντα, στον αστικό σχεδιασμό, στην ανάπτυξη και στην παραγωγικότητα φυτών και ζώων και σε άλλα επιστημονικά πεδία (Oliver, 2005; Allaby, 2007).

Η Βιοκλιματολογία από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα είχε ήδη εδραιωθεί στο επίπεδο που την αντιλαμβανόμαστε σήμερα. Σημαντικές επιστημονικές ανακαλύψεις οδήγησαν

στην θεμελίωση βασικών αρχών οι οποίες διοχετεύτηκαν σε μεθόδους που χρησιμοποιούνται στον περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Το σύνολο των βιοκλιματικών δημοσιεύσεων στις αρχές του αιώνα είχαν ως θέμα τη σχέση μεταξύ κλίματος και εκδήλωσης επιδημιών. Το 1911 ο Leffevre πρώτος υπέθεσε ότι το ανθρώπινο σώμα μπορεί να θεωρηθεί σαν μια σφαίρα, δηλαδή ένας πυρήνας που παράγει θερμότητα. Το ίδιο έτος ο Hill κατασκεύασε το πρώτο καθαρά βιοκλιματικό όργανο, το «καθαρόμετρο». Το 1930 πραγματοποιήθηκαν εργαστηριακά πειράματα για στρατιωτικούς σκοπούς προκειμένου να διερευνηθούν οι σχέσεις μεταξύ των φυσιολογικών μεταβλητών, του μεταβολισμού, της ενδυμασίας και των μετεωρολογικών παραμέτρων. Το 1956 ιδρύεται η Παγκόσμια Βιομετεωρολογική Εταιρεία (International Society of Biometeorology, ISB) με στόχο την ανταλλαγή απόψεων, την προώθηση ερευνητικών μελετών και την εφαρμογή των αποτελεσμάτων τους.

Η τεχνολογία έχει παίξει σημαντικό ρόλο στην εξέλιξη της Βιοκλιματολογίας, με θερμικά μοντέλα και ηλεκτρονικούς σχεδιασμούς. Η χρήση μαθηματικών μοντέλων ξεκίνησε το 1960 και συνεχίζεται μέχρι σήμερα υπολογίζοντας δείκτες που λαμβάνουν υπόψη το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπου. Οι (Berglund and Gagge, 1979) σύγκριναν και αξιολόγησαν τα σπουδαιότερα μοντέλα και κατέληξαν ότι το ενεργειακό ισοζύγιο περιγράφει την πλήρη επίδραση του θερμικού περιβάλλοντος του ανθρώπου. Τα μαθηματικά μοντέλα οδήγησαν σε θερμικούς δείκτες που προσομοιάζουν το θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος με μια μαθηματική σχέση όπως αυτή των (Fanger, 1972), (Hörpe, 1984) και (Hammer, 1985). Συνεπώς, ο καλύτερος βιοκλιματικός δείκτης για τον άνθρωπο θα είναι μια κλιματική ταξινόμηση με κλιμακόμετρο τον ίδιο τον άνθρωπο (Ζαμπάκας, 1981).

3.2 Άνθρωπος και περιβάλλον

3.2.1 Θερμική άνεση

Σύμφωνα με την ASHRAE ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του μυαλού κατά την οποία ένα άτομο δεν επιθυμεί καμιά θερμική αλλαγή του εσωτερικού περιβάλλοντος και εκφράζει ικανοποίηση με τις επικρατούσες συνθήκες. Γενικότερα, θα μπορούσε να χαρακτηριστεί σαν η κατάσταση ικανοποίησης του ανθρώπινου παράγοντα, ευρισκόμενος σε θερμική ισορροπία με το περιβάλλον του. Συγκεκριμένα, για την έννοια της θερμικής άνεσης υπάρχουν τρεις διαφορετικές προσεγγίσεις: μια φυσιολογική, μια θερμο-φυσιολογική και μια βασισμένη στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος.

Σύμφωνα με τη φυσιολογική προσέγγιση ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση εκείνη κατά την οποία ο εγκέφαλος εκφράζει ικανοποίηση όσον αφορά το θερμικό περιβάλλον, δηλαδή εννοούμε «τη νοητική κατάσταση κατά την οποία εκφράζεται ικανοποίηση στο θερμικό περιβάλλον» (ASHRAE, 2005). Η θερμική άνεση ορίζει την αίσθηση της απόλυτα φυσικής και πνευματικής εφορίας όλων των ατόμων που βρίσκονται σε ένα χώρο.

Η θέρμο-φυσιολογική προσέγγιση της άνεσης βασίζεται στην ενεργοποίηση των θερμικών αισθητήρων στο δέρμα και τον υποθάλαμο και ορίζεται ως ο ελάχιστος ρυθμός των νευρικών σημάτων από αυτούς. Σύμφωνα με τον ενεργειακό ορισμό η κατάσταση της

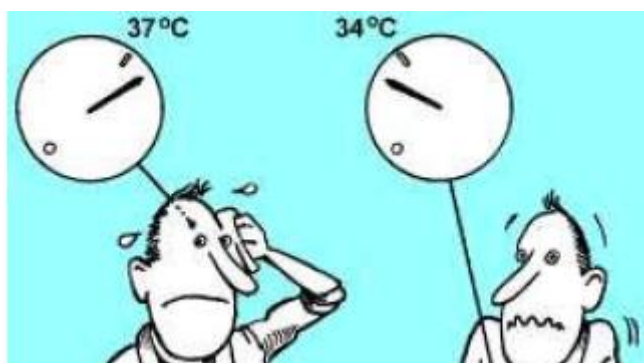
θερμικής άνεσης επιτυγχάνεται όταν η θερμότητα που ρέει από και προς το ανθρώπινο σώμα είναι ισοσταθμισμένη, δε και η θερμοκρασία του δέρματος και ο ρυθμός εφίδρωσης κυμαίνονται μέσα σε μια κλίμακα άνεσης που εξαρτάται από το μεταβολισμό.

Η μέση θερμοκρασία του δέρματος παίζει καθοριστικό ρόλο και στους δύο τελευταίους ορισμούς. Οι τιμές της θερμοκρασίας του δέρματος μπορούν να προκύψουν από μοντέλα ενεργειακού ισοζυγίου και μοντέλα εμπειρικών σχέσεων. Τα μοντέλα που στηρίζονται σε εμπειρικές σχέσεις, έχουν το μειονέκτημα ότι καθορίζονται για συγκεκριμένες κλιματικές μεταβολές, ενώ αυτά του ενεργειακού ισοζυγίου εφαρμόζονται καθολικά σε οποιοδήποτε σενάριο.

Θα μπορούσε να ειπωθεί ότι σε συνθήκες καλής θερμικής άνεσης το άτομο δεν επιθυμεί καμία θερμική αλλαγή στο περιβάλλον του, διότι δεν αισθάνεται ανεπιθύμητη ζέστη, ούτε ανεπιθύμητο κρύο. Η εσωτερική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι σταθερή και κάθε θερμότητα που δημιουργείται από αυτό πρέπει να αποβάλλεται. Για το λόγο αυτό, συνθήκες βέλτιστης θερμικής άνεσης έχουμε όταν η παραγωγή εσωτερικής θερμοκρασίας εξισώνεται με τις θερμικές απώλειες του σώματος. Η ισορροπία μεταξύ αυτών των παραμέτρων καθορίζει τις συνθήκες θερμικής άνεσης, η οποία εξαρτάται από ένα συνδυασμό φυσικών, οργανικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων. Έτσι λοιπόν, είναι αρκετά δύσκολο να προσδιοριστεί με ακρίβεια η θερμική άνεση γιατί πρέπει να ληφθεί υπόψη ένα αρκετά μεγάλος αριθμός περιβαλλοντικών και προσωπικών δεδομένων, που πιθανότατα θα κάνουν τον άνθρωπο να νιώθει πιο άνετα. Αυτοί οι παράγοντες αποτελούν το γνωστό «ανθρώπινο θερμικό περιβάλλον».

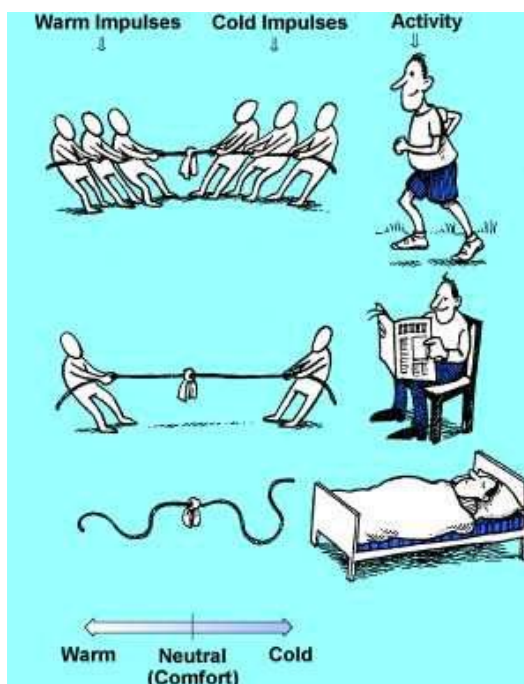
Η θερμική άνεση είναι επιθυμητή και επιδιώκεται γιατί πρώτα απ' όλα είναι η επιθυμία του ανθρώπου να αισθάνεται άνετα στο θερμικό του περιβάλλον σε συνδυασμό με την ανάγκη του για άνεση προς άλλες κατευθύνσεις. Παράλληλα επηρεάζει σε ψυχολογικό επίπεδο τον άνθρωπο με αποτέλεσμα να επηρεάζει την απόδοσή του. Για παράδειγμα σε δυσμενή περιβάλλοντα τα παράπονα των υπαλλήλων μπορεί να αυξηθούν, η παραγωγή μπορεί να μειωθεί και σε κάποιες πιο ακραίες συνθήκες οι υπάλληλοι μπορεί να χάσουν την επιθυμία για δουλειά. Τέλος, έχει παρατηρηθεί πως υπάρχει κάποια σχέση μεταξύ θερμικής άνεσης και ανθρώπινης υγείας.

Η ζώνη άνεσης έχει ως σκοπό να δώσει επιθυμητό θερμικό περιβάλλον σε άτομα που βρίσκονται σε εσωτερικούς χώρους με κανονική ενδυμασία και καθιστική ζωή. Επιθυμητά περιβάλλοντα είναι αυτά στα οποία τουλάχιστον το 80% των παρευρισκομένων το βρίσκουν θερμικά αποδεκτό. Τα όρια της θερμικής άνεσης του ανθρώπου κυμαίνονται το καλοκαίρι από 22.8-26.1°C και το χειμώνα από 20-23.9°C. Αν το σώμα γίνει πολύ ζεστό, δύο διαδικασίες θα ξεκινήσουν: πρώτα θα υπάρξει αγγειοδιαστολή των αιμοφόρων αγγείων, αυξάνοντας τη ροή του αίματος μέσω του δέρματος και στη συνέχεια εφίδρωση. Αν όμως το σώμα γίνει πολύ κρύο, η πρώτη αντίδραση είναι τα αιμοφόρα αγγεία να συσταλθούν, μειώνοντας τη ροή αίματος μέσω του δέρματος και ακολούθως να αυξηθεί η εσωτερική παραγωγή θερμότητας, τονώνοντας τους μυς με αποτέλεσμα να προκαλείται ρίγος.



Σχήμα 3-1 Διαφορά στην άνεση που νιώθει το άτομο όταν αυξηθεί ή μειωθεί η θερμοκρασία σώματος (INNOVA, 2002).

Όταν ο ανθρώπινος οργανισμός νιώσει συναισθήματα κρύου ή ζέστης (Σχήμα 3-1) στέλνει ερεθίσματα στον εγκέφαλο και αυτοί οι παλμοί αυξάνονται με την πτώση ή την άνοδο της θερμοκρασίας. Μάλιστα, ο αριθμός των παλμών που αποστέλλονται είναι συνάρτηση της ταχύτητας πτώσης ή ανόδου της θερμοκρασίας.

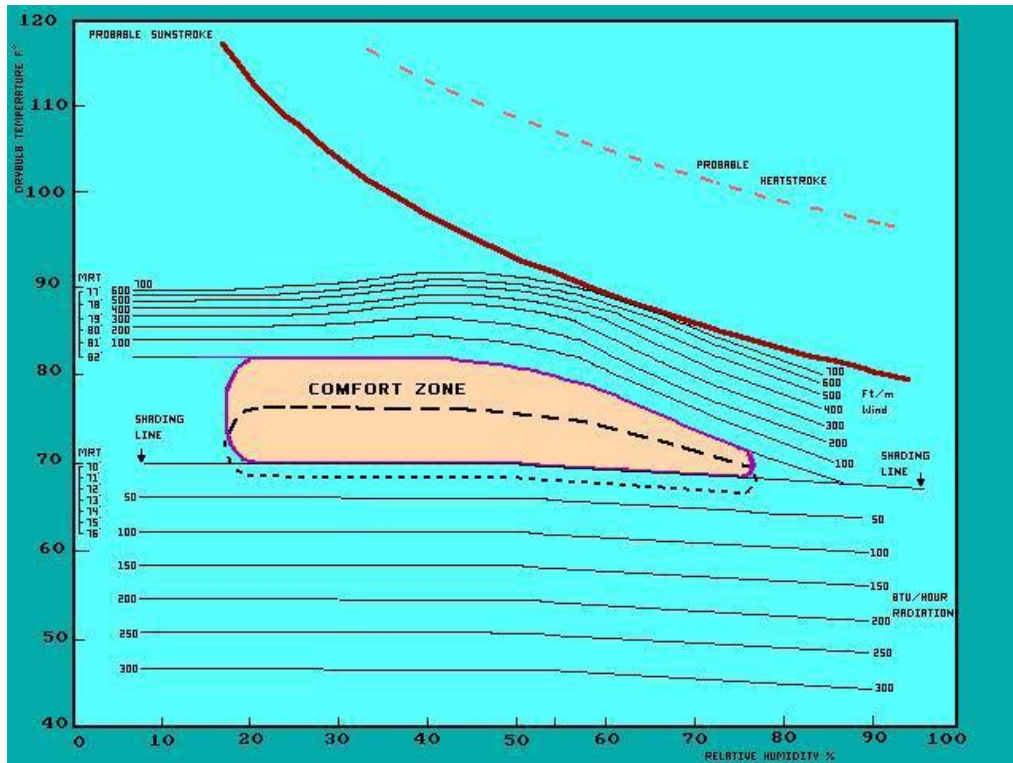


Σχήμα 3-2 Σχηματική απεικόνιση με τη βοήθεια διελκυστίνας της θερμικής άνεσης (ίσος αριθμός ερεθισμάτων στο κρύο και τη ζέστη που καταφθάνουν στο εγκέφαλο) σε διαφορετικές δραστηριότητες του ανθρώπου (INNOVA, 2002).

Ο εγκέφαλος στη συνέχεια ερμηνεύει τα σήματα σαν μια διελκυστίνα με τα ερεθίσματα του κρύου από τη μία άκρη του σχοινιού και της ζέστης στο άλλο. Εάν τα σήματα στις δύο αντίθετες πλευρές είναι της ίδιας τάξης μεγέθους, τότε ο άνθρωπος αισθάνεται θερμική άνεση (Σχήμα 3-2).

Στο Σχήμα 3-3 απεικονίζεται η ζώνη άνεσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον άνεμο, την ακτινοβολία και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολιών. Ο κατακόρυφος άξονας του σχήματος δίνει τη θερμοκρασία σε °F και ο οριζόντιος άξονας τη σχετική υγρασία (%). Η σκιασμένη περιοχή στο κέντρο απεικονίζει το συνδυασμό της

θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας κατά τον οποίο οι περισσότεροι άνθρωποι αισθάνονται άνετα κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού καθισμένοι στη σκιά. Η διακεκομμένη γραμμή οριοθετεί την περιοχή άνεσης το χειμώνα. Τα κλιματικά στοιχεία έξω από τη ζώνη άνεσης απεικονίζονται με καμπύλες οι οποίες καθορίζουν τη φύση της διόρθωσης για την επαναφορά του ατόμου σε συνθήκες άνεσης. Κάθε σημείο το οποίο ορίζεται από τη θερμοκρασία του αέρα και τη σχετική υγρασία και το οποίο βρίσκεται μέσα στα όρια της περιοχής άνεσης δεν χρειάζεται διόρθωση.



Σχήμα 3-3 Σχηματική απεικόνιση της περιοχής θερμικής άνεσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, την υγρασία, τον άνεμο, την ηλιοφάνεια και τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Olgay and Olgay, 1963)

3.2.2 Θερμικό ισοζύγιο του ανθρώπινου σώματος

Η εσωτερική θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος είναι γνωστό πως πρέπει να διατηρείται κοντά στους 37°C. Για να επιτευχθεί αυτό απαιτείται θερμική ισορροπία μεταξύ σώματος και περιβάλλοντός του. Πρέπει, σε γενικές γραμμές, η μεταβολική παραγωγή θερμότητας του ανθρώπινου οργανισμού και η εισερχόμενη σε αυτό θερμότητα να είναι ίσες με τις θερμικές του απώλειες. Στην περίπτωση που η μεταβολική παραγωγή και η εισερχόμενη θερμότητα είναι μεγαλύτερη από τις θερμικές απώλειες, τότε η θερμοκρασία του σώματος αυξάνεται και αντίστροφα. Η θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος μπορεί να περιγραφεί με διάφορες εξισώσεις, σε κάθε περίπτωση όμως θα εμπεριέχονται οι παράμετροι της παραγωγής, της μεταφοράς και της συσσώρευσης θερμότητας στον ανθρώπινο οργανισμό (Hörpe, 1993; Ματζαράκης, 1995; Hörpe, 1999).

Το θερμικό ποσό που παράγεται από το μεταβολισμό του σώματος (M) παρέχει την απαραίτητη ενέργεια για την εκτέλεση μηχανικού έργου (W) και η περίσσεια αυτού ελευθερώνεται ως θερμότητα. Η μεταφορά της θερμότητας αυτής μπορεί να γίνει μέσω

αγωγιμότητας (K), μεταφοράς (C), ακτινοβολίας (R) και της εξάτμισης (E). Από τα ποσά όλων των παραπάνω παραμέτρων εξαρτάται η περίσσεια της θερμότητας (S) στο σύστημα άνθρωπος-περιβάλλον. Όταν το παραπάνω σύστημα βρίσκεται σε θερμική ισορροπία η περίσσεια της θερμότητας (S) παίρνει την τιμή 0. Η θεμελιώδης εξίσωση που περιγράφει τις συνθήκες θερμικής ισορροπίας είναι η ακόλουθη:

$$M - W = E + R + C + L + K + S$$

όπου η διαφορά $M - W$ είναι πάντα θετική και οι παράμετροι E, R, C και K είναι τα ποσά της απώλειας θερμότητας από το σώμα (VDI, 1998; Höppe, 1999). Αναλυτικότερα, όπως φαίνεται και υπό Σχήμα 3-4 το θερμικό ισοζύγιο του ανθρωπίνου σώματος κατηγοριοποιείται ως εξής:

M, ο συνολικός ρυθμός παραγωγής θερμότητας που οφείλεται στο ρυθμό κατανάλωσης οξυγόνου (1 litre $O_2 = 5 \text{ kcal} = 20000 \text{ joules}$),

W, ο ρυθμός παραγωγής μηχανικού έργου που παράγεται από το ανθρωπίνo σώμα,

E, πρόκειται για τις απώλειες θερμότητας από το σώμα λόγω εξάτμισης του νερού δια μέσου των εξωτερικών στρωμάτων της επιδερμίδας ή εξάτμισης του ιδρώτα που βρίσκεται στην επιφάνεια της επιδερμίδας,

R, η ακτινοβολία θερμότητας μεταξύ του δέρματος ή της επιφάνειας ρουχισμού και των περιβαλλουσών επιφανειών (π.χ. τοίχοι). Σε κατάσταση ανάπαυσης και σε θερμοκρασία χώρου 21°C , το 60% των θερμικών απωλειών από το σώμα οφείλεται στη μετάδοση θερμότητας με ακτινοβολία,

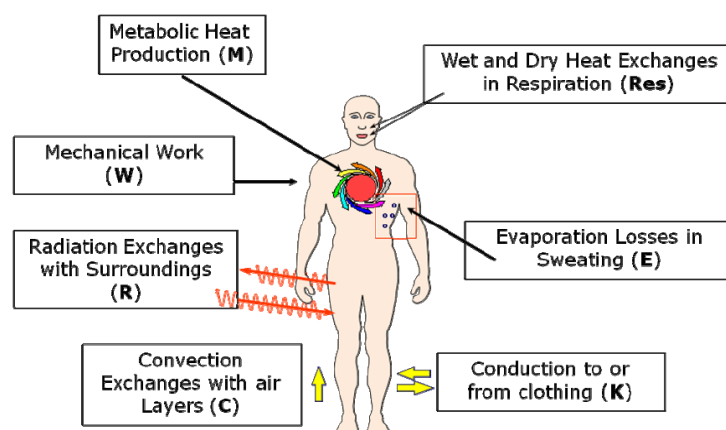
C, η απώλεια θερμότητας δια συναγωγής (ο αέρας κοντά στο σώμα απορροφάει θερμότητα), που σε κατάσταση ανάπαυσης του ατόμου συμβάλλει κατά 18% στις συνολικές απώλειες θερμότητας,

L, αναφέρεται στην θέρμανση και ύγρανση του αέρα που εισπνέεται και έπειτα εκπνέεται,

K, η απώλεια θερμότητας με συναγωγή, μέσω της άμεσου επαφής του δέρματος με τις επιφάνειες (π.χ. όταν κάθεται κανείς σε κρύα επιφάνεια). Σε κατάσταση ανάπαυσης του ατόμου και σε θερμοκρασία χώρου 21°C ο παράγοντας αυτός είναι υπεύθυνος για το 3% των συνολικών απωλειών,

S, ο ρυθμός αποθήκευσης της θερμότητας στο σώμα. Ιδανικά, όταν υπάρχει θερμική ισορροπία, ο παράγοντας αυτός πρέπει να λαμβάνει την τιμή μηδέν (0), δηλαδή:

Ρυθμός Παραγωγή S Θερμότητας= Ρυθμός Απωλειών Θερμότητας Χωρίς Αποθήκευση



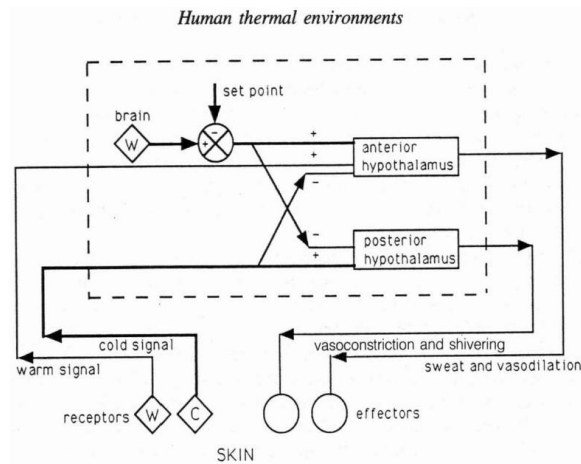
Σχήμα 3-4 Θερμικό ισοζύγιο του ανθρωπίνου σώματος (Gameiro da Silva, 2013)

Ο ρυθμός παραγωγής θερμότητας και απώλειας αλλάζει από άνθρωπο σε άνθρωπο. Αυτή η μεταβλητότητα μπορεί να προσδιοριστεί εκφράζοντας τις μεταβλητές ανά μονάδα εμβαδού επιφάνειας. Το κλάσμα του ρυθμού του μεταβολισμού που μετατρέπεται σε έργο (μηχανική ενέργεια) W/M ονομάζεται ικανότητα έργου (work efficiency). Για φυσιολογικές δραστηριότητες σε κατοικίες και γραφεία η ικανότητα είναι μικρή. Ο ρυθμός μεταβολισμού εκφράζεται σε $Watt/m^2$ εμβαδού επιφάνειας σώματος ή σε met ($1\text{ met} = 58\text{ W/m}^2$). Στον Πίνακα 3-1 δίνεται ο ρυθμός μεταβολισμού για τυπικές δραστηριότητες:

Πίνακας 3-1 Ρυθμός μεταβολισμού για τυπικές δραστηριότητες (ASHRAE, 1992)

Δραστηριότητα	Ρυθμός Μεταβολισμού	
	W/m^2	met
Ξαπλωμένος	46	0,8
Καθήμενος, χαλαρωμένος	58	1,0
Όρθιος, χαλαρωμένος	70	1,2
Καθιστική δραστηριότητα (γραφείο, σχολείο, κατοικία)	70	1,2
Δραστηριότητα όρθιου (ψώνια, εργαστήριο)	93	1,6
Δραστηριότητα όρθιου (εμπορουπάλληλος)	116	2,0
Μεσαία δραστηριότητα (επίμονη μηχανική εργασία)	165	2,8

Η μεταβολική θερμότητα παράγεται από τα κύτταρα του οργανισμού. Η παραγόμενη από αυτά θερμότητα μεταφέρεται μέσω αγωγιμότητας εφόσον το επιτρέπουν οι τοπικές θερμικές συνθήκες (δηλαδή η διαφορά θερμοκρασίας του κυττάρου με το άμεσο περιβάλλον του) και μέσω μεταφοράς με τα σωματικά υγρά (κυρίως με το αίμα) διαχέεται σε ολόκληρο το σώμα, σχεδόν ομοιογενώς. Εάν το ανθρώπινο σώμα μονωθεί θερμικά από το περιβάλλον του, τότε η παραγωγή θερμότητας θα συνεχιστεί με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας κατά $1^\circ C$ ανά ώρα για άτομο που δεν έχει καμιά σωματική δραστηριότητα. Η παραπάνω κατάσταση είναι σχεδόν αδύνατο να συμβεί υπό κανονικές συνθήκες όποτε το ανθρώπινο σώμα παράγει διαρκώς θερμότητα από την κυτταρική δραστηριότητα η οποία μεταφέρεται με το αίμα σε όλα τα όργανα του σώματος, μεταξύ αυτών στους πνεύμονες και στο δέρμα. Από τα όργανα αυτά προκαλείται απώλεια θερμότητας προς το περιβάλλον με ποικίλους τρόπους όπως με μεταφορά, αγωγιμότητα, ακτινοβολία και εξάτμιση. Οι θερμικές ιδιότητες των διαφόρων συστατικών του σώματος όπως το αίμα, τα οστά, το λίπος, οι μύες κ.λπ. επηρεάζουν σημαντικά την εσωτερική παραγωγή θερμότητας και συνεπώς τη διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας με το περιβάλλον. Για να επιτευχθεί η σταθερότητα της θερμοκρασίας του σώματος θα πρέπει να υπάρχει κάποιος μηχανισμός που να ρυθμίζει και να συντονίζει το όλο σύστημα. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται μηχανισμός θερμορύθμισης του σώματος και είναι αρκετά σύνθετος. Η αποτελεσματικότητα αυτού και η ταχύτητα ανταπόκρισης του γίνεται εμφανής αν αφαιρέσουμε ή προσθέσουμε ρουχισμό ή αλλάξουμε θέση ή κατάλυμα, γιατί παρόλο που θα αλλάξει το άμεσο θερμικό περιβάλλον, το σώμα θα διατηρήσει τη θερμοκρασία του. (Parsons, 1993)



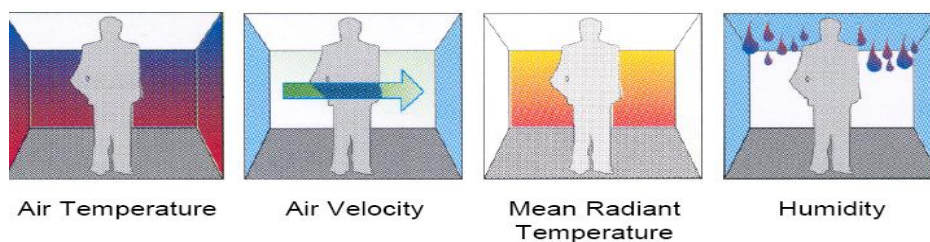
Σχήμα 3-5 Μηχανικό ανάλογο του μηχανισμού θερμορύθμισης του ανθρώπινου σώματος (Parsons, 1993)

Για το μηχανισμό θερμορύθμισης του ανθρώπινου σώματος έχουν προταθεί διάφορα μοντέλα και μηχανικά ανάλογα (Σχήμα 3-5). Κανένα όμως από τα μηχανικά ανάλογα δεν έχει καταφέρει να περιγράψει πλήρως τη διαδικασία θερμορύθμισης. Τα πιο εξελιγμένα μοντέλα, αν και πλησιάζουν την πραγματικότητα, είναι πολύπλοκα στην απεικόνιση και δύσκολα στην κατανόησή τους. Παρόλα αυτά, είναι αποδεκτό από το σύνολο των μελετητών πως όταν η σωματική θερμοκρασία αυξάνεται, τότε αποδεδεσμεύεται θερμότητα μέσω της αγγειοδιαστολής και αν χρειαστεί μέσω της εφίδρωσης. Αντίθετα όταν η σωματική θερμοκρασία μειώνεται τότε η αγγειοσυστολή «κατακρατά» την παραγόμενη θερμότητα και αν χρειαστεί επιταχύνεται η παραγωγή θερμότητας μέσω της αναρρίγησης. Στην επιφάνεια του σώματος, στο δέρμα, υπάρχουν δύο είδη αισθητήρων οι μεν που αντιλαμβάνονται την υψηλή θερμοκρασία και οι δε που αντιλαμβάνονται τη χαμηλή (Hensel, 1981; McIntyre, 1981; Bligh, 1985; Chato, 1985).

3.2.3 Βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική άνεση

Το θερμικό περιβάλλον χαρακτηρίζεται από τις παρακάτω φυσικές παραμέτρους, οι οποίες καθορίζουν τον βαθμό της αίσθησης θερμικής άνεσης:

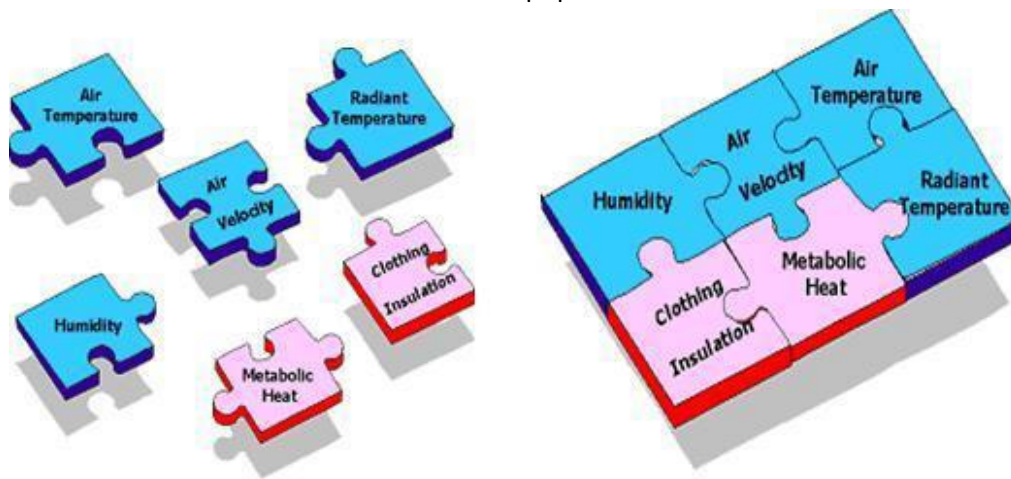
- θερμοκρασία αέρα,
- ταχύτητα του ανέμου,
- υγρασία αέρα,
- μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας.



Σχήμα 3-6 Σχηματική αναπαράσταση των κλιματικών παραμέτρων που επηρεάζουν τη θερμική άνεση του ατόμου.

Καθοριστικός δείκτης της θερμικής άνεσης αδιαμφισβήτητα είναι η θερμοκρασία αέρα. Παρόλο που είναι ένας σημαντικός δείκτης, από μόνος του δεν είναι ούτε έγκυρος, ούτε ακριβής για τη θερμική άνεση του ανθρώπου. Η θερμοκρασία του αέρα σε συνδυασμό με άλλες περιβαλλοντικές παραμέτρους, οι οποίες είναι η θερμοκρασία ακτινοβολίας, η υγρασία και η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα είναι οι τέσσερις περιβαλλοντικές παράμετροι που επηρεάζουν την αντίδραση του ανθρώπου στα ποικίλα θερμικά περιβάλλοντα (Parsons, 1993). Οι παραπάνω παράμετροι συνδυασμένες με τις ανθρώπινες παραμέτρους που προκύπτουν από τη μεταβολική παραγωγή θερμότητας (κατά τη διάρκεια των ανθρώπινων δραστηριοτήτων) και την ένδυση, αποτελούν τους έξι θεμελιώδεις παράγοντες που αποτελούν το κλειδί για το ενεργειακό μας ισοζύγιο, την αίσθηση του θερμικού περιβάλλοντος και την αίσθηση της θερμικής άνεσης ή δυσφορίας.

Οι παράγοντες αυτοί είναι ανεξάρτητοι μεταξύ τους αλλά η αλληλεπίδραση των παραμέτρων αυτών μεταξύ τους και με τον ανθρώπινο οργανισμό συμβάλουν στη θερμική αίσθηση.



Σχήμα 3-7 Οι βασικοί παράμετροι που επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση (<http://www.opsi.gov.uk>)

3.2.3.1 Εξωτερικές παράμετροι

3.2.3.1.1 Θερμοκρασία αέρα

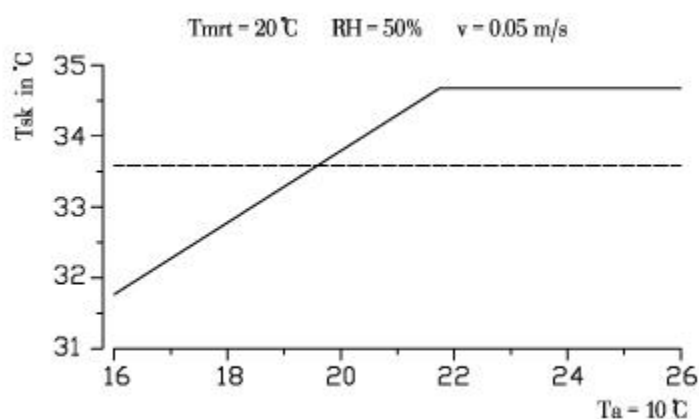
Ο άνθρωπος ως ομόθερμο ον, υπό φυσιολογικές συνθήκες διατηρεί την εσωτερική θερμοκρασία του σώματός του περίπου στους 37°C. Η απόκλιση από την τιμή αυτή ακόμα και για λίγους βαθμούς μπορεί να προκαλέσει σημαντικές βλάβες στον οργανισμό. Η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος επηρεάζεται από τη θερμοκρασία των υλικών που το περιβάλλουν (στερεά και ρευστά), γιατί αυτά επιδρούν στη μεταφορά θερμότητας από και προς αυτό. Άρα, η θερμοκρασία αυτών είναι σημαντική για τη θερμική του ισορροπία. Η βασική περιβαλλοντική παράμετρος που επηρεάζει τις παραπάνω διαδικασίες περισσότερο από κάθε άλλη είναι η θερμοκρασία αέρα (Parsons, 1993).

Το πρόβλημα που εντοπίζεται στη μελέτη της θερμοκρασίας ως παραμέτρου της θερμικής άνεσης έγκειται στο γεγονός ότι δεν υπάρχει μια τιμή της θερμοκρασίας που να αποτελεί τη βέλτιστη λύση, αλλά ένα πεδίο τιμών ως συνάρτηση άλλων παραγόντων. Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου

ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του. Το φυσικό αυτό μέγεθος έχει εισαχθεί για την πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης.

Η θερμοκρασία του αέρα μπορεί να μετρηθεί με ένα απλό θερμόμετρο ξηρού βολβού και αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές παραμέτρους της θερμικής άνεσης, δημιουργώντας την αίσθηση της «ζέστης» ή του «κρύου» σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Άλλωστε, το μεγαλύτερο ποσοστό της θερμότητας που αποβάλλεται από το ανθρώπινο σώμα, μεταφέρεται στο περιβάλλον, ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί σε αυτό.

Έτσι η θερμοκρασία του ανθρώπινου σώματος καθορίζεται από τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα λόγω εξομοίωσης της θερμότητας μεταξύ δέρματος και ατμοσφαιρικού αέρα. Σε χαμηλότερη θερμοκρασία από 33-34°C το σώμα χάνει θερμότητα ενώ σε υψηλότερες θερμοκρασίες κερδίζει θερμότητα. Το σώμα μας αντιλαμβάνεται τη θερμοκρασία του αέρα (και των άλλων παραμέτρων του θερμικού περιβάλλοντος) από τα αισθητήρια όργανα του δέρματος και του υποθαλάμου, ρυθμίζοντας τη θερμοκρασία του. Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα τείνει να μειώσει τις απώλειες θερμότητας μέσω αγωγής και ακτινοβολίας, ενώ οι απώλειες αυξάνονται λόγω εφίδρωσης. Η θερμοκρασία του αέρα επηρεάζει επίσης και τη μέση θερμοκρασία του δέρματος. Το φυσικό αυτό μέγεθος έχει εισαχθεί για τη πληρέστερη αξιολόγηση της θερμικής άνεσης. Έρευνες του Höppe (1988) που πραγματοποιήθηκαν με τη βοήθεια του μαθηματικού μοντέλου M.E.M.I., κατέληξαν στην αναλογική σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος.



Σχήμα 3-8 Μεταβολή της θερμοκρασίας του αέρα T_a και της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος T_{sk} (συνθήκες: ένδυση=1 clo, καθιστική εργασία, μεταβολικός ρυθμός=60W $T_{mrt}=20$ C, RH=50%, ταχύτητα ανέμου=0.05 m/s) (Höppe, 1988)

Η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, έως και τους 21°C οδηγεί σε συνεχόμενη μεταβολή της μέσης θερμοκρασίας του δέρματος. Η περαιτέρω αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης με αποτέλεσμα τη ψύξη του σώματος και γι' αυτό το λόγο η κλίση της ευθείας του διαγράμματος (Σχήμα 3-8) μειώνεται σημαντικά μετά τους 21°C. Η μέση θερμοκρασία του δέρματος που θεωρείται ως φυσιολογική σε αντιστοιχία με τη θερμική ισορροπία του σώματος μας, που είναι 37.5°C, είναι κοντά στους 33.5°C όπως φαίνεται και από την οριζόντια γραμμή του διαγράμματος.

Για τη διατήρηση της μέσης αυτής θερμοκρασίας θα πρέπει η θερμοκρασία του αέρα να είναι κοντά στους 20°C.

3.2.3.1.2 Ταχύτητα ανέμου

Η ταχύτητα του ατμοσφαιρικού αέρα που περιβάλλει τον άνθρωπο μπορεί να επηρεάσει τη ροή θερμότητας από και προς αυτόν και συνεπώς να επηρεάσει τη θερμοκρασία του ανθρωπίνου σώματος. Η κίνηση του αέρα γύρω από το ανθρώπινο σώμα μπορεί να επηρεάσει το αίσθημα της θερμικής άνεσης καθορίζοντας, αφενός την ανταλλαγή της θερμότητας, με μεταφορά (συναγωγή), ανάμεσα στο ανθρώπινο σώμα και το περιβάλλον και αφετέρου την περιεκτικότητα σε υδρατμούς. Έτσι, η απώλεια θερμότητας με συναγωγή από το ανθρώπινο σώμα, εξαρτάται από την ένταση του αέρα και τη θερμοκρασιακή διαφορά ανάμεσα στο δέρμα και το περιβάλλον. Η κίνηση του αέρα συνδέεται με δύο παραμέτρους:

- i. την ταχύτητα του ανέμου και
- ii. τη μορφή της ροής του αέρα, αν είναι στρωτή ή τυρβώδης

Το ανθρώπινο σώμα δεν διαθέτει ειδικά αισθητήρια όργανα για την αντίληψη της ταχύτητας του αέρα. Αυτή προσδιορίζεται έμμεσα από τον ανθρώπινο εγκέφαλο και από τις μεταβολές της θερμοκρασίας στο δέρμα. Σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών και υψηλής σχετικής υγρασίας, η αύξηση της ταχύτητας του αέρα προσφέρει αυξημένες απώλειες θερμότητας με αποτέλεσμα πιο ισορροπημένο θερμικό ισοζύγιο. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν έχουμε χαμηλές θερμοκρασίες, η αυξημένη ταχύτητα αέρα επιταχύνει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, σε σημείο που να προκαλεί τη δυσφορία.

Η δεύτερη παράμετρος που επηρεάζει τις απώλειες θερμότητας από το σώμα, είναι ο τύπος της ροής του αέρα. Ο τύπος της ροής και συγκεκριμένα ο βαθμός της τύρβης επηρεάζει τη θερμοκρασία του δέρματος ακόμη και με τη μέση ταχύτητα του αέρα να είναι σταθερή. Οι άνθρωποι φαίνεται να μην προτιμούν μεταβολές στην ταχύτητα του αέρα που προσομοιώνουν την τυρβώδη ροή, καθώς σε υψηλά ποσοστά τύρβης το ποσοστό των δυσανεστωμένων ατόμων είναι μεγάλο (Parsons, 1993).

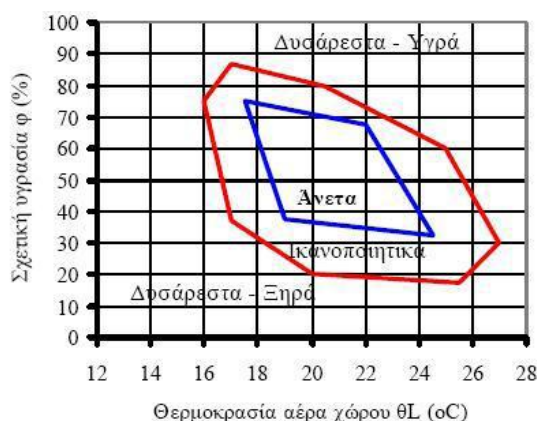
3.2.3.1.3 Υγρασία αέρα

Η υγρασία του περιβάλλοντος μπορεί να εκφραστεί με διάφορες μορφές. Οι συνηθέστερες είναι η σχετική υγρασία (%) και η τάση των υδρατμών (mb). Τάση υδρατμών (e) ονομάζεται η μερική πίεση των υδρατμών που δημιουργούνται κατά την εξάτμιση του νερού και διαχέονται στον περιβάλλοντα αέρα με τον οποίο αναμιγνύονται και ασκούν πίεση. Σχετική υγρασία (RH) του ατμοσφαιρικού αέρα ονομάζεται ο λόγος της μάζας των υδρατμών που περιέχονται σε δεδομένο όγκο υγρού αέρα, προς τη μάζα των υδρατμών που θα περιείχε ο όγκος αυτός, αν ήταν κορεσμένος σε υδρατμούς, κάτω από τις ίδιες συνθήκες πίεσης και θερμοκρασίας (Παπαδόπουλος, 2006). Είναι ίση με το λόγο της τάσης των υδρατμών, προς τη μέγιστη τάση αυτών, στην ίδια τιμή της θερμοκρασίας του δείγματος. Η σχετική υγρασία επηρεάζει την εξάτμιση του νερού από την επιδερμίδα μεταβάλλοντας τη θερμοκρασία του δέρματος και επηρεάζοντας το θερμικό ισοζύγιο του

σώματος. Συνοπτικά η υγρασία του αέρα επηρεάζει τους εξής τρεις μηχανισμούς του ανθρώπινου σώματος:

- το μηχανισμό διάχυσης των υγρών υπό τη μορφή αερίων του σώματος μέσω του δέρματος,
- το μηχανισμό εξάτμισης του ιδρώτα από την επιφάνεια του δέρματος και
- το μηχανισμό ύγρανσης του εισπνεόμενου αέρα.

Οι μηχανισμοί της διάχυσης και της εξάτμισης εξαρτώνται άμεσα από τη σχετική υγρασία του αέρα. Σε περιβάλλον με υψηλή περιεκτικότητα σε υδατμούς ($RH > 70\%$) και υψηλή θερμοκρασία το σώμα μας ενεργοποιεί το μηχανισμό της εφίδρωσης. Παρόλα αυτά η εξάτμιση του ιδρώτα είναι αδύνατη σε αέρα με υψηλό περιεχόμενο υδατμών και έτσι ο ιδρώτας παραμένει στο δέρμα διαβρέχοντάς το. Αυτή η κατάσταση οδηγεί το σώμα να αισθάνεται τη θερμοκρασία του αέρα υψηλότερη και την ατμόσφαιρα «πυκνότερη». Αντίθετα, σε ποσοστό υδατμών στον ατμοσφαιρικό αέρα ($RH < 30\%$) πραγματοποιείται εξάτμιση μεγάλου ποσοστού ιδρώτα.



Σχήμα 3-9 Διάγραμμα συσχέτισης θερμικής άνεσης, θερμοκρασίας και υγρασίας (Παπαδόπουλος, 2006)

3.2.3.1.4 Μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας

Στη ρύθμιση της θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος εκτός από τη θερμοκρασία του αέρα συμβάλλει και η θερμοκρασία ακτινοβολίας (radiant temperature). Η μεταφορά θερμότητας γίνεται με ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ των διαφόρων σωμάτων. Η θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που περιλαμβάνει τις ακτίνες Χ (μικρό μήκος κύματος), το φως και τα ραδιοκύματα (μεγάλο μήκος κύματος). Για την περιγραφή και την ποσοτικοποίηση της θερμικής ακτινοβολίας του περιβάλλοντος χρησιμοποιείται κυρίως η παράμετρος μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας (Mean Radiant Temperature, T_{mrt}) που συναντάται πιο συχνά στις μελέτες Βιοκλιματολογίας-Βιομετεωρολογίας (Parsons, 1993).

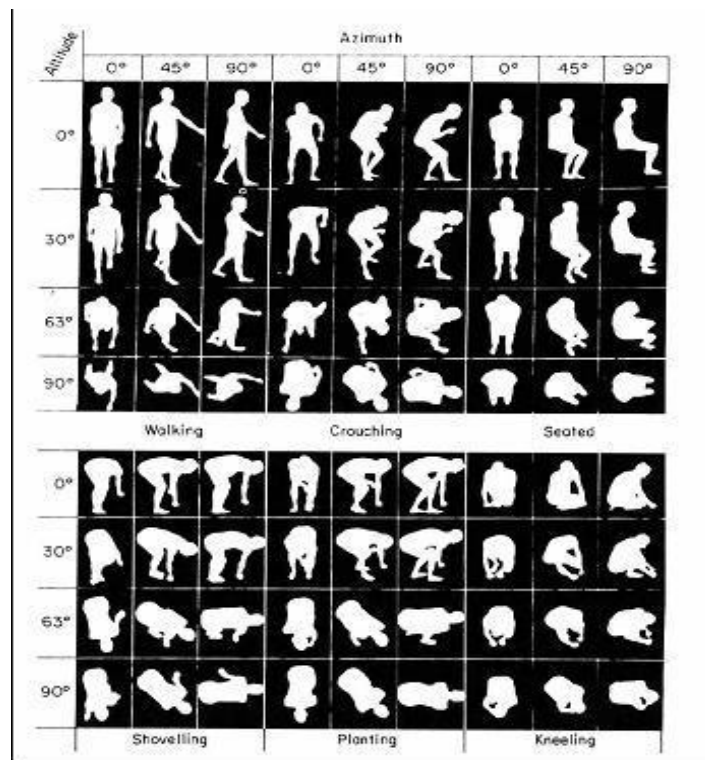
Η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας είναι η επίδραση της ροής ακτινοβολίας μιας επιφάνειας στο περιβάλλον που βρίσκεται. Όσο πιο μεγάλη είναι η επιφάνεια και όσο πιο κοντά βρίσκεται, τόσο μεγαλύτερη είναι η επίδραση που έχει στη θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Έτσι, όταν κάποιος κινείται μέσα σε ένα χώρο, η τιμή της μέσης

θερμοκρασίας ακτινοβολίας αλλάζει, ανάλογα με τη θέση του στο χώρο. Όσο πιο κοντά είναι σε μια μεγάλη θερμή ή κρύα επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερη επίδραση έχει η επιφάνεια πάνω στο άτομο και τόσο υψηλότερη ή χαμηλότερη είναι η T_{mrt} στο συγκεκριμένο σημείο. Αυτή η παράμετρος χαρακτηρίζεται ως η πιο σημαντική για τον υπολογισμό του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπου, ιδιαίτερα όταν αναφερόμαστε σε άκρως δυσμενείς θερμικές συνθήκες (Ματζαράκης, 1995). Για να είναι εφικτός ο υπολογισμός της T_{mrt} πρέπει να γνωρίζουμε τα χαρακτηριστικά και τις διαστάσεις των επιφανειών που ακτινοβολούν γύρω από το σώμα που μελετάται. Επίσης, θα πρέπει να ληφθούν υπόψη ο προσανατολισμός του ατόμου σε σχέση με τις πηγές ακτινοβολίας και το ορατό μέρος του ουράνιου θόλου. Η σχέση υπολογισμού της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας είναι:

$$T_{mrt} = \sqrt[4]{\sum_{p-i} \frac{F_{p-i}}{n} x (t_i + 273)^4} - 273$$

όπου F_{p-i} είναι ο συντελεστής γωνίας του ατόμου και της επιφάνειας i . Σημειώνουμε ότι $\sum_{p-i} F_{p-i} = 1$ και t_i είναι η θερμοκρασία επιφάνειας της επιφάνειας i σε °C.

Στον υπολογισμό της T_{mrt} σημαντικό ρόλο παίζει ο τρόπος με τον οποίο η άμεση ηλιακή ακτινοβολία προσπίπτει στον άνθρωπο, η λευκαύγεια (albedo), το πάχος της ενδυμασίας και το χρώμα του δέρματος.



Σχήμα 3-10 Το μέγεθος της επιφάνειας ενός ατόμου στην οποία επιδρά η άμεση ηλιακή ακτινοβολία ως συνάρτηση του ύψους του ήλιου (altitude) και του αζιμούθιου (azimuth) κατά (Parsons, 1993)

3.2.3.2 Εσωτερικοί παράμετροι

3.2.3.2.1 Ενδυμασία του ανθρώπου

Ο άνθρωπος προσαρμόζει την ενδυμασία του ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον που κινείται. Τις τελευταίες δεκαετίες η εισαγωγή της στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου και κατ' επέκταση στα μαθηματικά μοντέλα οδήγησαν σε ορθότερο υπολογισμό της θερμικής άνεσης του ανθρώπου.

Η βασικότερη παράμετρος της ενδυμασίας είναι η θερμική αντίσταση της ένδυσης (thermal insulation of clothing Clo). Η θερμική αντίσταση που οφείλεται στην ένδυση επηρεάζει το μηχανισμό μεταφοράς θερμότητας μεταξύ ανθρώπινου σώματος και περιβάλλοντος. Έτσι, υπάρχει αντίσταση στην αισθητή μεταφορά θερμότητας από τα στρώματα της ενδυμασίας και συνήθως εκφράζεται σε μονάδες Clo. Η μονάδα Clo είναι η αριθμητική έκφραση της συνολικής θερμικής αντίστασης της ένδυσης, $1 \text{ Clo} = 0.155 \text{ m}^2\text{K/W}$ ($\text{m}^2\text{K/W}$: συντελεστής θερμοπερατότητας, W:watt, m^2 :τετραγωνικά μέτρα, K:μονάδες Kelvin) Η μονάδα αυτή εισήχθη ώστε να διευκολύνει την έκφραση της παραμέτρου της ενδυμασίας και βασίζεται στην αντίσταση η οποία προκύπτει από ένα κουστούμι εργασίας (1.0 Clo).

Η δεύτερη παράμετρος της ένδυσης είναι ότι μειώνει την ταχύτητα εξάτμισης του ιδρώτα από το σώμα. Η αντίσταση της εξάτμισης είναι μέτρο της διαπερατότητας της υγρασίας η οποία επιδρά στη μεταφορά της λανθάνουσας θερμότητας από το δέρμα στη στρώση της ένδυσης και επηρεάζει την απώλεια θερμότητας εξαιτίας της εξάτμισης από το δέρμα στο περιβάλλον (Fanger, 1972).

Για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης της συνολικής ενδυμασίας αναπτύχθηκαν εμπειρικές σχέσεις μετά από πειραματικούς υπολογισμούς. Οι (Sprague and Munson, 1974) εισήγαγαν ξεχωριστές σχέσεις για το ανδρικό και το γυναικείο ντύσιμο για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης.

$$I_{cl} = 0.727 * \Sigma I_x + 0.113$$

$$I_{cl} = 0.770 * \Sigma I_x + 0.050$$

όπου I_{cl} η θερμική αντίσταση της συνολικής ενδυμασίας και I_x η τιμή για κάθε ξεχωριστό ένδυμα (Ματζαράκης, 1995).

Οι Vale et. al. (2000) εισήγαγαν για τον υπολογισμό της θερμικής αντίστασης της συνολικής ενδυμασίας τη σχέση

$$I_{cl} = 0.82 * \Sigma I_{cli}$$

όπου I_{cl} είναι η συνολική θερμική αντίσταση και I_{cli} είναι η τιμή της θερμικής αντίστασης για κάθε ένδυμα. (Vale and Vale, 2000)

Πίνακας 3-2 Τιμές θερμικής αντίστασης για συγκεκριμένη ενδυμασία (Fanger, 1972)

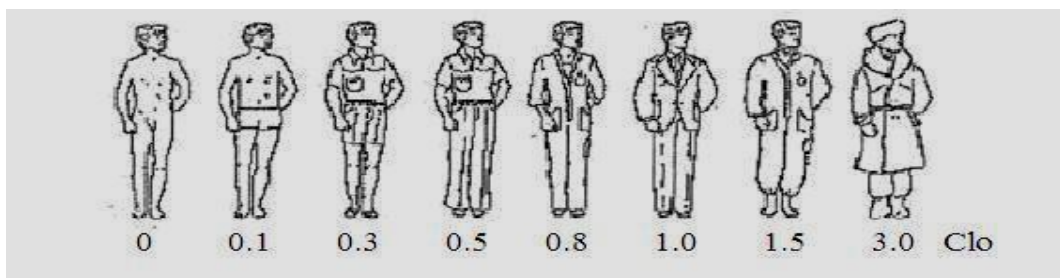
Τιμές Clo (Icl)	Ενδυμασία	Τιμές Clo (Icl)	Ενδυμασία
0.0	Γυμνός	0.25	Κοντό φόρεμα
0.03	Εσώρουχα	0.40	Μακρυμάνικο φόρεμα
0.15	Κοντομάνικη μπλούζα	0.35	Ζακέτα
0.25	Μακρυμάνικη μπλούζα	0.6	Παλτό
0.05	Κάλτσες	0.05	Γάντια
0.06	Κοντό παντελόνι	0.03	Παπούτσια

Αργότερα ο Πίνακας 3-2 έγινε αναλυτικότερος με περισσότερα είδη ενδυμάτων προσφέροντας τη θερμική μόνωση που περιγράφεται στον Πίνακα 3-3.

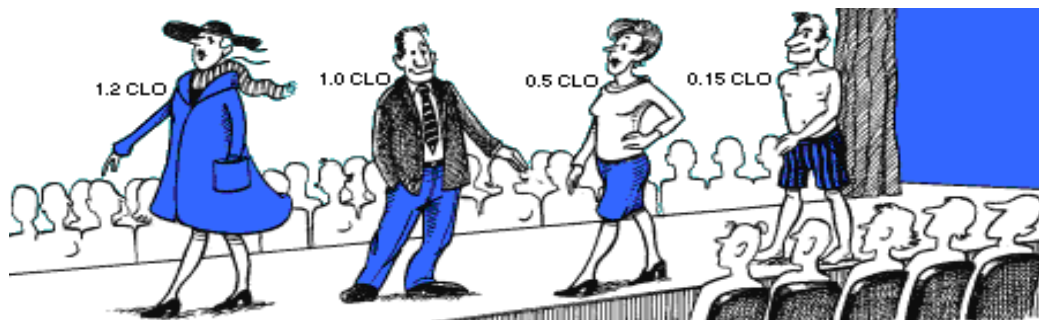
Πίνακας 3-3 Τιμές θερμικής μόνωσης σε σχέση με το είδος της ένδυσης (ASHRAE, 1992)

	Περιγραφή ενδύματος	I_{clu} σε clo
Εσώρουχα	Στηθόδεσμος	0.01
	Γυναικείο εσώρουχο	0.03
	Ανδρικό εσώρουχο	0.04
	Μπλουζάκι μακό	0.08
	Καλσόν	0.02
	Αθλητικές κάλτσες ως τον αστράγαλο	0.02
	Αθλητικές κάλτσες ως τη γάμπα	0.03
	Αθλητικές κάλτσες ως το γόνατο	0.06
Υποδήματα	Σανδάλια	0.02
	Παπούτσια	0.02
	Μπότες	0.10
Μπλουζες – Πουκάμισα	Αμάνικη μπλούζα	0.13
	Κοντομάνικη μπλούζα	0.19
	Κοντομάνικο πουκάμισο	0.08
	Μακρυμάνικο πουκάμισο	0.24
	Μακρυμάνικο βαμβακερό πουκάμισο	0.34
	Λεπτό γιλέκο	0.1
	Κοντομάνικο πλεκτό γιλέκο	0.17
	Αμάνικο πουλόβερ	0.25

	Χοντρό μακρυμάνικο πουλόβερ	0.36
Παντελόνια – Φορέματα	Λεπτό παντελόνι	0.15
	Χοντρό παντελόνι	0.24
	Λεπτή φούστα	0.14
	Χοντρή φούστα	0.23
	Αμάνικο λεπτό φόρεμα	0.23
	Κοντομάνικο λεπτό φόρεμα	0.29
	Μακρυμάνικο λεπτό φόρεμα	0.33
	Μακρυμάνικο χοντρό φόρεμα	0.47
	Πανωφόρια	Λεπτό μπουφάν
Χοντρό μπουφάν		0.42
Λεπτό μπουφάν με επένδυση		0.44
Χοντρό μπουφάν με επένδυση		0.48
Λεπτό παλτό		0.3
Αθλητικά	Κοντό παντελόνι	0.06
	Κοντό παντελόνι περιπάτου	0.06
	Φόρμα αθλητική ή κολάν	0.28



(α)



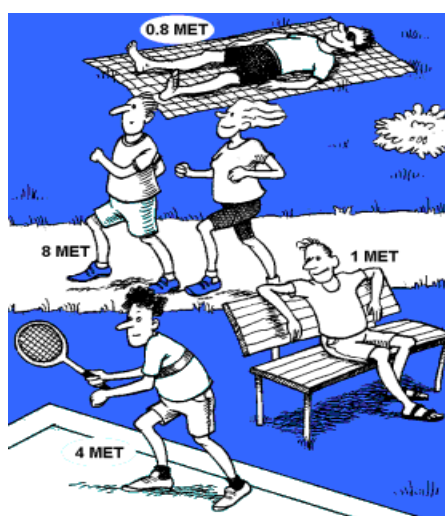
(β)

Σχήμα 3-11 Τιμές μόνωσης σε clo για κάθε είδος χωριστά και τιμές θερμικής αντίστασης για τυπικές ενδυμασίες κατά (Fanger, 1972) και (INNOVA, 2002)

3.2.3.2.2 Μεταβολική δραστηριότητα

Ο ανθρώπινος οργανισμός ακόμα και όταν ηρεμεί παράγει έργο, λόγω π.χ. της κίνησης του αίματος μέσα στις αρτηρίες με αποτέλεσμα την εμφάνιση του έργου τριβής. Το έργο που παράγεται μέσα στον ανθρώπινο οργανισμό μετατρέπεται σε θερμότητα και αποτελεί μέρος της εσωτερικής θερμότητας στο ενεργειακό ισοζύγιο. Από τη στιγμή που ο άνθρωπος κινείται τότε ένα μέρος της διαθέσιμης ενέργειας μετατρέπεται σε έργο προς τα έξω και παύει να αποτελεί διαθέσιμη θερμότητα για τον οργανισμό.

Ο μεταβολισμός λοιπόν αποτελεί την κινητήρια δύναμη του ανθρώπινου οργανισμού και το ποσό της ενέργειας που απελευθερώνεται μέσω του μεταβολισμού εξαρτάται από το βαθμό της μυϊκής δραστηριότητας. Κανονικά όλη η μυϊκή δραστηριότητα μετατρέπεται σε θερμότητα στο σώμα, όμως κατά τη διάρκεια σκληρής σωματικής εργασίας η αναλογία αυτή μπορεί να μειωθεί στο 75%.



Σχήμα 3-12 Διαφορετικές δραστηριότητες του ανθρώπου όπου φαίνεται η αντίστοιχη μεταβολική δραστηριότητα (INNOVA, 2002).

Παραδοσιακά ο μεταβολισμός μετράται σε met ($1 \text{ met} = 58.15 \text{ W/m}^2$ της επιφάνειας του σώματος). Ένας κανονικός άνθρωπος έχει εμβαδόν επιφανείας 1.7 m^2 και ένα άτομο κατά τη διάρκεια θερμικής άνεσης με βαθμό δραστηριότητας 1met θα έχει απώλεια θερμότητας περίπου 100W. Ο μικρότερος ρυθμός του μεταβολισμού είναι κατά τη διάρκεια του ύπνου (0.8met) και γίνεται μεγαλύτερος κατά τη διάρκεια αθλημάτων, όπου μπορεί να φτάσει 10met (Πίνακας 3-4)

Πίνακας 3-4 Ενδεικτικές δραστηριότητες με τους αντίστοιχους μεταβολικούς ρυθμούς (ASHRAE, 1992)

Δραστηριότητα	Ρυθμός μεταβολισμού (met)
Ξαπλωμένος	0.8
Καθισμένος, ήρεμα	1.0
Καθιστική δραστηριότητα	1.2

Όρθιος, άνετα	1.2
Ελαφρά δραστηριότητα	1.6
Μέτρια δραστηριότητα	2.0
Βαριά δραστηριότητα	3.0

3.3 Βιοκλιματικοί δείκτες – είδη τους

Κατά τη διάρκεια του περασμένου αιώνα υπήρξε πολύ έντονη έρευνα σχετικά με το πώς θα καθοριστεί η θερμική άνεση και πως θα βαθμονομηθεί η θερμική καταπόνηση. Αυτές οι προσπάθειες έχουν οδηγήσει σε διάφορα μοντέλα που προσπαθούν να περιγράψουν τη θερμική άνεση και την προκύπτουσα θερμική καταπόνηση, προτείνοντας ένα μεγάλο αριθμό βιοκλιματικών δεικτών (Hojjo, 2009). Έτσι, η ποσοτικοποίηση και η έκφραση της θερμικής αίσθησης του ανθρώπου, που διαμορφώνεται από τις περιβαλλοντικές – ατμοσφαιρικές συνθήκες γίνεται με τη βοήθεια διάφορων δεικτών. Πρώτος ο Buttner το 1938 αναγνώρισε την ανάγκη μελέτης των θερμικών μεταβλητών και στη συνέχεια πολλοί ερευνητές πρότειναν και βελτίωσαν τους βιοκλιματικούς δείκτες. Οι δείκτες αυτοί, γνωστοί ως Βιομετεωρολογικοί – Βιοκλιματικοί δείκτες, προκύπτουν από το μαθηματικό συνδυασμό διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων όπως η θερμοκρασία και η υγρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και η ηλιακή ακτινοβολία στις διάφορες εκφράσεις της. Σε ορισμένους από τους δείκτες εισάγονται επιπλέον τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του περιβάλλοντα χώρου όπως και δεδομένα που αφορούν στα άτομα που δέχονται την επίδραση των περιβαλλοντικών συνθηκών. Η πλειοψηφία αυτών των δεικτών χρησιμοποιείται σποραδικά ή για συγκεκριμένους σκοπούς. Μερικοί βασίζονται σε γενικευμένα συμπεράσματα μετρήσεων, ενώ άλλοι σε εμπειρικές αντιδράσεις του ανθρώπινου σώματος που παρατηρούνται υπό το θερμικό στρες (Németh, 2011).

Πρώτος που προσπάθησε να εκφράσει το θερμικό στρες ήταν ο Haldane το 1905 λαμβάνοντας υπόψη ως μοναδική παράμετρο την θερμοκρασία του υγρού βολβού (wet-bulb temperature). Από τότε ένας μεγάλος αριθμός δεικτών έχει προταθεί, οι οποίοι παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-5 και καταγράφονται από το 1905 έως το 2005, ενώ πολλοί νέοι ακόμα χρησιμοποιούνται σε παγκόσμια κλίμακα (Erstein and Moran, 2006). Αρχικά ο ρόλος του βιοκλιματικού δείκτη είχε περιοριστεί στην εκτίμηση και όχι στην συνδυασμένη επίδραση των περιβαλλοντικών μεταβλητών, αργότερα όμως συμπεριλήφθησαν στον υπολογισμό του ο μεταβολικός ρυθμός και τα είδη της ένδυσης. Αξιοσημείωτα, συνεχίστηκαν οι προσπάθειες για την εκτίμηση του θερμικού στρες από μία παράμετρο, η οποία θα συνδυάζει διάφορες μεταβλητές, παρόλο που τη δεκαετία του 1970 ο Belding και αργότερα οι Gagge and Nishi (1976) ατέληξαν στο συμπέρασμα ότι δεν μπορεί να υπάρξει ένα καθολικό έγκυρο σύστημα για τη μέτρηση του θερμικού στρες, κυρίως λόγω του αριθμού και της πολυπλοκότητας της αλληλεπίδρασης των παραγόντων που το καθορίζουν (Gagge and Nishi, 1976; Belding and Hatch, 1995).

Πίνακας 3-5 Προτεινόμενα συστήματα για την αξιολόγηση της θερμικής καταπόνησης-στρες και της πίεσης (Δείκτες Θερμικού Στρες)

1905	Wet-bulb temperature (Tw)	Haldane
1916	Katathermometer	Hill <i>et al.</i>
1923	Effective temperature (ET)	Houghton & Yaglou
1929	Equivalent temperature (Teq)	Dufton
1932	Corrected effective temperature (CET)	Vernon & Warner
1937	Operative temperature (OpT)	Winslow <i>et al.</i>
1945	Thermal acceptance ratio (TAR)	Ionides <i>et al.</i>
1945	Index of physiological effect (Ep)	Robinson <i>et al.</i>
1946	Corrected effective temperature (CET)	Bedford
1947	Predicted 4-h sweat rate (P4SR)	McArdel <i>et al.</i>
1948	Resultant temperature (RT)	Missenard <i>et al.</i>
1950	Craig index (I)	Craig
1955	Heat stress index (HIS)	Belding & Hatch
1957	Wet-bulb globe temperature (WBGT)	Yaglou & Minard
1957	Oxford index (WD)	Lind & Hellon
1957	Discomfort index (DI)	Thom
1958	Thermal strain index (TSI)	Lee & Henschel
1959	Discomfort index (DI)	Tennenbaum <i>et al.</i>
1960	Cumulative discomfort index (CumDI)	Tennenbaum <i>et al.</i>
1960	Index of physiological strain (Is)	Hall & Polte
1962	Index of thermal stress (ITS)	Givoni
1966	Heat strain index (corrected) (HSI)	McKarns & Brief
1966	Prediction of heart rate (HR)	Fuller & Brouha
1967	Effective radiant field (ERF)	Gagge <i>et al.</i>
1970	Predicted mean vote (PMV) Threshold limit value (TLV)	Fanger
1970	Prescriptive zone	Lind
1971	New effective temperature (ET*)	Gagge <i>et al.</i>
1971	Wet globe temperature (WGT)	Botsford
1971	Humid operative temperature	Nishi & Gagge
1972	Predicted body core temperature	Givoni & Goldman
1972	Skin wittedness	Kerslake
1973	Standard effective temperature (SET)	Gagge <i>et al.</i>
1973	Predicted heart rate	Givoni & Goldman
1978	Skin wittedness	Gonzales <i>et al.</i>
1979	Fighter index of thermal stress (FITS)	Nunneley & Stribley
1981	Effective heat strain index (EHSI)	Kamon & Ryan

1982	Predicted sweat loss (msw)	Shapiro <i>et al.</i>
1985	Required sweating (SWreq)	ISO 79337
1986	Predicted mean vote (modified) (PMV*)	Gagge <i>et al.</i>
1996	Cumulative heat strain index (CHSI)	Frank <i>et al.</i>
1998	Physiological strain index (PSI)	Moran <i>et al.</i>
1999	Modified discomfort index (MDI)	Moran <i>et al.</i>
2001	Environmental stress index (ESI)	Moran <i>et al.</i>
2005	Wet-bulb dry temperature (WBTD)	Wallace <i>et al.</i>
2005	Relative humidity dry temperature (RHDT)	Wallace <i>et al.</i>

Ένας διαχωρισμός των δεικτών αυτών μπορεί να γίνει με βάση τις θερμομετρικές συνθήκες (Ματζαράκης, 1995), ως ακολούθως:

- i. Δείκτες που αναφέρονται στο ψυχρό περιβάλλον: Στην περίπτωση αυτή έχουμε συνδυασμό της θερμοκρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου, όπως οι δείκτες απόψυξης, οι οποίοι χρησιμοποιούνται για την περιγραφή της στροβιλώδους μεταφοράς αισθητής θερμότητας.
- ii. Δείκτες οι οποίοι αναφέρονται στο θερμό περιβάλλον: Σε αυτούς γίνεται συνδυασμός της θερμοκρασίας του αέρα με διάφορες παραμέτρους υγρασίας για τη μελέτη της εξάτμισης, που προκαλείται από το ανθρώπινο σώμα.

Οι δείκτες που εφαρμόζονται σε θερμά περιβάλλοντα αφορούν και τον Ελλαδικό χώρο, γιατί η όποια επιβάρυνση από το θερμικό περιβάλλον προέρχεται συνήθως από υψηλές θερμοκρασίες και σπανιότερα από χαμηλές. Αυτό δεν οφείλεται μόνο στις κλιματικές συνθήκες της περιοχής αλλά και σε ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που διαμορφώνονται σε τοπική κλίμακα. Η διόγκωση των αστικών κέντρων δημιουργεί το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας που εντείνεται διαρκώς. Αποτέλεσμα του φαινομένου αυτού είναι η αύξηση της θερμοκρασίας των πόλεων, στις οποίες κατοικεί το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της χώρας.

Επιπλέον, οι θερμικοί δείκτες μπορούν να διακριθούν σε τρεις κατηγορίες (NIOSH, 1986; Parsons, 1993):

- i. Δείκτες που βασίζονται σε υπολογισμούς που περιλαμβάνουν την εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου («rational indices» = ορθολογικοί δείκτες)
- ii. Δείκτες που βασίζονται σε αντικειμενικά και υποκειμενικά χαρακτηριστικά («empirical indices» = εμπειρικοί δείκτες)
- iii. Δείκτες που βασίζονται σε άμεσες μετρήσεις των περιβαλλοντικών μεταβλητών

Προφανώς οι δείκτες των δύο πρώτων κατηγοριών είναι δύσκολο να είναι εφαρμόσιμοι στην καθημερινή χρήση, δεδομένου ότι εξαρτώνται από πολλές μεταβλητές και πολλοί απαιτούν επεμβατικές μετρήσεις. Η τρίτη κατηγορία των δεικτών βασιζόμενη στην παρακολούθηση των περιβαλλοντικών μεταβλητών είναι πιο φιλική και εφαρμόσιμη προς τον χρήστη.

Οι βιοκλιματολογικοί δείκτες (Discomfort Index, Heat Index, Wind Chill Index κ.ά.) αξιοποιούν μετεωρολογικά δεδομένα για την περιγραφή της επίδρασης των κλιματικών συνθηκών στον άνθρωπο. Τα δεδομένα που συνήθως χρησιμοποιούνται είναι η θερμοκρασία, η σχετική υγρασία, η ηλιακή ακτινοβολία και η ταχύτητα του ανέμου. Από τη μια η απλότητα που χαρακτηρίζει τους δείκτες αυτής της κατηγορίας αποτελεί σημαντικό πλεονέκτημα, αλλά από την άλλη δεν λαμβάνουν υπόψη τη διαφορετική ανταπόκριση των ανθρώπινων οργανισμών (π.χ. λόγω ηλικίας, φύλου) στις ίδιες κλιματικές συνθήκες.

Στους θερμο-φυσιολογικούς δείκτες η εκτίμηση της επίδρασης του κλίματος στον ανθρώπινο οργανισμό γίνεται με τη συγκριτική θεώρηση του συνόλου των θερμικών παραγόντων. Με τη χρήση τους γίνεται μοντελοποίηση του ανθρώπινου ισοζυγίου θερμότητας. Θερμο-φυσιολογικοί θεωρούνται εκείνοι οι δείκτες που ως δεδομένα εισόδου απαιτούν και χαρακτηριστικά της ανθρώπινης φυσιολογίας (ηλικία, φύλο, ένταση εργασίας κ.λπ.). Το πλεονέκτημα των δεικτών αυτών συνίσταται στο γεγονός ότι απαιτούν ως δεδομένα εισόδου τις πλέον κοινές μετεωρολογικές παραμέτρους, όπως: θερμοκρασία, σχετική υγρασία, ταχύτητα ανέμου και ακτινοβολία.

3.3.1 Γενικός δείκτης δυσφορίας (Discomfort Index, DI)

Ο δείκτης δυσφορίας εκφράζει την ικανοποίηση ή μη του ανθρώπου από το περιβάλλον και τις επικρατούσες συνθήκες. Προτάθηκε από τον (Thom, 1959) και τροποποιήθηκε το 1978 από τον (Besancenot, 1978). Δίνει μια καλή εκτίμηση των συνθηκών που επικρατούν και είναι ιδιαίτερα χρήσιμος στις ευπαθείς ομάδες, όπως ηλικιωμένα άτομα, παιδιά, στους ανθρώπους με πνευμονικές παθήσεις (π.χ. άσθμα), αθλητές, εργαζόμενους σε εξωτερικούς χώρους και γενικά στις ομάδες ανθρώπων που επηρεάζονται άμεσα από τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Πρέπει να σημειωθεί ότι είναι ένας καθαρά εμπειρικός δείκτης, που βασίζεται σε μια μεγάλη σειρά παρατηρήσεων και είναι συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας της ατμόσφαιρας.

Ο υπολογισμός του δείκτη δυσφορίας δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$DI = Ta - 0.55 (1 - 0.01RH) (Ta - 14.5)$$

όπου Ta είναι η ωριαία τιμή της μέσης θερμοκρασίας του αέρα σε βαθμούς Κελσίου και RH είναι επί τις εκατό ωριαία τιμή της σχετικής υγρασίας.

Πίνακας 3-6 Τα όρια του Δείκτη Δυσφορίας (DI) και οι αντίστοιχοι χαρακτηρισμοί

30.0 < DI	Καύσωνας
26.5 < DI < 29.9	Πολύ ζέστη
20.0 < DI < 26.4	Ζέστη
15.0 < DI < 19.9	Ουδέτερος
13.0 < DI < 14.9	Δροσιά
-1.7 < DI < 12.9	Κρύο
DI < -1.7	Πολύ κρύο

3.3.2 Δείκτης Θερμότητας (Heat Index, HI)

Ο δείκτης θερμότητας αποτέλεσε μια μεταγενέστερη προσπάθεια μελέτης της αίσθησης άνεσης ή δυσφορίας του ανθρώπινου οργανισμού. Αποτελεί ένα μέτρο του κατά πόσο η θερμοκρασία του αέρα σε συνδυασμό με τα ποσοστά σχετικής υγρασίας επηρεάζουν την αίσθηση άνεσης ή δυσφορίας του πληθυσμού καθώς και τις συνέπειες που μπορεί να υποστεί ο ανθρώπινος οργανισμός. Το 1979 ο R.G. Steadman δημοσίευσε έναν νέο δείκτη γνωστό ως δείκτη θερμότητας, τον οποίο τελειοποίησε το 1984 (Steadman, 1979, 1984).

Το καλοκαίρι και γενικά σε οποιαδήποτε θερμή περίοδο ο ανθρώπινος οργανισμός με τη διαδικασία της εφίδρωσης διατηρεί τη θερμοκρασία του εντός φυσιολογικών ορίων. Ο ιδρώτας, που κατά κύριο λόγο αποτελείται από νερό, εξατμίζεται απομακρύνοντας θερμότητα από το σώμα με αποτέλεσμα να δροσίζεται το δέρμα. Ωστόσο αν η σχετική υγρασία του αέρα κυμαίνεται σε υψηλά επίπεδα, τότε η παραπάνω διαδικασία ελαττώνεται με αποτέλεσμα τον περιορισμό της εξάτμισης. Έτσι το σώμα αδυνατεί να αποβάλλει το πλεόνασμα θερμότητας, αισθανόμενο πλέον υψηλότερη θερμοκρασία από την πραγματική. Αυξανόμενου του δείκτη θερμότητας, περιορίζεται το αίσθημα άνεσης και σταδιακά προκύπτει αίσθημα δυσφορία. Πέρα από κάποια όρια του δείκτη οι επιπτώσεις στην υγεία είναι αρκετά σοβαρές.

Ο δείκτης δυσφορίας είναι μια διαφοροποιημένη θερμοκρασία που έχει εξαχθεί πειραματικά και αντιστοιχεί σε διάφορες καταστάσεις, δείχνοντας το πόσο «ανεκτό» είναι το περιβάλλον που έχει αυτές τις συνθήκες θερμοκρασίας και σχετικής υγρασίας. Η σχέση υπολογισμού του δείκτη θερμότητας προτάθηκε από τον Rothfus το 1990 και είναι η εξής:

$$\begin{aligned} HI = & -42.379 + 2.04901523 * T + 10.14333127 * RH - 0.22475541 * T * RH \\ & - 6.83783 * 10^{-3} * T^2 - 5.481717 * 10^{-2} * RH^2 + 1.22874 * 10^{-3} * T^2 \\ & * RH + 8.5282 * 10^{-4} * T * RH^2 - 1.99 * 10^{-6} * T^2 * RH^2 \end{aligned}$$

όπου T η είναι τιμή της μέσης θερμοκρασία του αέρα σε βαθμούς Fahrenheit και RH η σχετική υγρασία (%). Με την παραπάνω σχέση υπολογίζουμε τον δείκτη θερμότητας σε βαθμούς Fahrenheit. Για να υπολογίσουμε τον δείκτη θερμότητας σε βαθμούς Κελσίου χρησιμοποιείται η σχέση:

$$c = \frac{5}{9} (F - 32)$$

Στο Σχήμα 3-13 παρουσιάζεται ο δείκτης θερμότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου και της σχετικής υγρασίας εκφρασμένης ως ποσοστό επί τοις εκατό. Σημειώνεται ότι τόσο οι επιπτώσεις αυτές, όσο και το αίσθημα δυσφορίας αποτελούν θεωρητικές μέσες τιμές σχετικά με τον πληθυσμό. Στην πραγματικότητα εξαρτώνται και από άλλες παραμέτρους όπως το φύλο, την ηλικία, την ένδυση, τη φυσική κατάσταση και εν γένει τη υγεία του κάθε ατόμου.

		temperature (°C)																
		27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Relative Humidity (%)	40	27	28	29	30	31	32	34	35	37	39	41	43	46	48	51	54	57
	45	27	28	29	30	32	33	35	37	39	41	43	46	49	51	54	57	
	50	27	28	30	31	33	34	36	38	41	43	46	49	52	55	58		
	55	28	29	30	32	34	36	38	40	43	46	48	52	55	59			
	60	28	29	31	33	35	37	40	42	45	48	51	55	59				
	65	28	30	32	34	36	39	41	44	48	51	55	59					
	70	29	31	33	35	38	40	43	47	50	54	58						
	75	29	31	34	36	39	42	46	49	53	58							
	80	30	32	35	38	41	44	48	52	57								
	85	30	33	36	39	43	47	51	55									
	90	31	34	37	41	45	49	54										
95	31	35	38	42	47	51	57											
100	32	36	40	44	49	54												

Σχήμα 3-13 Ο δείκτης θερμότητας ως συνάρτηση της θερμοκρασίας σε βαθμούς Κελσίου και της σχετικής υγρασίας εκφρασμένης ως ποσοστό επί τοις εκατό (<http://www.eurometeo.com/english/docs>)

3.3.3 Ψυκτική ικανότητα του ανέμου (Wind Chill Index, WCI)

Ο δείκτης WCI κωδικοποιεί την απώλεια θερμότητας του ανθρώπου κατά τη χειμερινή περίοδο σε μονάδες W/m^2 . Ο δείκτης αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας και την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου. Οι τιμές του δείκτη WCI δεν είναι ίσες με την πραγματική απώλεια θερμότητας από τον ανθρώπινο οργανισμό. Ο δείκτης υπολογίζεται σύμφωνα με την παρακάτω σχέση:

$$WCI = (10 * V^{0.5} + 10.45 - V) * (33 - T) * 1.163$$

όπου V η ταχύτητα του ανέμου σε m/sec και T η θερμοκρασία του αέρα σε °C. Η θερμική αίσθηση του ανθρώπου ανάλογα με τις τιμές του δείκτη WCI δίνεται στον Πίνακα 3-7.

Πίνακας 3-7 Τιμές του δείκτη WCI και οι αντίστοιχες κατηγορίες της θερμικής αίσθησης (<http://www.nws.noaa.gov>)

Τιμές WCI	Κατηγορίες
πάνω από 2326	Πάρα πολύ παγωμένος
1628-2326	Παγωμένος
930-1628	Κρύος
581-930	Δροσερός
232-581	Άνετος
116-232	Ζεστός
58-116	Καυτός
κάτω από 58	Πάρα πολύ καυτός

3.3.4 Δείκτης προβλεπόμενης μόνωσης (Insulation predicted index, Iclp)

Ο δείκτης Iclp προσδιορίζει προσεγγιστικά την προβλεπόμενη τιμή της θερμικής μόνωσης που θα πρέπει να παρέχουν τα ενδύματα, ώστε το άτομο να διατηρήσει τη θερμική του άνεση. Ο δείκτης Iclp που εισήχθηκε από τους (Burton and Edholm, 1955) υπολογίζεται από τη σχέση:

$$I_{cpl} = \frac{0.082 * [91.4 - (1.8 * t + 32)]}{0.01724 * M} - \frac{1}{(0.61 + 1.9 * v^{0.5})}$$

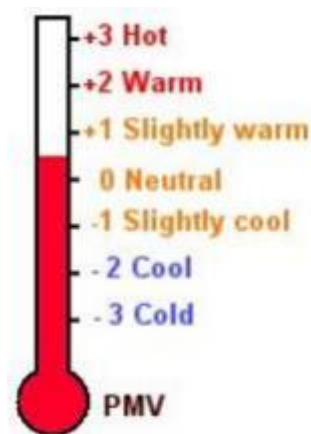
όπου t η θερμοκρασία του αέρα σε °C, M ο μεταβολισμός σε W/m^2 με προεπιλεγμένη τιμή $135W/m^2$ και v η ταχύτητα του ανέμου σε m/s . Για τον υπολογισμό του δείκτη I_{cpl} παραδεχόμαστε ότι η τιμή της φυσικής άσκησης είναι $70W/m^2$ για ένα άτομο που βρίσκεται ακίνητο, ενώ γίνεται $135W/m^2$ όταν το άτομο κινείται με ταχύτητα $4km/h^1$ (Aragzny, 2006). Η θερμική αίσθηση του ανθρώπου ανάλογα με τις τιμές του δείκτη I_{cpl} παρουσιάζονται στον Πίνακα 3-8:

Πίνακας 3-8 Η θερμική άνεση του ατόμου σε συνάρτηση με τις τιμές του δείκτη I_{cpl} (Blażejczyk, 2011)

Τιμές I_{cpl} (clo)	Κατηγορίες
Πάνω από 0.30	Πολύ ζεστός
0.30-0.80	Ζεστός
0.80-1.20	Ουδέτερος
1.20-2.00	Δροσερός
2.00-3.00	Κρύος
3.00-4.00	Πολύ κρύος

3.3.5 Μέσος αναμενόμενος θερμικός δείκτης (Predicted Mean Vote, PMV)

Το μοντέλο PMV προβλέπει τη θερμική αίσθηση σαν λειτουργία της δραστηριότητας, της ένδυσης και των τεσσάρων κλασικών περιβαλλοντικών παραμέτρων (θερμοκρασία – υγρασία – ταχύτητα ανέμου – νέφωση). Ο δείκτης PMV εφαρμόζεται για να προβλεφθεί η μέση τιμή της εξίσωσης θερμικής άνεσης που βασίζεται σε σταθερή κατάσταση μεταφοράς θερμότητας μεταξύ του σώματος και του περιβάλλοντος και η κλίμακα αίσθησής του βασίζεται στο πρότυπο ASHRAE (ASHRAE, 2005) και ορίζεται σύμφωνα με την επταβάθμια κλίμακα που εμφανίζεται στο Σχήμα 3-14:



Σχήμα 3-14 Κλίμακα προσδιορισμού PMV (ISO, 2005)

Το μοντέλο του δείκτη PMV για τη θερμική άνεση αποτελεί ένα μοντέλο σταθερής κατάστασης και δίνεται από τον τύπο:

$$PMV = (0.303e^{-0.036M} + 0.028)L$$

όπου M είναι ο μεταβολικός ρυθμός και L το θερμικό φορτίο που ορίζεται ως η διαφορά μεταξύ της εσωτερικής παραγωγής θερμότητας και των απωλειών προς το περιβάλλον. Σε συνθήκες άνεσης θα πρέπει να είναι L=0. Εάν το L είναι διάφορο του μηδενός, τότε οι μηχανισμοί του σώματος αλλάζουν τη μέση θερμοκρασία του δέρματος και επιβάλλουν π.χ. την έκκριση ιδρώτα για τη διατήρηση του θερμικού ισοζυγίου. Έτσι η θερμική αίσθηση αλλάζει και τη μεταβαλλόμενη αυτή θερμική αίσθηση την ορίζουμε ως κάποια άγνωστη συνάρτηση Y συναρτήσει του L και του μεταβολικού ρυθμού:

$$Y = f\left(L, \frac{H_M}{An}\right)$$

Όταν ο δείκτης PMV=0, θεωρείται ότι παρέχονται οι βέλτιστες συνθήκες θερμικής άνεσης. Μια θετική τιμή σημαίνει ότι η θερμοκρασία είναι υψηλότερη από την ιδανική τιμή, ενώ μια αρνητική τιμή, αντίστοιχα σημαίνει ότι η θερμοκρασία είναι χαμηλότερη. Τιμές του δείκτη PMV μεταξύ του -0.5 και του +0.5 θεωρούνται γενικά αποδεκτές.

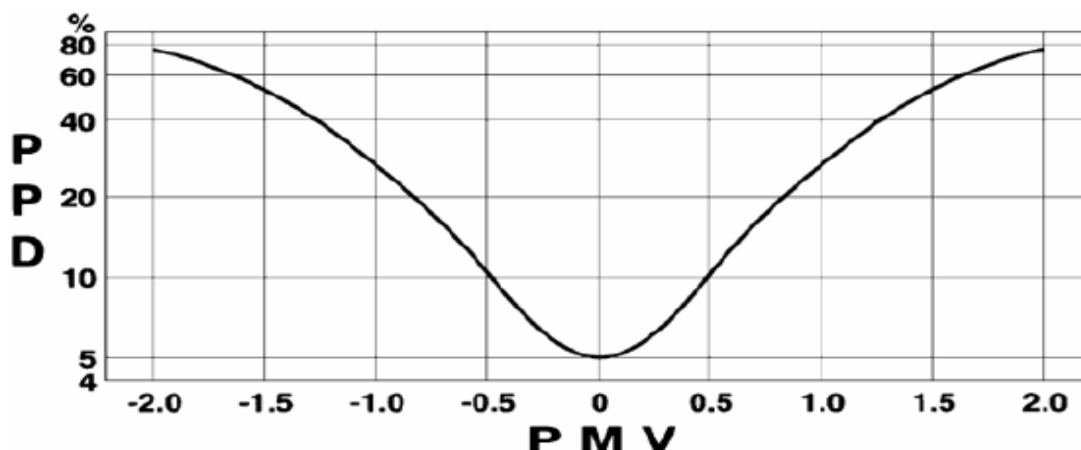
3.3.6 Προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων (Predicted Percentage of Dissatisfied, PPD)

Ο δείκτης PPD προβλέπει τη μέση τιμή των θερμικά δυσαρεστημένων ανθρώπων, οι οποίοι είναι πιθανόν να αισθανθούν πολύ ζεστά ή πολύ κρύα μέσα σε μια μεγάλη ομάδα ανθρώπων. Ο δείκτης PPD μπορεί εύκολα να βρεθεί αν έχει προηγηθεί η μέτρηση του δείκτη PMV που δίνεται στο πρότυπο ISO7730 (2005). Οι άνθρωποι που αισθάνονται θερμική δυσφορία είναι αυτοί που ψηφίζουν ότι αισθάνονται πολύ ζεστό, ζεστό, κρύο ή πολύ κρύο στην επταβάθμια κλίμακα του προτύπου. Η εξίσωση του PPD βασισμένη στο δείκτη PMV έχει ως εξής:

$$PPD = 100 - 95 \exp\left[-0.0335PMV^4 - 0.2179PMV^2\right]$$

Ιδιαίτερη σημασία αποκτά το ποσοστό εάν αναλογιστούμε τις διαφορετικές αντιδράσεις που μπορεί να έχουν κάποιοι άνθρωποι στο ίδιο ερέθισμα. Είναι απόλυτα φυσικό να παρουσιάζεται διακύμανση στο αίσθημα θερμικής άνεσης σε ένα σύνολο ανθρώπων που εκτίθενται στις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος. Αυτό συμβαίνει διότι οι άνθρωποι έχουν διαφορετικές συνήθειες ένδυσης, διαφορετικό μεταβολισμό και διαφορετικά επίπεδα δραστηριότητας, ακόμα και διαφορετική ψυχοσύνθεση, που επηρεάζουν τελικά, το πόσο άνετα αισθάνονται σε ένα χώρο.

Μεγαλύτερη όμως σημασία έχει το ποσοστό των ανθρώπων που δεν αισθάνονται θερμικά άνετα, δηλαδή το ποσοστό που θα ψηφίσει -3,-2,+2,+3 (INNOVA, 2002; Olesen, 2002), καθώς αυτοί τελικά επιθυμούν αλλαγή στις συνθήκες περιβάλλοντος.



Σχήμα 3-15 Το προβλεπόμενο ποσοστό δυσαρεστημένων σε συνάρτηση με το δείκτη PMV (Fanger, 1972)

Η καμπύλη είναι συμμετρική και για $PMV=0$ παρουσιάζεται το ελάχιστο ποσοστό δυσαρέσκειας που είναι το $PPD=5\%$. Διαπιστώνουμε, δηλαδή, πως είναι αδύνατο να ικανοποιηθούν όλοι οι άνθρωποι που βρίσκονται σε ένα χώρο. Ακόμα και αν χρησιμοποιηθεί το τελειότερο κλιματιστικό σύστημα το οποίο θα εξασφαλίζει απόλυτα ομοιόμορφες θερμικές συνθήκες στο χώρο, είναι πρακτικά αδύνατο να επιτύχουμε ποσοστό δυσαρεστημένων μικρότερο του 5%.

3.3.7 Δείκτης θερμικής επιβάρυνσης (Thermal Stress Index, TSI)

Ο δείκτης θερμικής επιβάρυνσης είναι ένα βιοφυσικό μέγεθος, το οποίο περιγράφει τις ροές εναλλαγής της θερμότητας του σώματος και του περιβάλλοντος και υπολογίζει τη θερμική επιβάρυνση του ανθρώπινου σώματος (Givoni, 1974). Ο προσδιορισμός του δείκτη TSI βασίζεται στον υπολογισμό του παραγόμενου ιδρώτα, στο μεταβολισμό, στο παραγόμενο έργο, στην εναλλαγή θερμότητας μέσω των μηχανισμών σύγκλισης, στην εναλλαγή ακτινοβολίας και σε ένα συντελεστή απόψυξης μέσω του ιδρώτα για τον ανθρώπινο οργανισμό.

Ο δείκτης αυτός προσφέρει ικανοποιητικές τιμές στην κλίμακα θερμικής άνεσης και σε ορισμένες κλίμακες, οι οποίες βρίσκονται κοντά στη θερμική άνεση. Είναι έγκυρος για συνθήκες μόνιμης κατάστασης ακόμη και αν ανέρχονται η θερμοκρασία και οι παλμοί του σώματος (Ogunsote and Prucnal-Ogunsote, 2002).

3.3.8 Λειτουργική θερμοκρασία T_o

Πρόκειται για ένα δείκτη που συνδυάζει τη θερμοκρασία, τη μέση ακτινοβολούμενη θερμοκρασία και την κίνηση του αέρα. Ορίζεται ως η ενιαία θερμοκρασία ενός φανταστικού χώρου, στον οποίο το άτομο θα ανταλλάσσει το ίδιο ποσό θερμότητας, με ακτινοβολία και μεταφορά, όπως στο πραγματικό περιβάλλον. Ο δείκτης αυτός μπορεί να θεωρηθεί και σαν μια συνδυασμένη παράμετρος. Ο υπολογισμός της γίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$T_o = a * T_{air} + (1 - a) * T_{mrt}$$

όπου ο συντελεστής α εξαρτάται από την ταχύτητα του αέρα v σε m/sec.

Πίνακας 3-9 Σχέση μεταξύ του συντελεστή α και της ταχύτητας του αέρα (<http://openarchives.gr>)

V	< 0.2	0.2 - 0.6	0.6 - 1.0
a	0.5	0.6	0.7

3.3.9 Ισοδύναμη θερμοκρασία T_{eq}

Ο δείκτης της ισοδύναμης θερμοκρασίας εισήχθη από τον Dufton το 1932, ο οποίος ανέπτυξε ένα συνδυαστικό θερμοστάτη που θα συντηρούσε ένα δωμάτιο σε θερμοκρασία άνεσης ενάντια στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας αέρα, της θερμικής ακτινοβολίας και της ταχύτητας του αέρα. Ο θερμοστάτης ονομάστηκε Euratheostat και είναι κατασκευασμένος από ένα κάθετο κύλινδρο που θερμαινόταν εσωτερικά με μέγεθος επιλεγμένο έτσι ώστε να διαχωρίζει τις απώλειες από ακτινοβολία και μεταφορά, προσομοιάζοντας τις απώλειες θερμότητας ενός ανθρώπου.

Η ισοδύναμη θερμοκρασία καθορίζεται ως η ομοιόμορφη θερμοκρασία ενός φανταστικού θαλάμου με ταχύτητα αέρα ίση με μηδέν στον οποίο ένα άτομο θα αντάλλαζε την ίδια ποσότητα θερμότητας με ακτινοβολία και μεταφορά, όπως σε ένα πραγματικό περιβάλλον. Για τον υπολογισμό της κατασκευάστηκε ένας ελλειψοειδής αισθητήρας.

Ο Mayer (Mayer, 1993), κατασκεύασε μια συσκευή ονομαζόμενη «τεχνητό δέρμα» για την μέτρηση της T_{eq} , καθορίζοντάς την ως τη θερμοκρασία επιφανείας ενός φανταστικού δωματίου, στο οποίο η θερμοκρασία επιφανείας ενός σώματος, θερμαινόμενου με καθορισμένη ένταση ροής θερμότητας, είναι η ίδια με ένα πραγματικό δωμάτιο (με πιθανά διαφορετική επιφάνεια, θερμοκρασία και ταχύτητα αέρα).

Η ισοδύναμη θερμοκρασία σε σύγκριση με τη λειτουργική θερμοκρασία T_o , υπολογίζει επιπλέον την επίδραση της ταχύτητας του αέρα πάνω στο ισοζύγιο θερμότητας του θερμαινόμενου σώματος. Η πιο σημαντική αρχή του αισθητήρα της ισοδύναμης θερμότητας, είναι η προσομοίωση με την απώλεια θερμότητας του ανθρωπίνου σώματος.

3.3.10 Αισθητή θερμοκρασία ET ή αποτελεσματική θερμοκρασία T_{eff}

Ως αισθητή θερμοκρασία ορίζεται η θερμοκρασία μια ακίνητης, κορεσμένης υδρατμών ατμόσφαιρας που η απουσία ακτινοβολίας, θα έδινε την ίδια επίδραση όπως η ατμόσφαιρα που διερευνάται. Ο δείκτης αυτός συνδυάζει τις επιδράσεις των θερμοκρασιών υγρού και ξηρού βολβού και ταχύτητας του αέρα και έχει ως αποτέλεσμα αντίστοιχα συναισθήματα ζέστης ή δροσιάς.

Ο δείκτης αυτός αναπτύχθηκε για την ASHRAE από τους (Houghten and Yaglou, 1923), αρχικά για άτομα που φορούν ρουχισμό με 1 clo. Αυτή η κλίμακα θερμοκρασίας υπερεκτιμά το ρόλο της υγρασίας σε δροσερές και ουδέτερες συνθήκες και υποεκτιμά την επίδραση που έχει σε ζεστές συνθήκες και δεν συμπεριλαμβάνει πλήρως τις επιδράσεις που προξενεί η ταχύτητα του αέρα σε συνθήκες ζέστης και υγρασίας.

Οι δείκτες αποτελεσματικής θερμοκρασίας T_{eff} εφαρμόστηκαν ως θερμικοί δείκτες και αναπτύχθηκαν περίπου πριν από 70 χρόνια και είναι έγκυροι για συνθήκες ανάπαυσης. Διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στις «κανονικές αποτελεσματικές θερμοκρασίες», οι οποίες είναι προσαρμοσμένες σε άτομα με κανονική ενδυμασία και στις «βασικές αποτελεσματικές θερμοκρασίες» για άτομα με γυμνό το πάνω μέρος του σώματός τους. Ο υπολογισμός της αποτελεσματικής θερμοκρασίας δίνεται από τη σχέση:

$$T_{eff} = T_a - 0.4 (T_a - 10) \left(1 - \frac{RH}{100}\right)$$

όπου το T_{eff} δηλώνει την αποτελεσματική θερμοκρασία σε °C, το T_a τη θερμοκρασία του αέρα σε °C και το RH τη σχετική υγρασία (%).

Η τιμή της δυσφορίας για την αποτελεσματική θερμοκρασία βρίσκεται στους 30°C για άτομα τα οποία ασκούν ελαφρά εργασία, για χρονική περίοδο μικρότερη των 6 ωρών. Η τιμή αυτή ισχύει για υγιή άτομα με ελαφριά ενδυμασία, τα οποία είναι εγκλιματισμένα σε υψηλές συνθήκες και των οποίων η απώλεια ύδατος επαναφέρεται συνεχώς σε φυσιολογικά επίπεδα.

Ο δείκτης ET βελτιώθηκε ενσωματώνοντας την επίδραση της ακτινοβολίας και μετατράπηκε σε CET. Αυτό επιτεύχθηκε με τη χρήση της θερμοκρασίας μαύρης σφαίρας αντί της θερμοκρασίας ξηρού βολβού (Ogunsote and Prucnal-Ogunsote, 2002).

3.3.11 Προκύπτουσα θερμοκρασία (Resultant Temperature, RT)

Η προκύπτουσα θερμοκρασία αναπτύχθηκε το 1948 από τον Missenard στη Γαλλία (Givoni, 1974) και αποσκοπεί στη δημιουργία ενός δείκτη που στηρίζεται σε πειραματικά δεδομένα, όταν επέλθει θερμική ισορροπία (μετά από χρόνο 30min περίπου) μεταξύ του οργανισμού και του περιβάλλοντός του, ώστε να μπορέσουν να εκτιμηθούν οι επιδράσεις της υγρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου.

Έχει βρεθεί ότι οι τιμές της προκύπτουσας θερμοκρασίας μεγαλύτερες των 30°C παρουσιάζουν καλή συσχέτιση μεταξύ αυτής και της θερμοκρασίας του αέρα καθώς και της σχετικής υγρασίας, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από τα αποτελέσματα των θερμοφυσιολογικών πειραμάτων. Θεωρείται δείκτης για συνθήκες ανάπαυσης.

Μειονέκτημα του δείκτη αυτού υπήρξε το γεγονός ότι για τιμές προκύπτουσας θερμοκρασίας < 30°C σημειωνόταν υπερεκτίμηση της υγρασίας. Σχετικά με την ταχύτητα του ανέμου έχει βρεθεί ότι σε μεγάλες (ή μικρές) τιμές της RT, ο δείκτης υποεκτιμά (ή υπερεκτιμά) την ψυκτική ικανότητα του ανέμου.

3.3.12 Θερμοκρασία υγραινόμενης σφαίρας (Wet Bulb Globe Temperature, WBGT)

Το μέγεθος αυτό εισήχθη προκειμένου να αντικαταστήσει την αποτελεσματική θερμοκρασία, η οποία δεν συμπεριλαμβάνει την επίδραση της ακτινοβολίας. Για τον υπολογισμό της έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι, συνηθέστερα όμως υπολογίζεται με τη σχέση (ISO, 1982)

$$WBGT = 0.7 * T_f + 0.2 * T_g + 0.1 * T_a$$

όπου T_a είναι η θερμοκρασία του αέρα σε $^{\circ}\text{C}$, T_f η θερμοκρασία του υγρού θερμομέτρου σε $^{\circ}\text{C}$ και T_g η θερμοκρασία της σφαίρας σε $^{\circ}\text{C}$ (πρόκειται για μια μαύρη σφαίρα, με την οποία είναι δυνατό να περιγραφεί το ισοζύγιο της ακτινοβολίας). Για να ληφθεί υπόψη και η επίδραση της ταχύτητας του ανέμου, προτάθηκε αντί της θερμοκρασίας του υγρού θερμομέτρου, που αυτή μετράται με ψυχρόμετρα ανεμιστήρα (τύπου Assmann), να γίνει η χρήση της φυσικής θερμοκρασίας του υγρού θερμομέτρου, δηλαδή της κλασικής μεθόδου μέτρησης αυτής με ψυχρόμετρο τύπου August, όπου συνυπολογίζεται και ο πραγματικός άνεμος.

Πίνακας 3-10 Κλίμακα εκτίμησης της δυσφορίας, με βάση τις τιμές του DI (Terjung, 1968)

Εκτίμηση	Δείκτης δυσφορίας ($^{\circ}\text{C}$)
Θερμική άνεση	$18 \leq \text{DI} \leq 21$
Το 10% του πληθυσμού αισθάνεται δυσφορία	$21 \leq \text{DI} \leq 24$
Το 50% του πληθυσμού αισθάνεται δυσφορία	$24 \leq \text{DI} \leq 26$
Το 100% του πληθυσμού αισθάνεται δυσφορία	$\text{DI} \geq 26$
Η δυσφορία είναι υψηλή και επικίνδυνη	$\text{DI} \geq 26,7$

Για την εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος μέσω του δείκτη WBGT έχουν καθοριστεί οι προδιαγραφές από την International Standard Organization (ISO) με τη βοήθεια των οποίων προσδιορίζεται η εκάστοτε βαθμίδα του δείκτη WBGT για διάφορες δραστηριότητες του ανθρώπου, όπως π.χ. η καθιστική εργασία, η χειρωνακτική εργασία κ.λπ. (ISO, 1982).

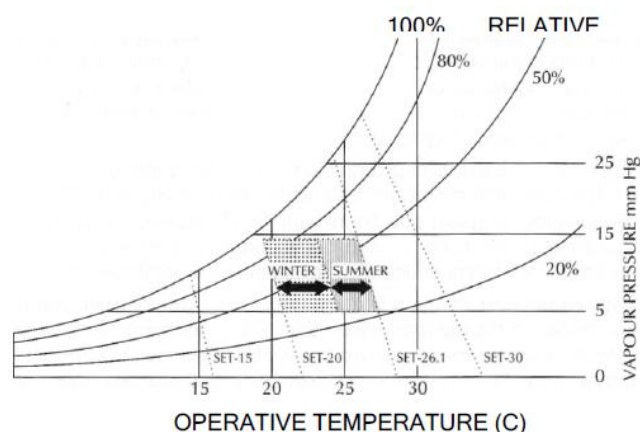
3.3.13 Τυπική αισθητή θερμοκρασία SET

Ως τυπική αισθητή θερμοκρασία ορίζεται ως η θερμοκρασία ξηρού βολβού σε ένα περιβάλλον με ομοιόμορφες συνθήκες και σχετική υγρασία 50% μέσα στο οποίο οι άνθρωποι θα παρουσίαζαν τα ίδια ποσοστά ανταλλαγής θερμότητας με ακτινοβολία, μεταφορά και εξάτμιση, όπως και αν ήταν σε ένα περιβάλλον όπου μεταβάλλεται η υγρασία. Τα επίπεδα ένδυσης προσδιορίζονται σε 0.6clo για κανονική ελαφρά ενδυμασία εσωτερικού χώρου, συνθήκες ακίνητου αέρα ή ταχύτητας 0.2m/sec διάρκεια έκθεσης του ατόμου σε αυτές τις συνθήκες για 1 ώρα και επίπεδα καθιστικής δραστηριότητας ανάλογα με 1 met (Gagge, 1973). Η αντιστοιχία μεταξύ διαφόρων τιμών της θερμοκρασίας SET σε $^{\circ}\text{C}$ και του θερμικού αισθήματος δίνεται από τον Πίνακα 3-11.

Πίνακας 3-11 Τιμές της θερμοκρασίας SET και του θερμικού αισθήματος (ASHRAE, 1989)

Τιμές SET ($^{\circ}\text{C}$)	Συναίσθημα
40	Περιορισμένη αντοχή (πολύ ζεστά)
35	Ζεστά (ελαφρά δυσαρέσκεια)
30	Λίγο ζεστά
25	Ουδέτερα (θερμική άνεση)
20	Ελαφρά δροσερά
20	Δροσερά (ελαφρά δυσαρέσκεια)
15	Κρύο
10	Πολύ κρύο (δυσαρέσκεια)

Οι τιμές της αισθητής θερμοκρασίας υπολογίζονται από το Σχήμα 3-16. Η γραμμοσκιασμένη περιοχή αντιστοιχεί στη ζώνη θερμικής άνεσης.



Σχήμα 3-16 Ψυχομετρικός χάρτης με τη νέα εμπειρική θερμοκρασία και τη ζώνη θερμικής άνεσης (Gagge, 1973)

3.3.14 Νέα αισθητή θερμότητα (SET*)

Το μοντέλο αναπτύχθηκε στη βάση του δυναμικού δι-κομβικού (two-mode) μοντέλου (2NM) ρύθμισης της θερμοκρασίας του ανθρώπου (Nishi and Gagge, 1971) που διαφέρει από το μόνιμης κατάστασης μοντέλο του Fanger (1973). Αποτελεί ένα μεταβατικό ενεργειακό ισοζύγιο που δηλώνει ότι ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας είναι ίσος με το καθαρό κέρδος θερμότητας μείον τις απώλειες θερμότητας. Το θερμικό μοντέλο περιγράφεται από δύο διπλές γραμμικές εξισώσεις θερμικού ισοζυγίου, καθεμιά για κάθε τμήμα του σώματος:

$$S_{cr} = M - W - (C_{res} + E_{res}) - (T_{cr} - T_{sk}) * (5.28 + 1.163 * skbf)$$

$$S_{sk} = (T_{cr} - T_{sk}) * (5.28 + 1.163 * skbf) - (C + R + E_{sk})$$

όπου:

S_{cr} , ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο εσωτερικό του σώματος,

S_{sk} , ο ρυθμός αποθήκευσης θερμότητας στο δέρμα,

C_{res} , οι απώλειες θερμότητας λόγω μεταφοράς από την αναπνοή,

E_{res} , οι απώλειες θερμότητας λόγω εξάτμισης από την αναπνοή,

T_{cr} , η θερμοκρασία της εσωτερικής στιβάδας,

T_{sk} , η θερμοκρασία του δέρματος,

$skbf$, η περιφερειακή – στο δέρμα – ροή αίματος C, η αισθητή απώλεια θερμότητας από το δέρμα με μεταφορά R, η αισθητή απώλεια θερμότητας από το δέρμα με ακτινοβολία,

E_{sk} , η ολική απώλεια θερμότητας με εξάτμιση από το δέρμα.

Ο ρυθμός της αποθήκευσης θερμότητας από το σώμα, ισοδυναμεί με τον ρυθμό αύξησης της εσωτερικής ενέργειας. Ο ρυθμός αποθήκευσης μπορεί να γραφτεί ξεχωριστά

για κάθε μέρος του σώματος σαν θερμική χωρητικότητα και ρυθμός αλλαγής της θερμοκρασίας σε κάθε μέρος του σώματος:

$$S_{cr} = (1 - a)mc_{p,d} \left(\frac{dt_{cr}}{d\theta} \right) / A_D \quad \text{και} \quad S_{sk} = amc_{p,d} \left(\frac{dt_{cr}}{d\theta} \right) / A_D$$

όπου

a , είναι το μέρος της μάζας του σώματος στο μέρος του δέρματος,

m , είναι η μάζα του σώματος (kg),

$m_{c_{p,d}}$, η συγκεκριμένη χωρητικότητα θερμότητας του σώματος (kJ/kg),

θ , η φορές (s),

A_D , η επιφάνεια σώματος κατά Dubois (m²).

Ο δείκτης SET* του ASHRAE ορίζεται σαν η ισοδύναμη θερμοκρασία ενός ισοθερμικού περιβάλλοντος κατά 50% RH στο οποίο ένα υποκείμενο, καθώς φοράει ρούχα τυποποιημένα για την συγκεκριμένη δραστηριότητα, θα έχει την ίδια θερμική τάση (θερμοκρασία δέρματος, t_{sk}) και θερμορυθμιστική τάση (διάβρεξη δέρματος, w), όπως στο πραγματικό περιβάλλον που δοκιμάζεται (Gagge et al., 1986). Το ισοθερμικό περιβάλλον αναφέρεται στο περιβάλλον στο επίπεδο της θάλασσας, στο οποίο η θερμοκρασία του αέρα είναι ίση με την μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας και η ταχύτητα του αέρα είναι μηδέν. Η απώλεια θερμότητας H_{sk} από το δέρμα μπορεί να εκφραστεί από την παρακάτω σχέση:

$$H_{sk} = h_s(t_{sk} - SET^*) + w_{h_{s,e}}(p_{s,sk} - 0,5p_{SET^*})$$

όπου:

h_s , ο σταθερός συντελεστής μεταφοράς θερμότητας (W/m² °C),

$h_{s,e}$, ο σταθερός συντελεστής εξάτμισης μεταφοράς θερμότητας (W/m²kPa),

$p_{s,sk}$, η τάση ατμών στο δέρμα, συνήθως αυτό του κορεσμένου ατμού t_{sk} (kPa),

p_{SET^*} , η πίεση του κορεσμένου ατμού στην SET* (kPa).

Ο υπολογισμός του δείκτη SET* είναι πιο σύνθετος και δύσκολος από την PMV, γιατί πριν τον υπολογισμό του πρέπει να επεξεργαστούν οι φυσιολογικές παράμετροι του ανθρώπινου σώματος χρησιμοποιώντας το δι-κομβικό (two-mode) μοντέλο (2NM), ενώ δεν είναι απαραίτητο για τον υπολογισμό του PMV. Παρόλα αυτά, όπως και στο PMV, η μετάδοση θερμότητας μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος στον υπολογισμό του SET* γίνεται με τον ίδιο τρόπο.

3.3.15 Ο δείκτης DISC (Predicted Percentage Dissatisfied)

Είναι ένας δείκτης πρόβλεψης ψήφου σε μια εξαβάθμια κλίμακα θερμικής αίσθησης, που προβλέπει συγκεκριμένα τη δυσφορία χρησιμοποιώντας την εφίδρωση και τη θερμοκρασία του δέρματος. Η τιμή του υπολογίζεται (ASHRAE, 1989) από την παρακάτω σχέση:

$$DISC = 0.4685(T_b - T_{b,c}) \text{ εάν } T_b < T_{bc}$$

Η σχέση ισχύει στην περίπτωση που οι συνθήκες δεν προκαλούν εφίδρωση, διαφορετικά (Zmeureanu and Doramjian, 1992):

$$DISC = 4.7(Q_{e,rsw} - Q_{e,rsw,req}) / (Q_{e,max} - Q_{e,rsw,req} - Q_{e,dif}) \text{ εάν } T_{bc} < T_b$$

όπου: Q , είναι η ροή θερμότητας, Q_e , η εξάτμιση, Q_{rsw} , η εφίδρωση, Q_{req} , η απαιτούμενη, Q_{dif} , η διάχυση

Η κλίμακα της θερμικής αίσθησης για το δείκτη εμφανίζεται στον Πίνακα 3-12 (Zmeureanu and Doramjian, 1992):

Πίνακας 3-12 Η θερμική αίσθηση σε συνάρτηση με τον δείκτη DISC

±5	±4	±3	±2	±1	0
Ανυπόφορα	Οριακά ανεκτά	Πολύ δυσάρεστα	Δυσάρεστα	Μέτρια δυσάρεστα	Άνετα

3.3.16 Ο δείκτης TCI (Thermal Comfort Index)

Ο δείκτης TCI είναι ιδιαίτερα σημαντικός για τους ταξιδιώτες που βρίσκονται σε διάφορα μέρη του κόσμου και σε διαφορετικές περιόδους του έτους. Ο δείκτης TCI είναι ένας συνδυασμός πέντε παραμέτρων, τριών ανεξάρτητων και δύο που απαιτούν βιοκλιματικούς συνδυασμούς. Συγκεκριμένα ο δείκτης υπολογίζεται από τη σχέση:

$$TCI = 8 * Cld + 2 * Cla + 4 * R + 4 * S + 2 * W$$

όπου Cld ο ημερήσιος δείκτης που υπολογίζεται από την $T_1(^{\circ}C)$ μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα και από την ελάχιστη ημερήσια σχετική υγρασία RH (%), Cla ο ημερήσιος δείκτης που υπολογίζεται από τη μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα $T_2(^{\circ}C)$ και από τη μέση ημερήσια σχετική υγρασία RH (%), R η βροχή σε mm, S η ημερήσια διάρκεια της ηλιακής ακτινοβολίας (h) και W η μέση ταχύτητα του ανέμου (m/sec). Στον Πίνακα 3-13 φαίνεται η θερμική άνεση ανάλογα με τις τιμές του δείκτη TCI:

Πίνακας 3-13 Η θερμική άνεση σε συνάρτηση των τιμών του δείκτη TCI (Shakoor, 2011)

Αριθμητικές τιμές δείκτη TCI	Κατηγορία θερμικής άνεσης
90 ως 100	Ιδανική
80 ως 89	Άριστη
70 ως 79	Πολύ καλή
60 ως 69	Καλή
50 ως 59	Αποδεκτή
40 ως 49	Οριακή
30 ως 39	Δυσμενής
20 ως 29	Πολύ δυσμενής
10 ως 19	Εξαιρετικά δυσμενής
-9 ως 9	Αδύνατη
-20 ως -10	Αδύνατη

3.3.17 Ο δείκτης Summer Simmer Index (SSI)

Ο δείκτης θερμικής άνεσης Summer Simmer Index (SSI) έχει εισαχθεί από το Ινστιτούτο Μηχανικών Θερμότητας και Ψύξης των ΗΠΑ (ASHRAE), ύστερα από συνεχή έρευνα 75 ετών και έχει επικυρωθεί με αναλύσεις και δοκιμές από το Πανεπιστήμιο του Κάνσας. Αναφέρεται στο πόσο ζεστό αισθάνεται κάποιος το περιβάλλον όταν συνδυαστούν οι επιδράσεις της υγρασίας και της θερμοκρασίας. Είναι η ίδια η θερμοκρασία που θα μπορούσε κάποιος να αισθανθεί αν βρισκόταν σε ένα ξηρό περιβάλλον, όπως η έρημος. Ο SSI δείκτης εκτιμά την πραγματική θερμοκρασία, που αισθάνονται τα άτομα προσφέροντας μια εύκολα αναγνωρίσιμη προειδοποίηση για τους κινδύνους που εγκυμονεί η έκθεση των ανθρώπων στη ζέστη (π.χ. θερμοπληξία). Ο δείκτης SSI υπολογίζεται από τη σχέση:

$$SSI = 1.98[T(F) - (0.55 - 0.0055(RH) * (T(F) - 58))] - 56.83$$

όπου T(F) η θερμοκρασία του αέρα σε F° και RH (%) η σχετική υγρασία. Στον Πίνακα 3-14 φαίνεται η αντίδραση των ατόμων στις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας, που εξάγεται από τον δείκτη SSI.

Πίνακας 3-14 Η θερμική άνεση σε συνάρτηση των τιμών του δείκτη SSI σε βαθμούς °F και °C (http://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_Society_Index)

SSI τιμές (°F)	SSI τιμές (°C)	Θερμική αντίληψη
70-77	21-25	Τα άτομα αισθάνονται άνετα, αλλά ελαφρώς δροσερά
77-83	25-28	Τα άτομα αισθάνονται αρκετά άνετα
83-91	28-32	Τα άτομα αισθάνονται άνετα, αλλά ελαφρώς δροσερά
91-100	32-37	Αυξάνεται η δυσφορία, αίσθηση ζέστης
100-112	37-44	Κίνδυνος ηλίασης & θερμικής καταπόνησης από παρατεταμένη έκθεση και δραστηριότητα στον ήλιο
112-125	44-51	Εγκυμονεί κίνδυνος θερμοπληξίας & μεγάλη δυσφορία
125-150	51-65	Μεγάλος κίνδυνος θερμοπληξίας ειδικά για άτομα με προβλήματα, ηλικιωμένα & παιδιά

3.3.18 Φυσιολογικά Ισοδύναμη Θερμοκρασία (Physiologically Equivalent Temperature, PET)

Ο δείκτης PET αποτελεί έναν από τους δημοφιλέστερους και ευρέως χρησιμοποιούμενους βιοκλιματικούς δείκτες και μονάδα μέτρησής του είναι η γνωστή μονάδα °C ως δείκτης θερμικού στρες και της θερμικής άνεσης. Το γεγονός αυτό καθιστά τα αποτελέσματα κατανοητά για τους δυνητικούς χρήστες (Matzarakis et al., 1999b), όπως τους σχεδιαστές, τους φορείς λήψεων αποφάσεων και σε όποιον από το κοινό είναι εξοικειωμένος με τη σύγχρονη ορολογία της Βιομετεωρολογίας.

Ορίζεται ως η φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία σε οποιαδήποτε θέση (εσωτερική ή εξωτερική) που είναι ισοδύναμη με τη θερμοκρασία αέρα στην οποία το ενεργειακό φορτίο ενός «τυπικού ανθρώπου» σε ένα «τυπικό» εσωτερικό περιβάλλον, εξισορροπείται με τις θερμοκρασίες του δέρματος και του εσωτερικού του σώματός του και είναι ίσες με αυτές που ισχύουν στο εξωτερικό περιβάλλον (Mayer and Höppe, 1987; Horpe, 1999). Είναι ένας καθολικός δείκτης για το χαρακτηρισμό του θερμικού βιοκλίματος, ο

οποίος αξιολογεί τις θερμικές συνθήκες και βασίζεται στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου (Hörre, 1993; Taffé, 1997).

Ως «τυπικός» άνθρωπος για τον δείκτη PET θεωρείται αυτός που έχει ελαφρά δραστηριότητα (μεταβολισμός 80W) και θερμική αντίσταση ενδυμασίας που βρίσκεται στα 0.9 clo (Hörre, 1999). Ως προς το «τυπικό» εσωτερικό περιβάλλον ή αλλιώς κλίμα αναφοράς εσωτερικού χώρου, λαμβάνονται υπόψη οι τυπικές συνθήκες δωματίου, που είναι μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας ίση με τη θερμοκρασία αέρα ($T_{mrt}=T_a$), ταχύτητα ανέμου ίση με 0.1m/s και τάση ατμών ίση με 12hPa (Hörre and Seidl, 1991).

Συνεπώς, η διαδικασία για τον υπολογισμό του PET περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα (Amelung et al., 2007):

- Υπολογισμός των θερμικών συνθηκών του ανθρώπινου σώματος με τη βοήθεια του «MEMI», θερμο-φυσιολογικού μοντέλου ενεργειακού ισοζυγίου του Μονάχου για άτομα, για ένα συγκεκριμένο συνδυασμό μετεωρολογικών δεδομένων.
- Εισαγωγή των υπολογιζόμενων τιμών της μέσης θερμοκρασία δέρματος και θερμοκρασίας πυρήνα στο μοντέλο MEMI και επίλυση της εξίσωσης του θερμικού ισοζυγίου για την θερμοκρασία αέρα T_a (με $v=0.1\text{m/s}$, $VP=12\text{hPa}$ και $T_{mrt}=T_a$)
- Η προκύπτουσα θερμοκρασία αέρα είναι ισοδύναμη με το δείκτη PET.

Ο δείκτης PET επιτρέπει την εύκολη σύγκριση των σύνθετων θερμικών συνθηκών των εξωτερικών χώρων με αυτές του εσωτερικού. Με τον υπολογισμό του PET γίνεται ευκολότερη η σύγκριση των μετεωρολογικών συνθηκών του εξωτερικού περιβάλλοντος με ισοδύναμες ομοιόμορφες συνθήκες εσωτερικού περιβάλλοντος, οι οποίες είναι πολύ ευκολότερο να αξιολογηθούν.

Οι τιμές του δείκτη PET έχουν κατηγοριοποιηθεί και εκφράζουν τη θερμική αίσθηση του ανθρώπου από το πολύ ψυχρό ($PET \leq 4^\circ\text{C}$) ως το πολύ ζεστό ($PET \geq 41^\circ\text{C}$). Το εύρος των τιμών του δείκτη από 18 έως 23°C εκφράζει τις καλύτερες βιοκλιματικές συνθήκες για τον άνθρωπο (ουδέτερο - άνετο) με βέλτιστη τιμή του PET τους 20.5°C.

Πίνακας 3-15 Σχέση θερμικής αίσθησης του ανθρώπου και των τιμών του δείκτη PET (Matzarakis et al., 1999a)

PET (°C)	Θερμική αίσθηση	Βαθμός θερμο-φυσιολογικής επιβάρυνσης
<4	Πολύ κρύο	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση
4-8	Κρύο	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
8-13	Δροσερό	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση
13-18	Ελαφρά δροσερό	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση
18-23	Θερμικά ουδέτερο – άνεση	Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση
23-29	Ελαφρά θερμό	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση
29-35	Θερμό	Μέτρια θερμική επιβάρυνση
35-41	Πολύ ζεστό	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση
>41	Πάρα πολύ ζεστό	Ακραία θερμική επιβάρυνση

Για τον υπολογισμό του PET απαιτούνται ποικίλα μετεωρολογικά δεδομένα όπως θερμοκρασία και υγρασία αέρα, ακτινοβολία και ταχύτητα ανέμου. Επίσης στο μοντέλο που τον υπολογίζει, εισάγονται πληροφορίες που αφορούν τον άνθρωπο, όπως μόνωση ρουχισμού, βάρος, ύψος, ηλικία και σωματική δραστηριότητα (Hörpe, 1999; Matzarakis et al., 1999b). Ο δείκτης PET υπολογίζεται μέσω των εξισώσεων του μοντέλου MEMI (Munich Energy Balance Model for Individuals) (Mayer 1993) οι οποίες μπορούν να ενσωματωθούν σε φιλικά προς το χρήστη λογισμικά όπως το RayMan (Matzarakis et al., 2006, 2007). Το μοντέλο MEMI βασίζεται στην εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου και σε μερικές από τις παραμέτρους του μοντέλου Gagge two-node Model (Nishi and Gagge, 1971). Αναλυτικότερα γίνεται εισαγωγή στο μοντέλο των υπολογισμένων τιμών της μέσης θερμοκρασίας δέρματος και του εσωτερικού του σώματος του ανθρώπου και επίλυση της εξίσωσης του θερμικού ισοζυγίου ως προς τη θερμοκρασία του αέρα με βάση τις εξορισμού παραδοχές. Η προκύπτουσα θερμοκρασία αέρα, στις τυπικές συνθήκες δωματίου, είναι ισοδύναμη με την τιμή του PET (Horpe, 1999). Στο σημείο αυτό θα πρέπει να αναφερθεί ότι για τον υπολογισμό του PET είναι απαραίτητο να γίνεται ο καθορισμός όλων των μετεωρολογικών παραμέτρων που υπεισέρχονται στο ενεργειακό ισοζύγιο, σε ένα σημαντικό από βιομετεωρολογικής άποψης ύψος από το έδαφος, το οποίο αντιπροσωπεύει το μέσο ύψος του κέντρου βάρους ενός όρθιου ανθρώπου και είναι π.χ. για έναν ευρωπαίο 1.10m (Matzarakis et al., 1999b).

Σε σύγκριση με άλλους βιομετεωρολογικούς δείκτες, που βασίζονται επίσης στο ανθρώπινο ενεργειακό ισοζύγιο, ο δείκτης PET έχει το πλεονέκτημα ότι αναφέρεται στην ευρέως γνωστή μονάδα θερμοκρασίας, των βαθμών Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$), πράγμα που τον καθιστά ως έναν εύκολα κατανοητό δείκτη θερμικής καταπόνησης (Svensson et al., 2003b). Επιπρόσθετα, συγκρινόμενος με άλλους δείκτες όπου υπεισέρχεται το ανθρώπινο ενεργειακό ισοζύγιο ως παράμετρος, έχει το πλεονέκτημα ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί καθ'όλη τη διάρκεια του έτους σε μεγάλο φάσμα κλιματικών συνθηκών (Horpe, 1999; Matzarakis et al., 1999b). Αξίζει να σημειωθεί ότι η κατευθυντήρια γραμμή 3787 μέρος 2 που εκδίδεται από την Γερμανική Ένωση Μηχανικών για την ανθρώπινη βιομετεωρολογική αξιολόγηση του κλίματος και της ποιότητας του αέρα για τον αστικό και περιοχικό σχεδιασμό, συνιστά την εφαρμογή του δείκτη PET για την αξιολόγηση της θερμικής συνιστώσας των διαφόρων κλιμάτων (VDI, 1998).

Απαριθμίζοντας τα πλεονεκτήματα της χρήσης του βιοκλιματικού δείκτη PET έχουμε (Chirag and Ramachandraiah, 2010):

- Αποτελεί ένα παγκόσμιο δείκτη και είναι ανεξάρτητος από τα είδη ένδυσης (τιμές clo) και από τη μεταβολική δραστηριότητα (τιμές met).
- Έχει θερμοφυσιολογικό υπόβαθρο και για αυτό παρέχει την πραγματική επίδραση της αίσθησης του κλίματος στα ανθρώπινα όντα.
- Μετράται σε βαθμούς Κελσίου ($^{\circ}\text{C}$) και για αυτό μπορεί εύκολα να συσχετίζεται με την κοινή πείρα.

- Δεν στηρίζεται σε υποκειμενικές μετρήσεις.
- Είναι χρήσιμος σε ζεστά και σε ψυχρά κλίματα και φαίνεται να είναι προσαρμοσμένος στην ανθρώπινη βιομετεωρολογική αξιολόγηση του θερμικού στοιχείου σε διαφορετικά κλίματα.

Για την εκτίμηση του δείκτη PET στις διαφορετικές διαμορφώσεις της εκάστοτε ερευνώμενης περιοχής είναι απαραίτητα τα δεδομένα της θερμοκρασίας, υγρασίας αέρα, ηλιακής ακτινοβολίας και ταχύτητας ανέμου. Η ηλιακή ακτινοβολία είναι πολύ σημαντική παράμετρος στον υπολογισμό της θερμικής αίσθησης, αφού καθορίζει την τιμή της T_{mrt} (Masmoudi and Marouz, 2004; Thorsson et al., 2007). Η παράμετρος η οποία είναι καθοριστική για την διαμόρφωση των τιμών της T_{mrt} είναι η ολική ακτινοβολία (Global Radiation), η οποία υπολογίζεται από τη γεωγραφική θέση (γεωγραφικό πλάτος και μήκος) και το υψόμετρο, τα οποία συνδεόμενα με την ημέρα του έτους και την ώρα είναι αρκετά για τον υπολογισμό της ολικής ακτινοβολίας (GR). Το λογισμικό RayMan υπολογίζει την ολική ακτινοβολία και μέσω αυτής την T_{mrt} με υψηλή ακρίβεια, αφού λαμβάνει υπόψη τη γεωμετρική διαμόρφωση του χώρου.

Συνεπώς ο υπολογισμός του δείκτη PET, χρησιμοποιώντας το μοντέλο RayMan είναι αρκετά ευέλικτος και πρακτικός και ταυτόχρονα με τον υπολογισμό του μπορούν να ληφθούν φωτογραφίες του ουρανού από τη θέση μέτρησης (η φωτογραφική μηχανή πρέπει να είναι οριζοντιωμένη και προσανατολισμένη προς βορρά), οι οποίες υπεισέρχονται στο μοντέλο με αποτέλεσμα να γίνεται η επίδραση των ροών κυμάτων ακτινοβολίας (Lin et al., 2010). Ο δείκτης PET αξιολογεί τις θερμικές συνθήκες κατά ένα φυσιολογικά σημαντικό τρόπο (Horpe, 1999; Matzarakis et al., 1999b). Ως αποτέλεσμα προκύπτει η κατασκευή βιοκλιματικών χαρτών με τη βοήθεια γεω-στατιστικών μεθόδων της ανάλυσης μεσοκλίμακας ή μικροκλίμακας μιας περιοχής. Τα βιοκλιματικά μοντέλα γνωστά ως Klima-Michel-Modell (Fanger, 1973; Jendritzky et al., 1990) και MEMI (Hörpe, 1984) χρησιμοποιούνται για την σύνταξη βιοκλιματικών χαρτών όπως έχει πραγματοποιηθεί στον ελλαδικό χώρο (Ματζαράκης et al., 1998) και βιοκλιματικών διαγραμμάτων προκειμένου να σχεδιαστούν στρατηγικές προσαρμογής στις αστικές περιοχές για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής (Ματζαράκης and Endler, 2010). Οι χάρτες αυτοί είναι υψηλής ανάλυσης και μπορούν να παρέχουν πληροφορίες για διάφορα ζητήματα της υγείας και του τουρισμού, ενώ παράλληλα παρέχουν τις ακραίες περιόδους στο κρύο ή στα κύματα καύσωνα, όπως στην περίπτωση της Ουγγαρίας (Gulyás and Matzarakis, 2007).

Πολλές μελέτες αφορούν την Ευρωπαϊκή αστική ανάπτυξη που στοχεύει όλο και περισσότερο στη δημιουργία πόλεων με μεγάλη πυκνότητα, προκειμένου να αποφευχθεί η αστικοποίηση των αγροτικών περιοχών. Ως άμεση συνέπεια αποτελεί η αλλοίωση της θερμικής νησίδας και του εξαιρισμού και για αυτό η Αστική Κλιματολογία συμβάλλει στη θερμική ανάλυση ανοικτών χώρων και στην εξαγωγή κατευθυντήριων γραμμών για την αστική σχεδίασή τους βασιζομένων στις συνθήκες θερμικής άνεσης. Συγκεκριμένα πραγματοποιήθηκε μελέτη που αφορούσε 6 ευρωπαϊκές χώρες στις οποίες καταμετρήθηκε η θερμική αίσθηση χρησιμοποιώντας το βιοκλιματικό δείκτη PET (Nikolopoulou and Lykoudis, 2006; Katschner and Thorsson, 2009).

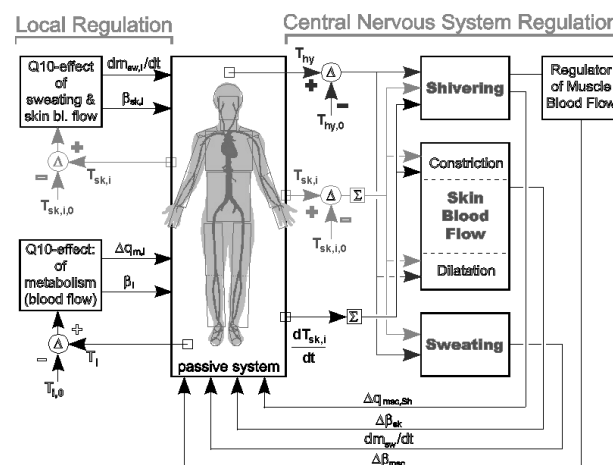
Ο βιοκλιματικός δείκτης PET είναι ευρέως χρησιμοποιούμενος, όπως σε αστικά «φαράγγια», που έχουν την ιδιότητα να ρυθμίζουν τη θερμοκρασία αέρα καθιστώντας την χαμηλότερη την ημέρα και θερμότερη την νύχτα. Μάλιστα πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Βραζιλία έδειξε ότι η σκίαση στα «φαράγγια» δρόμου συμβάλλει στη χαμηλή τιμή του δείκτη PET κατά τη διάρκεια των ζεστών ωρών της ημέρας και επηρεάζεται κυρίως από το πλάτος, το ύψος και τον προσανατολισμό των κτηρίων (Herrmann and Matzarakis, 2012; Abreu-Harbach et al., 2014). Επιπρόσθετα, με τη χρήση των θερμικών δεικτών (PET, UTCI) είναι πιο προφανής η μέτρηση της αστικής θερμικής νησίδας και της ενδο-αστικής μεταβλητότητας (Ketterer and Matzarakis, 2014).

Ο δείκτης PET είναι επαρκής για να χρησιμοποιηθεί στην αντιμετώπιση είτε των στιγμιαίων δυναμικών εξωτερικών θερμικών συνθηκών είτε της μακροχρόνιας (ημερήσιας, εποχιακής, ετήσιας) θερμικής κατάστασης βασιζομένης στα ωριαία κλιματικά δεδομένα (Hwang et al., 2011). Μάλιστα, τα επιβεβαιωμένα αποτελέσματα πρόσφατης μελέτης που διεξήχθη σε μια πανεπιστημιούπολη στο κέντρο της Ταϊβάν αποδεικνύουν ότι η T_{mrt} που διαμορφώθηκε από το μοντέλο RayMan πλησίαζε τη μετρούμενη T_{mrt} αποδεικνύοντας ότι το μοντέλο RayMan είναι ακριβές στη μακροχρόνια πρόβλεψη της θερμικής άνεσης (Lin et al., 2010).

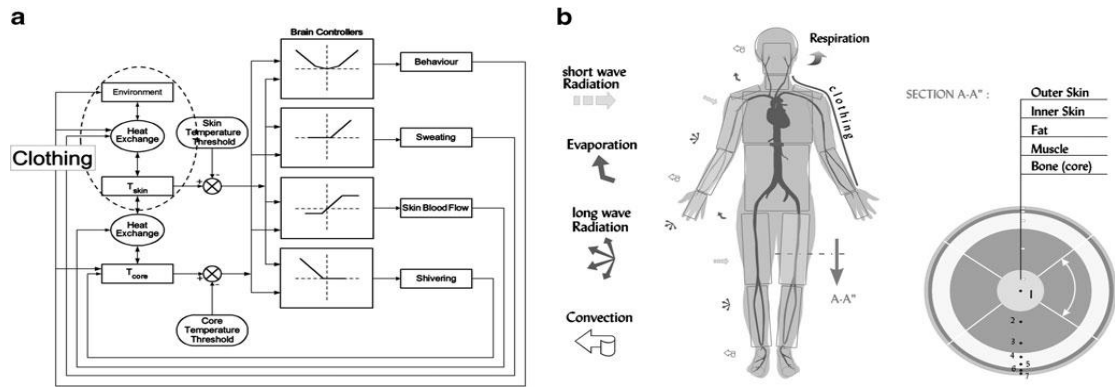
3.3.19 Παγκόσμιος θερμικός κλιματικός δείκτης (Universal Climate Thermal Index-UTCI)

Ο παγκόσμιος θερμικός κλιματικός δείκτης (UTCI) εκφράζεται σαν την ισοδύναμη θερμοκρασία περιβάλλοντος T_a ($^{\circ}\text{C}$) ενός περιβάλλοντος αναφοράς παρέχοντας την ίδια φυσιολογική απόκριση ενός προσώπου αναφοράς με το πραγματικό περιβάλλον (Weihs et al., 2012). Η απόκλιση του δείκτη UTCI σε σχέση με τη θερμοκρασία του αέρα εξαρτάται από τις πραγματικές τιμές της θερμοκρασίας αέρα, της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt}), της ταχύτητας του ανέμου (v_a) και της υγρασίας εκφραζόμενης είτε ως πίεσης υδρατμών (v_p), είτε ως σχετικής υγρασίας (RH) (Blazejczyk et al., 2012). Ο μαθηματικός τύπος υπολογισμού του είναι:

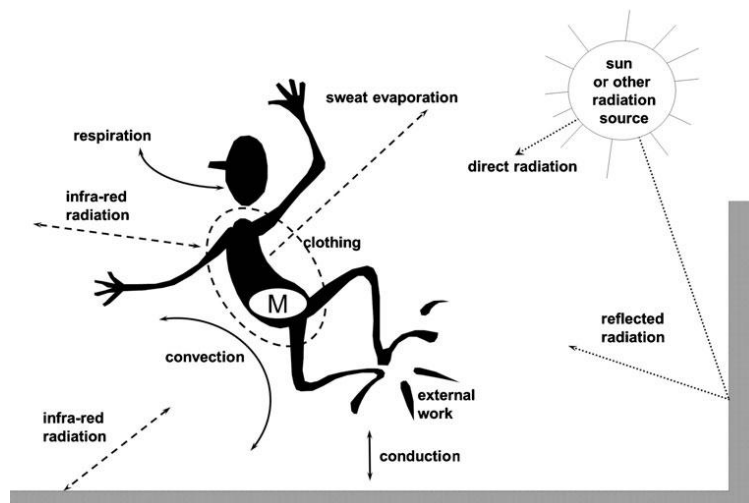
$$UTCI = f(T_a; T_{mrt}; v_a; v_p) = T_a + \text{Offset}(T_a; T_{mrt}; v_a; v_p)$$



Σχήμα 3-17 Σχηματική απεικόνιση ενός φυσιολογικού μοντέλου ανθρώπινης θερμορύθμισης (Fiala et al., 2001)



Σχήμα 3-18 Σχηματική αναπαράσταση της ανθρώπινης φυσιολογίας και της συμπεριφορικής θερμορύθμισης (Fiala et al., 2001; Havenith, 2001).



Σχήμα 3-19 Ο προϋπολογισμός της ανθρώπινης θερμότητας (Havenith, 2001).

Ο υπολογισμός της φυσιολογικής απόκρισης των μετεωρολογικών δεδομένων βασίζεται σε ένα σύνθετο μοντέλο της ανθρώπινης θερμορύθμισης (Fiala et al., 2001), το οποίο συμπεριλαμβάνει την ένδυση (Σχήμα 3-17). Το παθητικό σύστημα του σύνθετου μοντέλου αποτελείται από δώδεκα στοιχεία του σώματος περιλαμβάνοντας συνολικά 187 κόμβους ιστών. Το σύστημα αυτό αντιπροσωπεύει τοπικές απώλειες θερμότητας από τα μέρη του σώματος με ελεύθερη και εξαναγκασμένη κυκλοφορία (*convection*), ανταλλαγή κυκλοφορίας μακρών κυμάτων με τις γύρω επιφάνειες, ηλιακή ακτινοβολία και εξάτμιση της υγρασίας του δέρματος και μεταφοράς θερμότητας και μάζας μέσω της μη ενιαίας ενδυμασίας (Jendritzky et al., 2012).

Το ενεργό σύστημα προβλέπει τις θερμορυθμιστικές αντιδράσεις του κεντρικού νευρικού συστήματος. Υπό συνθήκες άνεσης, το ενεργό σύστημα δείχνει το επίπεδο χαμηλότερης δραστηριότητας μη υποδεικνύοντας καμία πίεση και ένταση στον ανθρώπινο οργανισμό (Jendritzky et al., 2012). Η μόνωση της στατικής ένδυσης προσαρμόζεται από την ατμοσφαιρική θερμοκρασία συμπεριλαμβάνοντας τις συνήθειες στις εποχιακές προσαρμογές ένδυσης των Ευρωπαίων, η οποία κυρίως επηρεάζει την ανθρώπινη αντίληψη για τις εξωτερικές κλιματικές συνθήκες. Η μόνωση από την ενδυμασία, η αντίσταση του ατμού και η μόνωση των επιφανειακών στρωμάτων αέρα επηρεάζονται

σημαντικά από τις μεταβολές της ταχύτητας του ανέμου και τις κινήσεις του ανθρώπινου σώματος και ως εκ τούτου επηρεάζουν τις φυσιολογικές αντιδράσεις. Συνεπώς, η προκύπτουσα συνολική μόνωση από την ένδυση είναι η στατική μόνωση που τροποποιείται από την ταχύτητα βαδίσματος και την ταχύτητα του ανέμου σε πραγματικό περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται το άτομο. Παρόμοιες εκτιμήσεις έχουν πραγματοποιηθεί για την αντίσταση εξάτμισης της ενδυμασίας. Οι μη μετεωρολογικές συνθήκες αναφοράς καθορίζονται για τον μεταβολικό ρυθμό σε 135W/m^2 και για την ταχύτητα βαδίσματος σε 1.1m/s^1 . Οι μετεωρολογικές συνθήκες αναφοράς καθορίζονται για τη μέση ακτινοβολία θερμοκρασία (T_{mrt}) ίση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος, για την ταχύτητα ανέμου στα 10m πάνω από το έδαφος στα 0.5m/s^1 . Η αναφορά της υγρασίας καθορίζεται στο 50% όταν η ατμοσφαιρική θερμοκρασία αναφοράς είναι μικρότερη ίση από 29°C και 20hPa όταν είναι μεγαλύτερη (Blazejczyk et al., 2012).

Συνοπτικά, λοιπόν, ορίζονται οι ακόλουθες συνθήκες αναφοράς:

- Ταχύτητα ανέμου 0.5m/s σε ύψος 10m (περίπου 0.3m/s σε 1.1m).
- Μέση ακτινοβολία θερμοκρασία ίση με τη θερμοκρασία αέρα.
- Πίεση ατμών που αντιπροσωπεύει σχετική υγρασία 50% σε υψηλές θερμοκρασίες ($>29^\circ\text{C}$), η πίεση αναφοράς λαμβάνεται σταθερή στους 20hPa.
- Αντιπροσωπευτική δραστηριότητα είναι το βάδισμα ενός ατόμου με ταχύτητα 4km/h (1.1m/s). Αυτό παρέχει μεταβολικό ρυθμό 2.3 MET (135W/m^2).

Συμπερασματικά, ο βιοκλιματικός δείκτης UTCI έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα (Blazejczyk et al., 2012):

1. Παρουσιάζει θερμοφυσιολογική σημαντικότητα σε όλο το φάσμα της ανταλλαγής θερμότητας.
2. Εφαρμόζεται για υπολογισμούς σε όλο το σώμα αλλά και για την τοπική ψύξη του δέρματος (κρουπαγήματα).
3. Ισχύει για όλα τα κλίματα, τις εποχές και τις κλίμακες (μικρο- και μακρο-).
4. Χρησιμοποιείται σε βασικές εφαρμογές της Βιομετεωρολογίας (π.χ. Δημόσια Μετεωρολογική Υπηρεσία, Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας, Σχεδιασμούς Προφύλαξης, Έρευνα Κλιματικών Επιπτώσεων).
5. Αντιπροσωπεύει δείκτη με κλίμακα θερμοκρασίας

Οι διαφορετικές τιμές του UTCI κατηγοριοποιούνται σύμφωνα με το θερμικό στρες. Ουσιαστικά πρόκειται για τις αποκρίσεις του οργανισμού σε συνθήκες αναφοράς αφαιρώντας το επιπρόσθετο φορτίο (δηλ. ζέστη ή κρύο) των πραγματικών συνθηκών περιβάλλοντος (Blazejczyk et al., 2013). Ο πρόσφατος αυτός βιοκλιματικός δείκτης UTCI έχει αναπτυχθεί από το πρόγραμμα COST Action 730 (Jendritzky et al., 2009) και στον Πίνακα 3-16 παρουσιάζονται οι κατηγορίες της επιβάρυνσης ανάλογα με τις τιμές του UTCI.

Πίνακας 3-16 Σχέση θερμικής αίσθησης του ανθρώπου και των τιμών του δείκτη UTCI (Bröde et al., 2012b)

UTCI (°C)	Κατηγορία Επιβάρυνσης
>+46	Ακραία θερμική επιβάρυνση
+38 ως +46	Πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση
+32 ως +38	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση
+26 ως +32	Ήπια θερμική επιβάρυνση
+9 ως +26	Θερμική άνεση
+9 ως 0	Ελαφριά ψυχρή επιβάρυνση
0 ως -13	Ήπια ψυχρή επιβάρυνση
-13 ως -27	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
-27 ως -40	Πολύ ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
<-40	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση

Πρόσφατη μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Τσεχία συγκρίνοντας το δείκτη UTCI με τους υπόλοιπους προκειμένου να βρεθεί συσχέτιση με τη θνησιμότητα λόγω καρδιολογικών προβλημάτων. Η μελέτη έδειξε ότι ο δείκτης UTCI αποτελεί σημαντικό εργαλείο της ανθρώπινης Βιομετεωρολογίας (Urban and Kyselý, 2014), αφού ως καθολικός δείκτης της ανθρώπινης θερμικής άνεσης σε διάφορους τομείς (βιομετεωρολογική πρόβλεψη, επιδημιολογία, αστικός και περιοχικός σχεδιασμός, βιοκλιματική χαρτογράφηση κ.ά.) δίνει τη δυνατότητα για ευκολότερη σύγκριση των αποτελεσμάτων από διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές και σε διαφορετικές χρονικές και χωρικές κλίμακες (Jendritzky et al., 2008).

4 Περιοχή Μελέτης

4.1 Γεωγραφία της περιοχής

Η Κρήτη είναι το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας ευρισκόμενο στο νότιο άκρο του Αιγαίου Πελάγους σε απόσταση 160km περίπου από την ηπειρωτική χώρα, καθώς και το 5^ο μεγαλύτερο νησί στη Μεσόγειο. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της είναι περίπου 35°B 24°A. Έχει συνολική έκταση 8336km², δηλαδή το 6.3% της συνολικής έκτασης της χώρας και το μήκος του νησιού είναι 257km, ενώ οι ακτές έχουν συνολικά μήκος 1046km.

4.2 Γεωμορφολογία της περιοχής

Το έδαφος της Κρήτης είναι στη μεγαλύτερη έκτασή του ορεινό. Σε πολλά μάλιστα σημεία, το έδαφος είναι βραχώδες. Αναλυτικά, η κατανομή του σε κατηγορίες είναι 33% πεδινό, 26% ημιορεινό και 41% ορεινό.

Η μορφολογία της χαρακτηρίζεται από τρεις βασικές ζώνες, την ορεινή, με υψόμετρο από 400m και άνω, την ημιορεινή, από 200-400m και την πεδινή, από το επίπεδο της θάλασσας ως 200m. Οι πρώτες δύο ζώνες καλύπτουν περίπου τα 3/5 του νησιού. Τα βασικά ορεινά συγκροτήματα είναι προς τα δυτικά τα Λευκά Όρη, στο κεντρικό τμήμα ο Ψηλορείτης (ή Ίδη) και προς τα ανατολικά το όρος Δίκη και τα όρη της Σητείας. Προς τα δυτικά και νότια οι υπώρειες των ορέων είναι απότομες και φθάνουν με μεγάλη κλίση προς τη θάλασσα, ενώ προς τα βόρεια το ανάγλυφο είναι ηπιότερο και λοφώδες (πεδιάδα Χανίων και Ρεθύμνου). Η μεγαλύτερη πεδιάδα βρίσκεται στο νότιο – κεντρικό τμήμα του νησιού (πεδιάδα Μεσσαράς), ενώ στα νοτιοανατολικά αναπτύσσεται η πεδιάδα της Ιεράπετρας. Υπάρχουν επίσης πολλά οροπέδια, τα κυριότερα των οποίων είναι του Λασιθίου και του Ομαλού.

Τα Λευκά Όρη είναι μία εκτενής οροσειρά, η οποία καταλαμβάνει έκταση μήκους 50km και πλάτους 25km και ουσιαστικά το μεγαλύτερο τμήμα του νομού Χανίων. Ψηλότερες κορυφές είναι οι Πάχνες (2453m υψόμετρο), Τροχάρης (2402m), Σβουριχτή (2360m), ενώ συνολικά γύρω στις 50 κορυφές τους υπερβαίνουν σε υψόμετρο τα 2000 m. Κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ένα εσωτερικό υψίπεδο (στα 1800 - 2100m) το οποίο περιβάλλεται από αναρίθμητες κορυφές. Τα Λευκά Όρη είναι από τις περιοχές που δέχονται πολύ μεγάλα ετήσια ύψη βροχής (2000mm), όμως το καλοκαίρι είναι εντελώς ξερά και δεν υπάρχουν πηγές για ανεφοδιασμό νερού.

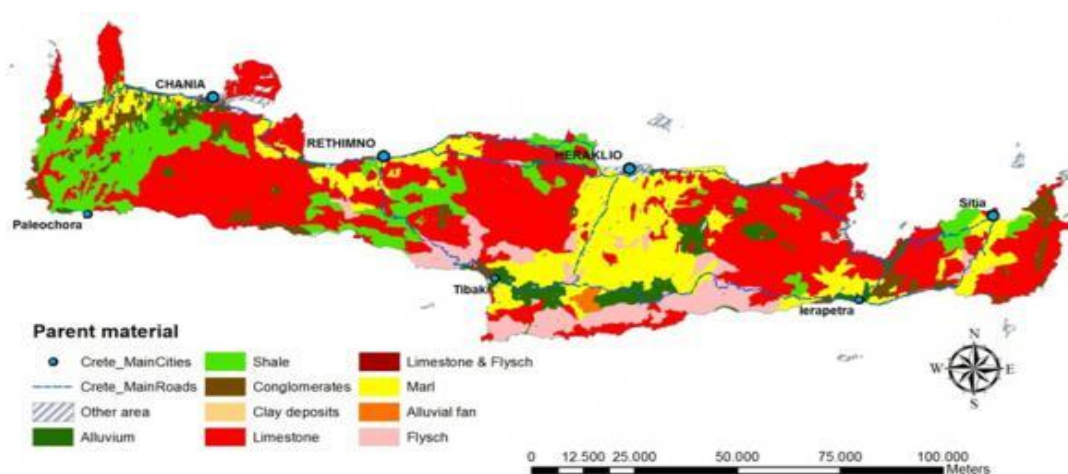
Ο Ψηλορείτης (ή Ίδη) είναι το ψηλότερο βουνό της Κρήτης με 2456m ύψος. Έχει 5 κορυφές οι οποίες ξεπερνούν τα 2000m, οι οποίες είναι ο Τίμιος Σταυρός (2456m), ο Αγκαθιάς (2424m), η Στολίστρα (2325m), η Βουλομένου (2267m) και ο Κούσσακας (2209m). Η Δίκη ή Λασιθιώτικα Όρη είναι οροσειρά στην Κρήτη, που εκτείνεται στα ανατολικά του νησιού, σχηματίζοντας το Οροπέδιο Λασιθίου (μέσο ύψος 866m) που είναι το μεγαλύτερο οροπέδιο στο νομό Λασιθίου αλλά και σε όλη την Κρήτη. Η κορυφή με το μεγαλύτερο ύψος λέγεται Σπαθί ή Εντίχτης (2.148m) και βρίσκεται νότια του οροπεδίου. Υπάρχουν επίσης άλλες ψηλές κορυφές, όπως ο Αφέντης Χριστός ή Ψαρή Μαδάρα (2.141m), ο Λάζαρος (2085m), η Μαδάρα (1783m), η Κορφή του Σκαφιδαρά (1673m), η Τσίβη (1664m), το

Σαρακινό (1588m), ο Αφέντης (1571m), η Σελένα (1559m), η Τούμπα Μούτσουνας (1538m), η Πλατιά Κορυφή (1489m), ο Μαχαιράς (1487m) και το Βιργιωμένο Όρος (1414m).

4.3 Γεωλογία της περιοχής

Η γεωλογική δομή της Κρήτης (Σχήμα 4-1) συνδέεται άμεσα με τη συνολική γεωλογική δομή της Ελλάδας, δηλαδή χωρίζεται σε γεωλογικές ενότητες με γενική διεύθυνση ΒΔ-ΝΑ. Η Κρήτη αποτελεί σήμερα μέρος του νησιωτικού τόξου, στο οποίο ανήκουν τα Ιόνια νησιά και τα Δωδεκάνησα. Κάθε γεωλογική ενότητα χαρακτηρίζεται από ορισμένη στρωματογραφική και λιθολογική διαδοχή των πετρωμάτων της, όπως αυτά προέκυψαν από την επαλληλία των τεκτονικών γεγονότων που οδήγησαν στην ορογένεση. Συγκεκριμένα η Κρήτη αποτελείται από τις εξής γεωτεκτονικές ενότητες (Φυτρολάκης, 1978, 1980):

- i. Ενότητα Μάνης: είναι η σχετικά αυτόχθονη ενότητα της Κρήτης, η οποία αποτελείται από συμπαγή μάρμαρα, πλακώδεις κρυσταλλικούς ασβεστολίθους, πολύχρωμα σιπολινομάρμαρα και ελαφρώς μεταμορφωμένο φλύσχη. Χαρακτηρίζεται από χαμηλό βαθμό μεταμόρφωσης και έντονη κρυσταλλικότητα στους ασβεστόλιθους.
- ii. Ενότητα Άρνας: χαρακτηρίζεται από υψηλού βαθμού μεταμόρφωσης πετρώματα και ισοκλινή πτύχωση. Αποτελείται από φυλλίτες, χαλαζίτες, μαρμαρυγιακούς σχιστόλιθους και κάποια βασικά, υπερβασικά και μεταβασάλτες.
- iii. Ενότητα Τρίπολης: παρουσιάζει λιθολογική μονοτονία καθώς αποτελείται αποκλειστικά από ασβεστόλιθους νηρητικής φάσης και δολομίτες. Ο νεότερος σχηματισμός είναι ο φλύσχη. Στη βάση αυτής της στρωματογραφικής ενότητας υπάρχει ένα σύμπλεγμα από ασβεστολίθους, λάβες και πηλιτο-ψαμμίτες που ονομάζονται «στρώματα Τυρού». Στην ανατολική Κρήτη, στη Σητεία, υπάρχει ομώνυμη ενότητα η οποία βρίσκεται ως τεκτονική σφήνα μέσα στα Ραβδούχα στρώματα της ενότητας της Τρίπολης.
- iv. Ενότητα Πίνδου: βρίσκεται πάνω από την ενότητα της Τρίπολης επωθημένη και η τοπική της ονομασία είναι Εθιά. Αποτελείται από ασβεστολίθους πελαγικής φάσης, μάργες ραδιολαρίτες, κερατόλιθους και πηλίτες καθώς και τον κλασικό σχηματισμό του φλύσχη.
- v. Ενότητα Άρβης: περιλαμβάνει βασάλτες, βασαλτικές λάβες μεσσωκεάνειας ράχης (Μ.Ο.Ρ.Β.) και είναι επωθημένη πάνω από την ενότητα της Πίνδου.



Σχήμα 4-1 Γεωλογικός χάρτης της Κρήτης

4.4 Κλιματολογία της περιοχής

Η Κρήτη ανήκει στη Μεσογειακή κλιματολογική ζώνη που προσδίδει τον κύριο κλιματικό χαρακτήρα της ο οποίος χαρακτηρίζεται ως εύκρατος. Η ατμόσφαιρα μπορεί να παρουσιαστεί ως αρκετά υγρή, ανάλογα με την εγγύτητα στη θάλασσα. Ο χειμώνας είναι αρκετά ήπιος και υγρός, με αρκετές βροχοπτώσεις, ως επί το πλείστον, στα δυτικά τμήματα του νησιού. Η χιονόπτωση είναι σπάνια στις πεδινές εκτάσεις, αλλά αρκετά συχνή στις ορεινές. Κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η μέση θερμοκρασία κυμαίνεται στο πλαίσιο των 25-30°C οπωσδήποτε χαμηλότερο από εκείνο στην ηπειρωτική Ελλάδα. Η νότια ακτή, συμπεριλαμβανομένης της πεδιάδας της Μεσσαράς και των Αστερούσιων ορέων, απολαμβάνει περισσότερες ηλιόλουστες ημέρες και υψηλότερες θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού σε σχέση με την υπόλοιπη μεγαλόνησο.

Η Κρήτη, σαν νησιωτική περιοχή, επωφελείται μόνο από τα νερά που φτάνουν σε αυτήν με τη μορφή κατακρημνισμάτων (βροχή, χαλάζι, χιόνι). Η γεωγραφική της όμως θέση (νοτιότερο άκρο της Ευρώπης) και το γεωφυσικό της περιβάλλον, δεν ευνοούν τη συγκέντρωση μεγάλου όγκου νερού. Εξάλλου η γεωγραφική της τοποθέτηση στη διεύθυνση ανατολής – δύσης, καθώς και η ύπαρξη υψηλών οροσειρών καθορίζουν και το ύψος των νερών που δέχεται ετησίως.

Η μέση ετήσια βροχόπτωση στο υδατικό διαμέρισμα ανέρχεται σε 927mm που αντιστοιχεί σε $7.69 \cdot 10^6 \text{m}^3$ κατακρημνισμάτων σε μέση ετήσια βάση. Παρατηρείται μια σημαντική ανισοκατανομή του ετήσιου όγκου βροχόπτωσης τόσο γεωγραφικά (η μέση ετήσια βροχόπτωση παρουσιάζει αύξηση από τα ανατολικά προς τα δυτικά και από τα νότια προς τα βόρεια), όσο και φυσιογραφικά (πεδινές προς ορεινές περιοχές). Η μέση ετήσια βροχόπτωση είναι στην ανατολική Κρήτη κατά 23% μικρότερη σε σχέση με τη Δυτική. Στην πόλη της Σητείας η μέση ετήσια βροχόπτωση ανέρχεται σε 490mm, στο Ηράκλειο σε 470mm ενώ στους δυτικούς σταθμούς του Αλικιανού και της Σούδας οι μέσες ετήσιες βροχοπτώσεις ανέρχονται σε 824 και 600mm, αντίστοιχα. Επίσης, η Κρήτη εμφανίζει βροχοβαθμίδα (αύξηση βροχόπτωσης με το υψόμετρο) 61mm/100m, μια από τις μεγαλύτερες της Ελλάδας.

Η μέση θερμοκρασία εμφανίζεται μεγαλύτερη στα ανατολικά από ό,τι στα δυτικά (18.38°C έναντι 16.96°C) και μεγαλύτερη στα νότια από ό,τι στα βόρεια (19.55 έναντι 18.55°C). Η ηλιοφάνεια είναι ιδιαίτερα υψηλή σε ολόκληρη την Κρήτη. Ο μέσος ετήσιος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας ανέρχεται σε 2700 περίπου ώρες στη βόρεια Κρήτη (2707 ώρες στο Ηράκλειο, 2699 ώρες στη Σητεία, 2765 ώρες στη Σούδα και 2592 ώρες στο Ρέθυμνο (μέσος όρος 8 ετών μόνο). Στη νότια Κρήτη ο μέσος ετήσιος αριθμός ωρών ηλιοφάνειας είναι κατά 10% τουλάχιστον υψηλότερος ανερχόμενος σε 3000 περίπου ώρες (3068 ώρες στην Ιεράπετρα και 2948 ώρες στο Τυμπάκι). Ο αριθμός ωρών ηλιοφάνειας της Ιεράπετρας είναι ο μεγαλύτερος της Ελλάδας. Η νέφωση είναι γενικά μικρή και μειώνεται από ανατολικά προς δυτικά. Το ανατολικό άκρο κατά τους χειμερινούς μήνες ανήκει σε περιοχή μεγίστης νεφώσεως.

4.5 Ο Πληθυσμός της Κρήτης

Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 οι κάτοικοι του νησιού ανέρχονται στους 623000 (5,8% του συνολικού πληθυσμού της χώρας), ενώ οι 174000 είναι κάτοικοι του Ηρακλείου, ο οποίος είναι ο 4^{ος} δήμος της χώρας. Ο νομός Ηρακλείου αποτελείται από 305.490 κατοίκους, ο νομός Χανίων από 156.585 κατοίκους, ο νομός Ρεθύμνου από 85609 και ο νομός Λασιθίου από 75381 κατοίκους. Η αναλογία αντρών γυναικών είναι 48.9 / 51.1.

4.6 Το φαινόμενο των ανέμων Föhn

4.6.1 Ορισμός – χαρακτηριστικά του ανέμου Föhn

Ο άνεμος τύπου Föhn είναι θερμός και ξηρός άνεμος που μελετήθηκε αρχικά στις Άλπεις, όπου παρουσιάζει μεγάλη συχνότητα στις βόρειες πλαγιές της. Αυτοί οι ασυνήθιστα ξηροί και θερμοί άνεμοι χαρακτηρίζονται από μια εξαιρετική ορατότητα και συνοδεύονται πολλές φορές από φακοειδή νέφη. Ο άνεμος αυτός αναπτύσσεται σε ευσταθή ατμόσφαιρα και προϋποθέτει ισχυρά αέρια ρεύματα, ενώ η αέρια μάζα που πλησιάζει τις προσήνεμες πλαγιές να είναι αρκετά υγρή.

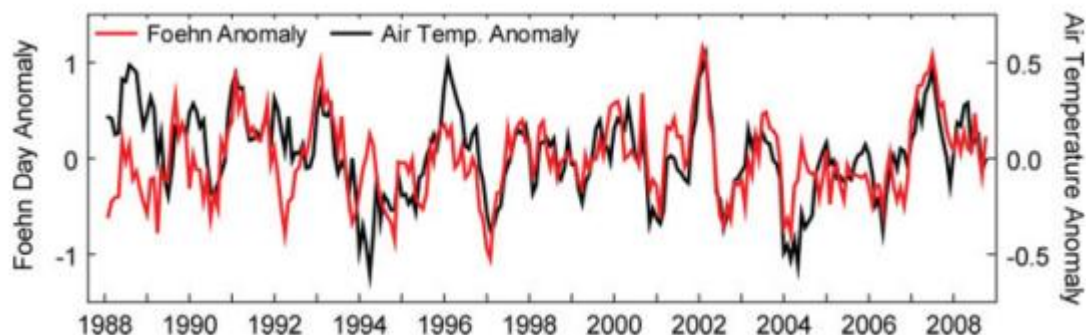
4.6.2 Μηχανισμός δημιουργίας του ανέμου Föhn

Η δημιουργία του ανέμου Föhn προϋποθέτει την εξαναγκασμένη ανύψωση του αέρα που οδηγεί σε συμπύκνωση υδρατμών και στο σχηματισμό των νεφών. Η ανοδική ψύξη γίνεται με ρυθμούς $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ μέχρι το επίπεδο συμπύκνωσης (ξηρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα). Πάνω από το επίπεδο συμπύκνωσης η ψύξη είναι ασθενέστερη ($0.5\text{-}0.7^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) (υγρή αδιαβατική θερμοβαθμίδα) και ο αέρας που καθιζάνει θερμαίνεται κατά $1^{\circ}\text{C}/100\text{m}$ (Maninns and Sawford, 1979; Wakonigg, 1990; Egger and Hoinka, 1992). Η συμπύκνωση οδηγεί στο σχηματισμό νεφών, στα προσήνεμα του βουνού και στη βροχόπτωση. Η μεγαλύτερη ποσότητα των υδρατμών αποβάλλεται με την μορφή βροχής κατά την ανυψωτική διαδικασία και ο αέρας που καθιζάνει στα υπήνεμα γίνεται αρκετά ξηρός και θερμός.

Συνεπώς οι άνεμοι Föhn συχνά παρατηρούνται στην υπήνεμη πλευρά των μεγάλων οροσειρών και συνδέονται συνήθως με μεγάλη αύξηση των τιμών της θερμοκρασίας και τη μείωση της σχετικής υγρασίας, λόγω της αδιαβατικής συμπίεσης του καθοδικού ανέμου. Σε πολλές περιοχές του κόσμου έχει μελετηθεί το φαινόμενο και προσδιορίστηκαν τα τυπικά χαρακτηριστικά του και οι συνοπτικές συνθήκες των ανέμων αυτών που δημιουργούν μεγάλες διαφορές θερμοκρασίας καθώς και εξετάστηκαν τα γεγονότα εκείνα που παράγουν αύξηση στο σημείο δρόσου. Έτσι παράδειγμα αποτελεί η περιοχή των Απαλάχιων Όρων που για τη χρονική περίοδο 1971-2000 καταγράφηκαν 64 επεισόδια ανέμου Föhn, τα οποία δημιούργησαν διαφορές στη θερμοκρασία της τάξεως των 5°C στη δυτική πλευρά των νότιων Απαλάχιων (Gaffin, 2007).

Η επίδραση των καταβατικών αυτών ανέμων είναι καταλυτική στη μεταβλητότητα του κλίματος σε πολλά μέρη του πλανήτη. Έτσι στην περιοχή της McMurdo Dry Valleys της Ανταρκτικής οι άνεμοι Föhn σχετίζονται με τις κυκλωνικές κινήσεις στη Ross Sea, που οδήγησε σε ισχυρή συνοπτική πίεση και δυνατούς ανέμους στα βουνά Transantarctic (Speirs et al., 2013). Οι άνεμοι Föhn και σε αυτήν τη περίπτωση χαρακτηρίζονται από

ξαφνική αύξηση της ταχύτητάς τους και της θερμοκρασίας περιβάλλοντος και από μια αντίστοιχη μείωση της σχετικής υγρασίας. Παρατηρείται σχέση μεταξύ της ανωμαλίας της εποχιακής μέσης θερμοκρασίας και της ανωμαλίας της συχνότητας των ανέμων Föhn στην περιοχή για την περίοδο 1988-2008 (Σχήμα 4-2).



Σχήμα 4-2 Μηνιαία ανωμαλία των ανέμων Föhn σε σχέση με την θερμοκρασία περιβάλλοντος στην περιοχή Lake Hoare (Speirs et al., 2013)

Πρόσφατα οι άνεμοι Föhn χαρακτηρίζονται ως flash heat (Mazon et al., 2014), δηλαδή ως μια γρήγορη αύξηση της θερμότητας, επειδή εμφανίζεται εντός χρονικού διαστήματος μικρότερο από ένα κύμα καύσωνα και περισσότερο από μια έκρηξη θερμότητας (=heat burst). Συγκεκριμένα κατά τη διάρκεια ενός φαινομένου Föhn στην περιοχή της Βαρκελώνης στις 27 Αυγούστου 2010 καταγράφηκε άνοδος της θερμοκρασίας στους 39.3°C από τους 26.8°C, ενώ η σχετική υγρασία έπεσε στο 19% σε διάρκεια 4 ωρών. Επίσης μεταβλήθηκε η διεύθυνση του ανέμου από δυτική σε ανατολική αντικαθιστώντας τη ζεστή και ξηρή μάζα του αέρα σε μια σχετικά κρύα και υγρή μάζα αέρα από τη Μεσόγειο (Mazon et al., 2014). Σημειώνεται ότι το περιστατικό της 27^{ης} Αυγούστου 2010 είναι από τα πιο σημαντικά καταγεγραμμένα περιστατικά Föhn από το 1790 στην περιοχή της Βαρκελώνης, όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακας 4-1).

Πίνακας 4-1 Τα πιο σημαντικά περιστατικά Föhn «flash heat» που επηρέασαν τη Βαρκελώνη από το 1790. Πρέπει να σημειωθεί ότι στις 27 Αυγούστου 2010, η μέγιστη θερμοκρασία (T_{max}) ήταν 39.3°C (24°C νωρίς το πρωί και 26°C το απόγευμα). Οι θερμοκρασίες T_{12+} και T_{12-} αναφέρονται στη θερμοκρασία 12 ώρες πριν και 12 ώρες μετά την καταγεγραμμένη μέγιστη θερμοκρασία (T_{max}), αντίστοιχα (Mazon et al., 2014)

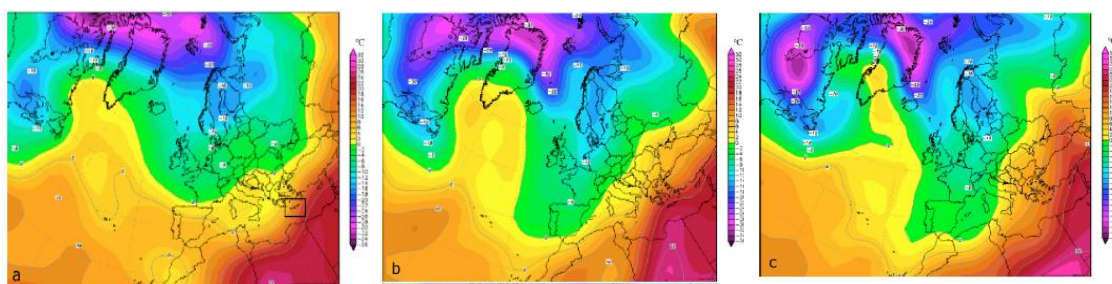
Ημερομηνία	T_{max} (°C)	T_{12-} (°C)	T_{12+} (°C)	Διεύθυνση ανέμου
01-7-1790	36	23.5	25	NΔ
10-7-1820	34.4	21	26.5	NΔ
27-7-1843	35.5	23.5	24	NNΔ-NΔ
5-8-1846	35.5	26	27	N
15-7-1859	35	27	26	NNΔ-NΔ
17-8-1881	35.5	25	26	NNΔ
13-7-1896	36	21	22	NΔ

4.6.3 Άνεμοι Föhn στο Ηράκλειο Κρήτης

Το νησί της Κρήτης ευρισκόμενο στην ανατολική περιοχή της Μεσογείου, κοντά στη βόρεια ακτογραμμή της Αφρικής και συνεπώς στη Σαχάρα, επηρεάζεται συχνά από οριζόντια μεταφορά ζεστών και ξηρών αερίων μαζών από τη Σαχάρα, που συσχετίζονται επίσης με έντονα επεισόδια μεταφοράς σκόνης (Fotiadi et al., 2006; Kaskaoutis et al., 2008).

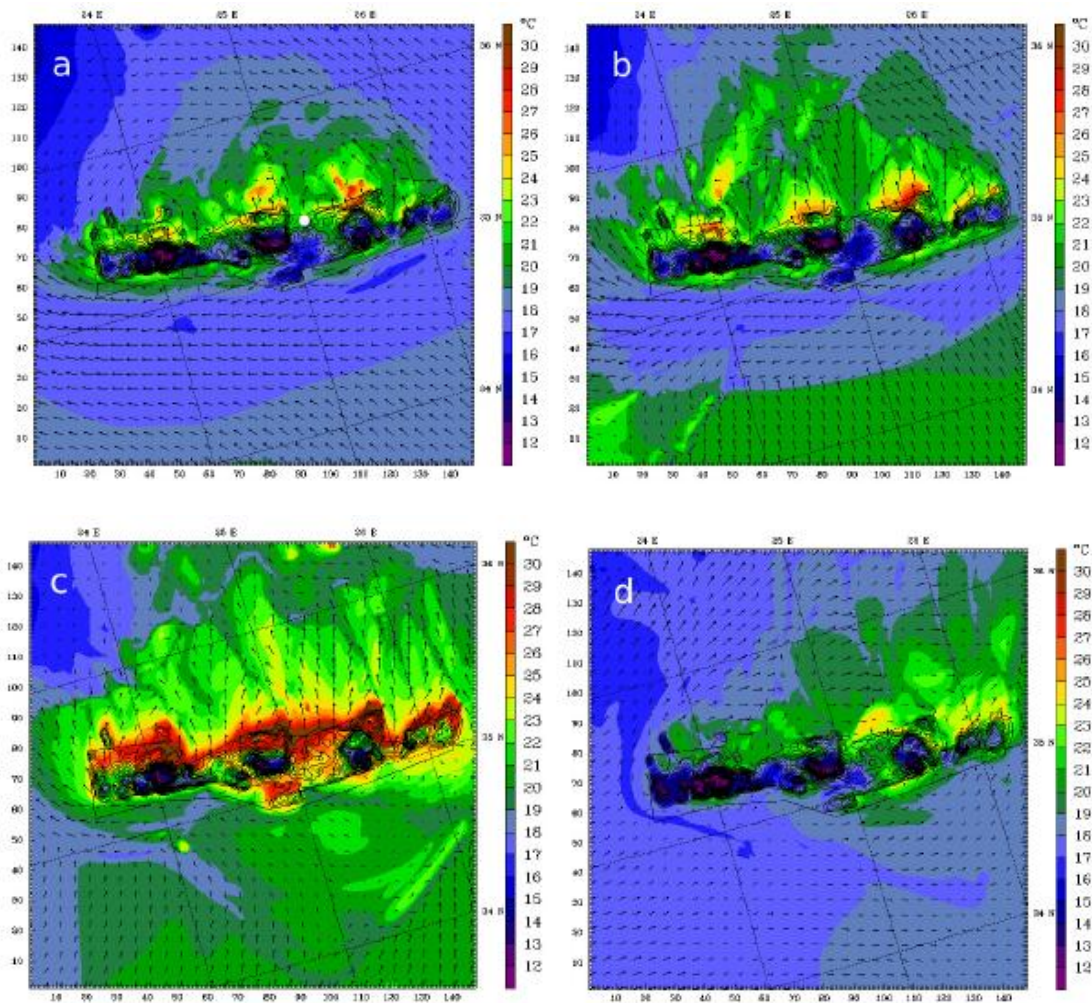
Το επεισόδιο της 21 Μαρτίου 2008

Στις 21 Μαρτίου 2008 υπήρχε βαρομετρικό χαμηλό πάνω από τη νότια Ελλάδα γύρω στα 1005hPa στην επιφάνεια της θάλασσας δημιουργώντας μια νοτιοδυτική μεταφορά αερίων μαζών στο νησί της Κρήτης. Στις 22 Μαρτίου αυτή η χαμηλή πίεση μετακινήθηκε στη νότια Τουρκία. Στην επιφάνεια της θάλασσας υπήρξε μια νοτιανατολική ροή των αερίων μαζών προς την Κρήτη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4-3 που δείχνει τη θερμοκρασία στα 850hPa από στις 22, 23 και 24 Μαρτίου 2008 στις 00:00 UTC. Στις 22 Μαρτίου μια ζεστή αέρια μάζα βρισκόταν πάνω από τη βόρεια Αφρική (Σχήμα 4-3a) και στις 23 Μαρτίου κινήθηκε προς βορρά επηρεάζοντας όλο το νησί της Κρήτης (Σχήμα 4-3b), ενώ στις 24 Μαρτίου απομακρύνθηκε προς το νότο (Σχήμα 4-3c).



Σχήμα 4-3 Η θερμοκρασία στα 850hPa στις 00:00 UTC στις (a) 22, (b) 23 και (c) 24 Μαρτίου 2008, όπως ελήφθη από τα NCEP

Η θερμοκρασία στα 2m φαίνεται στο Σχήμα 4-4 με τη χρωματική παλέτα καθώς υπάρχουν και η διεύθυνση του ανέμου στην επιφάνεια με μικρά βέλη. Στο Σχήμα 4-4a στις 00:00 UTC η προσομοίωση δείχνει νοτιανατολική ροή πάνω από τις νότιες ακτές της Κρήτης, όπου η θερμοκρασία είναι 17°C. Παρόλα αυτά στη βόρεια πλευρά παρατηρήθηκε υψηλότερη θερμοκρασία μεταξύ 24°C και 28°C. Στις 04:00 UTC Σχήμα 4-4b επικράτησε ο νότιος άνεμος, ο ζεστός και ο ξηρός αέρας σχετίζεται με την κίνηση αερίων μαζών από την Αφρική, η οποία μπορεί να θεωρηθεί ως ένα θερμό μέτωπο, που ανυψώνεται πάνω από σχετικά ψυχρό θαλασσινό αέρα σε απόσταση 70km από τη νότια ακτογραμμή του νησιού. Συνεπώς, η θερμοκρασία παραμένει γύρω στους 17°C στη νότια ακτογραμμή του νησιού. Αυτή η μεγάλη θερμική διαφορά μεταξύ των δύο περιοχών είναι ακόμα μεγαλύτερη στις 08:00 UTC (Σχήμα 4-4c), όταν η προσομοιωμένη θερμοκρασία δείχνει τις υψηλότερες τιμές στη βόρεια πλευρά, γύρω στους 31°C (στην νότια πλευρά η θερμοκρασία παραμένει 20°C και 23°C). Από τις 11:00 UTC η θερμοκρασία αρχίζει να αυξάνεται. Όπως δείχνει το Σχήμα 4-4d, κατά τη διάρκεια του απογεύματος η θερμοκρασία έχει κανονικές τιμές στις δύο πλευρές του νησιού.



Σχήμα 4-4 Η θερμοκρασία στα 2m στη νήσο Κρήτη και η μεταβολή της με την πάροδο του χρόνου. Παρουσιάζονται οι διαφορές μεταξύ βόρειου και νότιου τμήματος. Τα βέλη αντιπροσωπεύουν τη διεύθυνση του ανέμου

4.7 Το φαινόμενο της μεταφοράς της αφρικανικής σκόνης

Η επιστημονική εξέταση της διηπειρωτικής μεταφοράς σκόνης έχει ένα μεγάλο ιστορικό παρελθόν, ένα ζωνρό παρόν και ένα υποσχόμενο μέλλον. Αντίθετα από τις μελέτες της μόλυνσης προκαλούμενης από τον άνθρωπο, οι θεμελιώδεις αιτίες της παραγωγής σκόνης, η μεγάλη κλίμακα μεταφοράς της καθώς και οι διαδικασίες απομάκρυνσής της καθιερώθηκαν μέχρι το 1900. Μεγάλο μέρος του προηγούμενου αιώνα αφιερώθηκε στον προσδιορισμό των παραπάνω διαδικασιών χρησιμοποιώντας όργανα καταγραφής της συγκέντρωσης στην επιφάνεια, τη δειγματοληψία με τη βοήθεια των αεροσκαφών και στα μοντέλα που αφορούν μεγάλης κλίμακας μεταφορά της σκόνης.

Τη δεκαετία του 1990, αρκετές νέες δορυφορικές μέθοδοι επέτρεψαν παρατηρήσεις μεγάλης κλίμακας μεταφοράς της σκόνης (Westphal et al., 1987, 1988; Jousaume, 1990). Η κλιματολογία των αερολυμάτων, που προέρχεται από τα δορυφορικά στοιχεία (Nickovic et al., 2001) δίνουν έμφαση κατά ένα ημι-ποσοτικό τρόπο, στη σφαιρική κατανομή των πηγών σκόνης. Τα ημερήσια δυναμικά δεδομένα των αερολυμάτων από διάφορους δορυφόρους και από τα όργανα επιφανείας διευκολύνουν σήμερα την ποσοτική

τεκμηρίωση των μεμονωμένων διηπειρωτικών επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα στην Ευρώπη και την Αμερική καθώς και από την έρημο Gobi στη Βόρεια Αμερική (Fairlie et al., 2007).

Στην πραγματικότητα, τα θεαματικά γεγονότα μεταφορών σκόνης, που απεικονίζονται μέσω νέων δορυφορικών αισθητήρων, μαζί με την καλή απόδοση των προτύπων προσομοίωσης και πρόβλεψης μεταφοράς σκόνης παρέχουν όλα τα χαρακτηριστικά της διηπειρωτικής μεταφοράς αερολύματος. Επιπλέον, η ανίχνευση, η παρακολούθηση και η πλήρης εξήγηση των μεγάλων επεισοδίων σκόνης έχουν επισπεύσει την εμφάνιση διεθνών ερευνητικών κοινοτήτων που βασίζονται σε στην εικονική διαδικτυακή έρευνα. Πιστεύεται ότι μία τέτοια συνεργασία κατά τη διάρκεια των επόμενων δεκαετιών, θα αποφέρει έναν πλήρη προσδιορισμό της ποσότητας της διηπειρωτικής μεταφοράς της σκόνης.

4.7.1 Ιστορικά στοιχεία μεταφοράς αφρικανικής σκόνης

Η πρώτη καταγραφή επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από την Αφρική ανευρίσκεται στην Ιλιάδα του Ομήρου, όταν περιγράφεται το φαινόμενο (Ραψωδία Π 458-460) ως «ματωμένες σταγόνες» («αιματοέσσας ψιάδας) που έριξε ο Δίας για να εκδικηθεί το θάνατο του γιου του Σαρπηδόνα από τον Πάτροκλο. Το 1646 έγινε η πρώτη επιστημονική περιγραφή μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα από τον Wendelin (Wendelin, 1646), ενώ αργότερα ο Ehreberg (Ehrenberg, 1871) κατέγραψε 340 επεισόδια μεταφοράς σκόνης πάνω από την Ευρώπη και τη Β. Αφρική που συνέβησαν πριν το 1847 και εμπλούτισε τις καταγραφές του με άλλες 193 το 1870. Η πρώτη αυτή ανάλυση των επεισοδίων μεταξύ των ετών 1782-1898 έδειξε ότι η μεταφορά γινόταν συχνότερα τα έτη που η Σαχάρα ήταν ξηρότερη. Ο χαρακτηρισμός των ξηρών ετών της Σαχάρας γινόταν με το δείκτη Bruckners.

Αργότερα το Φεβρουάριο του 1903 η Β. Ευρώπη επηρεάστηκε από 22 επεισόδια μεταφοράς σκόνης, η οποία έφτασε ως τη Ν. Αγγλία, Β. Γαλλία, Ολλανδία, Γερμανία και Δανία. Οι ερευνητές συσχέτισαν τη μεταφορά της σκόνης με τους κλιματικούς παράγοντες και με τη βοήθεια βαρομετρικών χαρτών απεικόνισαν την αντίστροφη πορεία της σκόνης και κατέληξαν ότι πηγή της ήταν η Β. Αφρική (Mill. and Lempfert., 1903).

4.7.2 Μηχανισμοί μεταφοράς σκόνης Σαχάρας

Γενικά, η ατμοσφαιρική κυκλοφορία πάνω από τη βορειοδυτική Αφρική ελέγχεται κυρίως από τους βορειοανατολικούς ανέμους, ενώ νότια της ερήμου της Σαχάρας οι άνεμοι έχουν συνήθως μία μόνο διεύθυνση με μια δυτική μεταφορά της σκόνης. Κατά τη διάρκεια του έτους, η επέκταση του θυσάνου της σκόνης ποικίλλει σύμφωνα με την μετατόπιση της Τροπικής Ζώνης Σύγκλισης (=Intertropical Convergence Zone, ITCZ) (Prospero et al., 1981). Το χειμώνα, όταν η ITCZ βρίσκεται στη νοτιότερη θέση της, η σκόνη προέρχεται από την Σαχάρα και την ερήμο Σαχέλ και μεταφέρεται προς τον τροπικό Ατλαντικό Ωκεανό από βορειοανατολικά συστήματα ανέμων (Alonso-Pérez et al., 2011). Το καλοκαίρι, τέτοια συστήματα ανέμων είναι περιορισμένα λόγω της βόρειας μετατόπισης της ITCZ (Prospero et al., 1981). Επιπλέον η υψηλή ακτινοβολία και θερμοκρασία πάνω από την περιοχή Σαχάρα-Σαχέλ δημιουργεί ισχυρούς επιφανειακούς ανέμους και μεγάλης κλίμακας μεταφορά, η οποία «σηκώνει» σωματίδια σκόνης σε υψηλά ατμοσφαιρικά επίπεδα (ως 5km). Τέτοια

σωματίδια σκόνης ορυκτολογικής προέλευσης μεταφερόμενα σε μεγάλα υψόμετρα από το στρώμα αέρα της Σαχάρας, κινούνται συνήθως προς το τροπικό Ατλαντικό πάνω από το οριακό στρώμα (Bergametti et al., 1989). Μια σημαντική ποσότητα της ατμοσφαιρικής σκόνης μεταφέρεται επίσης προς τη δυτική Μεσόγειο κατά μήκος ενός αντικυκλώνα πάνω από τη βορειοδυτική Αφρική. Πολλά από τα σωματίδια της αφρικανικής σκόνης μεταφέρονται προς τα δυτικά πάνω από τον Ατλαντικό (Viana et al., 2002; Alastuey et al., 2005; Alonso-Pérez et al., 2011) και ταξιδεύοντας μεγάλες αποστάσεις είτε επηρεάζουν απομακρυσμένες περιοχές στην Καραϊβική και τις Ηνωμένες Πολιτείες (Arimoto et al., 1997; Prospero et al., 2002), είτε ένα σημαντικό ποσό της σκόνης απελευθερώνεται βόρεια επηρεάζοντας την περιοχή της Μεσογείου (Ganor and Mamane, 1982; Bergametti et al., 1989; Guerzoni and Chester, 1996; Querol et al., 1998; Rodríguez et al., 2001; Escudero et al., 2005; Gerasopoulos et al., 2006b; Kallos et al., 2006; Mitsakou et al., 2008; Papadimas et al., 2008; Koçak et al., 2012; Moustris et al., 2012), είτε και σε άλλες ευρωπαϊκές περιοχές (Klein et al., 2010).

Συνεπώς τα αίτια για τη μεταφορά της σκόνης Σαχάρας βορειότερα είναι τρία:

- Την περίοδο της άνοιξης, οι κυκλώνες Sharav που κινούνται προς τα ανατολικά, κατά μήκος της βόρειας αφρικανικής ακτογραμμής, μεταφέρουν σκόνη στην ανατολική Μεσόγειο.
- Κατά το καλοκαίρι οι υψηλές πιέσεις πάνω από τη Λιβύη εμποδίζουν την περαιτέρω ανατολική διάδοση των κυκλώνων αυτών και η μεταφορά πραγματοποιείται στην κεντρική Μεσόγειο.
- Προς το πέρασ του καλοκαιριού οι χαμηλές πιέσεις κοντά στις Βαλεαρίδες νήσους έχουν ως αποτέλεσμα η μεταφορά σκόνης να συντελείται κυρίως στη δυτική Μεσόγειο.

4.7.3 Μεταφορά αιωρούμενων σωματιδίων από την έρημο Σαχάρα

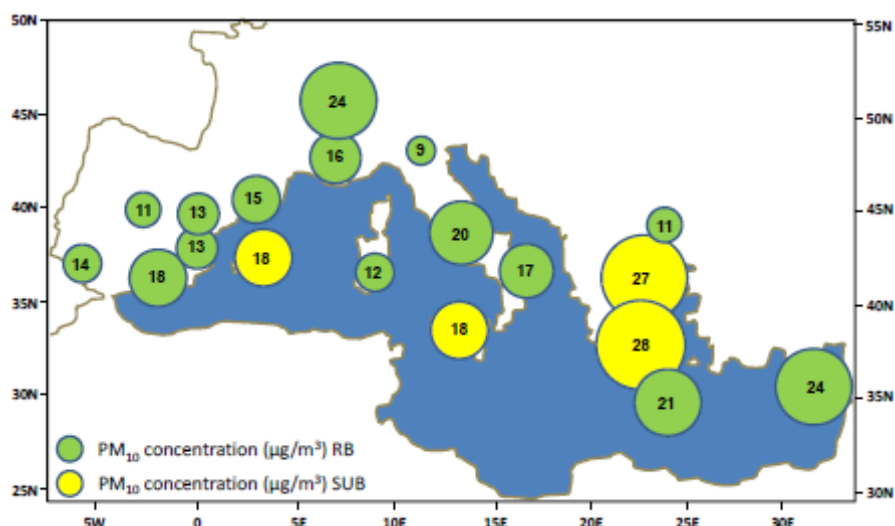
Σε παγκόσμια κλίμακα, τα περισσότερα ατμοσφαιρικά σωματίδια εκπέμπονται από φυσικές πηγές με την ορυκτή σκόνη (=mineral dust) να είναι η δεύτερη πιο συχνή αιτία φυσικής ρύπανσης μετά από τα θαλάσσια προέλευσης αιωρούμενα σωματίδια (IPCC, 2007). Αυτά τα σωματίδια χερσαίας προέλευσης απελευθερώνονται κυρίως στην ατμόσφαιρα από ξηρές και ημίξηρες περιοχές που βρίσκονται σε υποτροπικά κλίματα στο βόρειο ημισφαίριο με τη περιοχή που περιλαμβάνει τη Σαχάρα-Σαχέλ-Τσάντ να είναι η μεγαλύτερη πηγή σκόνης στη βόρεια Αφρική (Prospero et al., 2002; Moreno et al., 2006).

Έτσι η σκόνη της Σαχάρας μπορεί να ακολουθήσει τρεις διαφορετικές τροχιές. Πρώτα μπορεί να μεταφερθεί πάνω από το Βόρειο Ατλαντικό, όταν κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού ξεσπούν θερμικές καταιγίδες πάνω από τη Δυτική Αφρική, δημιουργώντας έντονα ανοδικά ρεύματα, λόγω μεγάλης θέρμανσης του εδάφους και μεταφέροντας θυσάνους σκόνης που φτάνουν και το 50% του συνολικού όγκου των αερομεταφερομένων σωματιδίων. Μάλιστα, εκτιμάται ότι η έρημος Σαχάρα και οι γύρω περιοχές παρέχουν μεγάλες ποσότητες σκόνης που κυμαίνονται από 600 και 900x10⁶ τόνους στην ατμόσφαιρα κάθε χρόνο (Schutz et al., 1981; D'Almeida, 1986). Οι πιο πιθανές πηγές σκόνης για τους υπερατλαντικούς θυσάνους των σωματιδίων είναι η Μαυριτανία, το Μαλί και το Μαρόκο. Συγκεκριμένα, στο αεροδρόμιο της Μαυριτανίας το 2000 κατά τη διάρκεια επεισοδίων

Σαχάρας τα επίπεδα των σωματιδίων PM_{10} ήταν υψηλά ($159\mu\text{g}/\text{m}^3$) σε σχέση με τα πρότυπα ποιότητας αέρα της Ε.Ε. (Ozer et al., 2007). Άλλη τροχιά που μπορεί να ακολουθήσει η σκόνη Σαχάρας είναι προς την Ευρώπη μέσω κυρίως υγρής εναπόθεσης.

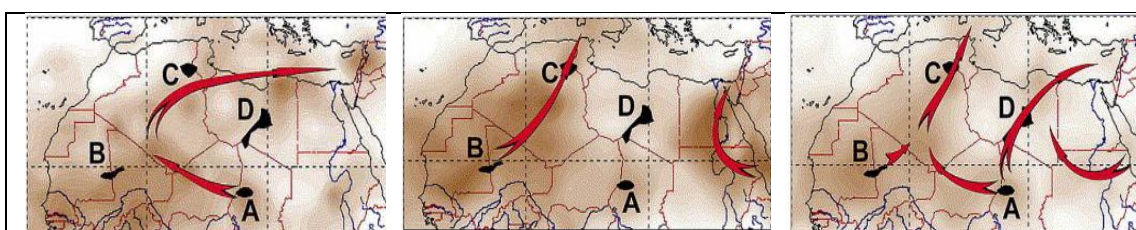
Συνήθως η εναπόθεση των σωματιδίων –όπως θα αναφερθεί και παρακάτω- είναι συχνότερη στη νότια Ευρώπη, γεγονός που έχει καταγραφεί από την αρχαιότητα (Bücher, 1989), ενώ μικρότερη είναι η εναπόθεσή τους σε βορειότερα γεωγραφικά πλάτη, όπως στη Μεγάλη Βρετανία (Wheeler, 1986), στην Ολλανδία (Reiff et al., 1986), στη Γερμανία (Littmann, 1991) και στη Σκανδιναβία (Franzén et al., 1994). Έχει υπολογιστεί ότι 80-120 εκατομμύρια τόνοι σωματιδίων το χρόνο μεταφέρονται από τη Νότια Αλγερία και τη Δυτική Σαχάρα – Νότιο Μαρόκο (Molinaroli et al., 1993) προς τη Δυτική Ευρώπη.

Στις νότιες περιοχές της Μεσογείου τα επεισόδια της σκόνης Σαχάρας είναι πιο συχνά (30-37% των ετήσιων ημερών) σε σχέση με τις βόρειες περιοχές (20% των ετησίων ημερών). Η κεντρική Μεσόγειος αποτελεί μια μεταβατική περιοχή, με ελαφρώς ψηλότερη συχνότητα των επεισοδίων σκόνης στις κατώτερες ακραίες τιμές σε σύγκριση με παρόμοιες γεωγραφικές θέσεις της δυτικής και ανατολικής πλευράς της λεκάνης. Η μείωση της συχνότητας των επεισοδίων της αφρικανικής σκόνης από το νότο προς το βορρά της λεκάνης της Μεσογείου μελετήθηκε από τον (Pey et al., 2013). Οι Pey et al. (2013) βρήκαν ότι μεταξύ των εξεταζόμενων περιοχών, οι χαμηλότερες συχνότητες των επεισοδίων της αφρικανικής σκόνης παρατηρούνται στην κεντρική και βορειοανατολική Ισπανία, νοτιοανατολική Γαλλία και στη βόρεια Ιταλία (17-18%). Σε αντίθεση, η μεγαλύτερη συχνότητα των επεισοδίων έχει καταγραφεί στη Σικελία (37%), ακολουθεί η Κύπρος (34%, επηρεαζόμενη επίσης από επεισόδια σκόνης των ερήμων της Negev και της Μέσης Ανατολής). Επίσης, παρόμοιες συχνότητες επεισοδίων της αφρικανικής σκόνης παρατηρούνται στη νοτιοδυτική και στην ανατολική Ιβηρική χερσόνησο (23-24%), στην κεντρική Ιταλία και στη βόρεια Ελλάδα (24%).



Σχήμα 4-5 Ετήσια επίπεδα PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) σε τοπικούς (RB) και περιαστικούς (SUB) σταθμούς αναφοράς κατά μήκος της Μεσογείου για τη χρονική περίοδο 2001-2011. (Pey et al., 2013)

Στην περιοχή της ανατολικής Μεσογείου εντοπίζονται τρεις περίοδοι αύξησης των συγκεντρώσεων της σκόνης στην τροπόσφαιρα. Οι εποχές αυτές είναι την άνοιξη (Μάρτιο - Μάιο) το καλοκαίρι (Ιούλιο - Αύγουστο) και το φθινόπωρο (Σεπτέμβριο - Νοέμβριο) (Σχήμα 4-6). Τις περιόδους αυτές έχουμε αισθητές μεταβολές στα μεγέθη των μεταφερομένων σωματιδίων από τη Σαχάρα. Στο Σχήμα 4-6 βλέπουμε τις κυριότερες πηγές και διαδρομές της σκόνης. Παρατηρούμε ότι την άνοιξη η σκόνη μεταφέρεται από το Τσαντ κατά μήκος της βόρειας αφρικανικής ακτής προς την ανατολική Μεσόγειο. Η μεταφορά αυτή όπως προαναφέραμε συνδέεται με τους κυκλώνες Shaqan. Το καλοκαίρι οι πηγές σκόνης εντοπίζονται και στις δύο πλευρές της Ερυθράς θάλασσας. Για το φθινόπωρο, είναι δύσκολο να προσδιορίσουμε την προέλευση της σκόνης. Ωστόσο, φαίνεται ότι η κύρια μεταφορά είναι από τις Λιβυκές ακτές προς τα ανατολικά, όμως, η σκόνη που αιωρείται στις Λιβυκές ακτές προέρχεται από το Τσαντ, από πηγές κοντινές στην Ερυθρά Θάλασσα και από τη Λιβύη.



Σχήμα 4-6 Οι διαδρομές της σκόνης. Οι μαυρισμένες περιοχές απεικονίζουν τις κύριες πηγές σκόνης στη Β. Αφρική, ενώ τα βέλη δείχνουν τη μεταφορά που συντελείται ανά εποχή έτους. (www.nasa.gov)

Έχει διαπιστωθεί ότι υπάρχει σημαντική διαφορά στις ατμοσφαιρικές παραμέτρους μεταξύ των ετών με φαινόμενα μεταφοράς σκόνης Σαχάρας και των ετών χωρίς επεισόδια Σαχάρας στις περιοχές βόρεια και δυτικά αυτής. Κατά τη διάρκεια της άνοιξης, του καλοκαιριού και του φθινοπώρου υπάρχει μια σημαντική αύξηση της κυκλωνικής ροής κατά τη διάρκεια των ετών με επεισόδια μεταφοράς σκόνης Σαχάρας σε αντίθεση με τα έτη χωρίς επεισόδια σκόνης Σαχάρας στην περιοχή της δυτικής Ευρώπης και της βορειοδυτικής Αφρικής. Κατ'έπείταση καταγράφεται μια ισχυρή ψύξη και μείωση του γεωδυναμικού ύψους σε αυτή την περιοχή. Στην κεντρική και ανατολική Σαχάρα καθώς και στην κεντρική Μεσόγειο επικρατεί αντικυκλωνική ροή που σχετίζεται με θέρμανση και αύξηση του γεωδυναμικού ύψους. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα, η κατανομή των κυκλωνικών και αντικυκλωνικών κινήσεων, αντί να έχει προσανατολισμό ανατολή – δύση, αποκτά προσανατολισμό βορρά – νότου. Η μέση κυκλωνική δραστηριότητα σε συνάρτηση με την ψύξη και τη μείωση του ύψους καταγράφεται στη νότιο-ανατολική Ευρώπη και αντικυκλωνική κίνηση παρατηρείται στη Σαχάρα (Barkan and Alpert, 2008).

4.7.4 Επίδραση επεισοδίων Σαχάρας στην ανατολική Μεσόγειο - Ελλάδα

Η άνοιξη αποτελεί την ευνοϊκότερη περίοδο για τη δημιουργία επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα πάνω από την ανατολική Μεσόγειο και συνδέονται άμεσα με την κατανομή συστημάτων χαμηλής πίεσης κατά τη διάρκεια της περιόδου αυτής (Michaelides et al., 1999). Η περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Ελλάδας λόγω της εγγύτητάς τους με τις βόρειες αφρικανικές περιοχές παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον για την εξέταση της χωρο-χρονικής κατανομής των αιωρούμενων σωματιδίων της σκόνης. Η

κλιματολογία της σκόνης πάνω από τη Μεσόγειο ερευνάται κυρίως μέσω αισθητήρων δορυφόρων (Antoine and Nobileau, 2006) λόγω της μεγάλης χωρικής τους κάλυψης.

Στην παράκτια Ελλάδα έχει διεξαχθεί εκτεταμένη ανάλυση για τις οπτικές ιδιότητες της σκόνης μέσω sun-photometers (Fotiadi et al., 2006) συστημάτων LIDAR (Balis et al., 2004; Parayannis et al., 2005) και δειγματοληπτών σωματιδίων (Gerasopoulos et al., 2006b). Τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης στην Ελλάδα συμβαίνουν είτε στην ανώτερη τροποσφαιρική κολώνα, είτε σε όλη την ατμοσφαιρική στήλη με το τελευταίο να είναι πιο έντονο, επηρεάζοντας άμεσα τις συγκεντρώσεις των σωματιδίων (PM) στην επιφάνεια (Kalivitis et al., 2007). Η ανατολική Μεσόγειος και το Αιγαίο είναι ένα σταυροδρόμι αερολυμάτων από διαφορετικές πηγές προέλευσης και διαφορετικών ειδών (θαλάσσια αερολύματα, σωματίδια σκόνης ερήμου, σωματίδια αστικής ρύπανσης και αερολύματα από την εποχιακή καύση βιομάζας). Παρατηρήσεις από έντονα επεισόδια μεταφοράς σκόνης Σαχάρας στην Ευρώπη και συγκεκριμένα στην Ελλάδα έδειξαν ότι υπάρχει σημαντική χωρική ανομοιογένεια, δεδομένου ότι τα μεγαλύτερου μεγέθους σωματίδια αποτίθενται κοντά στην ακτή, ενώ τα μικρότερα μεταφέρονται σε μεγάλες αποστάσεις. Ως αποτέλεσμα του γεγονότος αυτού το σωματιδιακό οπτικό βάθος 550 (AOD 550) μειώνεται συνεχώς κατά μήκος της διαδρομής της σκόνης. Από την άλλη πλευρά, η ανάμειξη των σωματιδίων σκόνης με τα ανθρωπογενή σωματίδια πάνω από την ηπειρωτική Ευρώπη έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των τιμών του μέσου λεπτού κλάσματος των σωματιδίων (Kaskaoutis et al., 2008).

Οι θύελλες σκόνης προερχόμενες από τη Λιβύη μεταφέρονται συνήθως προς βορρά κατά μήκος όλης της ατμοσφαιρικής στήλης (από την επιφάνεια ως το μέσο της τροπόσφαιρας). Παρατηρώντας τις δορυφορικές εικόνες για μεγάλη χρονική περίοδο (περίπου 6 ετών), φαίνεται ότι αυτά τα επεισόδια σκόνης είναι πιο έντονα από εκείνα που προέρχονται από τη βορειοδυτική Αφρική (Αλγερία, Μαυριτανία, Μαλί) και που είναι αντιθέτως πιο συχνά στην κεντρική / ανατολική Μεσόγειο και νότια Ευρώπη (Parayannis et al., 2005; Meloni et al., 2007). Τα επεισόδια μεταφοράς της σκόνης της Σαχάρας στον ελλαδικό χώρο μπορεί να προέλθουν είτε από τη Λιβύη, είτε από περιοχές της βορειοδυτικής Σαχάρας, αλλά παρουσιάζουν διαφορές ως προς την έντασή τους, την περιοχική και συνοπτική μετεωρολογία που ευνοεί τη μεταφορά τους, την εποχικότητά τους, την κάθετη εξάπλωσή τους και τη σχέση τους με τα σύννεφα. Συνεπώς, τα επεισόδια σκόνης που έπληξαν την Ελλάδα από τη βορειοδυτική Σαχάρα μπορούν επίσης να καλύψουν ένα μεγάλο μέρος της κεντρικής Μεσογείου, πριν φτάσουν στην Ελλάδα ως συνέπεια της μείωσης της έντασής τους αφού τα μεγαλύτερα σωματίδια αποτίθενται κοντά στην πηγή (Nastos and Matzarakis, 2012). Τα γεγονότα αυτά λαμβάνουν χώρα συνήθως το καλοκαίρι και καθοδηγούνται κυρίως από ένα αντικυκλώνα πάνω από τη βορειοδυτική Αφρική που μεταφέρει τα σωματίδια της ερήμου πάνω από την κεντρική και ανατολική Μεσόγειο με τις αέριες μάζες να ακολουθούν το μονοπάτι του αντικυκλώνα όπως η περίπτωση της 29^{ης} Ιουνίου 2002 (Kaskaoutis et al., 2010) και της 20-31^{ης} Αυγούστου 2000 (Parayannis et al., 2005).

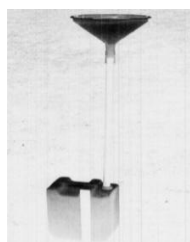
Ειδικότερα στην ευρύτερη περιοχή των Αθηνών διερευνήθηκαν τα χαρακτηριστικά της οριζόντιας και κάθετης κατανομής των αιωρούμενων σωματιδίων διαμέτρου από 0.1 ως 45.5 μ m στην κατώτερη τροπόσφαιρα σε συνθήκες θαλάσσιας αύρας και καθαρού ουρανού.

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η θαλάσσια αύρα συχνά αναπτύσσεται κατά τη θερμή περίοδο του έτους και συνδέεται με ισχυρά επεισόδια αέριας ρύπανσης. Έτσι εξήχθη το συμπέρασμα ότι τα μικρότερα σωματίδια έως 10μm παρουσιάζουν κατά 1000 φορές μεγαλύτερη συγκέντρωση από τα χονδρότερα σε ύψος 500m, ενώ στα 4000m η συγκέντρωσή τους μειώνεται έντονα. Τα μεγαλύτερα σωματίδια παρουσιάζουν υψηλές συγκεντρώσεις στα 500m σε περιοχές όπου εντοπίζονται σημαντικές ανθρωπογενείς πηγές ρύπανσης (Flocas et al., 2006). Στο αστικό περιβάλλον της Αθήνας σε μέρες χωρίς επεισόδια Σαχάρας συλλέχθηκαν αιωρούμενα σωματίδια (PM_{2.5} και PM_{2.5-10}) και βρέθηκε η ορυκτολογική ανάλυση με τη βοήθεια ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (SEM-EDS). Έτσι, στο κλάσμα των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{2.5-10} φαίνεται αφθονία των μορφολογιών και της χημικής σύστασης των σωματιδίων. Παρατηρούνται λοιπόν ορυκτά όπως: ασβεστίτης (CaCO₃), μικροκρυσταλλικό αλάτι (NaCl), συσσωματώματα σωματιδίων που περιέχουν Ca-Mg-S-Cl, που σύμφωνα με τα φάσματα του EDS πρέπει να είναι φυσικά μεικτά θειικά-χλωριούχα αλάτια των αλκαλικών γαιών, καθώς και οξείδια του σιδήρου. Από την άλλη στο κλάσμα PM_{2.5}, που είναι σημαντικό για την επίδρασή του στην υγεία, κατεδείχθησαν μικροσωματίδια που περιέχουν Fe και οξείδια Fe-Mn, ενώ δεν ανιχνεύθηκαν βαρέα μέταλλα (Godelitsas et al., 2011).

Σε πιο πρόσφατη εργασία για την περιοχή των Αθηνών μετρήθηκε η συγκέντρωση των σωματιδίων PM₁₀ κατά τη διάρκεια επεισοδίου Σαχάρας που διήρκησε από τις 29 Μαρτίου 2009 ως τις 31 Μαρτίου 2009 φτάνοντας μέγιστη τιμή τα 156μg/m³. Οι οπισθοτροχιές έδειξαν ότι οι αέριες μάζες στις 29 και 30 Μαρτίου προέρχονται από τη Δυτική Σαχάρα, ενώ στις 31 Μαρτίου η κίνηση των αερίων μαζών είναι αντικυκλωνική προερχόμενη από την Αλγερία γεγονός που οδηγεί σε ανάμειξη των θαλάσσιων και των τοπικών ηπειρωτικών αερολυμάτων (Remoundaki et al., 2011).

Παρόμοια, στην περιοχή της Κρήτης – σταθμός Φινοκαλίας – πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις αερολυμάτων από εννέα ερευνητικά ιδρύματα που αφορούσαν τη χωρική και χρονική μεταβλητότητα των φωτοχημικών ρύπων και των αιωρούμενων σωματιδίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η Ανατολική λεκάνη της Μεσογείου είναι μετρίως έως πολύ μολυσμένη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και σχετικά καθαρή την περίοδο του χειμώνα. Η περιοχή της Φινοκαλίας φαίνεται ότι επηρεάζεται από τις εξάρσεις ρύπανσης που φτάνει από τις περιοχές της βόρειας Ευρώπης (Lazaridis et al., 2006). Οι οπτικές και φυσικές ιδιότητες του μεγέθους κατανομής των σωματιδίων δείχνουν ότι στη μάζα των αερολυμάτων στην Ανατολική Μεσόγειο συμβάλλουν η ορυκτή σκόνη (σκόνη Σαχάρας) και θαλάσσια στοιχεία (Kallos et al., 2006).

Αξίζει να τονιστεί ότι μετρήσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην Κρήτη είχαν πραγματοποιηθεί και στο παρελθόν. Συγκεκριμένα το 1988 τοποθετήθηκαν 6 παγίδες σκόνης (Ανώγεια, Χανιά, Ηράκλειο, Ιεράπετρα, Τυμπάκι και Ζαρός), οι οποίες αποτελούντο από ένα πλαστικό χωνί, διαμέτρου 30cm, που ενώνεται με ένα πλαστικό σωλήνα με δοχείο όγκου 20-50lt. Το άνοιγμα της χοάνης βρίσκεται 1.8m πάνω από το δοχείο και η σκόνη μπορεί να πραγματοποιείται τόσο ξηρή όσο και υγρή εναπόθεση Σχήμα 4-7. Η ξηρή σκόνη παγιδεύεται σε ένα πλαστικό δίχτυ που έχει μέγεθος 3*3mm και καλύπτει το άνοιγμα της χοάνης και συλλέγεται με έκπλυση της χοάνης με καθαρό νερό.



Σχήμα 4-7 Διάταξη για τη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων στην Κρήτη το 1988

Η συγκέντρωση της σκόνης διήρκησε 4 χρόνια και οι μετρήσεις ήταν ανά εποχή. Οι ερευνητές βρήκαν συγκεντρώσεις σκόνης από 11mm (Μάρτιο – Ιούνιο, 1990 στην Ιεράπετρα) έως 878.2mm (Ιούλιο – Φεβρουάριο, 1990 στα Ανώγεια). Φαίνεται ότι η συλλεχθείσα σκόνη είναι περισσότερη στους βορειότερους σταθμούς σε σχέση με τους νότιους, γεγονός που εξηγείται και από την προστατευτική ικανότητα του βουνού και τις καθοδικές κινήσεις του ανέμου. Μάλιστα, στη συγκεκριμένη έρευνα πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση και βρέθηκε υψηλή συγκέντρωση CaCO_3 , καολινίτη και χαλαζία, ορυκτά που βρίσκονται στην έρημο Σαχάρα (Nihlen et al., 1995).

4.7.5 Χημική σύσταση της μεταφερόμενης σκόνης από τη Σαχάρα

Η σκόνη της Σαχάρας είναι σημαντική για την ανθρώπινη υγεία, την παραγωγικότητα των ωκεανών και το σχηματισμό των νεφών, για αυτό αποτελεί πρωταρχικό σκοπό η διερεύνηση της ανομοιογενούς χημικής της σύστασης. Βέβαια, οι εκπομπές σκόνης παρουσιάζουν αύξηση εξαιτίας της διάβρωσης, των ορυχείων, των βιομηχανικών δραστηριοτήτων, της υπερβόσκησης και των μεταβαλλόμενων ατμοσφαιρικών κατακρημνίσεων (Dentener et al., 1996). Οι ιδιότητες της ορυκτής σκόνης μεταβάλλονται κατά τη μεταφορά, όπως τα λεπτά αργιλικά ορυκτά μεταφέρονται μακριά από την πηγή σε αντίθεση με το χονδρότερο κλάσμα σωματιδίων και τα σωματίδια της σκόνης και τα οποία υπόκεινται σε χημικές, ετερογενείς αντιδράσεις στην αέρια φάση (Morales, 1986; Park et al., 2004; Zhu et al., 2010).

Έτσι πολλές μελέτες έχουν προβεί σε ορυκτολογική ανάλυση των σωματιδίων της σκόνης (**Πίνακας 4-2**) και φαίνεται ότι τα κυρίαρχα ορυκτά είναι τα SiO_2 , Al_2O_3 , και CaO . Η σκόνη Σαχάρας μεταφέρει ταυτόχρονα και οργανικό υλικό (φυτικό και ζωικό) μικρής πυκνότητας που ακόμα και με μέτρια ένταση ανέμου μπορεί να μεταφερθεί σε μεγάλες αποστάσεις.

Πίνακας 4-2 Χημική σύσταση των σωματιδίων που συναντούμε στη νοτιοδυτική Ευρώπη (Goudie and Middleton, 2006)

Χημικά Συστατικά	Ποσοστό επί του συνολικού βάρους της σκόνης (%)
SiO_2	51.79
Al_2O_3	12.79
Fe_2O_3	5.32
MgO	3.86
CaO	12.19
Na_2O	1.16
K_2O	3.26
TiO_2	1.01
P_2O_5	0.42
Σύνολο	91.8

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πρόσληψη των θεικών επί της ανόργανης - ορυκτής σκόνης είναι σημαντική τόσο για τις ιδιότητες που αποκτούν τα σωματίδια της σκόνης, αλλά και για τον ίδιο τον κύκλο του θείου, αφού οι θεικές επιστρώσεις στην σκόνη μειώνουν τη δραστηριότητα των πυρήνων πάγου της ορυκτής σκόνης (Pruppacher and Klett, 1997; Cziczo et al., 2009). Η ορυκτή σκόνη είναι μία ιδιαίτερη πηγή σιδήρου σε ανοικτές, θρεπτικές θάλασσες και καθώς περνά ο χρόνος αιώρησής της παρατηρείται μείωση του pH, αυξάνοντας έτσι τη διαλυτότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα του σιδήρου (Gassó et al., 2010; Kumar et al., 2010). Η σκόνη αποτελείται από δραστικά συστατικά όπως ο ιλμενίτης (FeTiO_2), το ρουτίλιο (TiO_2) και τα οξείδια του σιδήρου, τα οποία σχετίζονται με το θείο. Άλλωστε, βρέθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις σε τιτάνιο σε περιοχές όπου η παραγωγή θεικών ήταν αυξημένη όπως στα νησιά του Cape Verde (Harris et al., 2012).

Επίσης, πρόσφατη μελέτη που έλαβε χώρα στο Erdemli της Τουρκίας, στο Ηράκλειο της Κρήτης και στο Tel Shikmona του Ισραήλ κατά τη διάρκεια δύο μεγάλων επεισοδίων από τη Σαχάρα (Οκτώβριος 2007 και Απρίλιος 2008) έδειξε ότι οι περιοχές της Τουρκίας και του Ισραήλ επηρεάζονται από τη σκόνη της ερήμου της Μέσης Ανατολής, ενώ αντιθέτως το Ηράκλειο επηρεάζεται από τη σκόνη Σαχάρας. Στην περίπτωση όλων των επεισοδίων σκόνης βρέθηκαν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ανθρωπογενών ρύπων κατά 1.1-4.1 φορές υψηλότερες από εκείνες που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια μη επεισοδίων σκόνης. Αυτό το είδος σκόνης φαίνεται να ενισχύεται όταν η ορυκτή σκόνη φτάνει στις πόλεις μετά τη διέλευσή της από κατοικημένες και βιομηχανικές αστικές περιοχές. Παρόλα αυτά, η χαμηλότερη συγκέντρωση ανθρωπογενών ρύπων παρουσιάζεται στο Ηράκλειο κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης, αφού η επίδραση μεταξύ θεικών και ορυκτής σκόνης είναι ελάχιστη (Kocak et al., 2012).

4.7.6 Επίδραση σκόνης Σαχάρας στην υγεία

Σύγχρονη μελέτη (de Longueville et al., 2013) είχε ως στόχο τη συστηματική ανασκόπηση της βιβλιογραφίας για τη συγκέντρωση και αξιολόγηση της σχέσης μεταξύ της σκόνης των ερήμων και της ανθρώπινης υγείας ανά τον κόσμο, αναδεικνύοντας το πρόβλημα της αλλοίωσης της ποιότητας του αέρα λόγω της σκόνης. Στην ανασκόπηση αυτή έχουν διερευνηθεί 50 εργασίες από το 1999 έως το 2011 αναφερόμενες στις επιπτώσεις της σκόνης στην ανθρώπινη υγεία με την πρόκληση αναπνευστικών, καρδιαγγειακών και καρδιοαναπνευστικών παθήσεων. Καμία, όμως, από τις μελέτες αυτές δεν έχει διεξαχθεί στη Δυτική Αφρική, παρά την εγγύτητα της ερήμου Σαχάρα, η οποία παράγει περίπου το ήμισυ της παγκόσμιας ορυκτής σκόνης (de Longueville et al., 2013).

Οι συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικής σκόνης σε πολλές περιοχές της ερήμου είναι υψηλές και πολλές φορές υπερβαίνουν τα συνιστώμενα επίπεδα υγείας για τα αιωρούμενα σωματίδια. Στο Μαλί οι Nickling and Gillies (1993) βρήκαν ότι οι μέσες συγκεντρώσεις των σωματιδίων στον ατμοσφαιρικό αέρα κατά τη διάρκεια του Απριλίου-Ιουνίου ήταν $1176\mu\text{g}/\text{m}^3$, τιμή που υπερβαίνει τα συνιστώμενα διεθνή πρότυπα κατά μία τάξη μεγέθους (Nickling and Gillies, 1993). Παρόμοιες συγκεντρώσεις έχουν καταγραφεί κατά τη διάρκεια γεγονότων μεγάλης κλίμακας μεταφοράς σκόνης και σε περιοχές μακριά από την έρημο.

Επιπλέον η βιολογική και η χημική-ορυκτολογική σύσταση της αφρικανικής σκόνης είναι αυτές που ασκούν τη σημαντικότερη επίδραση στην υγεία, όπως τονίζεται σε μια

πρόσφατη μελέτη επισκόπησης (Karapasiou et al., 2012). Τα μετεωρολογικά σενάρια ευνοούν την εξαγωγή της αφρικανικής σκόνης προς τη δυτική ή ανατολική Μεσόγειο, εκπέμποντας τα μεταλλικά σωματίδια της ανατολικής Αφρικής στις δυτικές περιοχές της Μεσογείου. Αντιθέτως, σκόνη από τις βορειοδυτικές περιοχές της ερήμου συνήθως επιδρά στις ανατολικότερες περιοχές της Μεσογείου, εξαιτίας της επίδρασης της σάρωσης που δημιουργείται από τις κινήσεις χαμηλών πιέσεων. Λαμβάνοντας υπόψη τις σημαντικές διαφορές στη φυσική σύνθεση του εδάφους από τη μια περιοχή στην άλλη στη βόρεια Αφρική (Moreno et al., 2006), την παρατήρηση των μεταβολών των ανθρωπογενών ρύπων που ταξιδεύουν μαζί με τη γεωγενή σκόνη (Perrino et al., 2010; Rodríguez et al., 2011), καθώς και τη σύσταση της σκόνης σε μικροοργανισμούς, οι επιπτώσεις στην υγεία (Perez et al., 2008; Polymenakou et al., 2008; Tobías et al., 2011), στα οικοσυστήματα (Arimoto, 2001) και στο κλίμα (IPCC, 2007; Papadimas et al., 2012) ποικίλλουν σημαντικά.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα επίπτωσης της σκόνης στην υγεία αποτελεί το επεισόδιο στις 9 Αυγούστου του 2005. Θύελλα σκόνης έπληξε τη Βαγδάτη και οδήγησε περίπου 1000 άτομα κατοίκων στο νοσοκομείο της πόλης με δυσφορία-δύσπνοια, ένας εκ των οποίων έχασε τη ζωή του. Η εισπνοή των λεπτών σωματιδίων μπορεί να επιδεινώσει ή/και να προκαλέσει παθήσεις όπως η βρογχίτιδα, η πυριτίαση (εισπνοή κρυσταλλικού πυριτίου) και το εμφύσημα (Griffin et al., 2001; Garrison et al., 2006). Αυξημένα περιστατικά πυριτίασης και πνευμονοκονίασης έχουν αναφερθεί στους Βεδουίνους στη έρημο Νέγκεβ στο νότιο Ισραήλ (Bar-Ziv and Goldberg, 1974), ενώ η σκόνη που μεταφέρεται με τον άνεμο Ιρίφι από τη δυτική Σαχάρα είναι υπεύθυνη για την επιπεφυκίτιδα που είναι συχή μεταξύ των νομάδων της χώρας (Goudie and Middleton, 2006).

Πιο πρόσφατη μελέτη που αφορούσε το παιδικό άσθμα στην περιοχή των Μπαρμπάντος έδειξε ότι δεν υπάρχει βραχυπρόθεσμη συσχέτιση με τα επεισόδια σκόνης από την Σαχάρα, εκτός τις μέρες κατά τις οποίες οι συγκεντρώσεις είναι αρκετά υψηλές (Prospero et al., 2008). Επομένως, συνίσταται η διερεύνηση της επίπτωσης της σκόνης από τη Σαχάρα σε γενικότερα αναπνευστικά προβλήματα (όχι μόνο παιδικό άσθμα) και σε καρδιαγγειακές παθήσεις στην περιοχή των Μπαρμπάντος. Έχει άλλωστε αποδειχθεί ότι τα άτομα με χρόνια αποφρακτική νόσο των αεραγωγών και με ιστορικό καρδιαγγειακής νόσου βρίσκονται σε μεγαλύτερο κίνδυνο από τη σωματιδιακή ρύπανση (Monteil, 2008). Αυτή η επιβλαβής φυσικής προέλευσης σκόνης της ερήμου έναντι της υγείας, έχει ενισχυθεί από πλήθος μελετών όπως αυτή της Κύπρου (Middleton et al., 2008b), όπου έδειξε ότι τα επεισόδια της σκόνης της Σαχάρας επιδείνωσαν την επίδραση των σωματιδίων PM_{10} στην καρδιαγγειακή νοσηρότητα. Παρόμοια αποτελέσματα έχουν προκύψει λόγω της μεταφοράς της σκόνης σε μεγάλες αποστάσεις προκαλώντας με καρδιοαναπνευστικά προβλήματα στην Ταιβάν (Chan et al., 2008), στη Νότια Κορέα (Bell et al., 2008a) και στην Ιαπωνία (Park et al., 2005).

Στην περιοχή της Ισπανίας (Βαρκελώνη – Μαδρίτη) τις μέρες κατά τις οποίες δεν καταγράφεται το φαινόμενο της μεταφοράς σκόνης από την έρημο της Σαχάρας υπάρχει συσχέτιση των σωματιδίων $PM_{2.5}$ με τη θνησιμότητα, ενώ κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από την έρημο της Σαχάρας η θνησιμότητα σχετίζεται θετικά με τις αυξημένες συγκεντρώσεις των σωματιδίων $PM_{10-2.5}$ (Linares et al., 2010). Αυτό αποδεικνύει ότι τα μεγαλύτερα σωματίδια καθίστανται επικίνδυνα για την ανθρώπινη υγεία κατά τη

διάρκεια ενός επεισοδίου μεταφοράς σκόνης από την έρημο της Σαχάρας. Επιπλέον, πρόσφατη μελέτη που έλαβε χώρα στη Βαρκελώνη από το Μάρτιο έως το Δεκέμβριο του 2007 κατέγραψε 149 μέρες με επεισόδια Σαχάρας (κυρίως την άνοιξη και το καλοκαίρι) καταγράφοντας τρεις τάξεις μεγέθους σωματιδίων $PM_{10-2.5}$, $PM_{2.5-1}$ και PM_1 , τα οποία τα συσχέτισε με τη θνησιμότητα λόγω των σημειωθέντων αναπνευστικών, καρδιαγγειακών και εγκεφαλοαγγειακών περιστατικών. Έτσι τα αποτελέσματα ήταν ότι κατά τις ημέρες με επεισόδια Σαχάρας διπλασιάζεται η θνησιμότητα λόγω καρδιαγγειακών περιστατικών με χρονική υστέρηση μίας μέρας και η θνησιμότητα λόγω αναπνευστικών τις επόμενες δύο μέρες σε σχέση με τις μέρες που δεν καταγράφονται επεισόδια Σαχάρας (Perez et al., 2012).

Ο κίνδυνος για την υγεία κατά τη διάρκεια του φαινομένου της μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα αυξάνεται λόγω των βιολογικών υλικών που περιέχονται σε αυτή, η οποία αποτελεί μέσο μεταφοράς, επιβίωσης και πολλαπλασιασμού των μικροοργανισμών αυτών (McCarthy, 2001; Griffin, 2007). Έτσι, πολλές μελέτες υποστηρίζουν την πιθανότητα η σκόνη Σαχάρας να περιέχει τοξικά βιολογικά αλλεργιογόνα (Garrison et al., 2006; Polymenakou et al., 2008). Πρόσφατη μελέτη εξέτασε τη μικροβιακή ποιότητα των αιωρούμενων σωματιδίων που συλλέχτηκαν στην ανατολική Μεσόγειο κατά τη διάρκεια μιας βορειο-αφρικανικής αμμοθύελλας. Η έρευνα αυτή τόνισε ότι μια μεγάλη ποσότητα βακτηρίων που ανιχνεύονται στα λεπτά σωματίδια ($PM_{<2.5}$) είναι φυλογενετικά των ανθρώπινων παθογόνων που σχετίζονται με πολλές ασθένειες όπως η μηνιγγίτιδα, η πνευμονία και η βακτηριακία και θεωρούνται ότι επισύρουν παθολογικές αντιδράσεις, όπως ενδοκαρδίτιδα (Polymenakou et al., 2008). Πολυάριθμα άλλα είδη βακτηρίων, μυκήτων και ιών έχουν βρεθεί σε δείγματα σκόνης της ερήμου (Shinn et al., 2003; Kellogg and Griffin, 2006). Ακόμα είναι δυνατό οι μη βιολογικές ενώσεις στις σκόνες να προκαλέσουν αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία ή ακόμα και οι τοπικές συνθήκες μιας περιοχής είναι ικανές να αλλοιώσουν τις τοξικολογικές ιδιότητες της σκόνης. Πυριτικά και ανθρακικά ορυκτά συνθέτουν κυρίως τη σκόνη της Σαχάρας. Ενώ τα ορυκτά αυτά θεωρούνται αβλαβή, η σκόνη της Σαχάρας αποτελείται επίσης από διαλύτες μετάλλων, γνωστούς για τη δραστική τους ικανότητα. Έτσι, σε περιοχές όπου ως καύσιμο η βιομάζα καίγεται, τα σωματίδια αποτελούνται από τοξικό, δραστικό άνθρακα και η παρουσία ανθρωπογενούς SO_2 και NO_2 δρα καταλυτικά στο σχηματισμό δευτερογενών αιωρούμενων σωματιδίων γύρω από τον πυρήνα της ορυκτής σκόνης (Perez et al., 2008). Κατά τη διάρκεια επεισοδίων Σαχάρας, η σκέδαση της ακτινοβολίας που οφείλεται στη μείωση της ορατότητας της ηλιακής ακτινοβολίας δημιουργεί ευνοϊκές συνθήκες συγκέντρωσης ανθρωπογενών ρύπων (Pey et al., 2010). Σε αυτή τη κατεύθυνση σύγχρονη έρευνα στην Αλγερία έδειξε ότι η σκόνη από την έρημο μπορεί να περιέχει καρκινογόνες και μεταλλαξιογόνες ενώσεις (PAH και οξυγονωμένα οργανικά όπως φθαλικές ενώσεις) καθώς επίσης και αλκαλικά οξέα (Ladji et al., 2010).

Μελέτη που διεξήχθη στην Αθήνα έδειξε ότι αύξηση των αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} κατά $10\mu g/m^3$ σχετίζεται με αύξηση την επόμενη μέρα της θνησιμότητας στο ευρύτερο λεκανοπέδιο, επηρεάζοντας περισσότερο τους ηλικιωμένους και τις γυναίκες (Samoli et al., 2011a). Στην Κρήτη οι Nastos et al. (2011) έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια ενός ισχυρού επεισοδίου Σαχάρας (22-23 Μαρτίου 2009) αυξήθηκαν μέσα στην ίδια μέρα, οι εισαγωγές με αναπνευστικά προβλήματα, οι οποίες ήταν 5 φορές πιο αυξημένες από τις μέσες ημερήσιες εισαγωγές. Συγκεκριμένα, η συγκέντρωση της σκόνης είχε φτάσει τα $252\mu g/m^3$ στην πόλη του Ηρακλείου δημιουργώντας κατάσταση δυσφορίας, η οποία

επιδεινώθηκε από την ύπαρξη ανέμου Föhn προκαλώντας ακραίες βιοκλιματικές συνθήκες (Nastos et al., 2011; Nastos, 2012).

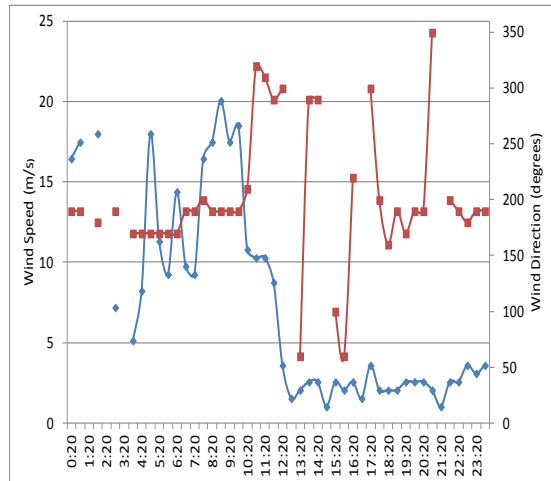
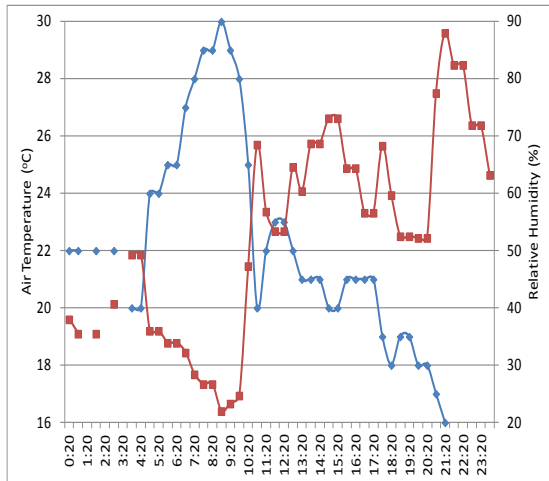
4.8 Συνδυασμός επεισοδίων μεταφοράς σκόνης Σαχάρας και ανέμων Föhn στο Ηράκλειο

Στην περιοχή μελέτης μελετήθηκαν και συνδυάστηκαν ήδη καταγεγραμμένα επεισόδια μεταφοράς σκόνης με μετεωρολογικά δεδομένα που αφορούσαν μισα-ωρες τιμές της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της νέφωσης και της ταχύτητας ανέμου, με σκοπό να αναγνωριστεί η ανάπτυξη των ανέμων Föhn κατά τη διάρκεια αυτών των ημερών.

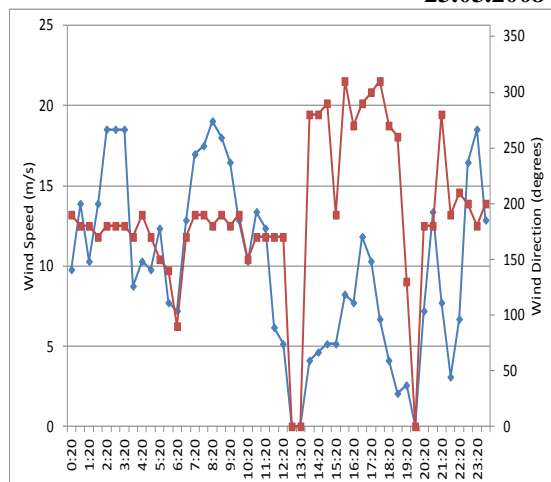
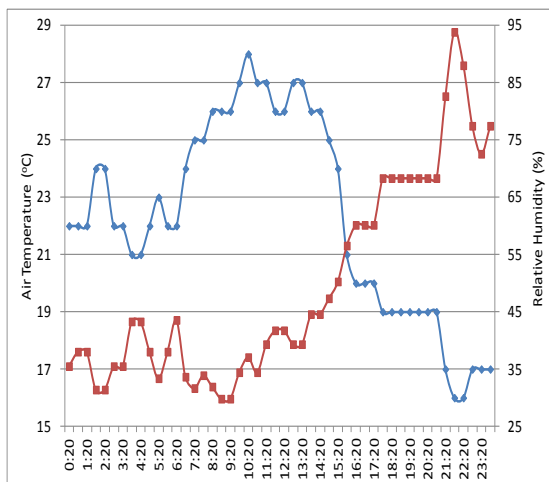
Έτσι, θέτοντας συγκεκριμένα κριτήρια όπως μια ασυνήθιστη αύξηση της θερμοκρασίας αέρα συνδυαζόμενη με μια ανάλογη μείωση της υγρασίας και αύξηση της ταχύτητας του νοτιοδυτικού ανέμου, βρέθηκαν 5 περιπτώσεις εντός της περιόδου 2000-2010. Αυτές οι 5 περιπτώσεις διέπονται ταυτόχρονα από τις συνεργιστικές επιδράσεις των επεισοδίων της σκόνης Σαχάρας και των ανέμων Föhn, που έχουν συνέπειες για τη δημόσια υγεία.

Το πρώτο επεισόδιο έλαβε χώρα στις 23 Μαρτίου 2008, υποδεικνύοντας αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα από τους 20°C στους 30°C εντός 3 ωρών και μείωση της σχετικής υγρασίας από 36% στους 21%. Επιπλέον, η ταχύτητα του ανέμου αυξάνεται από 8.06m/s σε 14.2m/s με διεύθυνση 170°-190°. Αυτές οι μεταβολές πραγματοποιήθηκαν μεταξύ των 5:20 και των 8:20 UTC. (Σχήμα 4-8). Αυτό το κύμα θερμότητας (=flash heat wave) είναι τυπικό αποτέλεσμα ανέμου Föhn, που αναπτύχθηκε λόγω μετεωρολογικών συνθηκών σχετιζομένων με επεισόδια μεταφοράς σκόνης Σαχάρας πάνω από την περιοχή εξέτασης όπως απεικονίζεται στο Σχήμα 4-9. Το πραγματικό χρώμα της εικόνας Modis (Σχήμα 4-9 αριστερό διάγραμμα) και η σύνθετη ανωμαλία του διανύσματος του ανέμου στο επίπεδο των 850hPa (Σχήμα 4-9 δεξί διάγραμμα) για την 23^η Μαρτίου 2008, αποκαλύπτει τον έντονο χαρακτήρα του επεισοδίου Σαχάρας πάνω από το νησί της Κρήτης.

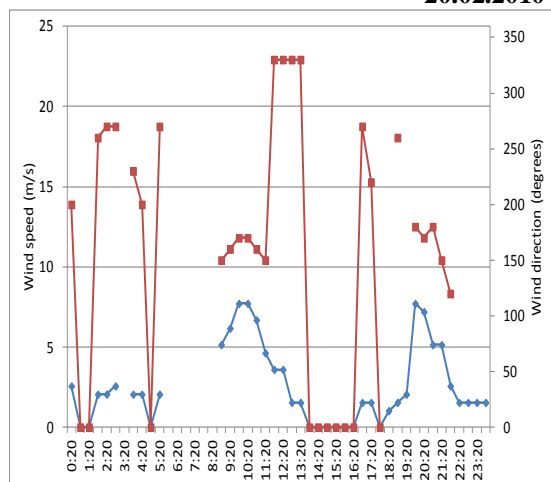
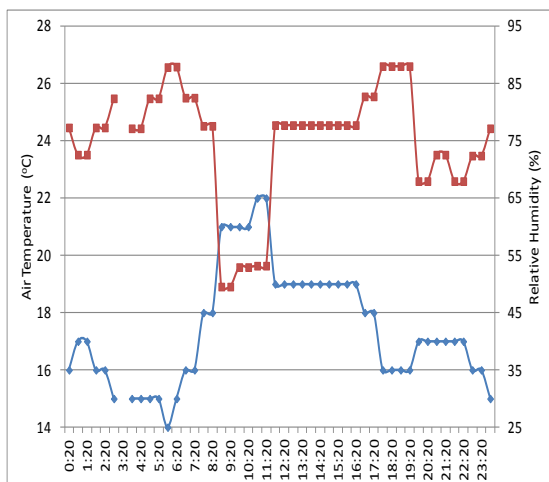
Στη δεύτερη περίπτωση, στις 20 Φεβρουαρίου 2010, η θερμοκρασία αέρα αυξάνεται από 22°C στους 28°C, συσχετιζόμενη με μείωση της σχετικής υγρασίας από 43.6% σε 37.1%. Η ταχύτητα ανέμου μεταβάλλεται από 5.13m/s σε 7.33m/s με διεύθυνση 170°. Το φαινόμενο διήρκησε 4 ώρες από τις 06:20 ως τις 10:20 UTC. Όσον αφορά τις υπόλοιπες τρεις περιπτώσεις, συνέβησαν παρόμοιες μεταβολές στις εξεταζόμενες μετεωρολογικές παραμέτρους, δηλαδή στις 26 Δεκεμβρίου 2010, η θερμοκρασία αέρα αυξήθηκε κατά 6 βαθμούς (από 16°C σε 22°C) και η σχετική υγρασία έπεσε κατά 30% (από 82.5% σε 53.2%) εντός 4 ωρών (από τις 06:50 ως τις 10:50 UTC). Επιπρόσθετα, στις 28 Φεβρουαρίου 2006, η θερμοκρασία αέρα παρουσίασε αύξηση τεσσάρων βαθμών (από 17°C σε 21°C) και η σχετική υγρασία έπεσε κατά 10% (από 45% σε 35%) μέσα σε 4 ώρες (από τις 06:20 ως τις 10:50 UTC) και τέλος στις 8 Μαρτίου 2010, η θερμοκρασία αέρα αυξήθηκε 2 βαθμούς (από 22°C σε 24°C) και παράλληλα μειώθηκε η σχετική υγρασία κατά 10% (από 46% σε 36%) εντός 2 ωρών (από τις 05:20 ως τις 06:20 UTC). Σε όλες τις περιπτώσεις, η ταχύτητα του ανέμου παρουσίασε απότομη αύξηση, έχοντας διεύθυνση που ανήκει πάντοτε στην νότιο-δυτική διεύθυνση (Σχήμα 4-8) (Nastos and Bleta, 2012; Nastos et al., 2013a).



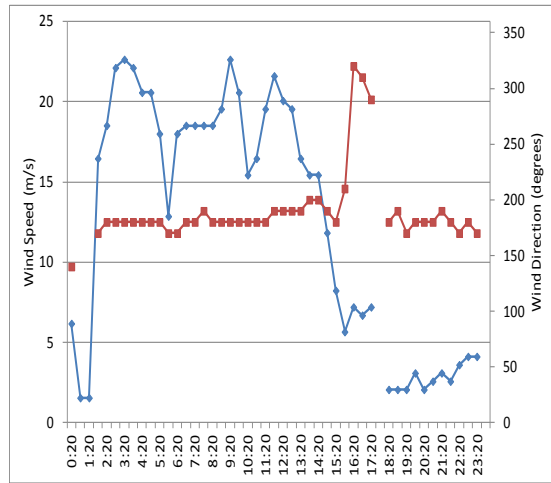
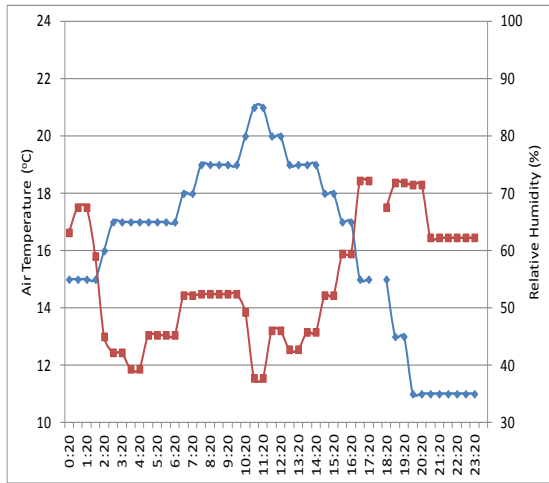
23.03.2008



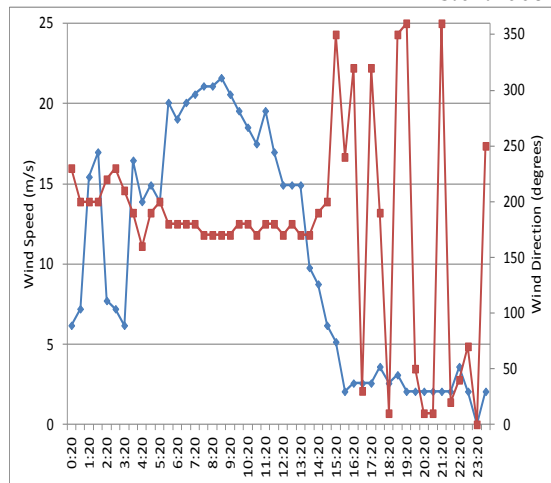
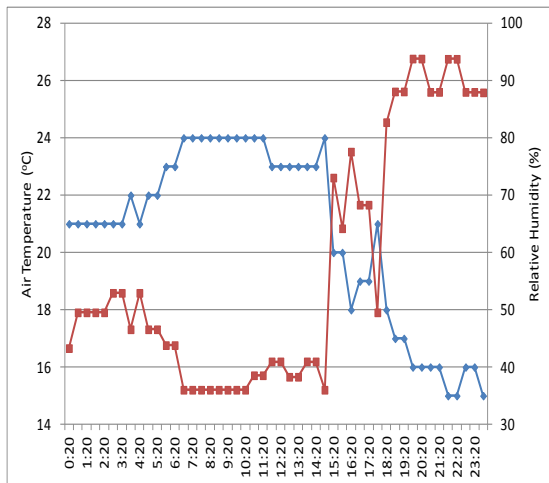
20.02.2010



26.12.2010

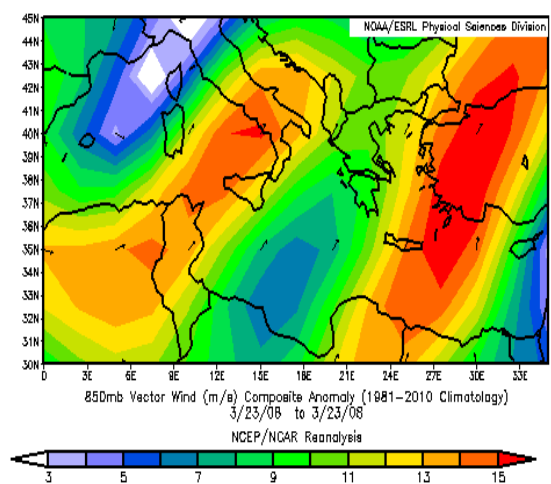
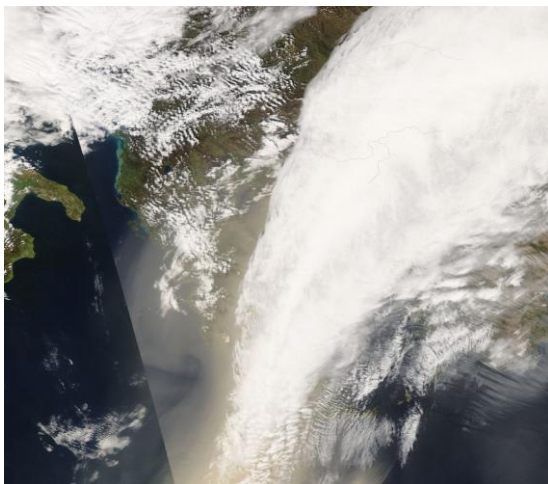


28.02.2006

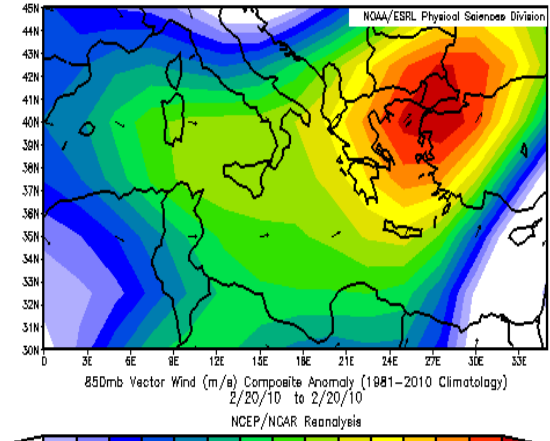
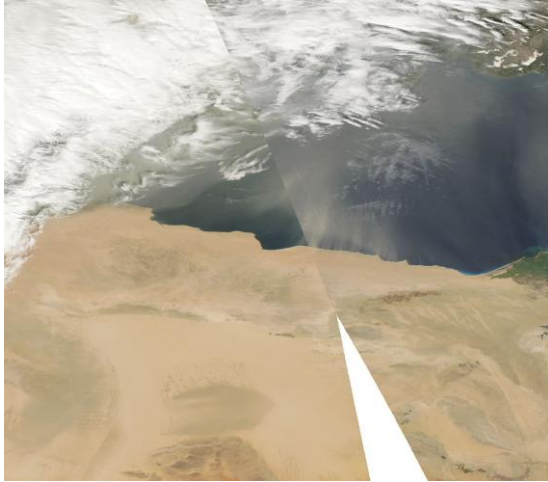


08.03.2010

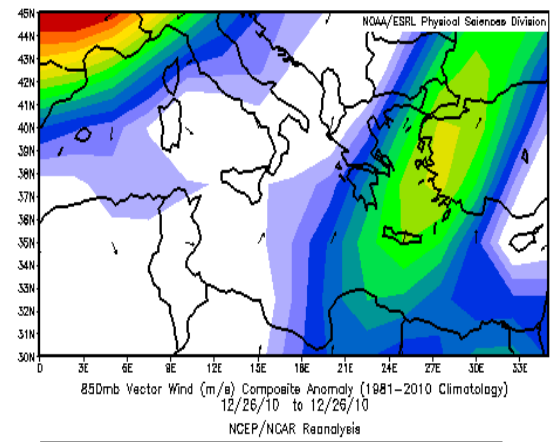
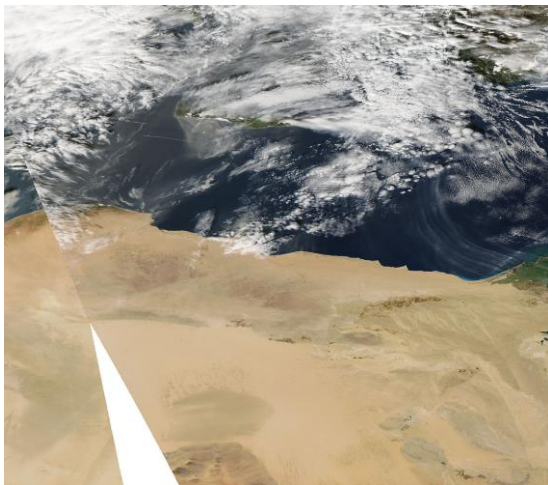
Σχήμα 4-8 Ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας αέρα (μπλε) και της σχετικής υγρασίας (κόκκινο) (αριστερά), της ταχύτητας του ανέμου (μπλε) και της κατεύθυνσης του ανέμου (κόκκινο) (δεξιά), για τις πέντε ημερομηνίες που εμφανίζουν φαινόμενο Föhn κατά τη διάρκεια έντονων επεισοδίων Σαχάρας πάνω από την Κρήτη (Nastos and Bleta, 2012)



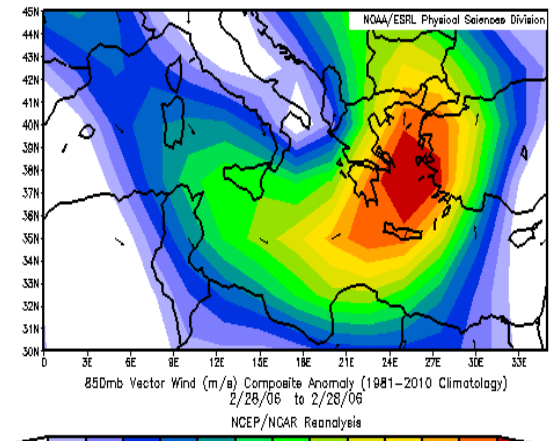
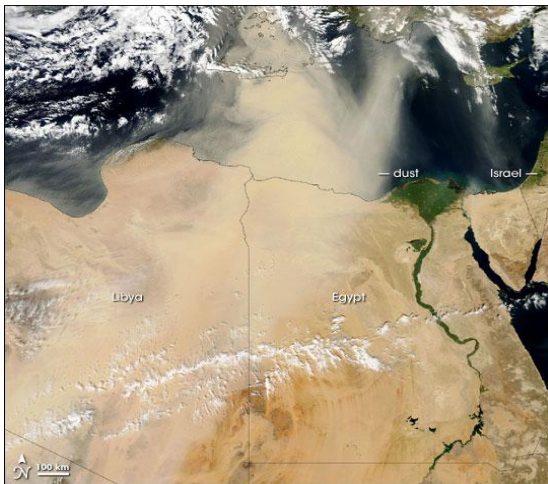
23.03.2008



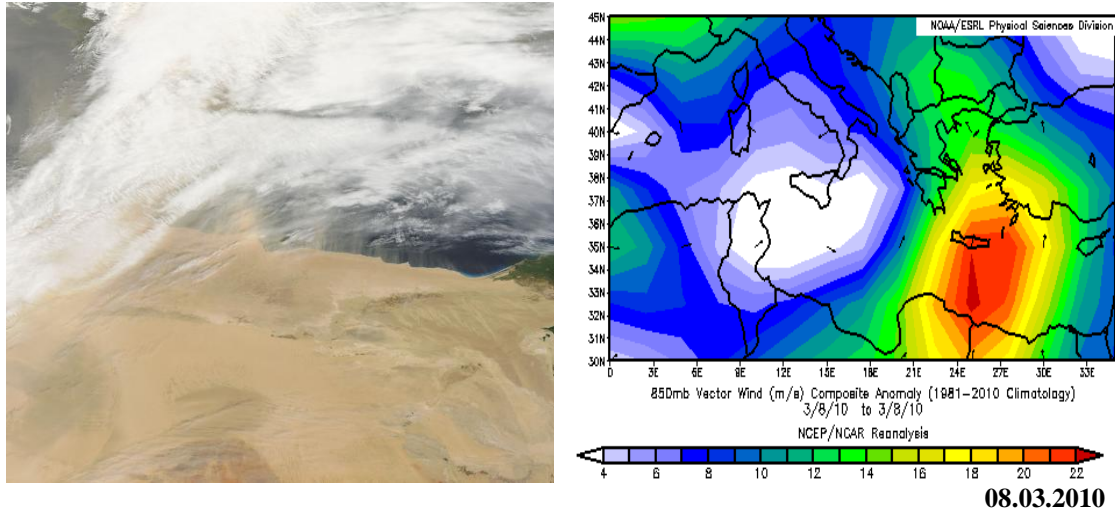
20.02.2010



26.12.2010



28.02.2006

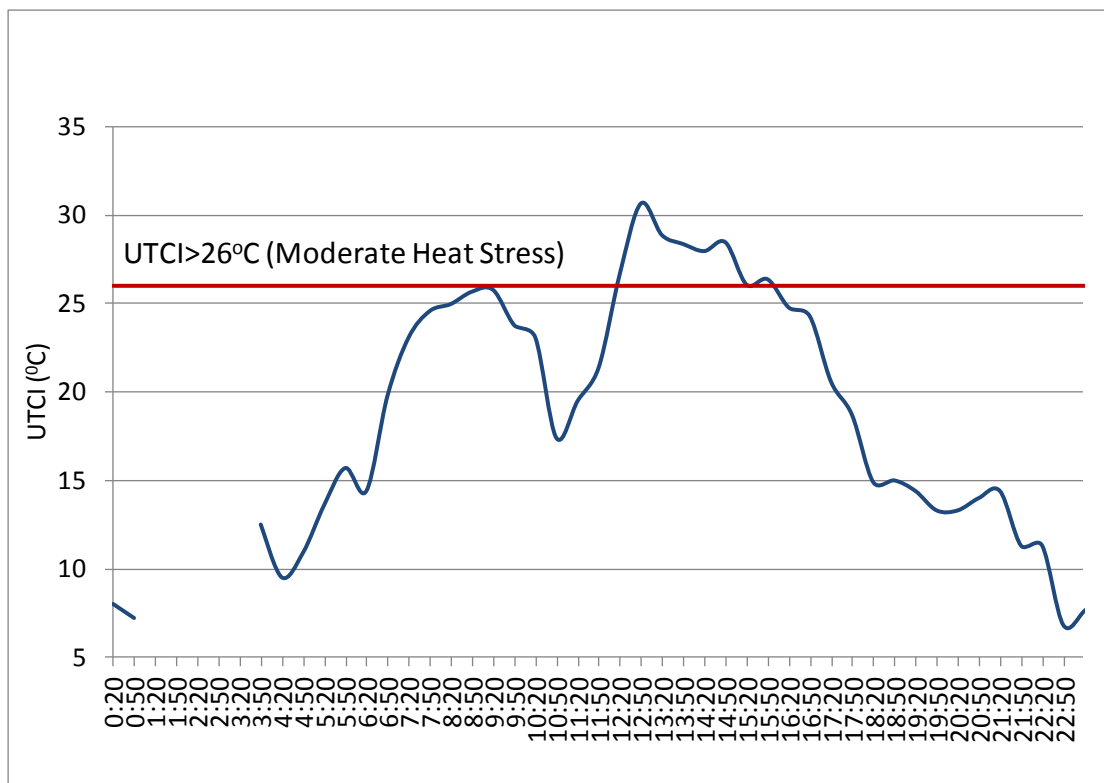
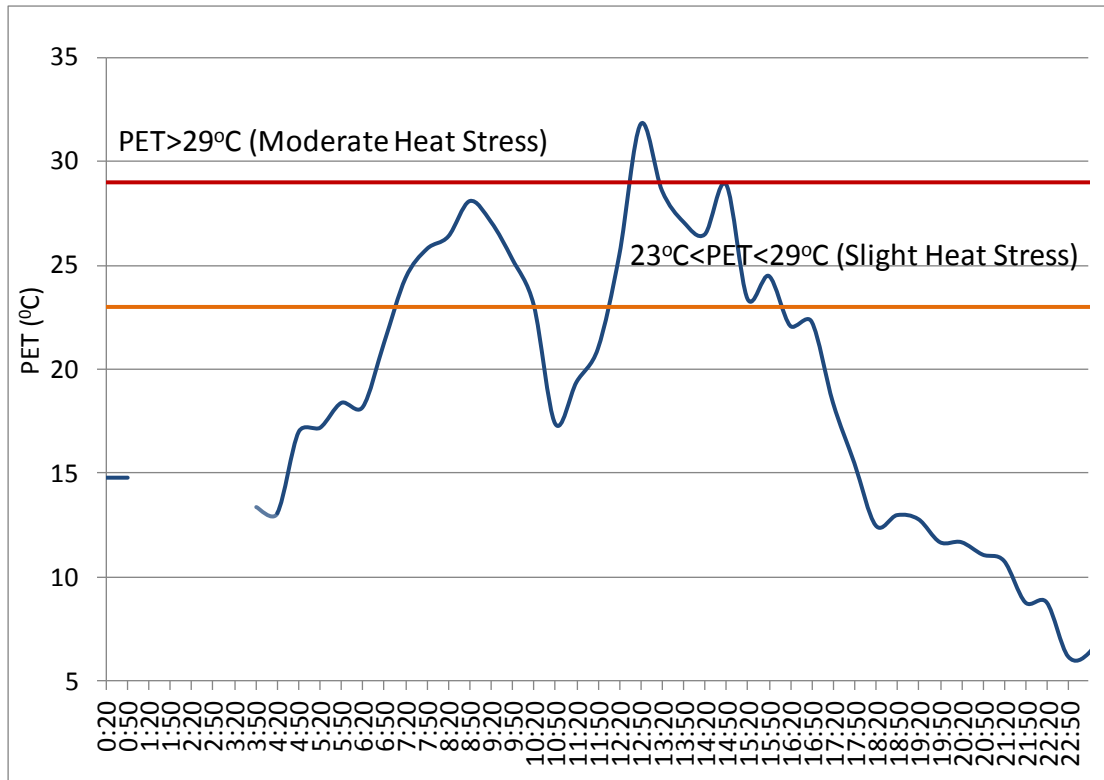


Σχήμα 4-9 Φωτογραφίες αληθινού χρώματος Modis (αριστερά) και η σύνθετη ανωμαλία του διανύσματος του ανέμου στο επίπεδο των 850hPa (δεξιά), για τις πέντε ημερομηνίες που εμφανίζουν φαινόμενο Föhn κατά τη διάρκεια έντονων επεισοδίων Σαχάρας πάνω από την Κρήτη (Nastos and Bleta, 2012)

4.9 Βιοκλιματικές συνθήκες κατά τη διάρκεια των επεισοδίων Σαχάρας και των ανέμων Föhn στο Ηράκλειο

Η ανάπτυξη των ανέμων Föhn κατά τη διάρκεια των επεισοδίων σκόνης από τη Σαχάρα που εξετάστηκαν παραπάνω επηρεάζει τις βιοκλιματικές συνθήκες στην πόλη του Ηρακλείου (Nastos et al., 2013), υπολογιζόμενες με τους βιοκλιματικούς δείκτες PET και UTCI, χρησιμοποιώντας το μοντέλο RayMan (θα γίνει λόγος στο επόμενο Κεφάλαιο).

Μελετήθηκε, λοιπόν, πιο διεξοδικά το πρώτο επεισόδιο της 23^{ης} Μαρτίου 2008, όπου παρατηρήθηκε ασυνήθιστη αύξηση των τιμών του δείκτη PET τις πρώτες πρωινές ώρες, η οποία φαίνεται να σχετίζεται με το φαινόμενο Föhn, δημιουργώντας ήπια θερμική καταπόνηση (slight heat stress), γεγονός μη φυσιολογικό δεδομένης της ώρας και της εποχής εμφάνισης. Όσον αφορά το δείκτη UTCI, παρατηρήθηκε ομοίως χαρακτηριστικό άλμα φτάνοντας σε κατάσταση μέτριας θερμικής καταπόνησης – στρες (moderate heat stress) (Σχήμα 4-10). Η διαφορά στην αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών υπάρχει εξαιτίας του ορισμού του δείκτη UTCI, ο οποίος έχει σχεδιαστεί έτσι ώστε οι τιμές του να αντιπροσωπεύουν ένα ευρύ φάσμα θερμοκρασιών αέρα. Στο κλίμα της Κρήτης δεν καταγράφονται πολύ χαμηλές και πολύ υψηλές θερμοκρασίες, έτσι κατά κάποιο τρόπο ο δείκτης UTCI υποτιμά τις βιοκλιματικές συνθήκες σε σύγκριση με το δείκτη PET. Παρόμοια ανώμαλη διακύμανση του PET και του UTCI εμφανίζεται και στις υπόλοιπες 4 περιπτώσεις



Σχήμα 4-10 Ημερήσια διακύμανση της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) (άνω διάγραμμα) και του παγκόσμιου θερμοκικού δείκτη κλίματος (UTCI) (κάτω διάγραμμα) για την ημέρα της 23^{ης} Μαρτίου 2008, όταν εμφανίζεται το φαινόμενο Föhn κατά τη διάρκεια έντονου επεισοδίου σκόνης Σαχάρας πάνω από την Κρήτη (Nastos et al., 2013a)

Επιπλέον, σε προγενέστερη μελέτη οι Νάστος και Ματζαράκης μελέτησαν τις εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών προβλημάτων κατά τις μέρες μη μεταφοράς σκόνης και βρέθηκαν 15 στον αριθμό, ενώ κατά τη διάρκεια της 23^{ης} Μαρτίου 2008, ο αριθμός ανέρχεται στους 32 ασθενείς. Το γεγονός αυτό δηλώνει τις συνεργιστικές επιπτώσεις του ανέμου Föhn και της υποβάθμισης της ποιότητας του αέρα λόγω της μεταφοράς αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια επεισοδίου Σαχάρας στις βιοκλιματικές συνθήκες (Nastos and Matzarakis, 2012), οι οποίες φανερώνουν ζεστές/ξηρές περιβαλλοντικές συνθήκες ως αποτέλεσμα των ισχυρών και στεγνών ανέμων στην υπήνεμη πλευρά του βουνού Ψηλορείτη (πόλη Ηρακλείου).

Τα αποτελέσματα της πραγματοποιηθείσης αυτής μελέτης έδειξαν αύξηση της τάξης των 10°C της θερμοκρασίας αέρα, μείωση κατά 30% της σχετικής υγρασίας εντός τεσσάρων ωρών κατά τη διάρκεια ειδικών επεισοδίων ανέμων Föhn, οι οποίοι προκαλούνται από συνοπτικές συνθήκες δημιουργίας επεισοδίων μεταφοράς σκόνης Σαχάρας πάνω από την Κρήτη (Nastos et al., 2013a).

5 Συλλογή Δεδομένων - Μεθοδολογία

5.1 Συλλογή δεδομένων

5.1.1 Κλιματολογικά δεδομένα

Τα κλιματολογικά δεδομένα της μελέτης αυτής προέρχονται από τους δεκαπέντε μετεωρολογικούς σταθμούς της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας (Ε.Μ.Υ.) της νήσου Κρήτης που αφορούν τις περιοχές: Σούδα, Ρέθυμνο, Ηράκλειο, Σητεία, Φουρνή, Ανώγεια, Καστέλι, Παλαιόχωρα, Τυμπάκι, Ιεράπετρα, Χανιά, Ζαρός, Γόρτυς, Βάμος και Τζερμιάδο. Τα δεδομένα αυτά αφορούν τις μέσες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας ανέμου και της νέφωσης για χρονικό διάστημα από το 1975 έως το 2004.

Επιπρόσθετα, στην περίπτωση του σταθμού του Ηρακλείου συγκεντρώθηκαν ωριαία μετεωρολογικά δεδομένα βαρομετρικής πίεσης, ολικής ηλιακής ακτινοβολίας, διεύθυνσης ανέμου, απόλυτης υγρασίας, ελάχιστης και μέγιστης θερμοκρασίας για χρονική περίοδο από το 2008-2013, με σκοπό να συσχετιστούν με τα δεδομένα αέριας ρύπανσης και τα ιατρικά δεδομένα.

5.1.2 Δεδομένα αέριας ρύπανσης

Τα δεδομένα της αέριας ρύπανσης περιλαμβάνουν τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων με γεωμετρική διάμετρο από 2.5 μm έως 80 μm τα οποία υπολογίστηκαν από δείγματα 7 ημερών κατά τη χρονική περίοδο 18 Νοεμβρίου 2011 έως 31 Μαΐου 2013 με ειδικούς παθητικούς δειγματολήπτες με την ονομασία Sigma-2. Ο πρώτος δειγματολήπτης ήταν τοποθετημένος στην περιοχή της Φινοκαλιάς, που βρίσκεται σε απόσταση 70km βορειοανατολικά της πόλης του Ηρακλείου (Mihalopoulos et al., 1997), μακριά από την αστική περιοχή σε απομακρυσμένο παραθαλάσσιο περιβάλλον και για αυτό θεωρείται ως σταθμός αναφοράς (Σχήμα 5-1 α). Ο δεύτερος δειγματολήπτης βρισκόταν στο κέντρο του Ηρακλείου (ΤΕΕ-ΕΤΑΚ) και ο τρίτος στο αεροδρόμιο του Ηρακλείου Νίκος Καζαντζάκης. Οι δύο τελευταίοι βρισκόνταν σε αστική περιοχή (Σχήμα 5-1 β), ενώ και οι τρεις δειγματολήπτες βρίσκονται κοντά στη θάλασσα.



Σχήμα 5-1 Οι θέσεις των παθητικών δειγματοληπτών Sigma-2 στην πόλη του Ηρακλείου και στη Φινοκαλιά (α) και εντός της πόλης του Ηρακλείου, στο κέντρο και στο αεροδρόμιο (β).



Σχήμα 5-2 Οι παθητικοί δειγματολήπτες Sigma-2 τοποθετημένοι στην περιοχή της Φινοκαλιάς (σταθμός 1-αριστερά), στο κέντρο του Ηρακλείου (σταθμός 2-κέντρο) και στο αεροδρόμιο Ν.Καζαντζάκης του Ηρακλείου (σταθμός 3-αριστερά)

Δειγματολήπτης τύπου Sigma-2

Οι τρέχουσες τεχνικές για την αξιολόγηση της έκθεσης στα αιωρούμενα σωματίδια έχουν περιορισμούς. Για παράδειγμα, οι μακροχρόνιες εκθέσεις συχνά εκτιμώνται από το μέσο όρο των διάφορων βραχυπρόθεσμων δειγμάτων. Η προσέγγιση αυτή για την εύρεση μιας αξιόπιστης μέσης τιμής είναι αρκετά δύσκολη, όμως πολλές φορές είναι δυνατόν τα βραχυπρόθεσμα επίπεδα να μεταβάλλονται με το χρόνο ή να αυτοσυσχετίζονται (Rappaport, 1994). Η μέση έκθεση στα σωματίδια μπορεί ακόμα να αξιολογηθεί με συνεχή παρακολούθηση, αλλά οι απαιτήσεις ρεύματος και η συντήρηση καθιστά την μέθοδο αυτή σχετικά ακριβή. Επιπρόσθετο πρόβλημα αποτελεί ο μεγάλος αριθμός δειγματοληπτών που απαιτούνται για κάποια είδη μελετών της έκθεσης. Ομοίως, οι πολλαπλοί δειγματολήπτες απαιτούνται για την παρουσίαση της διακύμανσης της έκθεσης μεταξύ ετερογενούς πληθυσμού. Πολλοί δειγματολήπτες απαιτούνται για τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ των επιπέδων της εσωτερικής, της εξωτερικής και της συνολικής ατομικής έκθεσης (Suh et al., 1992). Αυτά τα ζητούμενα ενδεχομένως να είναι δαπανηρά και εργαστηριακά απαιτητικά.

Έτσι λοιπόν υπήρξε η ανάγκη εύρεσης ενός μικρού παθητικού δειγματολήπτη αιωρούμενων σωματιδίων, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των μακροπρόθεσμων κατανομών και συγκεντρώσεων των μέσων μεγεθών. Οι παθητικοί δειγματολήπτες στοχεύουν στην παρακολούθηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα ή σε εσωτερικό χώρο για χρονικό διάστημα από ώρες έως και βδομάδες και έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν ως περιοχή παρακολούθησης ή ακόμα και ως προσωπικός δειγματολήπτης. Η μακρόχρονη δειγματοληψία με τη βοήθεια παθητικού οργάνου συνεισφέρει στη βελτίωση της εκτίμησης της μέσης μακροπρόθεσμης έκθεσης (Wagner and Leith, 2001). Ο παθητικός δειγματολήπτης είναι φτηνότερος και λειτουργεί ευκολότερα σε σχέση με τους συμβατικούς και ως εκ τούτου μπορεί ένας μεγάλος αριθμός παθητικών δειγματοληπτών να αναπτυχθεί. Ακόμα, λόγω του ελαφρύτερου βάρους του, του μικρότερου μεγέθους του και το ότι είναι αθόρυβος σε σύγκριση με τους δειγματολήπτες αντλίας, καθίσταται πιο αντιπροσωπευτικός στις μετρήσεις.

Το ζητούμενο της κατευθυντήριας οδηγίας των μηχανικών της Γερμανίας (VDI, 2011) ήταν η εύρεση μιας μεθόδου που θα χρησιμοποιούσε ένα δειγματολήπτη επιφανείας. Η απόθεση των σωματιδίων γίνεται σχεδόν αποκλειστικά μέσω της καθίζησης επί μιας οριζόντιας επιφανείας ενός δέκτη τοποθετημένης σε ένα κύλινδρο που προστατεύεται από τις επιδράσεις του ανέμου και της βροχής. Τα αιωρούμενα σωματίδια, αποτελώντας ένα μέρος της ατμοσφαιρικής εναπόθεσης επικάθονται πάνω στη διαφανή κολλώδη επιφάνεια του δειγματολήπτη. Άλλωστε, η απόδοση ενός δειγματολήπτη αερολυμάτων εξαρτάται σημαντικά από τη γεωμετρία της εισόδου του αέρα και των μετεωρολογικών συνθηκών και ιδίως της ταχύτητας του ανέμου. Η σπουδαιότητα των επιρροών αυτών αυξάνει με την αύξηση του μεγέθους των σωματιδίων και τη μείωση του όγκου δειγματοληψίας. Τα οπτικά φασματόμετρα των αιωρούμενων σωματιδίων έχουν συνήθως χαμηλούς όγκους δειγματοληψίας. Προκειμένου οι μετρήσεις χονδρότερων σωματιδίων (coarse particles) να είναι αξιόπιστες χρειάζεται μια είσοδος για χαμηλές ροές αέρα και ελαχιστοποίηση των επιδράσεων του ανέμου.

Συνεπώς ο δειγματολήπτης Sigma-2 αποτελεί ένα παθητικό σύστημα εγκλωβισμού της αέριας σκόνης και παρέχει τεχνική καθοδήγηση για τον ποσοτικό και ποιοτικό προσδιορισμό των σωματιδίων με διάμετρο μεγαλύτερη από 2.5μm καθώς είναι δυνατό να προσδιοριστεί και ο ρυθμός εναπόθεσης της γύρης. Σύμφωνα με τα παραπάνω, ο δειγματολήπτης Sigma-2 επιτρέπει την ηρεμία της έντασης του αέρα πριν από την είσοδό του, ξεπερνά το μειονέκτημα της χαμηλής ροής του αέρα που είναι χαρακτηριστικό των οπτικών φασματόμετρων και αυτό οδηγεί στην επέκταση των πεδίων εφαρμογής του σε υπαίθριες μετρήσεις (Kohler et al., 2007). Τα αιωρούμενα σωματίδια –καθώς και τα οργανικά σωματίδια- εισέρχονται στο εσωτερικό του συστήματος μέσω των πλευρικών σχισμών του δειγματολήπτη και συγκολλούνται επί ενός διάφανου φύλλου που βρίσκεται στη βάση του κυλίνδρου με διαστάσεις 6.8cm x 6.8cm. Τα επικαθούμενα σωματίδια προσδιορίζονται ποιοτικά και ποσοτικά μικροσκοπικά μέσω του υπολογισμού ενός αριθμού που αντιπροσωπεύει τον ρυθμό καθίζησής τους σε σχέση με το μέγεθός τους και τη συγκέντρωσή τους (VDI, 2013).



Σχήμα 5-3 Διάταξη παθητικού δειγματολήπτη με το φίλτρο συγκέντρωσης μάζας γύρης

Με αυτό τον τρόπο γίνεται διάκριση των ειδών των σωματιδίων (π.χ. ορυκτά εδάφους, ανθρωπογενή, αλάτι, γύρη) και για τον υπολογισμό της συγκέντρωσης της μάζας τους βασίζεται σε δεδομένα που διαβιβάζονται στο οπτικό μικροσκόπιο. Παράλληλα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί το φίλτρο μάζας γύρης (pollen mass filter – PMF), κυρίως στην περίοδο ανθοφορίας, για περαιτέρω ανάλυση και διερεύνηση γενετικώς τροποποιημένων οργανισμών χρησιμοποιώντας μεθόδους Μοριακής Βιολογίας βασιζόμενες στο DNA των οργανισμών (Hofmann et al., 2011). Επιπλέον, πληροί τις απαιτήσεις για επιπλέον χημικές ή ορυκτολογικές αναλύσεις (π.χ. ιον-χρωματογραφία, ICP-MS).

Η μεθοδολογία εύρεσης της συγκέντρωσης των σωματιδίων με τη βοήθεια παθητικού δειγματολήπτη έχει χρησιμοποιηθεί σε πολυάριθμες μελέτες ανά τον κόσμο. Πρόσφατη μελέτη στην Λισσαβόνα (Cahna et al., 2014) για τον προσδιορισμό της συγκέντρωσης της εσωτερικής ρύπανσης σε δημοτικά σχολεία αστικής και αγροτικής περιοχής χρησιμοποίησε τον παθητικό δειγματολήπτη Sigma-2, ενώ υπολογίστηκαν και οι συγκεντρώσεις των χημικών στοιχείων και ιόντων. Γίνεται, λοιπόν, αντιληπτό ότι η μέθοδος της παθητικής δειγματοληψίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να συγκρίνει διαφορετικά περιβάλλοντα ρύπανσης και να διερευνηθούν οι πηγές προέλευσης των σωματιδίων στο εσωτερικό χώρων. Αυτά τα συμπεράσματα αποτελούν σημαντική πηγή πληροφοριών, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω μείωση και βελτίωση της ποιότητας του αέρα.

Ακόμα για τον εντοπισμό σωματιδίων ηφαιστειακής προέλευσης και για τον υπολογισμό της ποσότητας των ηφαιστειακών σωματιδίων χρησιμοποιήθηκε παθητικός δειγματολήπτης Sigma-2. Μελέτη που διεξήχθη στην νοτιοδυτική Γερμανία και αφορούσε την έκρηξη του ηφαιστείου της Ισλανδίας, χρησιμοποίησε έξι παθητικούς δειγματολήπτες που συγκέντρωσαν ηφαιστειακή σκόνη και με τη βοήθεια των δειγματοληπτών βρέθηκε η συγκέντρωση των σωματιδίων και πραγματοποιήθηκε ορυκτολογική ανάλυση με τη χρήση ηλεκτρονικού μικροσκοπίου (Schleicher et al., 2012).

Επιπλέον, τοποθετήθηκαν παθητικοί δειγματολήπτες Sigma-2 σε δώδεκα μετεωρολογικούς σταθμούς της Γερμανίας για την μακρόχρονη παρακολούθηση της συγκέντρωσης των σωματιδίων PM_{10} και $PM_{2.5}$. Μάλιστα, στο τελευταίο κλάσμα ανιχνεύθηκε *black carbon* δηλώνοντας τη συμβολή των πηγών καύσης στα αιωρούμενα σωματίδια (Kaminski et al., 2013). Φαίνεται, λοιπόν, ότι οι παθητικοί δειγματολήπτες και συνεπώς και ο Sigma-2 μπορούν να συλλέγουν χονδρότερα κλάσματα ($PM_{\geq 2.5\mu m}$), βασιζόμενοι στην αρχή της καθίζησης (Νόμος του Stokes) (Grobéty et al., 2010). Συμπερασματικά, το παθητικό σύστημα Sigma-2 συλλέγει σωματίδια μεγέθους από 2.5 έως 100 μm και χρησιμοποιείται για συστηματικές μετρήσεις ποιότητας αέρα, παρακολουθώντας συγκεντρώσεις σωματιδίων σε χρονικά διαστήματα ημερών έως εβδομάδων (Norra et al., 2007) και για συλλογή δειγμάτων για περαιτέρω χημικές και ισοτοπικές αναλύσεις.

5.1.3 Ιατρικά δεδομένα

Η συλλογή των ιατρικών δεδομένων αφορούσε τα επείγοντα περιστατικά καρδιοαγγειακών και πνευμονολογικών προβλημάτων από τα δύο κύρια νοσοκομεία της πόλης του Ηρακλείου Πανεπιστημιακό Γενικό Νοσοκομείο Ηρακλείου (ΠΕ.ΠΑ.Γ.Ν.Η.) και Βενιζέλειο για το χρονικό διάστημα 1/1/2008 έως 31/5/2013.

5.2 Επεξεργασία δεδομένων

5.2.1 Βιοκλιματικό μοντέλο RayMan

Ο σκοπός του προγράμματος RayMan είναι να υπολογίζει τη μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας των επιφανειών (T_{mrt}) και τους διάφορους θερμικούς δείκτες για την ποσοτικοποίηση των θερμικών συνθηκών (thermal comfort, cold stress and heat stress). Το πρόγραμμα απαιτεί ως παραμέτρους εισόδου απλά μετεωρολογικά δεδομένα: τη θερμοκρασία αέρα, την υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου και την ολική ακτινοβολία ή την νεφοκάλυψη προκειμένου να υπολογιστεί η μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας. Επιπλέον, εκτιμά τις ροές ακτινοβολίας και τις επιπτώσεις των νεφών και των στερεών εμποδίων στις ροές ακτινοβολίας μικρού μήκους κύματος (Matzarakis et al., 2007; Matzarakis et al., 2010). Το μοντέλο, το οποίο λαμβάνει υπόψη πολύπλοκες δομές είναι κατάλληλο για τη χρήση και το σχεδιασμό σκοπών σε διαφορετικά τοπικά και περιοχικά επίπεδα (Matzarakis and Rutz, 2005).

Το τελικό αποτέλεσμα του μοντέλου είναι ο υπολογισμός της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας (T_{mrt}), η οποία απαιτείται στο μοντέλο ισοζυγίου ενέργειας για τον άνθρωπο. Ως εκ τούτου, είναι επίσης αναγκαία για την εκτίμηση του αστικού βιοκλίματος και των θερμικών δεικτών όπως της Προβλεπόμενης Μέσης Ψήφου - Predicted Mean Vote (PMV), της Φυσιολογικά Ισοδύναμης Θερμοκρασίας - Physiologically Equivalent Temperature (PET) και της Πρότυπης Αποτελεσματικής Θερμοκρασίας - Standard Effective Temperature (SET*) (Matzarakis and Rutz, 2005). Το κύριο πλεονέκτημα του λογισμικού RayMan είναι ότι διευκολύνει τον αξιόπιστο προσδιορισμό των μικροκλιματικών τροποποιήσεων των διαφόρων αστικών περιβαλλόντων, δεδομένου ότι το μοντέλο θεωρεί τις επιπτώσεις της ακτινοβολίας τροποποίηση της πολύπλοκης δομής της επιφάνειας (κτίρια, δέντρα) με μεγάλη ακρίβεια. Εκτός των μετεωρολογικών παραμέτρων, το μοντέλο απαιτεί δεδομένα που αφορούν τη γεωμορφολογία της περιοχής καθώς και προσωπικές παραμέτρους.

Έτσι με τη βοήθεια του λογισμικού RayMan πραγματοποιείται εκτίμηση του θερμικού περιβάλλοντος μέσα σε διαφορετικές αστικές και περιαστικές δομές. Το πρόγραμμα RayMan έχει δοκιμαστεί σε διαφορετικά περιβάλλοντα, ειδικά σε μελέτες που αφορούν την αστική μορφολογία. Αρκετές εκτιμήσεις έχουν γίνει στην πόλη του Freiburg (νοτιοδυτική Γερμανία) χρησιμοποιώντας τη φυσιολογική ισοδύναμη θερμοκρασία (PET) ως θερμικό δείκτη (Matzarakis and Mayer, 2003). Επιπρόσθετα, το μοντέλο παρέχει δυνατότητες έρευνας στην Εφαρμοσμένη Κλιματολογία και στην εκπαίδευση. Οι πρόσθετες πληροφορίες για την νέφωση και την παγκόσμια ακτινοβολία που περιλαμβάνονται στο μοντέλο μπορούν να είναι η βάση για τη σωστότερη εκτίμηση της ροής ακτινοβολίας. Χρήσιμες πληροφορίες μπορούν να προέλθουν σε υψηλότερο επίπεδο λεπτομέρειας με σκοπό τη δημιουργία κατοικιών προσανατολισμένες σύμφωνα με το κλίμα, την εγκατάσταση τουριστικών θέρετρων και το σχεδιασμό της αστικής δόμησης (Matzarakis and Rutz, 2005; Matzarakis et al., 2006). Από την άποψη της ανθρώπινης Βιομετεωρολογίας μπορούν να περιγραφούν οι θερμικοί δείκτες και να ποσοτικοποιηθούν όχι μόνο οι μέσες συνθήκες, αλλά και οι ακραίες συνθήκες όπως καύσωνες (Matzarakis and Mayer, 1991; Matzarakis et al., 2009; Matzarakis and Nastos, 2011) και άλλα θέματα που αφορούν το κλίμα και την υγεία.

Επιπρόσθετη δυνατότητα του μοντέλου είναι ο υπολογισμός του συντελεστή θέασης ουράνιου θόλου (Sky View Factor - SVF) με την εισαγωγή φωτογραφιών fish eye (Matushek and Matzarakis, 2010). Ο έλεγχος των αποτελεσμάτων των SVF υπολογισμών είναι απαραίτητος, αφού πρέπει να πραγματοποιείται έλεγχος των θεωρητικών μοντέλων με τη χρήση εικονικών στοιχείων με τη βοήθεια των φωτογραφιών fish eye. Σε μοντέλα και σε εικονικά στοιχεία πάντα μπορεί να υπάρχουν λάθη, αλλά οι φωτογραφίες fish eye αποτυπώνουν την πραγματική κατάσταση (Hämmerle et al., 2011).

5.2.2 Στατιστική ανάλυση

5.2.2.1 Παραγοντική ανάλυση (Factor analysis - FA)

Η παραγοντική ανάλυση (factor analysis) είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη μεταβλητότητα που παρατηρείται μεταξύ των συσχετιζόμενων μεταβλητών που ονομάζονται παράγοντες (=factors). Με την παραγοντική ανάλυση γίνεται αναζήτηση για κοινές παραλλαγές ως αντίδραση στις μη παρατηρούμενες λανθάνουσες μεταβλητές. Οι παρατηρηθείσες μεταβλητές είναι μοντελοποιημένες ως γραμμικοί συνδυασμοί των πιθανών παραγόντων, καθώς και των εσφαλμένων όρων. Οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται για τις αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των παρατηρούμενων μεταβλητών μπορούν να χρησιμοποιηθούν αργότερα για να μειωθεί το σύνολο των μεταβλητών σε ένα σύνολο δεδομένων.

Η παραγοντική ανάλυση (FA) εφαρμόζεται ως μέθοδος μείωσης των δεδομένων ή ανίχνευσης της δομής των δεδομένων. Οι κύριες εφαρμογές της FA είναι να μειώσει τον αριθμό των μεταβλητών και να ανιχνεύσει τη δομή στις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών προκειμένου να τις ταξινομήσει. Τα δεδομένα όμως έχουν περιορισμούς:

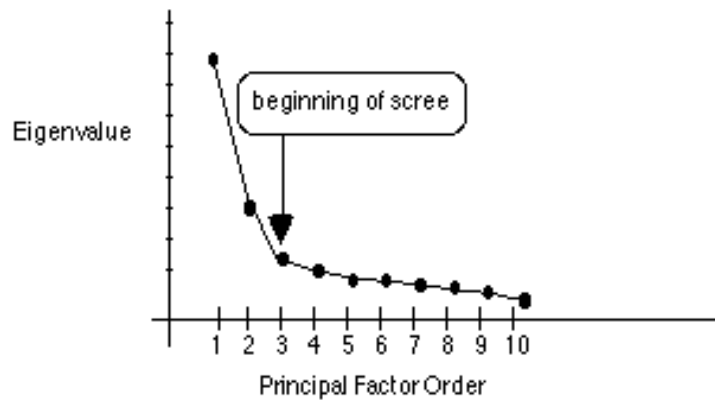
- τα δεδομένα πρέπει να έχουν μια διμεταβλητή κανονική κατανομή για κάθε ζεύγος των μεταβλητών και
- οι παρατηρήσεις θα πρέπει να είναι ανεξάρτητες.

Κάθε p των αρχικών μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_p μπορεί να εκφραστεί ως γραμμική συνάρτηση του m ($m < p$) των μη σχετιζόμενων παραγόντων:

$$X_i = \alpha_{i1}F_1 + \alpha_{i2}F_2 + \dots + \alpha_{im}F_m$$

Όπου F_1, F_2, \dots, F_m είναι οι παράγοντες (=factors) και $\alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{im}$ είναι οι παράγοντες των φορτίων που εκφράζουν τη συσχέτιση μεταξύ των παραγόντων και των αρχικών μεταβλητών.

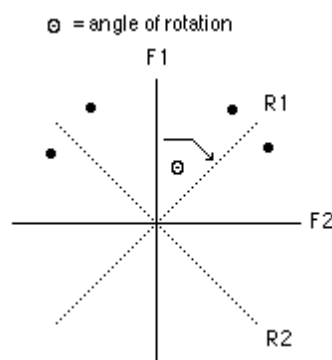
Οι τιμές του κάθε παράγοντα ονομάζεται σκορ του παράγοντα (=factor scores) και παρουσιάζονται σε τυποποιημένη μορφή με μέση τιμή μηδέν και διακύμανση τη μονάδα. Πρόκειται για γραμμικούς συνδυασμούς των μεταβλητών που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των σκορ των περιπτώσεων σχετικά με τους παράγοντες ή τα συστατικά (=components). Ο αριθμός των m των επιλεγμένων παραγόντων πρέπει να καθοριστεί, με τη χρήση διαφόρων κανόνων (Ιδιοτιμή - Eigen value = 1, screen plot) και λαμβάνοντας υπόψη τη φυσική ερμηνεία των αποτελεσμάτων.



Σχήμα 5-4 Γραφική απεικόνιση ενός scree test αποδίδοντας δύο παράγοντες

Ένα άλλο σημαντικό σημείο της ανάλυσης είναι η περιγραφή των αξόνων, η οποία μεγιστοποιεί μερικές φορτώσεις παράγοντα (=factor loadings) και ελαχιστοποιεί κάποιους άλλους και με αυτόν τον τρόπο επιτυγχάνεται καλύτερος διαχωρισμός μεταξύ των αρχικών μεταβλητών. Εννοώντας τις φορτώσεις παράγοντα εννοούμε τη συσχέτιση μεταξύ μιας μεταβλητής και ενός παράγοντα. Η Varimax περιστροφή γενικά γίνεται αποδεκτή ως η πιο ακριβής ορθογώνια περιστροφή (Richman, 1986), που μεγιστοποιεί το άθροισμα των διακυμάνσεων του τετραγώνου των στοιχείων του παράγοντα στις στήλες ενός πλέγματος, διατηρώντας τους παράγοντες ασυσχέτιστους (Principal Component Analysis technique) (Jolliffe, 1986; Manly, 1986). Η περιστροφή Varimax αποτελεί το πιο συχνό κριτήριο περιστροφής.

Η περιστροφή των παραγόντων αποτελεί ένα μετασχηματισμό από τους κύριους παράγοντες ή συνιστώσες προκειμένου να προσεγγίσει μια απλή δομή. Ακολουθως, παρουσιάζεται η γραφική απεικόνιση της περιστροφής. Ως F1 και F2 θεωρούνται οι κύριοι παράγοντες (=principal factors), ενώ R1 και R2 είναι οι περιστρεμμένοι παράγοντες (=rotated factors). Η περιστροφή είναι δεξιόστροφη κατά μια γωνία θ . Οι φορείς των μεταβλητών εκπροσωπούνται από μαύρες κουκίδες. Επισημαίνεται πως οι μεταβλητές διαχωρίζονται με τους περιστρεμμένους παράγοντες και τείνουν να συνωστίζονται γύρω από τους κύριους παράγοντες.



Σχήμα 5-5 Απεικόνιση της περιστροφής των κύριων παραγόντων και δημιουργία περιστρεμμένων παραγόντων

5.2.2.2 Ανάλυση σε ομάδες Cluster analysis (CA)

Η ανάλυση σε ομάδες (CA) είναι ένας τρόπος ομαδοποίησης των περιπτώσεων των δεδομένων με βάση την ομοιότητά τους στις αποκρίσεις των διαφόρων μεταβλητών. Η μέθοδος ομαδοποίησης που χρησιμοποιείται στην παρούσα διατριβή είναι η μέθοδος του μέσου διασύνδεσης, που θεωρείται η πιο αποτελεσματική για την ομαδοποίηση των μετεωρολογικών μεταβλητών παρέχοντας τα πιο ρεαλιστικά συμπεράσματα (Kalkstein et al., 1987; Nastos and Matzarakis, 2006).

Στην ανάλυσή μας εφαρμόζεται ο μέσος όρος της CA με βάση τον υπολογισμό της Ευκλείδειας απόστασης των ήδη τυποποιημένων δεδομένων (=standardized data). Η Ευκλείδεια απόσταση μεταξύ δύο τιμών i και j ορίζεται ως:

$$D(i,j)=[\sum_k(M(i,k)-M(j,k))^2]^{1/2}$$

όπου M είναι το αρχικό πλέγμα, $k=1, \dots, N$ είναι τα διαφορετικά χαρακτηριστικά των μεταβλητών για τις τιμές που πρέπει να ταξινομηθούν και D είναι το πλέγμα ομοιότητας (Sharma, 1995).

5.2.2.3 Chi-τετράγωνο τεστ του Pearson

Η δοκιμή χ^2 τεστ αποτελεί στατιστική δοκιμή που εφαρμόζεται σε κατηγορικά δεδομένα για να αξιολογηθεί κατά πόσο προέκυψε κατά τύχη κάθε διαφορά που παρατηρείται μεταξύ των συνόλων. Η δοκιμή χ^2 εφαρμόστηκε στον απρόβλεπτο πίνακα (=contingency table) για τον έλεγχο της μηδενικής υπόθεσης ότι οι τύποι καιρού δεν σχετίζονται με τον ημερήσιο αριθμό εισαγωγών με καρδιοαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα. Η χρήση των πινάκων αυτών αντί της συσχέτισης Pearson θεωρείται πιο ακριβής, επειδή τα ιατρικά δεδομένα παρουσιάζουν μεγάλη απόκλιση από μια Gaussian κανονική κατανομή.

5.2.2.4 Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (Generalized Additive Models - GAMs)

Τα γενικευμένα προσθετικά μοντέλα (GAMs) διατηρούν τη βασική δομή των GLM, αλλά αντικαθιστούν το γραμμικό εκτιμητή με μία μη παραμετρική διαδικασία ομαλοποίησης (Hastie and Tibshirani, 1986; Hastie and Tibshirani, 1990). Αυτό επιτρέπει μεγαλύτερη ευελιξία στο μοντέλο που έχει προσαρμοσθεί και αφαιρεί την απαίτηση ότι το παραμετρικό μοντέλο είναι αποτελεσματικό σε όλο το εύρος τιμών που είναι για ομαλοποίηση.

Ουσιαστικά, τα γενικευμένα προσθετικά μοντέλα (GAMs) αποτελούν με τη σειρά τους επέκταση των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (GLMs) (McCullagh and Nelder, 1989). Τα GAMs διαφέρουν από τα GLMs στον τρόπο που μοντελοποιείται η σχέση μεταξύ της μεταβλητής απόκρισης και των συν-μεταβλητών (covariates). Στα GLM η σχέση είναι παραμετρική, ενώ στα GAM η απόκριση διαφέρει ομαλά με τις συμμεταβλητές μέσω της εισήγησης μιας διαδικασίας ομαλοποίησης.

Αποτελούνται από τον τυχαίο παράγοντα «random component», τον προσθετικό ερευνητή «additive component» και τη συνάρτηση δεσμού «link function» που συνδέει τα πρώτα δύο κομμάτια. Παρέχουν μεγαλύτερη ευελιξία στην επιλογή της συνάρτησης δεσμού

και στην κατανομή του σφάλματος «error distribution» από ό,τι τα γενικευμένα γραμμικά μοντέλα. Παράλληλα, ο γραμμικός ερμηνευτής μπορεί να απαρτίζεται από παραμετρικές ή/και μη παραμετρικές συναρτήσεις εξομάλυνσης του κάθε ανεξάρτητου παράγοντα «component predictor». Η γενική μορφή των μοντέλων είναι:

$$g(\mu_i) = X_i \cdot \theta + f_1(x_{1i}) + f_2(x_{2i}) + f_3(x_{3i}, x_{4i}) + \dots = g(x)$$

όπου $\mu_i = E(Y_i)$ και Y_i είναι ένα μέλος της εκθετικής οικογένειας μιας παραμέτρου (one parameter exponential family), η οποία περιλαμβάνει την κανονική κατανομή, την Poisson και τη Γάμμα μεταξύ άλλων. Y_i είναι μια μεταβλητή απόκρισης, X_i είναι μια σειρά του μοντέλου πλέγματος για οποιαδήποτε αυστηρά παραμετρικό ερευνητή και f_j είναι οι συναρτήσεις εξομάλυνσης των συν-μεταβλητών (x_k).

Άλλα χαρακτηριστικά των GAM όπως η επιλογή της κατανομής σφάλματος, η συνάρτηση σύνδεσης, μέτρα of-fit και ορισμοί καταλοίπων είναι κοινά στα GLM με την κύρια διαφορά ανάμεσα στα GAM και τα GLM να είναι ο προσδιορισμός του εκτιμητή $g(x)$ που λέγεται προσθετικός ερμηνευτής (additive predictor) και είναι ανάλογο του γραμμικού ερμηνευτή των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων. Η διασπορά της εξαρτημένης μεταβλητής Y_i (όπως και στα GLM) είναι συνάρτηση της μέσης απόκρισης μ_i (response):

$$V(Y_i) = aV(\mu_i)$$

Είναι απαραίτητο να παρουσιαστούν οι ομαλές συναρτήσεις με κάποιο τρόπο και να επιλεγεί το πόσο ομαλή πρέπει να είναι (Wood, 2006). Είναι εφικτό να επιλέξουμε από διαφορετικούς τύπους ομαλοποιητών, όπως τοπικά σταθμισμένους ομαλοποιητές παλινδρόμησης (loess), κυβικές splines ομαλοποίησης και ομαλοποιητές πυρήνα.

Παραμετρικές συναρτήσεις εξομάλυνσης

Οι συναρτήσεις εξομάλυνσης είναι εργαλεία για την περιγραφή της σχέσης μιας εξαρτημένης μεταβλητής Y συναρτήσει μιας ή περισσότερων επεξηγηματικών μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_n . Παράγουν μία εκτίμηση της σχέσης που έχει μικρότερη διασπορά από την ίδια την Y . Μια σημαντική ιδιότητα των συναρτήσεων εξομάλυνσης είναι η μη παραμετρική φύση τους, μιας και δεν απαιτούν υποθέσεις για αυστηρή εξάρτηση της Y από τις X_1, X_2, \dots, X_n .

I. Τοπική παλινδρόμηση (loess)

Η τοπική παλινδρόμηση προτάθηκε από τους Cleveland, Delvin και Grosse το 1988 (Cleveland et al., 1988). Η βασική ιδέα είναι ότι για μία επεξηγηματική μεταβλητή x , η συνάρτηση παλινδρόμησης $\eta(x)$ μπορεί να εκτιμηθεί τοπικά με βάση μία συνάρτηση σε μία παραμετρική τάξη. Αυτό επιτυγχάνεται από την εφαρμογή ενός μοντέλου παλινδρόμησης που συνεκτιμά τις γειτονικές τιμές του Y στο σημείο x με τη χρήση αλγορίθμου που βασίζεται σε γραμμικές συναρτήσεις. Στην περίπτωση αυτή η παράμετρος εξομάλυνσης καθορίζει την τραχύτητα της εκτιμώμενης καμπύλης και είναι το ποσοστό των σημείων που αντιστοιχούν σε κάθε παρατήρηση της ανεξάρτητης μεταβλητής.

II. Πολύωνυμα παρεμβολής 3^{ου} βαθμού – cubic splines

Πολύ διαδεδομένες συναρτήσεις εξομάλυνσης είναι τα πολυώνυμα παρεμβολής 3ου βαθμού (cubic splines), που συνδέονται στους κόμβους (knots), όπου η πρώτη και η δεύτερη παράγωγος είναι συνεχής. Τα φυσικά πολυώνυμα παρεμβολής 3ου βαθμού αποτελούν την ομαλότερη παρεμβολή, για αυτό θεωρούνται οι λειτουργίες τους αυτές αρκετά ελκυστικές για τις ποινές παλινδρόμησης (=penalized regression) (Wood, 2006). Όταν τα δεδομένα είναι κατανομημένα κανονικά, η μονοπαραγοντική κυβική spline ομαλοποίηση $g(x)$ υπολογίζεται ελαχιστοποιώντας τις ποινές των αθροισμάτων των τετραγώνων των καταλοίπων (residuals):

$$\sum_{i=1}^n \left((y_i - g(x_i))^2 + \lambda \int (g''(x))^2 * dx \right)$$

όπου λ είναι μια ρυθμιζόμενη παράμετρος, που χρησιμοποιείται για να ελέγχει τη σχετική βαρύτητα που πρέπει να δοθεί στους αλληλοσυγκρουόμενους στόχους (=conflicting goals), ώστε να ταιριάζουν με τα δεδομένα και να παράγει μια ομαλή συνάρτηση $g(x)$. Η προκύπτουσα $g(x)$ είναι μια εξομαλυμένη παρεμβολή (Reinsch, 1967).

Το δεύτερο μέρος της παραπάνω σχέσης ορίζει μια ποινή (smoothness penalty) ομαλότητας βασισμένη στην καμπυλότητα της συνάρτησης spline $g(x)$, ο όρος αυτός δίνει λοιπόν μια ποινή για κάθε καμπή της καμπύλης-. Το επίπεδο ομαλοποίησης ελέγχεται από την παράμετρο $\theta (>0)$. Όταν το θ τείνει στο μηδέν, δεν υπάρχει ποινή ομαλότητας και το μοντέλο παρέχει τέλεια προσαρμογή: οι τιμές που έχουν προσαρμοστεί είναι τα ίδια τα δεδομένα. Όταν το θ είναι μεγάλο (τείνει στο άπειρο), η προσαρμογή είναι τελείως ομαλή και οι τιμές που έχουν προσαρμοστεί πέφτουν κατά μήκος μιας ευθείας γραμμής, αναγκάζοντας αποτελεσματικά τη σχέση να είναι γραμμική στο x . Η παράμετρος θ ορίζεται ανάμεσα σε αυτά τα άκρα ώστε να παράγει ένα επιθυμητό επίπεδο ομαλότητας και ελέγχει την ανταλλαγή μεταξύ καλής προσαρμογής και ομαλότητας.

Άλλοι μέθοδοι εξομάλυνσης που εφαρμόζονται μοντέλα παλινδρόμησης είναι:

- A cyclic regression splines
- P-splines
- Thin plate regression splines

Ως μέθοδος εξομάλυνσης θα χρησιμοποιηθεί το πολυώνυμο παρεμβολής 3^{ου} βαθμού – cubic splines που παρέχεται από την R στο πακέτο mgcv.

Ανάλυση τανιστών (Tensor analysis)

Προηγούμενα αναφέρθηκαν τρόποι εξομάλυνσης για τη μονο-μεταβλητή ανάλυση, αλλά προκειμένου να γίνει εξομάλυνση διαφόρων μεταβλητών χρησιμοποιείται η ανάλυση τανιστών. Η ανάλυση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συναρτήσεις εξομάλυνσης για οποιοδήποτε αριθμό συν-μεταβλητών, αλλά η απλούστερη εισαγωγή είναι μέσω της κατασκευής μιας εξομαλυμένης συνάρτησης τριών συν-μεταβλητών, x , z και u η γενίκευση στη συνέχεια γίνεται ασήμαντη. Η διαδικασία ξεκινά με την παραδοχή ότι υπάρχει διαθέσιμος χαμηλός βαθμός βάσεων για την εκπροσώπηση των εξομαλυμένων συναρτήσεων f_x , f_z και f_u για κάθε μία συν-μεταβλητή. Αυτό μπορεί να γραφεί:

$$f_x(x) = \sum_{i=1}^I a_i a_i(x)$$

$$f_z(z) = \sum_{l=1}^I \delta_l d_l(z)$$

$$f_u(u) = \sum_{k=1}^I \beta_k b_k(u)$$

Επιλογή βαθμού εξομάλυνσης

Στις επιδημιολογικές μελέτες, η επιλογή του κατάλληλου βαθμού εξομάλυνσης στα GAMs έχει ως στόχο την απομάκρυνση των μακροχρόνιων τάσεων στα δεδομένα. Ωστόσο, πρέπει οι βραχυχρόνιες τάσεις να μην απομακρύνονται διότι αποτελούν ένδειξη πιθανών επιδράσεων των ανεξάρτητων μεταβλητών στις εξαρτημένες.

Τα διαγράμματα μερικής αυτοσυσχέτισης «partial autocorrelation function» - PACF βοηθούν στην επιλογή του κατάλληλου βαθμού εξομάλυνσης, αφού μέσω αυτών γίνεται η εξακρίβωση ότι δεν έχει γίνει «υπερεξομάλυνση» και ότι δεν υπάρχει ουσιώδης τμηματική συσχέτιση στα κατάλοιπα «residuals».

Το κριτήριο GVC «Generalized Cross Validation Criterion» αποτελεί μια γενίκευση του CVC «Cross Validation Criterion» και επιλέγεται η παράμετρος εξομάλυνσης λ . Ο τρόπος λειτουργίας του κριτηρίου CVC είναι η αφαίρεση μίας από τις n παρατηρήσεις και η εφαρμογή του μοντέλου με ή για $n-1$ παρατηρήσεις. Στη συνέχεια, υπολογίζεται το τετράγωνο της διαφοράς της τιμής της παρατήρησης που αφαιρέθηκε από την αναμενόμενη τιμή βάσης του μοντέλου. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται n φορές για κάθε μία από τις παρατηρήσεις και υπολογίζεται ο μέσος όρος του τετραγώνου των διαφορών. Αυτό αποτελεί το cross validation score που χαμηλές τιμές υποδεικνύουν καλή προσαρμογή του μοντέλου.

$$GVC(\lambda) = \frac{n \sum_{i=1}^n (y_i - \eta\lambda(X_i))^2}{(n - \text{tr}(A(\lambda)))^2}$$

όπου $\eta\lambda(x_i)$ είναι η συνάρτηση εξομάλυνσης με παράμετρο λ και $\text{tr}(A_\lambda)$ το ίχνος του πίνακα εξομάλυνσης. Το GCV είναι συνάρτηση του λ και επιλέγει εκείνη της τιμής της παραμέτρου που ελαχιστοποιεί το κριτήριο.

5.2.3 Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων

Η ορυκτολογική ανάλυση των δειγμάτων πραγματοποιήθηκε στο εργαστήριο του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης του ΤΕΙ Αθηνών όπου διαθέτει Ηλεκτρονικό Μικροσκόπιο Σάρωσης (JEOL JSM-6510LV) με Στοιχειακό Αναλυτή (EDAX) (SDD X-act detector, Oxford Instruments, 15kV) όπου προσαρμόζεται στο προαναφερθέν σύστημα SEM και σύστημα Η/Υ καθώς και ισχυρού λογισμικού για την υποδειγματική λειτουργία του συνόλου (Σχήμα 5-6). Επίσης, παρέχεται στοιχειακός εξοπλισμός

προετοιμασίας των αέριων δειγμάτων (επιγραφίτωση και επιμετάλωση με κράματα παλλαδίου-χρυσού). Τα χαρακτηριστικά του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης παρουσιάζονται στη συνέχεια.



Σχήμα 5-6: Φωτογραφία του Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης JEOL JSM-6510LV, που βρίσκεται στο χώρο του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης στο ΤΕΙ Αθηνών

Πίνακας 5-1 Προδιαγραφές Ηλεκτρονικού Μικροσκοπίου Σάρωσης JEOL JSM-6510LV

Filament	Pre-centered W hairpin filament (with continuous auto bias) LaB6 option
Resolution	High Vacuum mode: 3.0 nm (30kV), 8nm (3kV), 15nm (1kV) Low Vacuum mode: 4.0 nm (30kV)
Accelerating voltage	500V to 30 kV
Magnification	x5 to 300,000 (printed as a 128mm x 96mm micrograph)
LV Detector	Multi-segment BSED (std.) LV-SED (option)
LV Pressure	10 to 270 Pa
Maximum specimen size:	
GS Type stage	Observable : 32mm diameter Loadable : 75mm Height : 50mm
LGS Type stage	Observable : 125mm diameter Loadable : 152mm Height : 50mm
Specimen stage**:	
GS Type stage	Eucentric goniometer X=20mm, Y=10mm, Z=5mm-48mm R=360° (endless)

	Tilt -10/+90°
LGS Type stage	Eucentric goniometer X=80mm, Y=40mm, Z=5mm-48mm R=360° (endless) Tilt -10/+90° (Computer controlled 2, 3 or 5 axis motor drive: option)
Frame Store	Up to 5120×3840 pixels
PC	Desktop, Windows 7

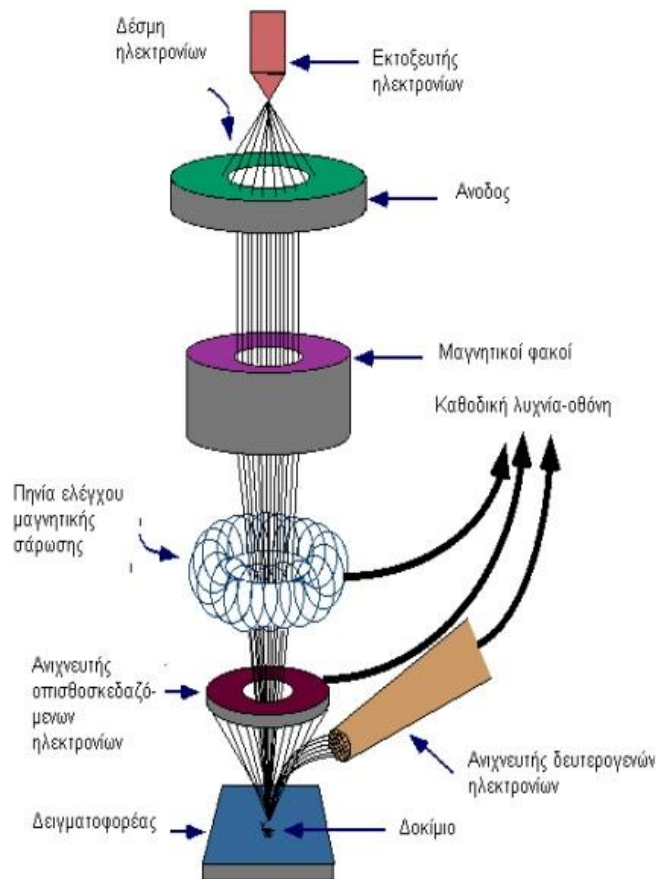
Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης είναι μια μέθοδος υψηλής ανάλυσης και χρησιμοποιεί ηλεκτρόνια, όπως το οπτικό μικροσκόπιο χρησιμοποιεί ορατό φως. Τα πλεονεκτήματα της SEM σε σχέση με την οπτική μικροσκοπία έγκεινται στη μεγαλύτερη μεγέθυνση (έως 100000x) και το μεγαλύτερο βάθος πεδίου δράσης, ενώ επιτρέπεται η οπτική παρατήρηση των δειγμάτων σε κλίμακα mm έως μm. Στα πλεονεκτήματα επίσης, περιλαμβάνονται η πολύ απλή προετοιμασία του δείγματος και το γεγονός ότι δεν απαιτείται συλλογή πλήθους δεδομένων (Flewitt and Wild, 1994; Watt, 1997).

Ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης

Το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης (SEM) χρησιμοποιεί δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας που λόγω της κυματικής τους φύσης μπορούν να εστιάσουν σε πολύ μικρή επιφάνεια (κόκκος υλικού). Η δέσμη ηλεκτρονίων σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος με το οποίο αλληλεπιδρά. Από την αλληλεπίδραση αυτή προκύπτουν πληροφορίες σε σχέση με τα άτομα των στοιχείων που απαρτίζουν το εξεταζόμενο υλικό. Από τα άτομα των στοιχείων εκπέμπονται κυρίως δευτερογενή (secondary) και οπισθοσκεδαζόμενα (backscattered) ηλεκτρόνια καθώς και ακτίνες X. Η ένταση των εκπεμπομένων ηλεκτρονίων επηρεάζεται από τα χαρακτηριστικά της επιφάνειας. Έτσι, το SEM δίνει πληροφορίες που αφορούν κυρίως στη μορφολογία και στη σύσταση της επιφανείας. Εφαρμόζοντας ένα σύστημα ανίχνευσης της διασποράς των ενεργειών των ακτίνων X που δημιουργούνται στην επιφάνεια από την προσπίπτουσα δέσμη, μπορεί να γίνει ημι-ποσοτική στοιχειακή ανάλυση του υλικού.

Η λειτουργία του SEM στηρίζεται στις αλληλεπιδράσεις του προς εξέταση δείγματος και της προσπίπτουσας σε αυτό δέσμης ηλεκτρονίων. Οι βασικές διατάξεις που υπάρχουν στο μικροσκόπιο είναι το σύστημα παραγωγής δέσμης ηλεκτρονίων, το σύστημα κατεύθυνσης της δέσμης, το σύστημα πληροφοριών και τέλος το σύστημα κενού. Τα βασικά στάδια λειτουργίας ενός ηλεκτρονικού μικροσκοπίου είναι:

- Σχηματίζεται μια δέσμη ηλεκτρονίων από την πηγή η οποία επιταχύνεται προς το δείγμα μέσω ενός θετικού ηλεκτρικού δυναμικού.
- Χρησιμοποιώντας μεταλλικά ανοίγματα, ηλεκτρομαγνητικούς φακούς και πηνία σάρωσης, επιτυγχάνεται μια λεπτή εστιασμένη μονοχρωματική δέσμη η οποία σαρώνει την επιφάνεια του δείγματος.
- Οι αλληλεπιδράσεις δέσμης δείγματος καταγράφονται από τους ανιχνευτές και μετατρέπονται σε εικόνα.



Σχήμα 5-7 Διάγραμμα λειτουργίας ηλεκτρονικού μικροσκοπίου

Τόσο με τη μέθοδο ανακλώμενων, όσο και με τη μέθοδο δευτερογενών ηλεκτρονίων προκύπτουν ευδιάκριτες εικόνες όσον αφορά στην τοπογραφία της επιφάνειας και στη σύσταση των υλικών. Ωστόσο, στη δεύτερη μέθοδο η εικόνα χαρακτηρίζεται από τοπογραφική αντίθεση, ενώ στην πρώτη μέθοδο είναι περισσότερο ευαίσθητη κατά την ανίχνευση ατομικής πυκνότητας που αποτελεί συνάρτηση του ατομικού αριθμού και της πυκνότητας των κόκκων του δείγματος (Flewitt and Wild, 1994; Watt, 1997; Mouret et al., 2001). Η ένταση της δέσμης των ανακλώμενων ηλεκτρονίων είναι ανάλογη του ατομικού αριθμού των στοιχείων του δείγματος και της πυκνότητάς του. Ανάλογα με το σκοπό της παρατήρησης μπορεί να προκύψει μια μικροσκοπική εικόνα ή μια στοιχειακή κατανομή του δείγματος (Bentz and Stutzman, 1994; Mouret et al., 1999).

6 Βιοκλιματολογία Κρήτης

Είναι γνωστό ότι η ποιότητα ζωής σε ένα αστικό ή αγροτικό περιβάλλον επηρεάζεται σημαντικά από τις βιοκλιματικές συνθήκες, τόσο τις βραχυπρόθεσμες όσο και τις μακροπρόθεσμες. Η βιοκλιματική ανάλυση στην παρούσα μελέτη αφορά το νησί της Κρήτης, μια περιοχή με ευαίσθητο κλίμα, που πλήττεται από συχνά επεισόδια μεταφοράς σκόνης Σαχάρας, ιδίως κατά τη διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού, όταν η ανάπτυξη κατάλληλων συνοπτικών μετεωρολογικών συνθηκών λαμβάνει χώρα συχνά (Kaskaoutis et al., 2008). Επιπλέον, η τοπογραφία του νησιού και οι προκύπτοντες Föhn άνεμοι δημιουργούν επιβαρυμένες βιοκλιματικές συνθήκες (Nastos et al., 2011), οι οποίες επιδεινώνονται λόγω της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στις αστικές περιοχές και σε μεγάλο βαθμό επηρεάζουν τη δημόσια υγεία.

Στο κεφάλαιο αυτό σκοπός είναι να αξιολογηθούν και να αναλυθούν οι ανθρώπινες βιοκλιματικές συνθήκες της νήσου Κρήτης, εφαρμόζοντας το βιοκλιματικό μοντέλο RayMan προκειμένου να αποτυπωθούν κατά την περίοδο 1975-2004 οι δύο βιοκλιματικοί δείκτες: η φυσιολογικά ισοδύναμη θερμοκρασία PET (Physiological Equivalent Temperature) προερχόμενη από το μοντέλο ανθρώπινης ενέργειας – ισοζυγίου του Μονάχου για αυτόνομες μονάδες και ο παγκόσμιος δείκτης θερμικού κλίματος UTCI (Universal Thermal Climate Index) βασιζόμενος στο πολλαπλών κόμβων μοντέλο Fiala της ανθρώπινης θερμορύθμισης (Fiala et al., 2012).

Συνεπώς προκειμένου να εξαχθούν τα βιοκλιματικά διαγράμματα για όλη την έκταση της νήσου χρησιμοποιήθηκαν κλιματικά δεδομένα από τους δεκαπέντε μετεωρολογικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ. στην Κρήτη που αφορούν τις περιοχές: Σούδα (Souda), Ρέθυμνο (Rethymno), Ηράκλειο (Heraklion), Σητεία (Siteia), Φουρνή (Fourni), Ανώγεια (Anogeia), Καστέλλι (Kastelli), Παλαιόχωρα (Palaiochora), Τυμπάκι (Tibaki), Ιεράπετρα (Ierapetra), Χανιά (Chania), Ζαρό (Zaros), Γόρτυ (Gortis), Βάμο (Vamos) και Τζερμιάδο (Tzermiado). Τα δεδομένα αυτά αφορούν τις μέσες ημερήσιες τιμές της θερμοκρασίας αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας ανέμου και της νέφωσης για χρονικό διάστημα από το 1975 έως το 2004. Τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά των σταθμών της Ε.Μ.Υ. παρουσιάζονται στον Πίνακα 6-1. Οι σταθμοί έχουν διαχωριστεί σε τρεις κατηγορίες: σταθμοί που βρίσκονται στη βόρεια ακτογραμμή, ορεινοί σταθμοί και σταθμοί που βρίσκονται στη νότια ακτογραμμή της νήσου Κρήτης.

Το σύνολο των παραπάνω δεδομένων έχουν ελεγχθεί για ομοιογένεια σε προηγούμενες μελέτες (Nastos et al., 2002; Matzarakis and Nastos, 2011) και χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των βιοκλιματικών δεικτών PET και UTCI, προκειμένου να αξιολογηθεί το επίπεδο του θερμο-φυσιολογικού στρες (πίεση).

Πίνακας 6-1. Χαρακτηριστικά των μετεωρολογικών σταθμών της Κρήτης

	Κωδικός	Σταθμός	Latitude (μοίρες)	Longitude (μοίρες)	Υψόμετρο (m)	Περίοδος
1	746	ΣΟΥΔΑ (SOYDA)	35.29	24.04	10	1958-2004
2	758	ΡΕΘΥΜΝΟ (RETHYMNO)	35.36	24.48	7	1957-2004
3	754	ΗΡΑΚΛΕΙΟ (HERAKLION)	35.30	25.20	39	1955-2004
4	757	ΣΗΤΕΙΑ (SITEIA)	35.20	26.10	22	1960-2004
5	747	ΧΑΝΙΑ (CHANIA)	35.53	24.07	18	1961-1974
6	755	ΦΟΥΡΝΗ (FOURNI)	35.25	25.66	315	1974-2004
7	752	ΑΝΩΓΕΙΑ (ANOGEIA)	35.30	24.90	822	1975-2004
8	763	ΤΖΕΡΜΙΑΔΟ (TZERMIADO)	35.12	25.29	830	1975-1994
9	745	ΒΑΜΟΣ (VAMOS)	35.24	24.11	208	1975-1997
10	760	ΚΑΣΤΕΛΛΙ (KASTELLI)	35.20	25.30	333	1976-2004
11	761	ΖΑΡΟΣ (ZAROS)	35.10	24.90	357	1991-2004
12	751	ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ (PALAIOCHORA)	35.23	23.68	4	1974-2003
13	759	ΤΥΜΠΑΚΙ (TIBAKI)	35.00	24.45	7	1959-2004
14	753	ΓΟΡΤΥΣ (GORTIS)	35.04	24.45	17	1989-2004
15	756	ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ (IERAPETRA)	35.00	25.70	13	1955-2004

Οι βόρειες ακτές της Κρήτης είναι υπό την επιρροή των βορινών ανέμων, ειδικά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και στις αρχές του φθινοπώρου, όταν επικρατούν τα μελτέμια. Αυτοί είναι περιοδικοί άνεμοι του βόρειου τμήματος εγκατεστημένου πάνω από το Αιγαίο, όταν ένα κέντρο υψηλής πίεσης στην κεντρική και νότια Ευρώπη συνδυάζεται με το ινδικό σύστημα χαμηλής πίεσης πάνω από τη Μικρά Ασία και την Ανατολική Μεσόγειο (Metaxas and Bartzokas, 1994). Ένα χαρακτηριστικό αποτέλεσμα του καθεστώτος των Μελτεμιών είναι οι καλοκαιρινές ξηρασίες και οι ομοιόμορφες καιρικές συνθήκες στην Ελλάδα (Nastos et al., 2002). Αυτός ο τύπος καιρού που επικρατεί (δροσεροί και ξηροί άνεμοι πάνω από το Αιγαίο Πέλαγος) το καλοκαίρι μετριάζει την ένταση της θερμικής καταπόνησης στις βόρειες ακτές της Κρήτης.

Οι ευεργετικές επιπτώσεις των «Μελτέμιων» δεν εμφανίζονται στις νότιες ακτές, λόγω του αποκλεισμού που προκαλείται από τους ορεινούς όγκους, οδηγώντας σε αυξημένη θερμική καταπόνηση κατά τη θερινή περίοδο. Επιπλέον, οι νότιες ακτές προστατεύονται από τους βόρειους ανέμους του χειμώνα και, ως εκ τούτου, επικρατούν ήπιες βιοκλιματικές συνθήκες κατά την ψυχρή περίοδο του έτους.

Είναι προφανές ότι η μορφολογία του νησιού είναι υπεύθυνη για ακραίες καιρικές συνθήκες. Συγκεκριμένα, η περίπτωση της πόλης του Ηρακλείου, που βρίσκεται στη λεκάνη βόρεια του Όρους Ψηλορείτη (2456m.), το οποίο είναι κάθετο προς τη νότια ροή μάζας αέρα, προκαλεί τους γνωστούς Föhn ανέμους. Κατεβαίνοντας από την υπήνεμη πλευρά του βουνού, αυτοί οι άνεμοι γίνονται θερμοί σε ένα ξηρό αδιαβατικό ρυθμό και καταλήγουν σε χαμηλότερα υψόμετρα, τόσο θερμότερα, όσο και ξηρότερα από ό,τι ήταν σε αντίστοιχα επίπεδα στα προσήνεμα. Κατηφορίζοντας προς τα πεδινά στην υπήνεμη πλευρά του φάσματος, ο αέρας φτάνει ως ένας ισχυρός, θυελλώδης, ξηρός άνεμος. Ο άνεμος συχνά διαρκεί για τρεις ημέρες ή περισσότερο και βαθμιαία εξασθενεί μετά την πρώτη ή τη δεύτερη ημέρα, ενώ άλλες φορές σταματά πολύ απότομα (Nastos et al., 2011).

Για βιοκλιματικούς σκοπούς, η ταχύτητα του ανέμου για το σύνολο των εξεταζόμενων σταθμών είχε προσαρμοστεί σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο (Kuttler, 2000):

$$WS_{1.1} = WS_h * \left(\frac{1.1}{h}\right)^a \quad a = 0.12 * z_o + 0.18$$

όπου WS_h είναι η ταχύτητα του ανέμου (m/s) στο ύψος του σταθμού (h), που είναι συνήθως 10m, α είναι ένας εμπειρικός εκθέτης, εξαρτώμενος από την τραχύτητα της επιφάνειας και z_o είναι το μήκος τραχύτητας. Η ταχύτητα του ανέμου υπολογίστηκε σε ύψος 1.1m από το έδαφος, το οποίο είναι το κέντρο βάρους του ανθρώπινου σώματος αποτελώντας το επίπεδο αναφοράς για τις ανθρώπινες βιομετεωρολογικές μελέτες.

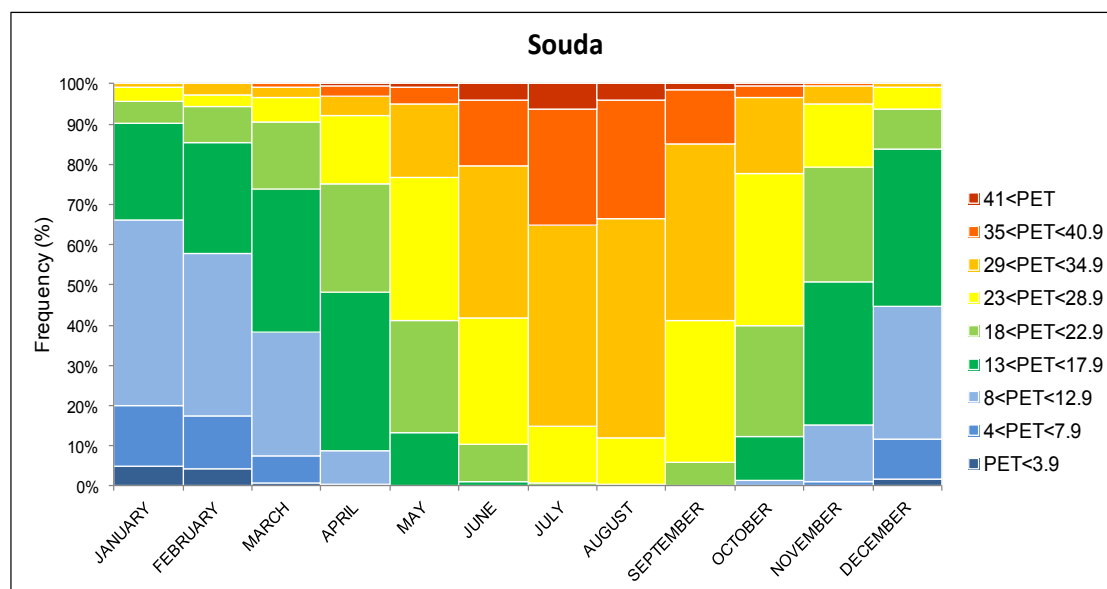
Σε αυτήν τη διδακτορική διατριβή χρησιμοποιήθηκαν τρεις διαφορετικές τιμές του μήκους της τραχύτητας ανάλογα με το ανάγλυφο της περιοχής των εξετασθέντων μετεωρολογικών σταθμών. Συνεπώς, $z_o=0.2$ είναι για τις γεωργικές εκτάσεις με πολλά σπίτια, θάμνους και φυτά, ή καταφύγιο δενδροστοιχιών ύψους 8m σε απόσταση μεταξύ τους περίπου 250m (σταθμοί: Παλαιόχωρα και Καστέλλι), $z_o=0.4$ είναι για χωριά, μικρές πόλεις, γεωργικές εκτάσεις με πολλά ή ψηλά καταφύγια δενδροστοιχιών (δάση) και έδαφος τραχύ και ανώμαλο (σταθμοί: Σούδα, Ανώγεια, Φούρνοι, Τυμπάκι), $z_o=0.8$ είναι για μεγαλύτερες πόλεις με ψηλά κτίρια (σταθμοί: Ηράκλειο, Ιεράπετρα, Σητεία, Ρέθυμνο). Οι προαναφερθείσες τιμές του μήκους τραχύτητας για ένα συγκεκριμένο έδαφος προέρχονται από τον Ευρωπαϊκό Άτλαντα Ανέμου (Troen and Petersen, 1989).

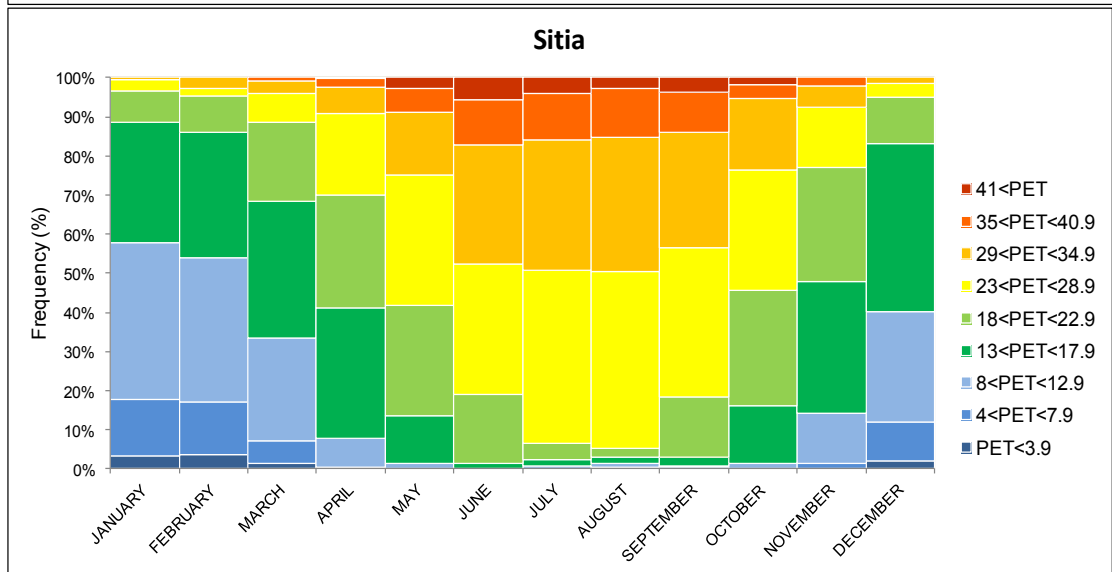
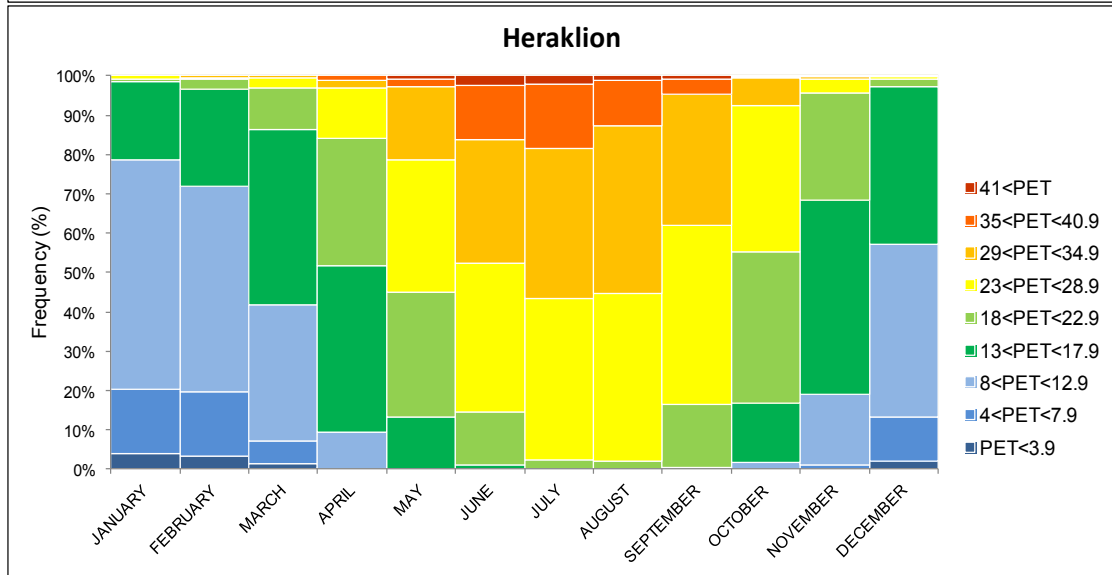
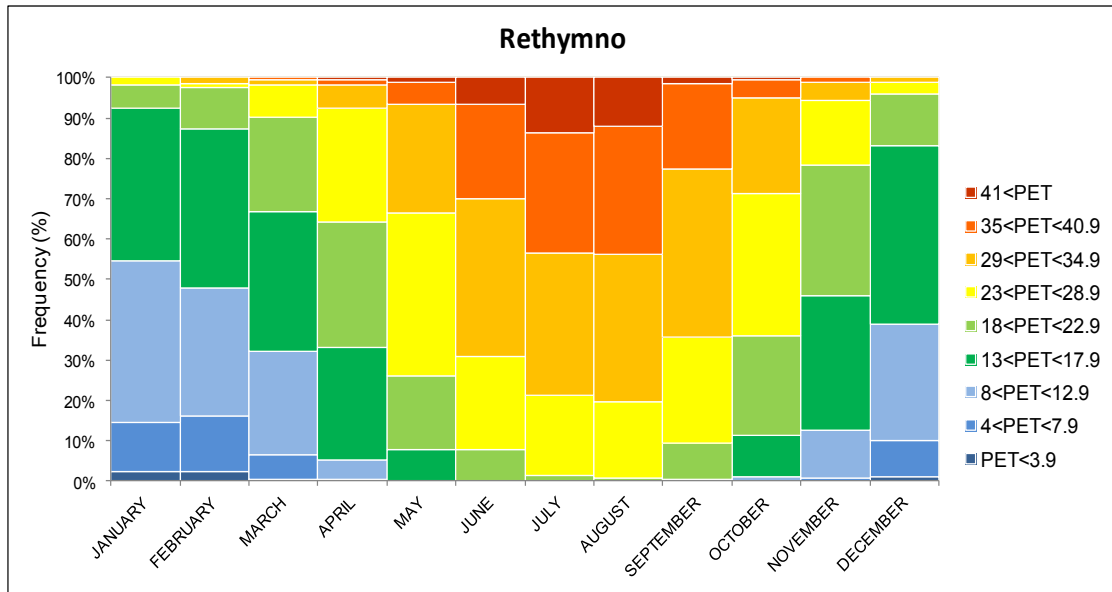
Στη συνέχεια με τη βοήθεια του βιοκλιματικού μοντέλου RayMan υπολογίστηκαν οι βιοκλιματικοί δείκτες PET και UTCI. Συγκεκριμένα, έγιναν οι απαραίτητες προσαρμογές - που έχουν ήδη αναφερθεί στο προηγούμενο κεφάλαιο - για τον υπολογισμό της κάθε μια παραμέτρου. Ενώ εφαρμόστηκε η μέθοδος στατιστικής κατάταξης Mann-Kendall σχετικά με τις τάσεις των χρονοσειρών του ετήσιου αριθμού των ημερών με μέσες ημερήσιες τιμές των δεικτών PET και UTCI να βρίσκονται στις ακραίες κλάσεις τους αντίστοιχα (Mitchell et al., 1966).

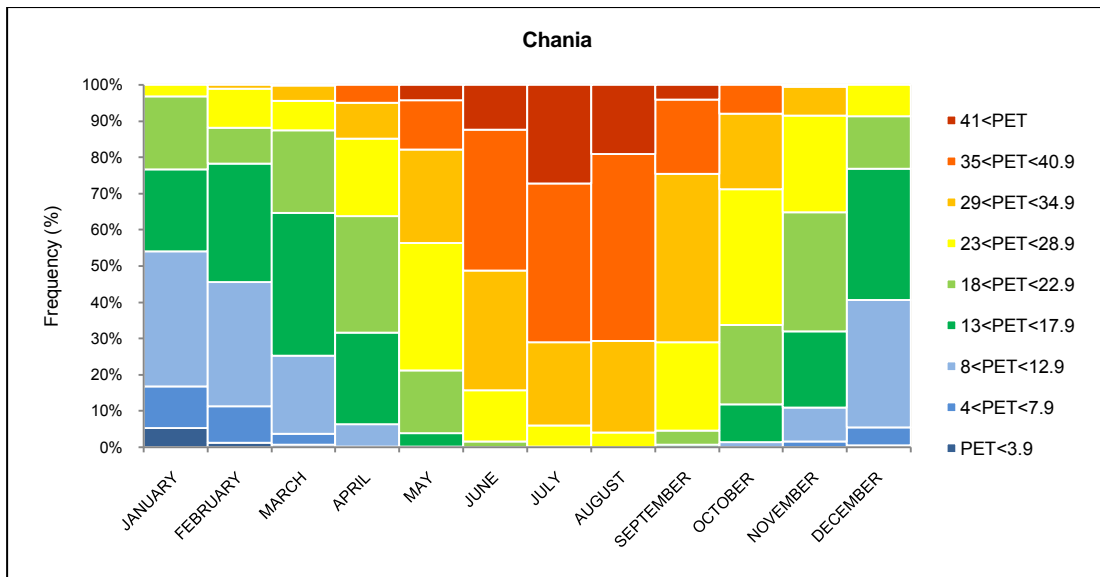
Ακολουθώντας, παρουσιάζονται τα βιοκλιματικά διαγράμματα (Σχήμα 6-1, Σχήμα 6-2, Σχήμα 6-3) για το δείκτη PET σε συνάρτηση με τον κάθε μετεωρολογικό σταθμό στη νήσο Κρήτη, λαμβάνοντας υπόψη τη διαίρεσή τους σε βόρειους, νότιους και ορεινούς. Οι ανθρώπινες βιοκλιματικές συνθήκες εκφράζονται σε ποσοστά εμφάνισης της κάθε κλάσης (κατηγορίας) του δείκτη PET Πίνακας 6-2 για κάθε μήνα (Bleta et al., 2013a).

Πίνακας 6-2 Η κλίμακα του δείκτη PET για τις διάφορες βαθμίδες θερμικής αίσθησης και για τα διάφορα φυσιολογικά στρες των ανθρώπων (Matzarakis et al., 1999c)

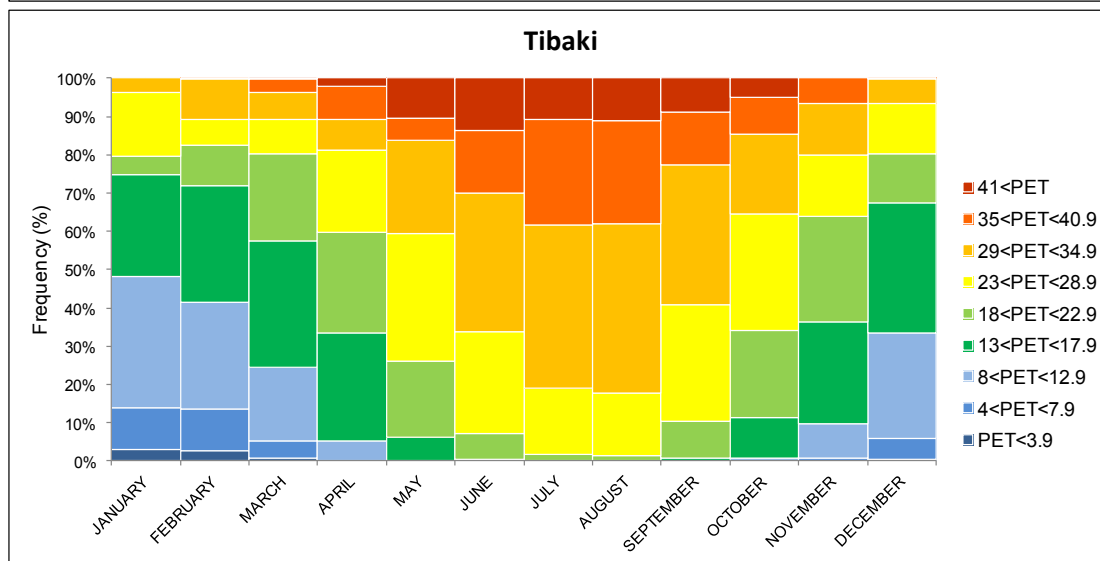
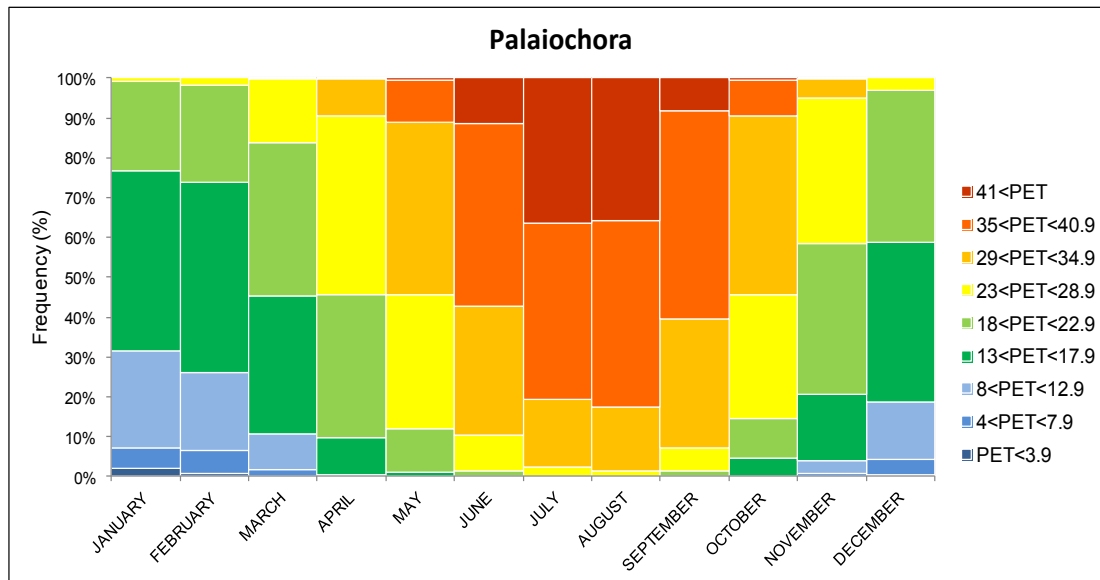
PET (°C)	Θερμική αίσθηση	Βαθμός θερμο-φυσιολογικής επιβάρυνσης
<4	Πολύ κρύο	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση
4-8	Κρύο	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση
8-13	Δροσερό	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση
13-18	Ελαφρά δροσερό	Ελαφρά ψυχρή επιβάρυνση
18-23	Θερμικά ουδέτερο – άνεση	Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση
23-29	Ελαφρά θερμό	Ελαφρά θερμική επιβάρυνση
29-35	Θερμό	Μέτρια θερμική επιβάρυνση
35-41	Πολύ ζεστό	Ισχυρή θερμική επιβάρυνση
>41	Πάρα πολύ ζεστό	Ακραία θερμική επιβάρυνση

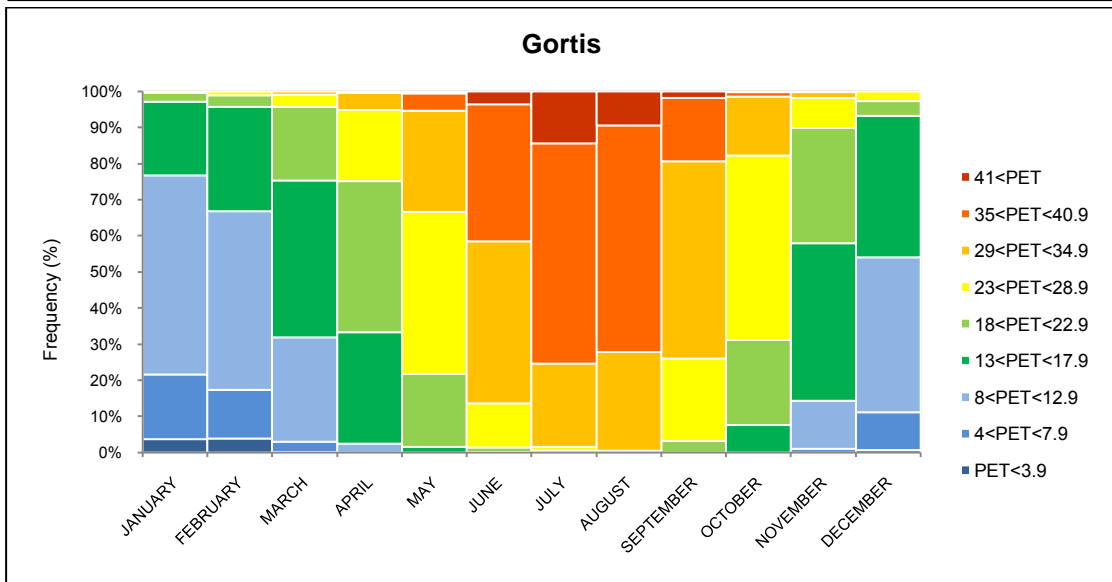
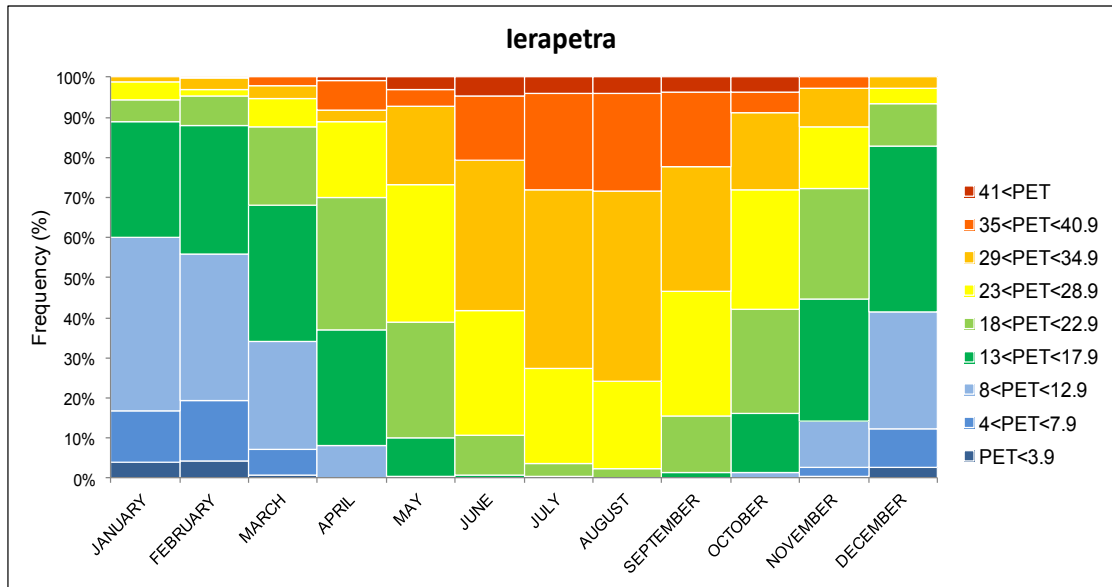




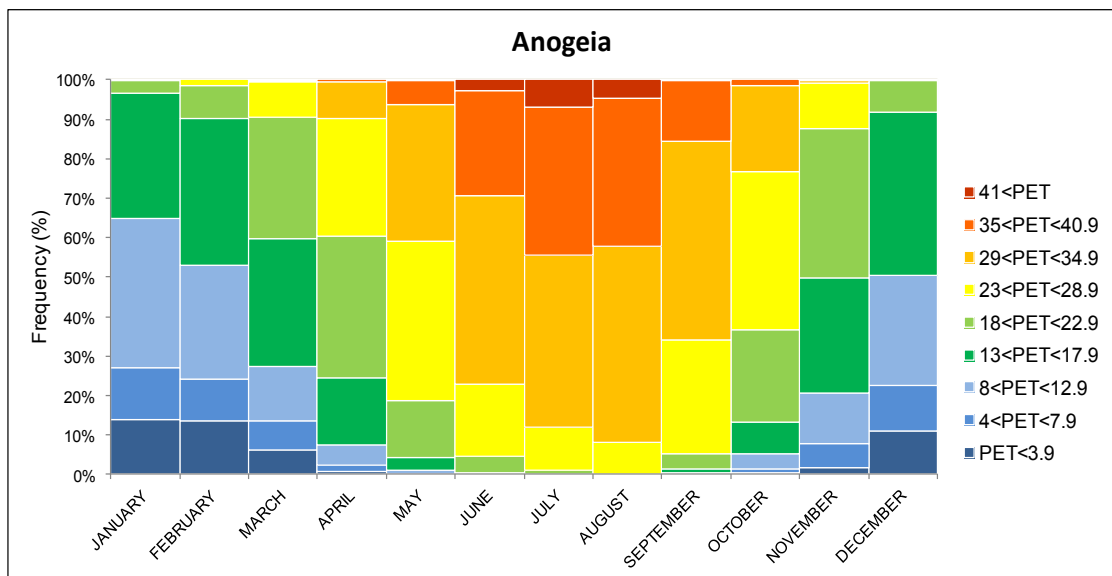


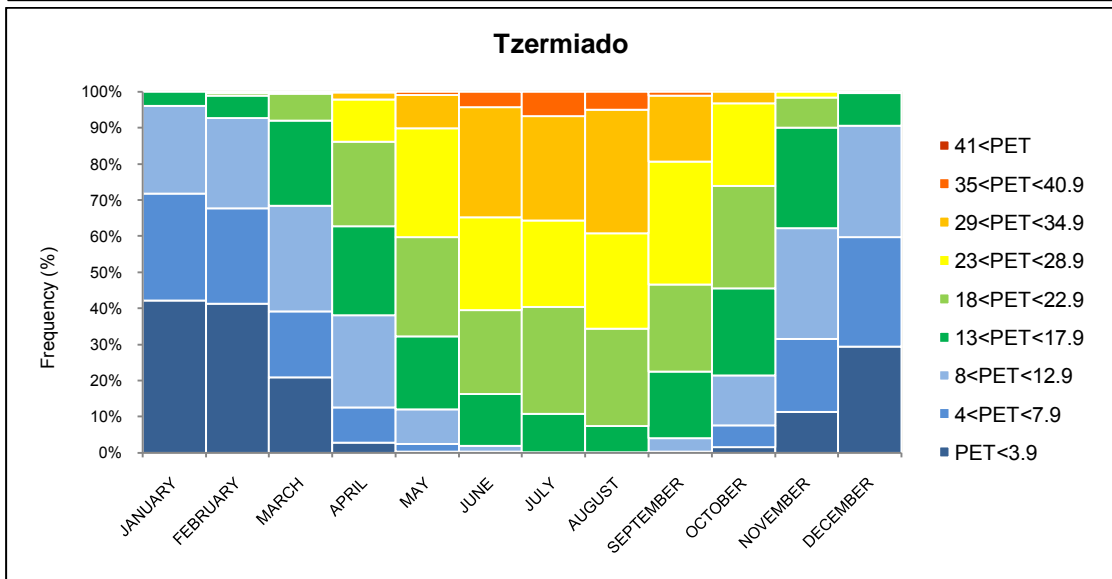
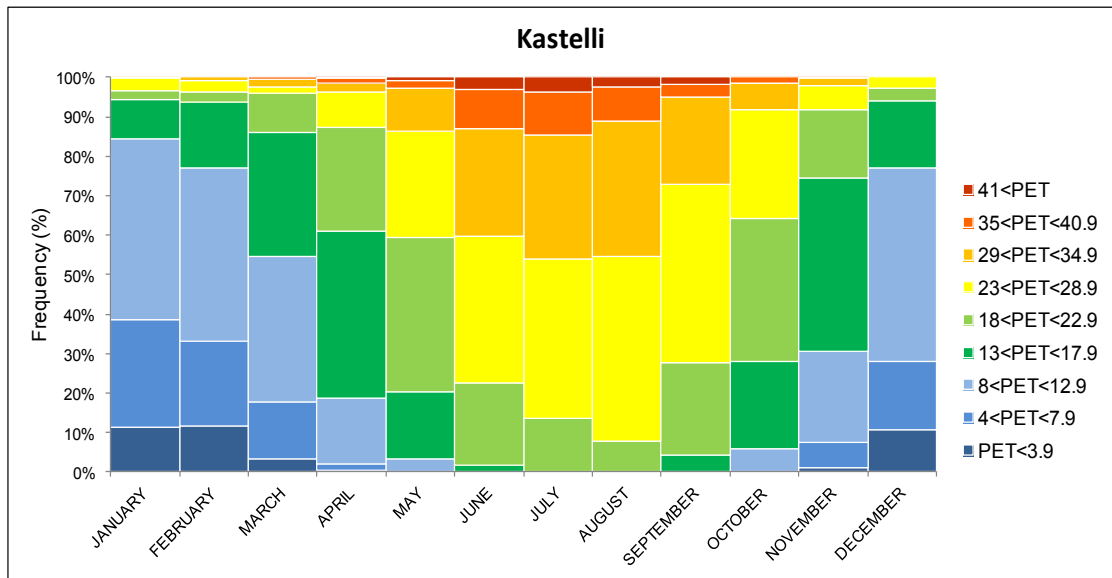
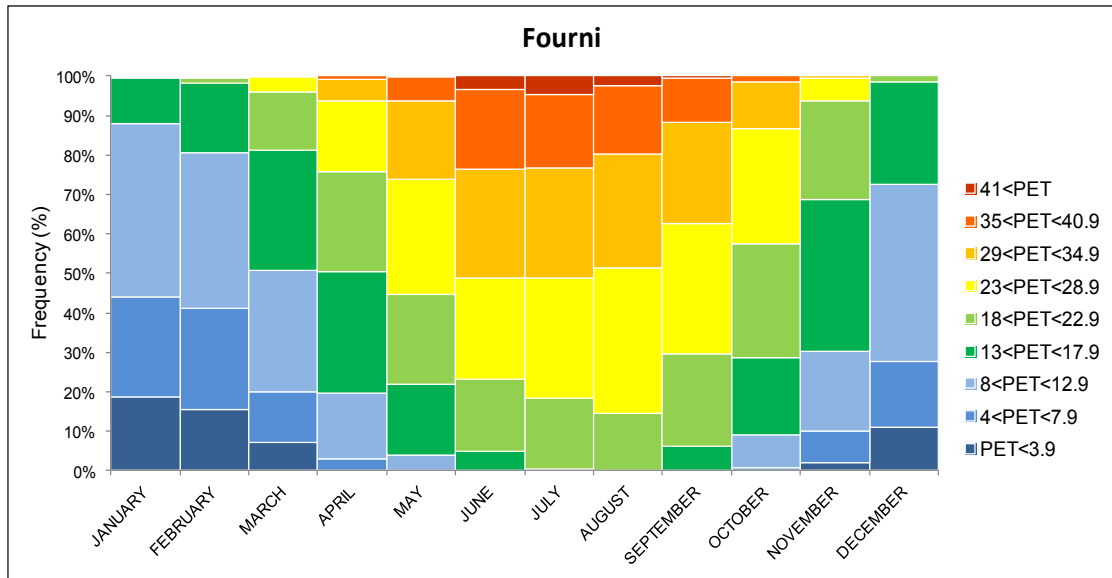
Σχήμα 6-1 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη PET για τις βόρειες παράκτιες περιοχές της νήσου Κρήτης (Bleta et al., 2013a)

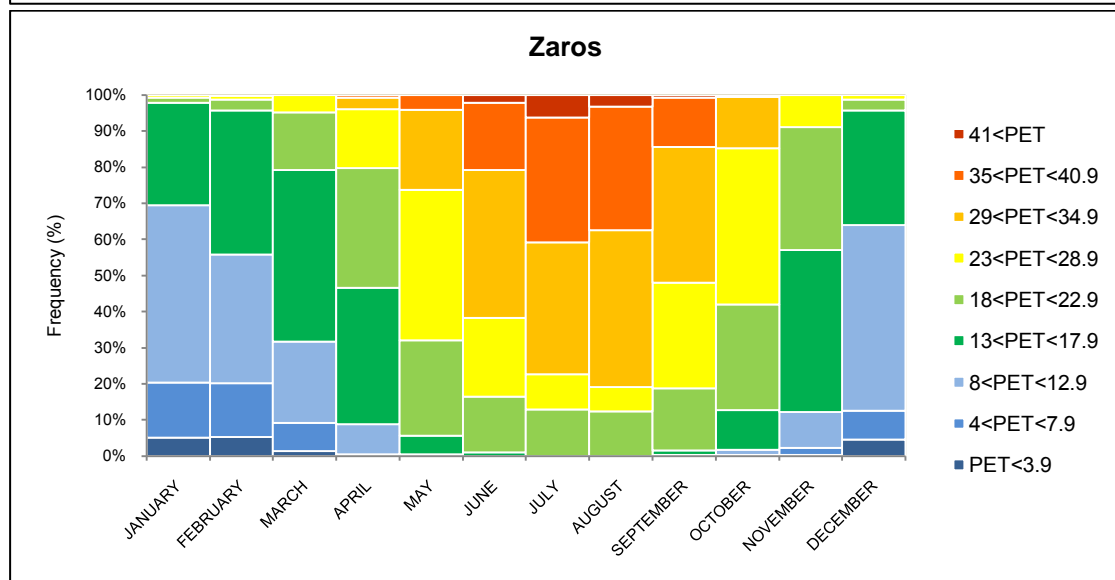
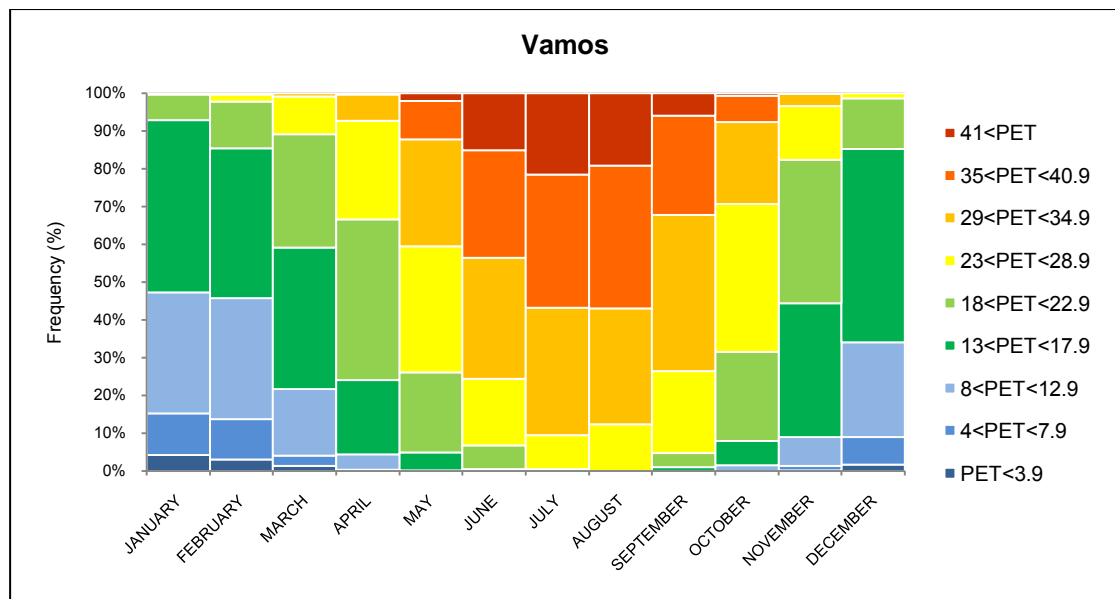




Σχήμα 6-2 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη PET για τις νότιες παράκτιες περιοχές της νήσου Κρήτης (Bleta et al., 2013a)

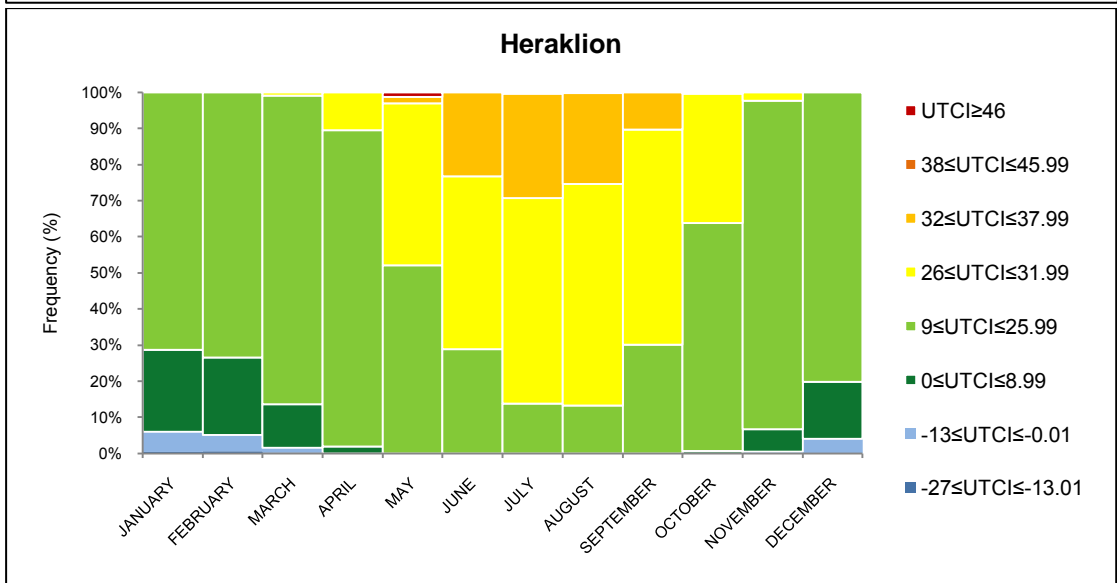
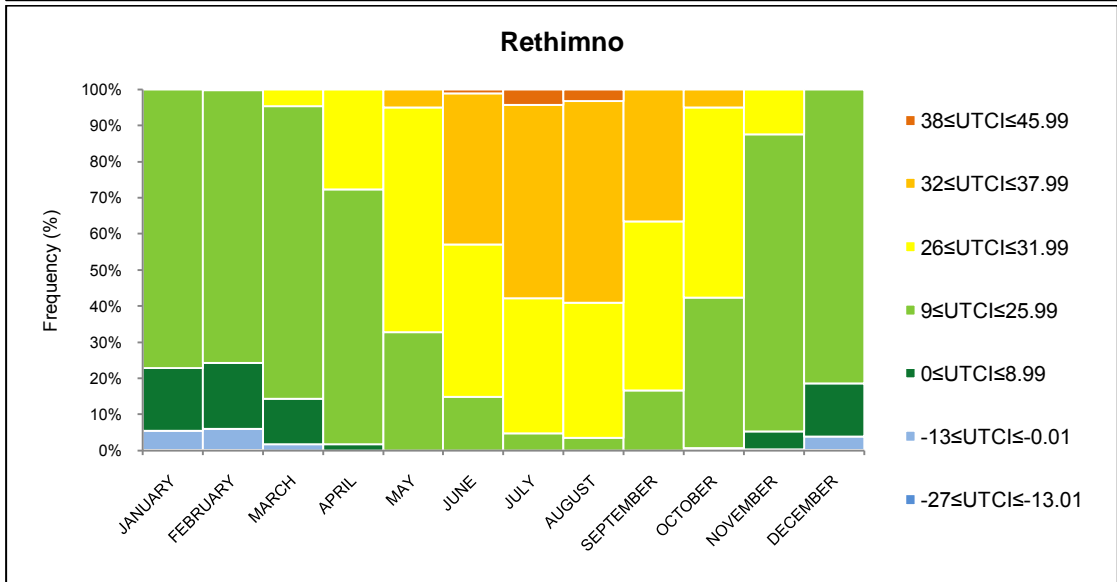
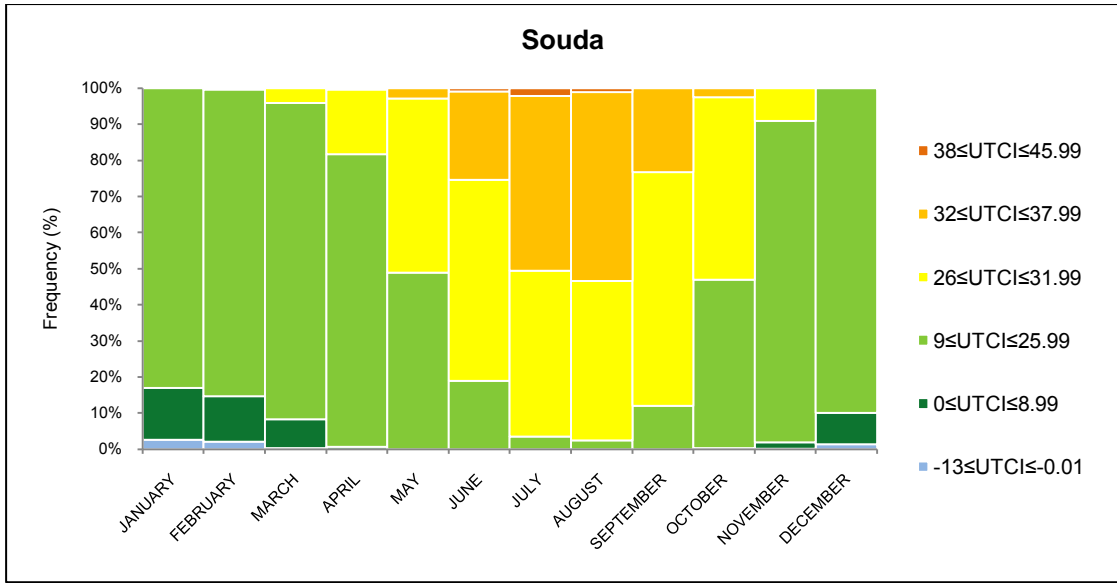


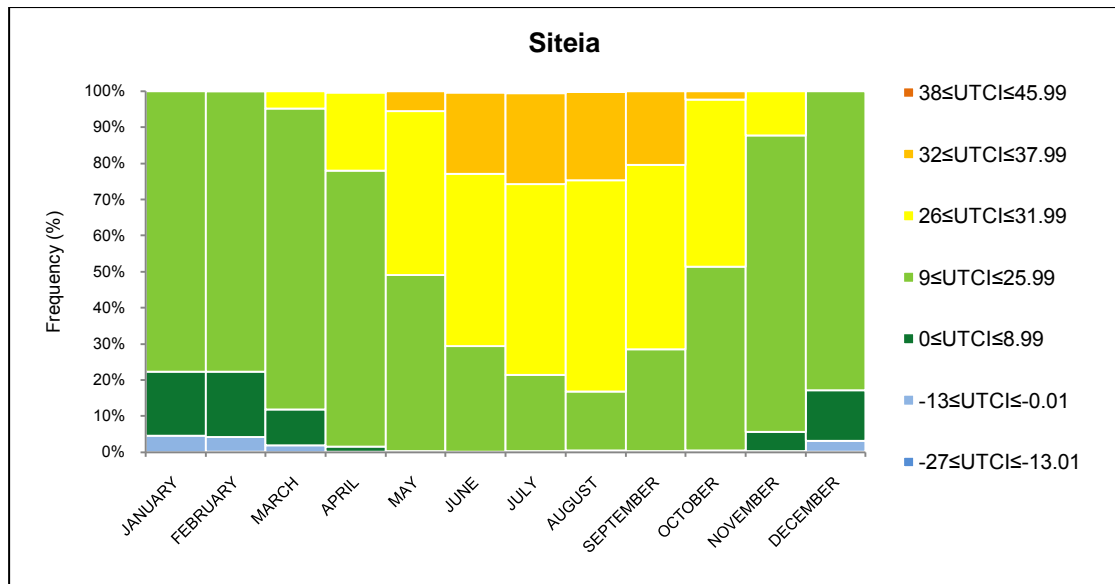




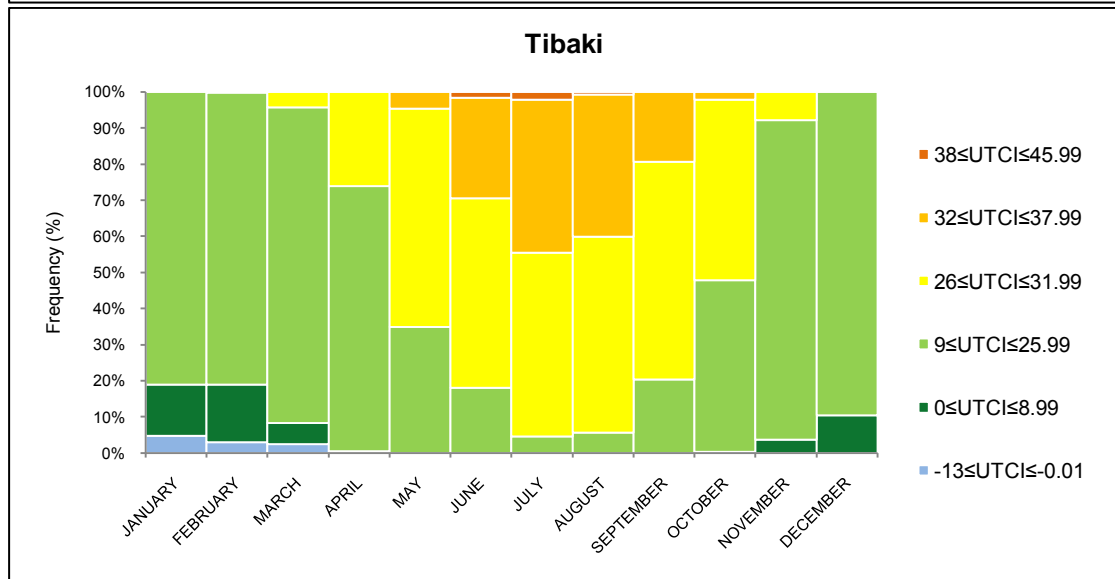
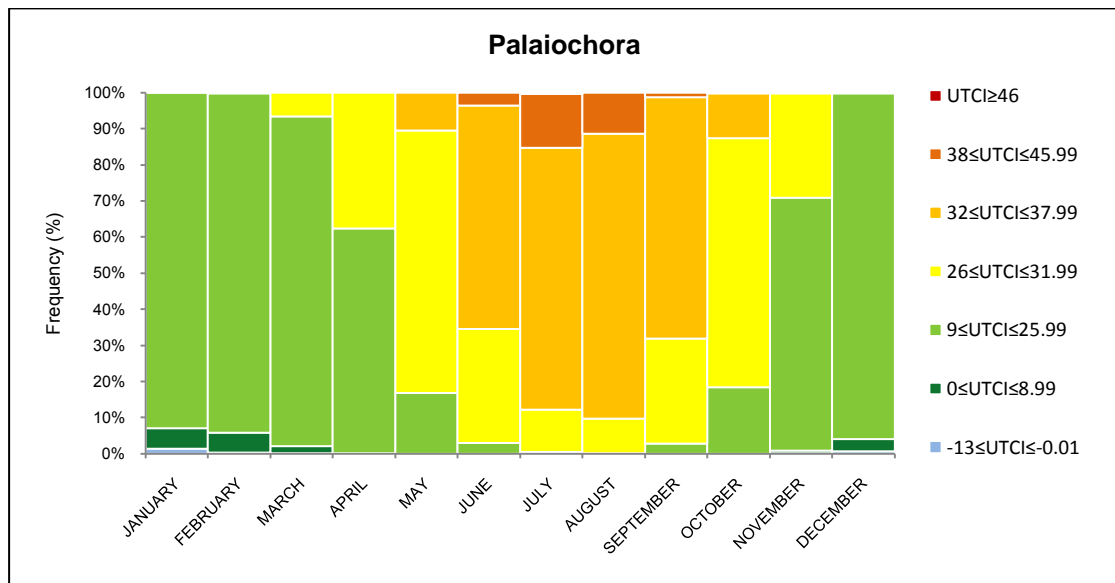
Σχήμα 6-3 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη PET για τις ορεινές περιοχές της νήσου Κρήτης (Bleta et al., 2013a)

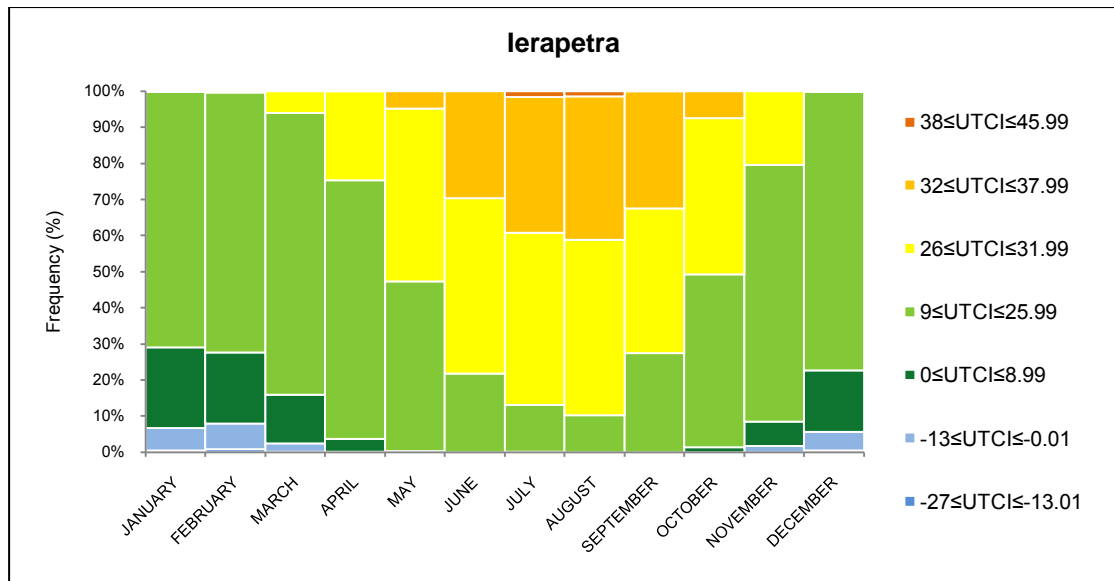
Τα βιοκλιματικά διαγράμματα για το δείκτη PET αφορούν την περίοδο 1975-2004, εκτός από τις περιοχές: Χανιά (1961-1974), Γόρτυ (1989-2006), Τζερμιάδο (1975-1994), Βάμο (1975-1997) και Ζαρό (1991-2006) και γι'αυτό συσχετίζονται οι δέκα περιοχές που έχουν κοινή περίοδο μελέτης. Στη συνέχεια παρατίθενται τα αντίστοιχα δέκα βιοκλιματικά διαγράμματα για UTCI για την ίδια περίοδο 1975-2004, τα οποία συγκρίνονται με τα αντίστοιχα διαγράμματα PET.



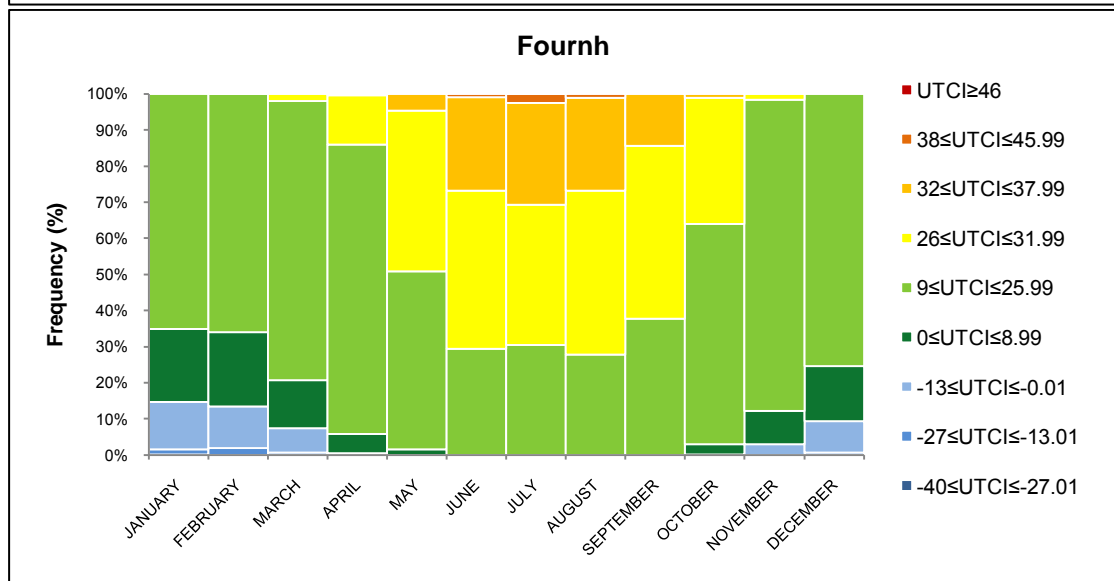
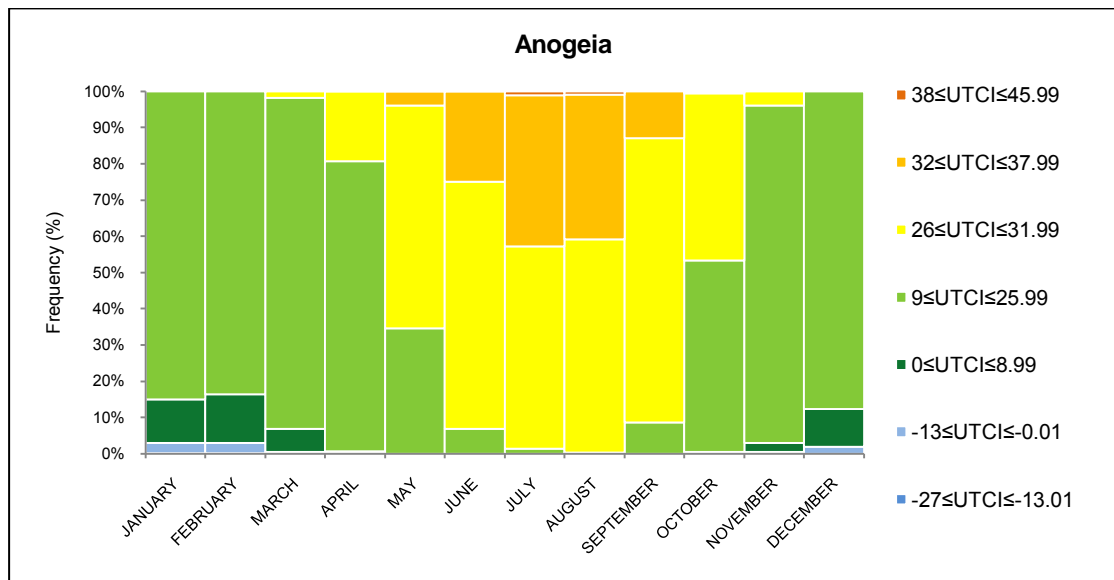


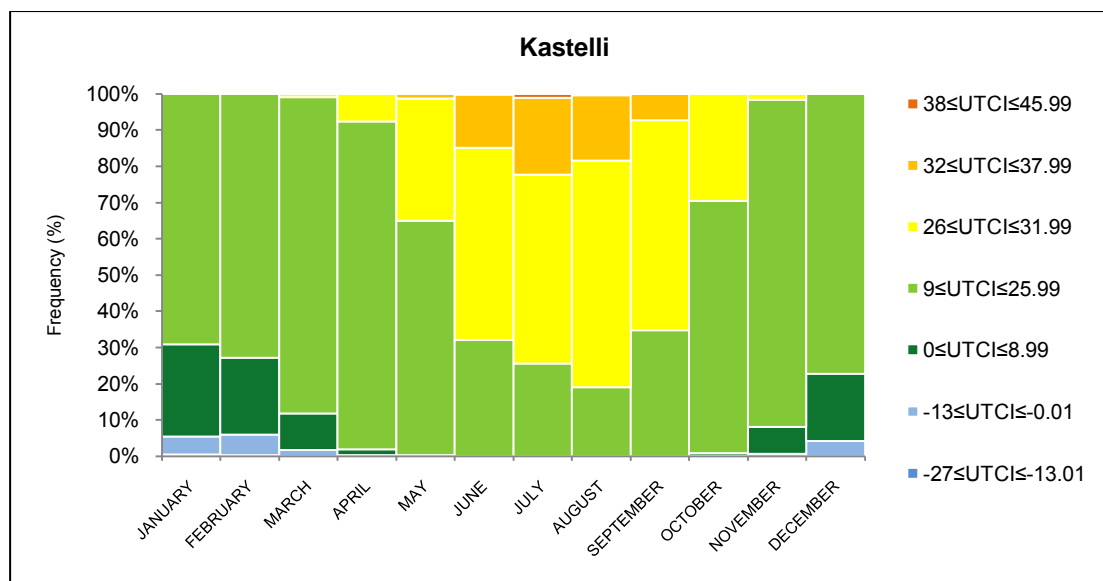
Σχήμα 6-4 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη UTCI για τις βόρειες περιοχές της νήσου Κρήτης (Bleta et al., 2013a)





Σχήμα 6-5 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη UTCI για τις νότιες περιοχές της νήσου Κρήτης (Bleta et al., 2013a)





Σχήμα 6-6 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη UTCI για τις ορεινές περιοχές της νήσου Κρήτης (Bleta et al., 2013a)

Σε ό,τι αφορά τους σταθμούς στις βόρειες ακτές του νησιού (Σούδα, Ρέθυμνο, Ηράκλειο και Σητεία), η ανάλυση των βιοκλιματικών διαγραμμάτων έδειξε ότι η κλάση του PET της θερμικής άνεσης ($18^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 23^{\circ}\text{C}$) παρατηρείται κατά τη διάρκεια όλου του χρόνου σε όλους τους σταθμούς. Η συχνότητα της κλάσης της θερμικής άνεσης κυμαίνεται από 0.3% (τον Αύγουστο στη Σούδα) σε 38.4% (τον Οκτώβριο στο Ηράκλειο). Η κατηγορία της θερμικής άνεσης παρουσιάζει συχνότητες από 1.3% (τον Αύγουστο στο Τυμπάκι) σε 38.4% (το Μάρτιο στην Παλαιοχώρα), καθ'όλο το έτος στις νότιες παράκτιες πόλεις, ενώ αυτή η κατηγορία εξαφανίζεται, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο στην περιοχή της Παλαιοχώρας. Τα ευρήματά μας υποδεικνύουν ότι η τάξη της θερμικής άνεσης βρίσκεται σε υψηλότερες συχνότητες για τους βόρειους σταθμούς σε σχέση με τους νότιους.

Λαμβάνοντας υπόψη τον θερμικό δείκτη UTCI, η κατηγορία της θερμικής άνεσης ($9^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 26^{\circ}\text{C}$) για τους βόρειους σταθμούς απουσιάζει το μήνα Δεκέμβριο και τον Ιανουάριο στη Σούδα, ενώ φθάνει στο 90.9% το Νοέμβριο στο Ηράκλειο. Σε ό,τι αφορά τους νότιους σταθμούς, ο δείκτης UTCI φαίνεται να είναι μεταξύ 0.1% (τον Αύγουστο στην Παλαιοχώρα) και 95.7% (το Δεκέμβριο στην Παλαιοχώρα).

Η συχνότητα της κλάσης του ισχυρού θερμικού στρες του δείκτη PET, στις βόρειες ακτές του νησιού, δεν εμφανίζεται κατά τη διάρκεια των κρύων μηνών (από το Δεκέμβριο έως το Φεβρουάριο στη Σούδα και στο Ρέθυμνο, από τον Νοέμβριο έως το Μάρτιο στη Σητεία και από το Δεκέμβριο έως το Μάρτιο, στο Ηράκλειο), ενώ η μέγιστη συχνότητα (31.8%) ανέρχεται τον Αύγουστο στο Ρέθυμνο. Όσον αφορά τις νότιες παράκτιες πόλεις, η τάξη του ισχυρού θερμικού στρες δεν εμφανίζεται τον Ιανουάριο στο Τυμπάκι, από τον Δεκέμβριο μέχρι τον Ιανουάριο στην Ιεράπετρα και από το Δεκέμβριο έως το Μάρτιο στην Παλαιοχώρα, ενώ η υψηλότερη συχνότητα είναι 52.1% το Σεπτέμβριο στην Παλαιοχώρα. Από την άλλη πλευρά, αναφορικά με τους βόρειους παράκτιους σταθμούς, η τάξη του ισχυρού ψυχρού στρες είναι απύσχα από το Μάιο έως τον Ιούνιο και τον Οκτώβριο στη Σητεία και από το Μάιο μέχρι τον Οκτώβριο στη Σούδα, στο Ρέθυμνο και στο Ηράκλειο.

Παρόμοιο μοτίβο απαντάται στις νότιες παραλιακές πόλεις, όπου η τάξη αυτή δεν εμφανίζεται από το Μάιο έως τον Οκτώβριο σε οποιονδήποτε από τους σταθμούς, ενώ φθάνει τη μέγιστη συχνότητα (15.3%) το Φεβρουάριο στην Ιεράπετρα.

Η τάξη του ισχυρού θερμικού στρες για το δείκτη UTCI στις βόρειες παράκτιες περιοχές της νήσου Κρήτης δεν εμφανίζεται από το Σεπτέμβριο έως το Μάιο στη Σούδα, από τον Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο, στο Ηράκλειο και το Ρέθυμνο και από το Νοέμβριο έως το Μάρτιο στη Σητεία, φθάνοντας τη μέγιστη συχνότητά του (55.8%) τον Αύγουστο, στο Ρέθυμνο. Σχετικά με τους νότιους παράκτιους σταθμούς, αυτή η κατηγορία δεν εμφανίζεται από το Δεκέμβριο μέχρι τον Απρίλιο στην Παλαιοχώρα, από το Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο στο Τυμπάκι, και από το Νοέμβριο έως το Μάρτιο στην Ιεράπετρα, ενώ η μέγιστη συχνότητα (79.0%) εμφανίζεται τον Αύγουστο στην Παλαιοχώρα. Η τάξη του ισχυρού ψυχρού στρες είναι πραγματικά σπάνια για τους βόρειους σταθμούς. Πιο συγκεκριμένα, αυτή η κλάση δεν εμφανίζεται καθόλου στη Σούδα και δεν φαίνεται από τον Απρίλιο έως το Δεκέμβριο στο Ηράκλειο, από το Μάρτιο έως το Σεπτέμβριο και Νοέμβριο στο Ρέθυμνο, και από το Μάρτιο έως το Νοέμβριο και Ιανουάριο στη Σητεία. Η μέγιστη συχνότητα είναι 0.6% το Φεβρουάριο, στο Ηράκλειο. Για τους νότιους παράκτιους σταθμούς, η τάξη του ισχυρού ψυχρού στρες δεν υφίσταται καθ'όλο το χρόνο για την Παλαιοχώρα και το Τυμπάκι, ούτε αυτό φαίνεται από τον Απρίλιο μέχρι τον Νοέμβριο στην Ιεράπετρα. Ωστόσο, φθάνει τη μέγιστη συχνότητα 0.83% το Φεβρουάριο στην Ιεράπετρα.

Η τάξη του ακραίου θερμικού στρες για το δείκτη PET στους βόρειους σταθμούς είναι απύσασα από το Νοέμβριο έως το Μάρτιο στη Σούδα, στο Ρέθυμνο, τη Σητεία και από το Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο στο Ηράκλειο, παρουσιάζοντας τη μέγιστη συχνότητα (13.7%) τον Ιούλιο στο Ρέθυμνο. Παρόμοια χρονικά μοτίβα εμφανίζονται στους νότιους σταθμούς, όπου δεν παρατηρείται ακραίο θερμικό στρες από τον Νοέμβριο μέχρι τον Απρίλιο στην Παλαιοχώρα, από το Νοέμβριο έως το Φεβρουάριο στο Τυμπάκι και από το Νοέμβριο έως το Μάρτιο στην Ιεράπετρα. Η μέγιστη συχνότητα (36.5%) εμφανίζεται τον Ιούλιο στην Παλαιοχώρα. Λαμβάνοντας υπόψη τις συχνότητες της τάξης του ακραίου ψυχρού στρες για τους βόρειους σταθμούς, η υψηλότερη συχνότητα (4.9%), εμφανίζεται το Φεβρουάριο στη Σούδα, ενώ η τάξη αυτή δεν υφίσταται από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο στη Σούδα, από τον Απρίλιο έως τον Νοέμβριο στο Ηράκλειο, από τον Απρίλιο έως το Σεπτέμβριο και το Νοέμβριο στο Ρέθυμνο και τον Απρίλιο, Μάιο, Ιούλιο, Σεπτέμβριο και Οκτώβριο στη Σητεία. Σχετικά με τους νότιους σταθμούς, η τάξη του ακραίου ψυχρού στρες δεν εμφανίζεται από το Μάρτιο έως το Νοέμβριο στην Παλαιοχώρα, από τον Απρίλιο μέχρι το Νοέμβριο στο Τυμπάκι και από τον Απρίλιο έως τον Ιούνιο και από τον Αύγουστο μέχρι τον Οκτώβριο στην Ιεράπετρα, παρουσιάζοντας τη μέγιστη συχνότητα (4.2%) το Φεβρουάριο στην Ιεράπετρα.

Η τάξη του πολύ ισχυρού θερμικού στρες για το δείκτη UTCI στους βόρειους σταθμούς κυμαίνεται από 0.2% (τον Αύγουστο στη Σητεία) έως 4.3% (τον Ιούλιο στο Ρέθυμνο) έναντι 0.1% (το Νοέμβριο στην Παλαιοχώρα και το Σεπτέμβριο στην Ιεράπετρα) έως 14.9% (τον Ιούλιο στην Παλαιοχώρα). Η τάξη του πολύ ισχυρού ψυχρού στρες δεν είναι εμφανής στους βόρειους και στους νότιους σταθμούς καθ'όλη τη διάρκεια του έτους. Η τάξη του ακραίου θερμικού στρες για το δείκτη UTCI ($UTCI > 46^{\circ}C$) δεν εμφανίζεται στους βόρειους σταθμούς, με την εξαίρεση της Σητείας, όπου η τάξη αυτή εμφανίζεται ελαφρώς

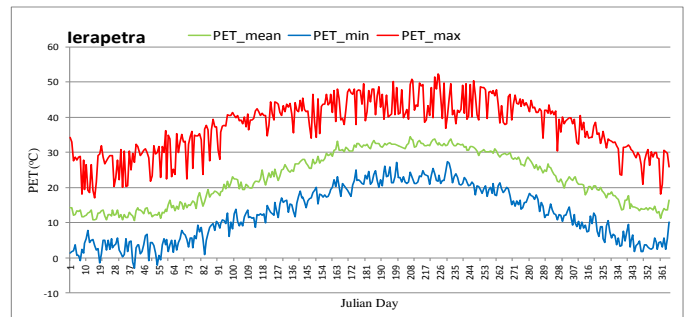
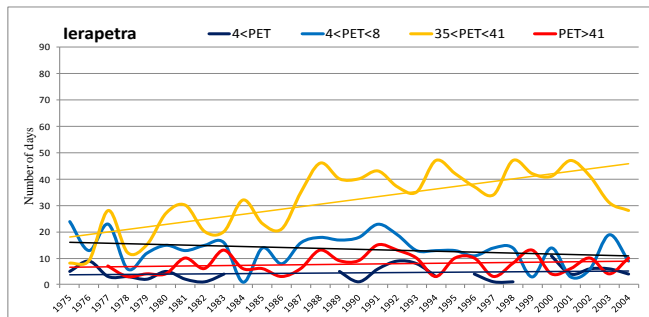
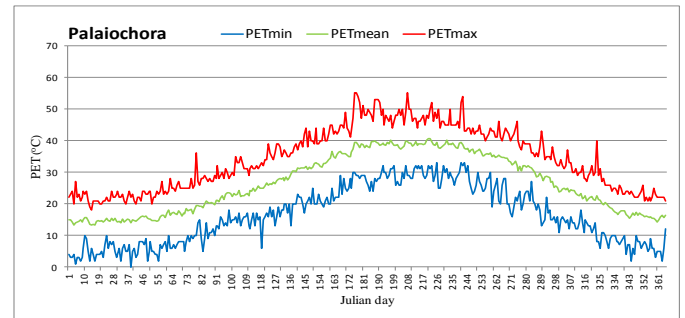
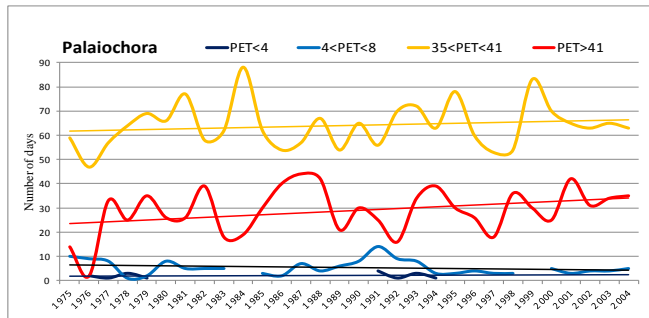
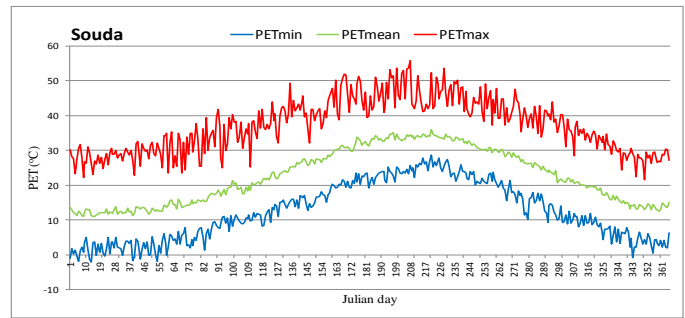
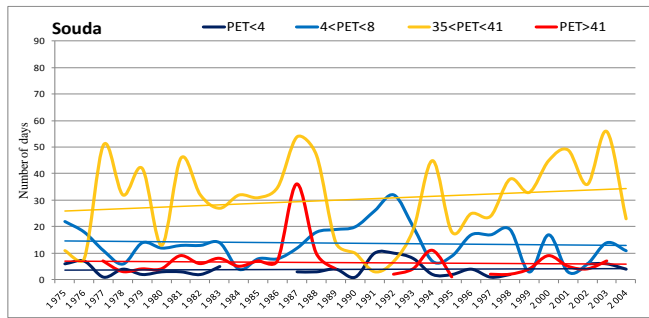
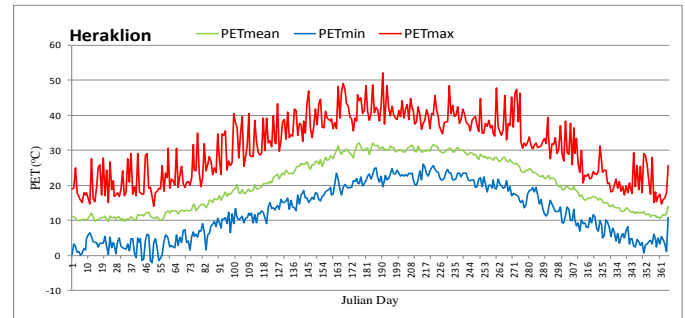
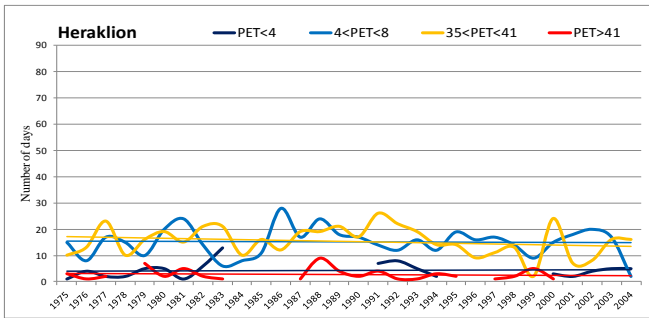
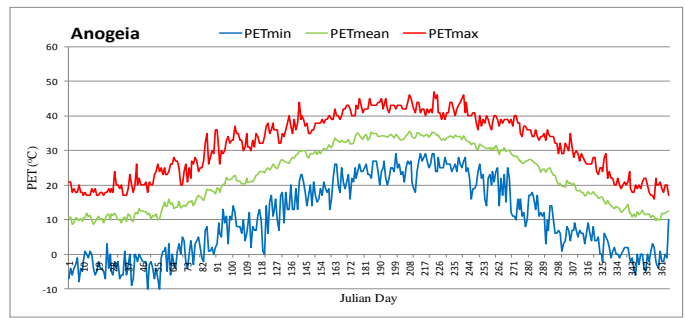
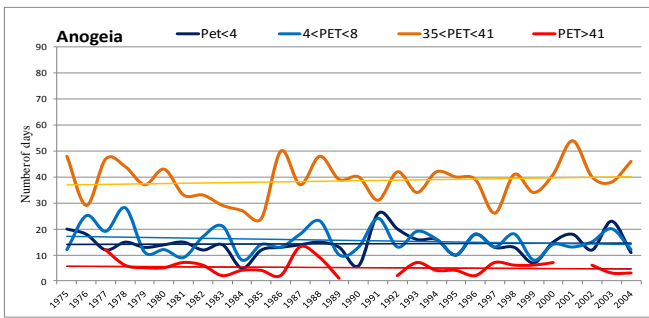
από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο παρουσιάζοντας την υψηλότερη συχνότητα (0.5%) τον Ιούλιο. Εκτός από αυτό, η τάξη αυτή είναι απύσασ στους νότιους σταθμούς με εξαίρεση την περιοχή της Παλαιχώρας, όπου παρουσιάζει συχνότητα 0.4% τον Ιούλιο. Η τάξη του ακραίου ψυχρού στρες της κλίμακας αξιολόγησης (UTCI<-40°C) δεν εμφανίζεται σε κανέναν από τους βόρειους και νότιους σταθμούς.

Όσον αφορά τους ορεινούς σταθμούς, το κύριο χαρακτηριστικό τους είναι ότι η τάξη του ακραίου ψυχρού στρες για το δείκτη PET εμφανίζει διάρκεια 7 μηνών (Οκτώβριο έως Απρίλιο) στα Ανώγεια και στο Καστέλι, καθώς και 6 μηνών (Νοέμβριο έως Απρίλιο) στην περιοχή Φουρνή που κυμαίνεται από 0.1% (τον Απρίλιο στη Φουρνή και τον Οκτώβριο στο Καστέλι) σε 18.8% (τον Ιανουάριο στη Φουρνή). Η τάξη του ισχυρού ψυχρού στρες είναι εμφανής κατά τη διάρκεια 8 μηνών (από Οκτώβριο έως Μάιο) στο Καστέλι και στα Ανώγεια και 7 μηνών (από τον Οκτώβριο έως τον Απρίλιο) στη Φουρνή, που κυμαίνεται από 0.1% (το Οκτώβριο στο Καστέλι) σε 27.4% (τον Ιανουάριο στο Καστέλι). Αντιθέτως, η διάρκεια της τάξης του ακραίου θερμικού στρες έχει μειωθεί σε 5-6 μήνες (Μάιος-Σεπτέμβριος στη Φουρνή και στα Ανώγεια, Απρίλιος - Σεπτέμβριος στο Καστέλι), που κυμαίνεται από 0,1% (Σεπτέμβριο στα Ανώγεια και το Μάιο στη Φουρνή) στο 6.9% (Ιούλιος στα Ανώγεια). Η τάξη του ισχυρού θερμικού στρες εμφανίζεται από το Μάρτιο μέχρι το Νοέμβριο (στο Καστέλι και στα Ανώγεια) και από τον Απρίλιο μέχρι τον Οκτώβριο στη Φουρνή, έχοντας συχνότητες από 0.1% (το Μάρτιο στα Ανώγεια) έως 37.5% (τον Ιούλιο στα Ανώγεια). Τέλος, η τάξη της θερμικής άνεσης κυμαίνεται από 0.3% (τον Ιανουάριο στη Φουρνή) έως 38.9% (το Μάιο στο Καστέλι).

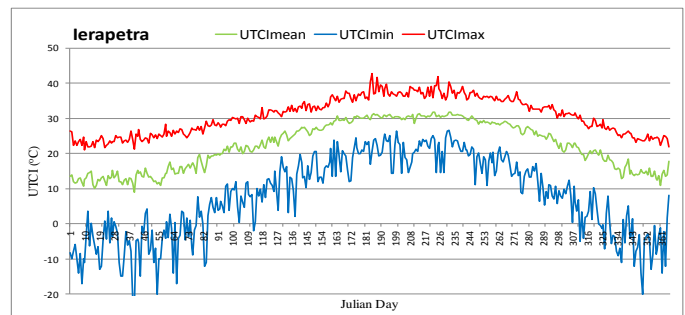
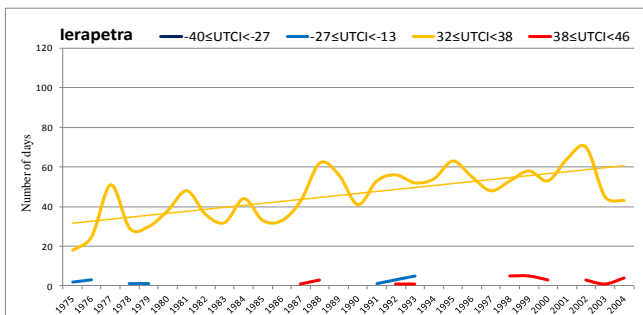
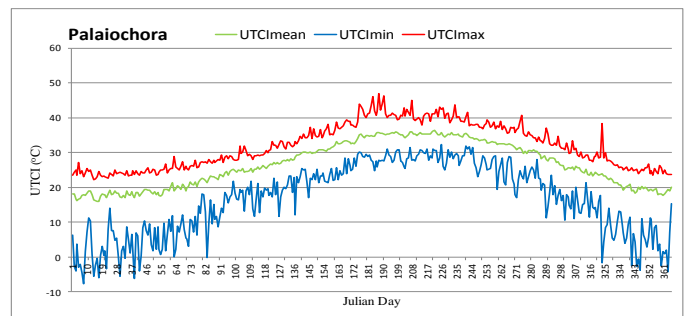
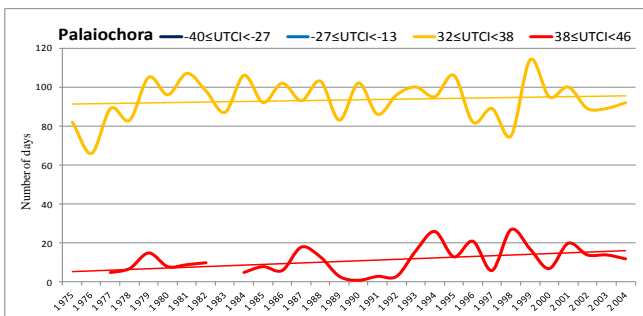
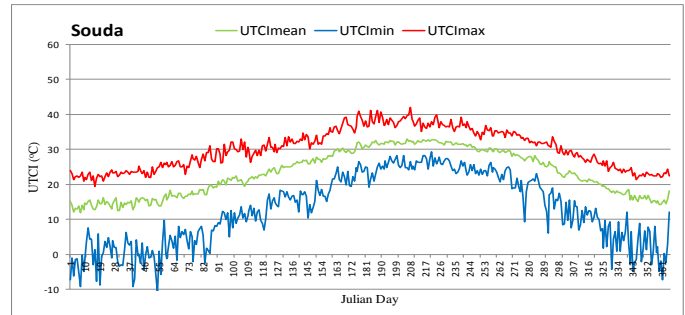
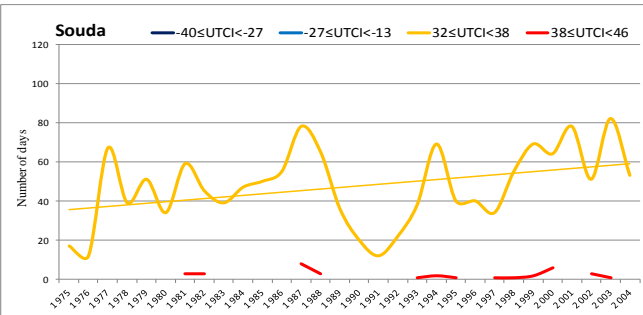
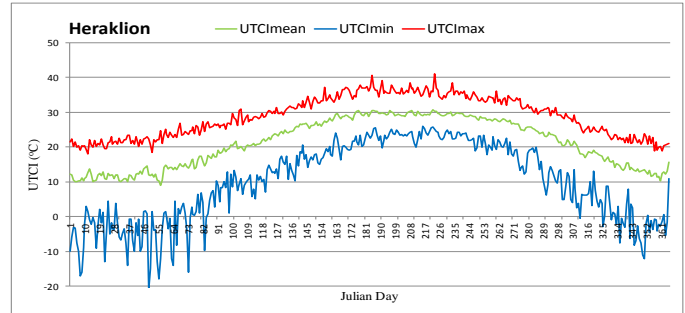
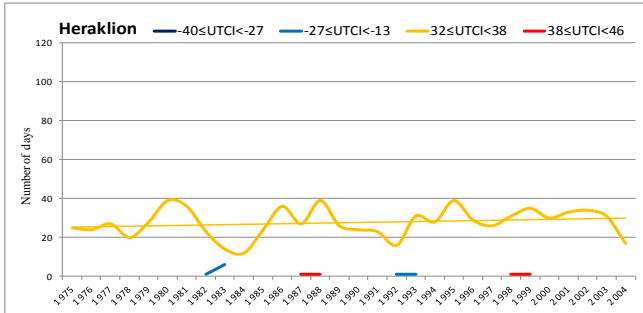
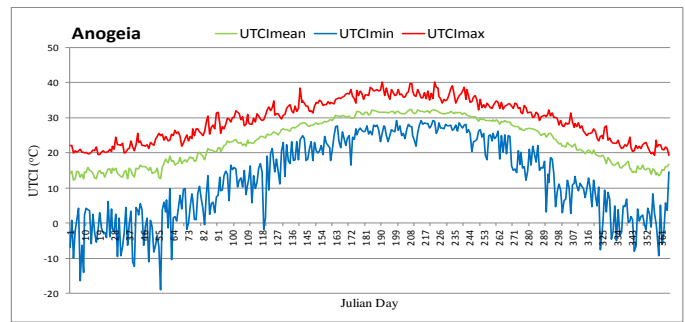
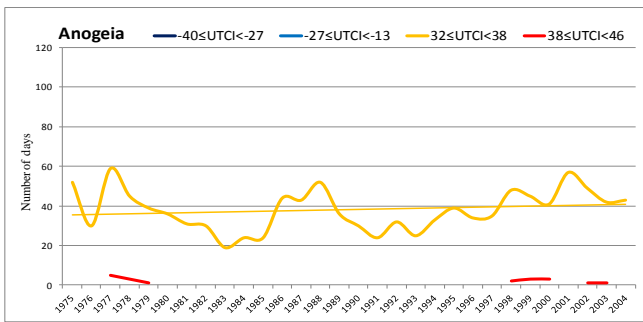
Η τάξη του ακραίου ψυχρού στρες για το δείκτη UTCI δεν εμφανίζεται σε κανέναν από τους ορεινούς σταθμούς, ενώ η τάξη του πολύ ισχυρού ψυχρού στρες εμφανίζεται μόνο τον Ιανουάριο (0.1%), στη Φουρνή. Η τάξη του ισχυρού ψυχρού στρες εκτιμάται ότι εμφανίζεται εντός 2 μηνών (από τον Ιανουάριο έως το Φεβρουάριο στο Καστέλι και στα Ανώγεια) και 4 μηνών (από το Δεκέμβριο έως το Μάρτιο στη Φουρνή), που κυμαίνεται από 0.1% (το Φεβρουάριο στα Ανώγεια) έως 1.9% (το Φεβρουάριο στη Φουρνή). Από την άλλη πλευρά, η τάξη του ακραίου θερμικού στρες απουσιάζει καθ'όλο το χρόνο με εξαίρεση το μήνα Ιούλιο (0.1%) στη Φουρνή, έναντι της τάξης του πολύ ισχυρού θερμικού στρες, που εμφανίζεται εντός 4 μηνών (από τον Ιούνιο μέχρι το Σεπτέμβριο στο Καστέλι και από το Μάιο ως τον Αύγουστο στα Ανώγεια) και εντός 2 μηνών (τον Ιούλιο και τον Αύγουστο στη Φουρνή), που κυμαίνεται από 0.1% (το Μάιο στα Ανώγεια) έως 2.5% (τον Ιούλιο στη Φουρνή). Η τάξη του ισχυρού θερμικού στρες παρουσιάζεται από 7 μήνες (από τον Απρίλιο έως τον Οκτώβριο στη Φουρνή και στα Ανώγεια) έως 5 μήνες (από το Μάιο ως το Σεπτέμβριο στο Καστέλι), λαμβάνοντας συχνότητες από 0.1% (τον Απρίλιο στα Ανώγεια) έως 41.7% (τον Ιούλιο στα Ανώγεια). Τέλος, η κατηγορία της θερμικής άνεσης κυμαίνεται από 0.3% (τον Αύγουστο στα Ανώγεια) έως 93.2% (το Νοέμβριο στα Ανώγεια). Αξίζει να σημειωθεί ότι οι μικρές συχνότητες των ακραίων τάξεων του δείκτη UTCI μπορούν να εξηγηθούν από τη φύση του εν λόγω δείκτη καθώς οι τιμές του και η κλίμακά του αντιπροσωπεύουν ένα πολύ ευρύ φάσμα των θερμοκρασιών του αέρα. Το κλίμα της Κρήτης δεν παρουσιάζει εξαιρετικά χαμηλές ή υψηλές θερμοκρασίες, γεγονός που εξηγεί την απουσία των ακραίων τάξεων του δείκτη UTCI.

Τα ευρήματα που εξάγονται από την ανάλυση των βιοκλιματικών διαγραμμάτων χρησιμοποιώντας επίγειες παρατηρήσεις βρίσκονται σε πλήρη συμφωνία με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται από τους (Matzarakis and Nastos, 2011)), οι οποίοι χρησιμοποίησαν κλιματικά δεδομένα από τη 10-λεπτη κλιματολογία (New et al., 1999, 2000) προκειμένου να δημιουργήσουν ένα βιοκλιματικό χάρτη του δείκτη PET υψηλής χωρικής ανάλυσης (1km x 1km) για τη νήσο Κρήτη κατά την περίοδο 1961-1990 (Bleta et al., 2013a).

Οι ενδο-ετήσιες διακυμάνσεις των ημερήσιων μέσων όρων της μέσης ημερήσιας τιμής του δείκτη PET, καθώς και η υψηλότερη και η χαμηλότερη μέση ημερήσια τιμή του δείκτη PET για κάθε ημερολογιακή ημέρα για την περίοδο 1975-2004 για τους σταθμούς που εξετάστηκαν στην Κρήτη απεικονίζονται στο Σχήμα 6-7 (δεξιά διαγράμματα).



Σχήμα 6-7 Χρονοσειρές των ετήσιων αριθμών ημερών εντός των ακραίων κατηγοριών των μέσων ημερήσιων τιμών του δείκτη PET μαζί με τις γραμμικές τάσεις (αριστερά διαγράμματα) και η ενδοετήσια διακύμανση των ημερήσιων μέσων όρων των μέσων ημερήσιων τιμών του δείκτη PET καθώς και η μέγιστη και η ελάχιστη μέση ημερήσια τιμή του δείκτη PET για κάθε ημερολογιακή μέρα κατά την περίοδο 1975-2004 για τους εξεταζόμενους σταθμούς της Ε.Μ.Υ. στην Κρήτη (δεξιά διαγράμματα) (Bleta et al., 2013a)



Σχήμα 6-8 Χρονοσειρές των ετήσιων αριθμών ημερών εντός των ακραίων κατηγοριών των μέσων ημερήσιων τιμών του δείκτη UTCI μαζί με τις γραμμικές τάσεις (αριστερά διαγράμματα) και η ενδοετήσια διακύμανση των ημερήσιων μέσων όρων των μέσων ημερήσιων τιμών του δείκτη UTCI καθώς και η μέγιστη και η ελάχιστη μέση ημερήσια τιμή του δείκτη UTCI για κάθε ημερολογιακή μέρα κατά την περίοδο 1975-2004 για τους εξεταζόμενους σταθμούς της Ε.Μ.Υ. στην Κρήτη (δεξιά διαγράμματα) (Bleta et al., 2013a)

Παρατηρώντας τις ακραίες μέσες ημερήσιες τιμές του δείκτη PET, η υψηλότερη μέση ημερήσια τιμή PET στους βόρειους παράκτιους σταθμούς κυμαίνεται μεταξύ 14.1°C (20 Φεβρουαρίου στο Ηράκλειο) και 55.8°C (27 Ιουλίου στη Σούδα), έναντι 17.1°C (16 Ιανουαρίου στην Ιεράπετρα) και 56.8°C (20 Ιουλίου στο Τυμπάκι) για τους νότιους παράκτιους σταθμούς. Η εκτιμώμενη μέγιστη μέση ημερήσια PET παραμένει πάνω από 41°C (ακραίο θερμικό στρες) για ένα μεγάλο χρονικό διάστημα στους νότιους σταθμούς σε σχέση με τους βόρειους. Όπως αναφέρθηκε παραπάνω αυτό είναι πιθανό λόγω του ότι οι οροσειρές του νησιού αποτελούν εμπόδιο για τους βόρειους ψυχρούς ανέμους. Λαμβάνοντας υπόψη την ελάχιστη μέση ημερήσια PET, φαίνεται ότι διακυμαίνεται από -6.1°C (10 Δεκεμβρίου στη Σητεία) και 28.7°C (9 Αυγούστου στη Σούδα), σχετικά με τους βόρειους σταθμούς, έναντι -3°C (9 Φεβρουαρίου στην Ιεράπετρα) έως 33°C (14 Αυγούστου στην Παλαιοχώρα), για τους νότιους σταθμούς. Όσον αφορά τους ορεινούς σταθμούς, η υψηλότερη μέση ημερήσια PET κυμαίνεται μεταξύ 13°C (20 Ιανουαρίου στη Φουρνή) και 52°C (10 Ιουλίου στο Καστέλι), ενώ η ελάχιστη μέση ημερήσια PET παρουσιάζει τιμές από -10°C (18 Φεβρουαρίου στα Ανώγεια) και 29°C (19 Ιουλίου στα Ανώγεια).

Όσον αφορά τις ενδο-ετήσιες διακυμάνσεις των ημερήσιων μέσων όρων των μέσων ημερήσιων τιμών του δείκτη UTCI καθώς και η μέγιστη και η ελάχιστη μέση ημερήσια τιμή του UTCI για κάθε ημερολογιακή μέρα για την περίοδο 1975-2004 για τους υπό εξέταση μετεωρολογικούς σταθμούς της Κρήτης απεικονίζονται στο Σχήμα 6-8 (δεξιά διαγράμματα). Η υψηλότερη μέση ημερήσια UTCI στους βόρειους παράκτιους σταθμούς κυμαίνεται μεταξύ 18°C (12 Ιανουαρίου στο Ηράκλειο) και 42°C (27 Ιουλίου στη Σούδα). Στους νότιους παράκτιους σταθμούς, η μέγιστη μέση ημερήσια τιμή του UTCI βρίσκεται μεταξύ 21°C (10 Ιανουαρίου στην Ιεράπετρα) και 47°C (7 Ιουλίου στην Παλαιοχώρα). Από την άλλη πλευρά, η ελάχιστη μέση ημερήσια τιμή του UTCI για τους βόρειους παράκτιους σταθμούς κυμαίνεται από -21°C (18 Φεβρουαρίου στο Ηράκλειο) μέχρι 29.4°C (9 Αυγούστου στη Σούδα), έναντι των νότιων παράκτιων σταθμών που κυμαίνεται από -23°C (9 Φεβρουαρίου στην Ιεράπετρα) έως 32.3°C (14 Αυγούστου στην Παλαιοχώρα). Τέλος, η μέγιστη μέση ημερήσια τιμή του UTCI για τους ορεινούς σταθμούς κυμαίνεται μεταξύ των 16.7°C (20 Ιανουαρίου στη Φουρνή) και των 49.2°C (5 Ιουλίου στη Φουρνή), ενώ η ελάχιστη μέση ημερήσια τιμή του UTCI παρουσιάζει τιμές εντός του εύρους των -30°C (7 Ιανουαρίου στη Φουρνή) και 29.3°C (10 Αυγούστου στα Ανώγεια).

Η ανάλυση των χρονοσειρών των τάσεων του ετήσιου αριθμού των ημερών με μέση ημερήσια τιμή του PET εντός τάξεων του ισχυρού θερμικού στρες, του ακραίου θερμικού στρες, του ισχυρού ψυχρού στρες και του ακραίου ψυχρού στρες παρουσιάζεται κατά τη διάρκεια της περιόδου 1975 - 2004 (Σχήμα 6-7 αριστερά διαγράμματα). Στον Πίνακα 6-3 παρουσιάζονται οι στατιστικά σημαντικές τάσεις για $p < 0.05$. Όσον αφορά τις βόρειες παράκτιες πόλεις, μόνο στην περίπτωση της Σητείας, οι ημέρες με ισχυρό ψυχρό στρες παρουσιάζουν αυξητική τάση (0.46 ημέρες/έτος), ενώ οι ημέρες με ακραίο και ισχυρό θερμικό στρες παρουσιάζουν πτωτική τάση. Στους ορεινούς σταθμούς, ο σταθμός στη Φουρνή υποδεικνύει αυξανόμενη τάση στο ακραίο θερμικό στρες, αντιθέτως με το σταθμό Καστέλι, όπου παρατηρείται αυξανόμενη τάση σε ακραίο ψυχρό στρες. Στις νότιες παράκτιες περιοχές, το Τυμπάκι παρουσιάζει αυξητική τάση του ακραίου ψυχρού στρες και πτωτική τάση του ισχυρού και ακραίου θερμικού στρες κατά τη διάρκεια εξεταζόμενης

περιόδου. Επιπλέον, αυξανόμενη τάση του ισχυρού θερμικού στρες εμφανίζεται στην Ιεράπετρα (Bleta et al., 2013a).

Πίνακας 6-3 Τάσεις των χρονοσειρών του ετήσιου αριθμού των ημερών με μέση ημερήσια τιμή PET μέσα σε συγκεκριμένες κλάσεις/τάξεις που εκπροσωπούνται από ακραίο/ισχυρό θερμικό και ψυχρό στρες (Bleta et al., 2013a)

Σταθμοί	PET<4°C	4°C<PET<8°C	35°C<PET<41°C	PET>41°C
	b ± SE	b ± SE	b ± SE	b ± SE
ΣΟΥΔΑ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ΡΕΘΥΜΝΟ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ΣΗΤΕΙΑ	n.s.	0.460 ± 0.155*	-0.634 ± 0.138*	-0.328 ± 0.090*
ΦΟΥΡΝΗ	n.s.	n.s.	n.s.	0.144 ± 0.062*
ΑΝΩΓΕΙΑ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ΚΑΣΤΕΛΛΙ	0.371 ± 0.145*	n.s.	n.s.	n.s.
ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
ΤΥΜΠΑΚΙ	0.110 ± 0.044*	n.s.	-1.001 ± 0.273*	-1.352 ± 0.325*
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	n.s.	n.s.	0.950 ± 0.172*	n.s.

*Στατιστικά σημαντικές τιμές με $p<0.05$, ενώ ως n.s. συμβολίζονται οι μη σημαντικές συσχετίσεις (not significant).

Επιπλέον, οι τάσεις των χρονοσειρών του ετήσιου αριθμού των ημερών με μέσες ημερήσιες τιμές του UTCI εντός ακραίων τάξεων κατά την περίοδο 1975-2004 απεικονίζονται στο Σχήμα 6-8 (αριστερά διαγράμματα). Αξίζει να σημειωθεί ότι η χρονοσειρά του πολύ ισχυρού και ισχυρού ψυχρού στρες και η τάξη του πολύ ισχυρού θερμικού στρες απουσιάζει για την πλειονότητα των εξετασθέντων σταθμών με εξαίρεση την Παλαιχώρα και το Τυμπάκι (νότιοι παράκτιοι σταθμοί), παρουσιάζοντας αύξηση και μείωση των τάσεων του ισχυρού θερμικού στρες αντίστοιχα (Πίνακας 6-4). Η κυρίαρχη τάξη είναι αυτή του ισχυρού θερμικού στρες παρουσιάζοντας σημαντικά αυξητικές τάσεις στη Σούδα και την Ιεράπετρα, ενώ πτωτικές τάσεις στη Σητεία και στο Τυμπάκι. Αυτό είναι σε συμφωνία με τις τάσεις που εμφανίζονται στη χρονοσειρά του δείκτη PET ισχυρής θερμικής καταπόνησης.

Πίνακας 6-4 Τάσεις των χρονοσειρών του ετήσιου αριθμού των ημερών με μέση ημερήσια τιμή UTCI μέσα σε συγκεκριμένες κλάσεις/τάξεις που εκπροσωπούνται από ακραίο/ισχυρό θερμικό και ψυχρό στρες (Bleta et al., 2013a)

Σταθμοί	-40°C<UTCI<-27°C	-27°C<UTCI<-13°C	32°C<UTCI<38°C	38°C<UTCI<46°C
	b±SE/p-level	b±SE/p-level	b±SE/p-level	b±SE/p-level
ΣΟΥΔΑ	-	-	0.820±0.388*	-
ΡΕΘΥΜΝΟ	-	-	n.s.	-
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	-	-	n.s.	-
ΣΗΤΕΙΑ	-	-	-0.963±0.208*	-
ΦΟΥΡΝΗ	-	-	n.s.	-
ΑΝΩΓΕΙΑ	-	-	n.s.	-
ΚΑΣΤΕΛΛΙ	-	-	n.s.	-

ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ	-	-	n.s.	0.377±0.145*
ΤΥΜΠΑΚΙ	-	-	-1.080±0.321*	-0.174±0.754*
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	-	-	1.010±0.195*	-

*Στατιστικά σημαντικές τιμές με $p < 0.05$, ενώ ως n.s. συμβολίζονται οι μη σημαντικές συσχετίσεις (not significant).

Ακολούθως, γίνεται η σύγκριση μεταξύ των εξετασθέντων θερμικών δεικτών, UTCI και PET. Υψηλοί συσχετισμοί βρέθηκαν για αυτούς τους δύο θερμικούς δείκτες (Πίνακας 6-5), δηλαδή το R^2 κυμαίνεται από 89.7% στη Φουρνή έως 96.4% στα Ανώγεια, με κλίσεις από 0.715 στην Παλαιοχώρα έως 0.954 στην Ιεράπετρα. Αυτό είναι σε συμφωνία με τα ευρήματα του Błazejczyk et al. (2012), ο οποίος κατέληξε στο συμπέρασμα ότι οι τιμές των δεικτών που προκύπτουν από ανθρώπινα μοντέλα θερμικού ισοζυγίου, δηλαδή, PET, PT (αντιληπτή θερμοκρασία) και SET* (κανονική αποτελεσματική θερμοκρασία), ήταν πιο παραπλήσιες με εκείνες του UTCI, επειδή οι δείκτες αυτοί υποδεικνύουν ισοδύναμη θερμοκρασία.

Πίνακας 6-5 Στατιστικά χαρακτηριστικά της συσχέτισης μεταξύ του παγκόσμιου δείκτη θερμικού κλίματος (UTCI) και της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) για τις εξεταζόμενες περιοχές της Κρήτης κατά τη διάρκεια 1975-2004 (Bleta et al., 2013a)

Σταθμοί	Κλίση	R-τετράγωνο(%)
ΣΟΥΔΑ	0.813	94.23
ΡΕΘΥΜΝΟ	0.894	91.43
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	0.940	91.47
ΣΗΤΕΙΑ	0.901	91.72
ΦΟΥΡΝΗ	0.922	89.72
ΑΝΩΓΕΙΑ	0.728	96.37
ΚΑΣΤΕΛΛΙ	0.887	92.81
ΠΑΛΑΙΟΧΩΡΑ	0.715	95.17
ΤΥΜΠΑΚΙ	0.829	92.55
ΙΕΡΑΠΕΤΡΑ	0.954	90.32

Στην περίπτωση μας, οι χαμηλότερες μέσες ημερήσιες τιμές του PET κυμαίνονται από +0.2°C (στην Παλαιοχώρα) έως -10.1°C (στα Ανώγεια), έναντι των χαμηλότερων μέσων ημερήσιων τιμών του UTCI που κυμαίνονται από -7.6°C (στην Παλαιοχώρα) έως 30°C (στη Φουρνή). Το σχέδιο διασποράς του UTCI έναντι του PET αυξάνεται με μείωση του UTCI και αυτό μπορεί να εξηγηθεί λόγω της καθορισμένης μόνωσης από το ρουχισμό υπό κρύες συνθήκες που προσφέρει ο υπολογισμός του PET έναντι της εξαρτώμενης από τον άνεμο

μόνωσης από το ρουχισμό του UTCI. Όπως έχει παρατηρήσει ο (Blazejczyk et al., 2012), ο δείκτης UTCI είναι πολύ ευαίσθητος στις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα, στην ηλιακή ακτινοβολία, στην υγρασία και ιδιαίτερα στην ταχύτητα του ανέμου, ενώ ο δείκτης PET είναι πιο στενά συνδεδεμένος με τη θερμοκρασία του αέρα.

Οι Thorsson et al. (2007) έδειξαν καλή συσχέτιση του PET με την αντίληψη των ερωτηθέντων συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δομημένων συνεντεύξεων και της αξιολόγησης του PET σε αστικό πάρκο και σε ένα οικοδομικό τετράγωνο στην περιοχή Matsudo, μια δορυφορική πόλη κοντά στο Τόκιο της Ιαπωνίας. Εκτός αυτού, ο δείκτης PET έχει χρησιμοποιηθεί σε αστική κατοικημένη περιοχή με πολύπλοκα σχέδια σκίασης παράγοντας ακριβείς προβλέψεις των θερμικών περιβαλλόντων (Gulyás et al., 2006; Thorsson et al., 2007). Οι Svensson et al. (2003) παρουσίασαν την κατανομή των τιμών του δείκτη PET σε χάρτη στην περιοχή Goteborg, χρησιμοποιώντας τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Οι Gulyas et al. (2006) αξιολόγησαν τη θερμική άνεση στο Szeged στην Ουγγαρία. Οι Bouyer et al. (2007) αξιολόγησαν τη θερμική άνεση σε δύο στάδια (στο Stade de France στο Παρίσι και στο Ολυμπιακό Στάδιο Ατατούρκ στην Κωνσταντινούπολη), χρησιμοποιώντας πειράματα αεροδυναμικής σήραγγας και το δείκτη PET. Συμπεράναν ότι οι χάρτες του PET δεν θα πρέπει να θεωρούνται ως «απόλυτα» αποτελέσματα και ως λεπτομερής ανάλυση των κύριων μεταφορών θερμότητας, λόγω του ότι είναι απαραίτητες οι εισφορές του ανέμου και της ακτινοβολίας. Ένα υψηλό (ή και μη αποδεκτό) επίπεδο της ταχύτητας του ανέμου σε συνδυασμό με ένα υψηλό ποσό ηλιακών φορτίων οδηγεί σε τιμές του PET που θα μπορούσαν να έχουν ληφθεί με ήπιες συνθήκες.

Συναυξάνοντας τα προαναφερθέντα, πρέπει να αναγνωρίσουμε έναν περιορισμό που σχετίζεται με την κλίμακα αξιολόγησης του PET. Χρησιμοποιήσαμε την κλίμακα του PET για τις Δυτικές/Κεντρικές Ευρωπαϊκές χώρες λαμβάνοντας υπόψη ότι η νήσος Κρήτη έχει ένα εύκρατο κλίμα, όχι αισθητά διαφορετικό από το κλίμα των Δυτικών/Κεντρικών Ευρωπαϊκών χωρών. Τοιουτοτρόπως, η χρήση της κλίμακας αξιολόγησης του PET για Δυτικές/Κεντρικές Ευρωπαϊκές χώρες είναι σχεδόν αποδεκτή. Μια πρόσφατη μελέτη από τους Cohen et al. (2012) επιβεβαιώνει την υπόθεση αυτή, αποκαλύπτοντας ότι το αποδεκτό εύρος άνεσης του PET για το μεσογειακό κλίμα του Τελ Αβίβ είναι 19-26°C, έναντι 18-23°C για το αποδεκτό εύρος άνεσης του δείκτη PET για τις Δυτικές/Κεντρικές Ευρωπαϊκές χώρες. Εκτός αυτού, η κλίμακα αξιολόγησης χρησιμοποιείται συχνά στη διεθνή βιβλιογραφία (Matzarakis et al., 1999c) για να υπολογίσει τις βιοκλιματικές συνθήκες σε διάφορα μέρη, όπως την Κωνσταντινούπολη και το Παρίσι (Bouyer et al., 2007), το Goteborg (Svensson et al., 2003a), το Szeged (Gulyás et al., 2006), το Matsudo (μία πόλη κοντά στο Τόκιο), την Ιαπωνία (Thorsson et al., 2007), την Άπω Ανατολική Ομοσπονδιακή Περιφέρεια της Ρωσικής Ομοσπονδίας (εύκρατη κλιματική ζώνη μουσώνων, η οποία χαρακτηρίζεται από ακραίο ηπειρωτικό καθεστώς ετήσιων θερμοκρασιών) (Grigorieva and Matzarakis, 2011). Ένα άλλο σημαντικό ζήτημα της χρήσης αυτής της κλίμακας αξιολόγησης αφορά τους ξένους τουρίστες, οι οποίοι επισκέπτονται το νησί της Κρήτης, πράγμα που σημαίνει ότι η θερμική άνεση των ξένων τουριστών που προέρχονται από περιοχές υψηλού γεωγραφικού πλάτους (ή μέτριες κλιματικές ζώνες) διαφοροποιείται από εκείνη των τοπικών τουριστών στην Κρήτη. Οι ξένοι τουρίστες θέλουν να γνωρίζουν τις βιοκλιματικές συνθήκες μιας περιοχής, σύμφωνα με τη δική τους θερμική αίσθηση και όχι με την αντίστοιχη των ντόπιων. Το συμπέρασμα αυτό βρίσκεται σε συμφωνία με τον (Lin, 2009), που σύγκρινε μία

τροποποιημένη κλίμακα του PET για την περιοχή του Ταϊβάν με την κλίμακα PET για τις Δυτικές/Κεντρικές Ευρωπαϊκές χώρες. Έτσι, κατέληξε στο συμπέρασμα ότι σε σύγκριση με το θερμικά αποδεκτό εύρος της Δυτικής/Κεντρικής Ευρωπαϊκής κλίμακας (18-23°C του PET), το θερμικά αποδεκτό εύρος στην Ταϊβάν, η οποία έχει ζεστό και υγρό κλίμα, είναι πολύ υψηλότερο (21.3-28.5°C του PET), επιβεβαιώνοντας τις διαφορετικές θερμικές ανάγκες-απαιτήσεις των ανθρώπων που ζουν σε διαφορετικές περιοχές.

Όσον αφορά το δείκτη UTCI, ένας περιορισμός πρέπει να εφαρμόζεται στις μελέτες σχετικά με την αξιολόγηση των κινδύνων για την υγεία κάτω από ακραίες συνθήκες (περιβάλλοντα ακραίας ζέστης ή υπερβολικού κρύου), όπου η απόκλιση μιας κλίμακας μπορεί ήδη να οδηγήσει σε ένα κρίσιμο επιχείρημα απόφασης (Weihs et al., 2012). Ο δείκτης UTCI έχει εφαρμοστεί προκειμένου να διαφοροποιήσει πόλεις όσο αφορά τη θερμική καταπόνηση. Η Idzikowska (Idzikowska, 2010) εξετάζοντας τις βιοκλιματικές συνθήκες βάσει του UTCI σε τέσσερις πόλεις, όπως η Ρώμη, η Βουδαπέστη, το Παρίσι και η Βαρσοβία έδειξε ότι «καμία θερμική καταπόνηση» δεν επέρχεται καθ'όλο το χρόνο και στις τέσσερις πόλεις. Ακραίες τιμές θερμότητας εμφανίστηκαν στη Ρώμη και τη Βουδαπέστη, ενώ η καταπόνηση λόγω ψύχους παρατηρήθηκε στη Βαρσοβία, στο Παρίσι και στη Βουδαπέστη. Επιπλέον, η εφαρμογή του UTCI σε βιοκλιματική έρευνα πραγματοποιήθηκε στη Βαρσοβία από τον Lindner (Lindner, 2011) και στην Τσεχική Δημοκρατία από τον Novák (Novák, 2011). Η Bakowska (Bakowska, 2010) πραγματοποίησε βιοκλιματική ανάλυση σχετικά με την καθημερινή πορεία του UTCI στο Koszalin, στη Βαρσοβία και στο Wroclaw για διαφορετικές μάζες αέρα, όπως αρκτική, πολική θαλάσσια, πολική ηπειρωτική και τροπική. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι οριζόντιες μεταφορές των πολικών ηπειρωτικών μαζών αέρα το χειμώνα προκαλούσαν πιο σοβαρές βιοκλιματικές συνθήκες στην Πολωνία, ενώ οι μάζες αυτές ήταν υπεύθυνες για ισχυρή θερμή καταπόνηση το καλοκαίρι. Ο Kunert (Kunert, 2010), προσομοιώνοντας τον UTCI στη μορφολογία του εδάφους της πεδινής Βαρσοβίας σε διαφορετικές καιρικές συνθήκες, διαπίστωσε ότι τα χαρακτηριστικά ανακούφισης έχουν μεγαλύτερη επιρροή στη διαμόρφωση των θερμικών συνθηκών. Οι διαφορές του UTCI μεταξύ θερμότερων και ψυχρότερων περιοχών με παρόμοιες καιρικές συνθήκες ανέρχονται πάνω από 30°C. Επιπρόσθετα, οι επιπτώσεις των βιοκλιματικών συνθηκών όσον αφορά τον UTCI στη ανθρώπινη θνησιμότητα στην Αθήνα και το Μπαγκλαντές έχουν αναλυθεί από τους (Nastos and Matzarakis, 2012)) και τους Burkart and Endlicher (Burkart and Endlicher, 2010), αντίστοιχα. Παράλληλα στην περιοχή των Αθηνών μελετήθηκε η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στον τουρισμό μέσω του δείκτη PET (Matzarakis et al., 2014). Επιπλέον, ο δείκτης UTCI μπορεί να χρησιμεύσει ως κατάλληλο εργαλείο σχεδιασμού για την αστική θερμική άνεση σε υποτροπικές περιοχές (Bröde et al., 2012a; Bröde et al., 2012b).

7 Σωματιδιακή Ρύπανση στην Κρήτη

7.1 Καταγραφή της σωματιδιακής ρύπανσης

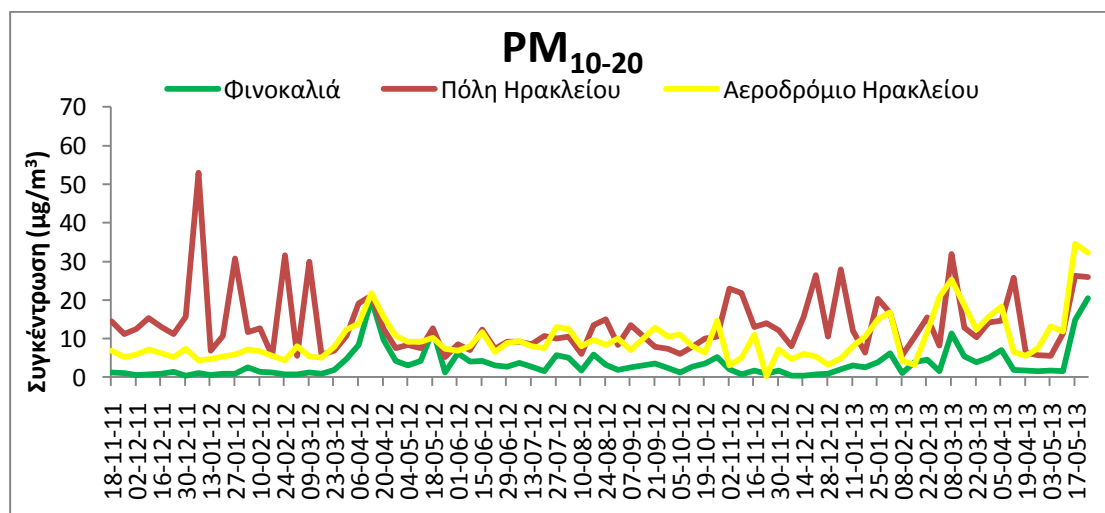
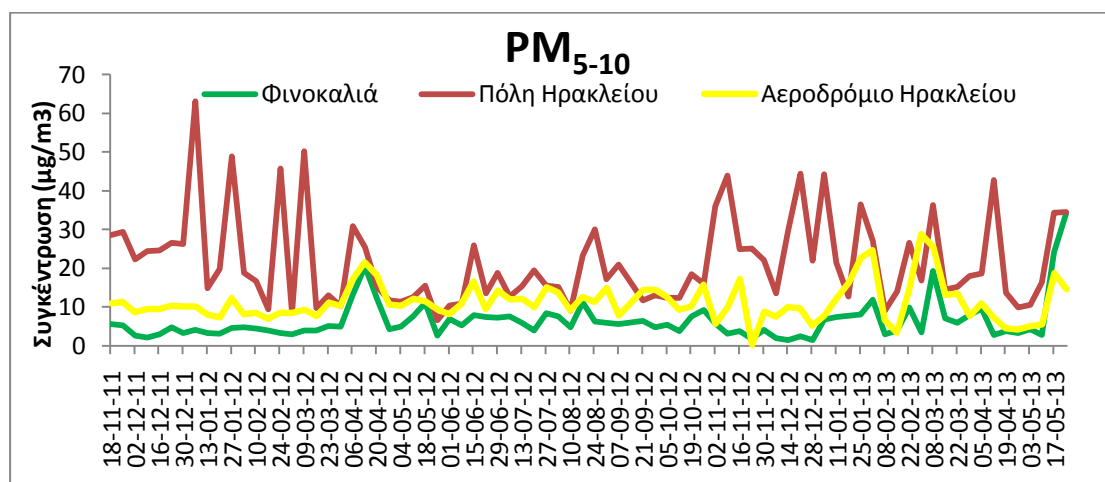
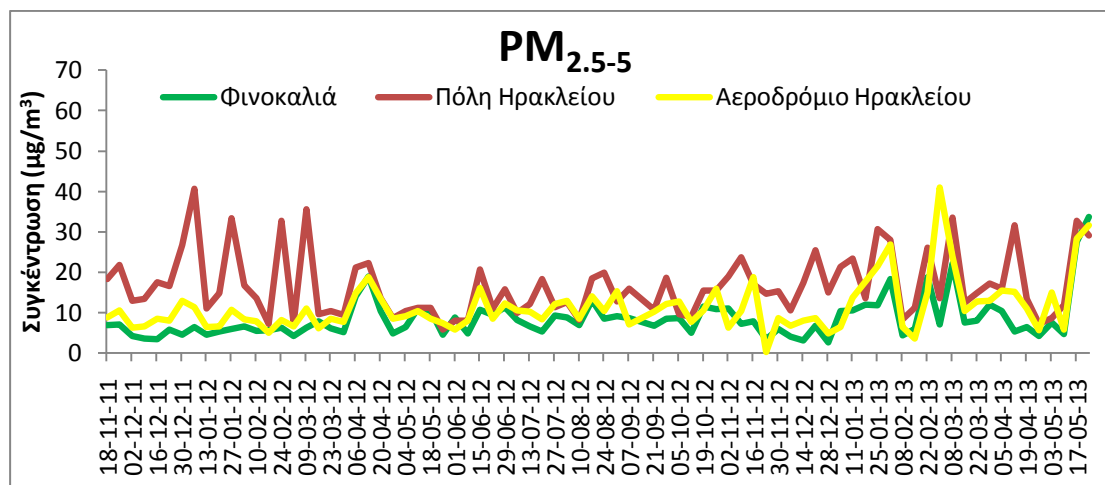
Οι συγκεντρώσεις της μάζας των ατμοσφαιρικών αερολυμάτων με γεωμετρική διάμετρο από 2.8 έως 80μm υπολογίστηκαν από δείγματα διάρκειας 7-ημερών κατά την περίοδο 18/11/2011 έως 31/05/2013 με τη βοήθεια παθητικών δειγματοληπτών (Sigma-2). Κατ'ακολουθία, λάμβανε χώρα εβδομαδιαία δειγματοληψία σε τρεις περιοχές στο νησί της Κρήτης. Η πρώτη περιοχή ήταν στην περιοχή της Φινοκαλιάς (σταθμός 1) και οι άλλες δύο βρίσκονταν στην πόλη του Ηρακλείου, στο κέντρο (σταθμός 2) και στο αεροδρόμιο (σταθμός 3) (Κεφάλαιο 5).

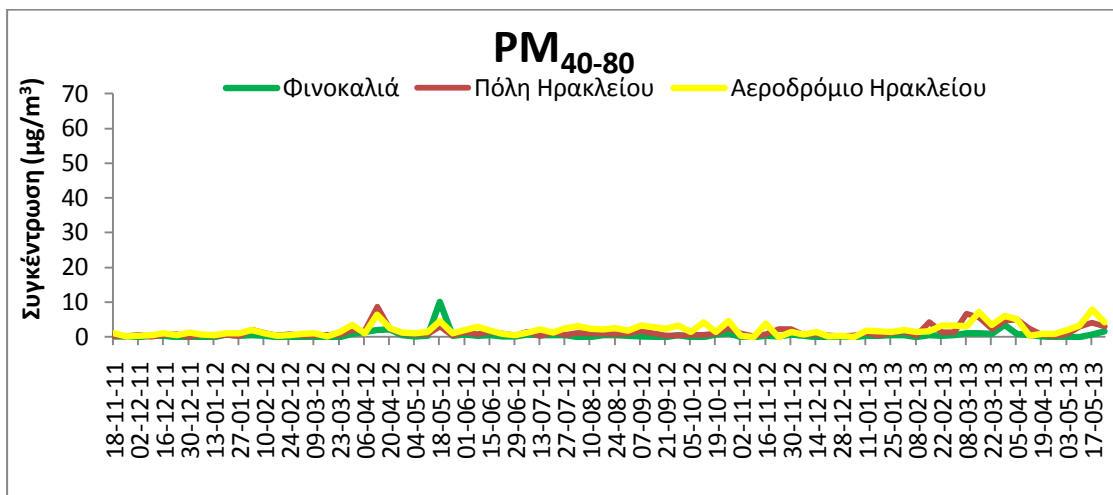
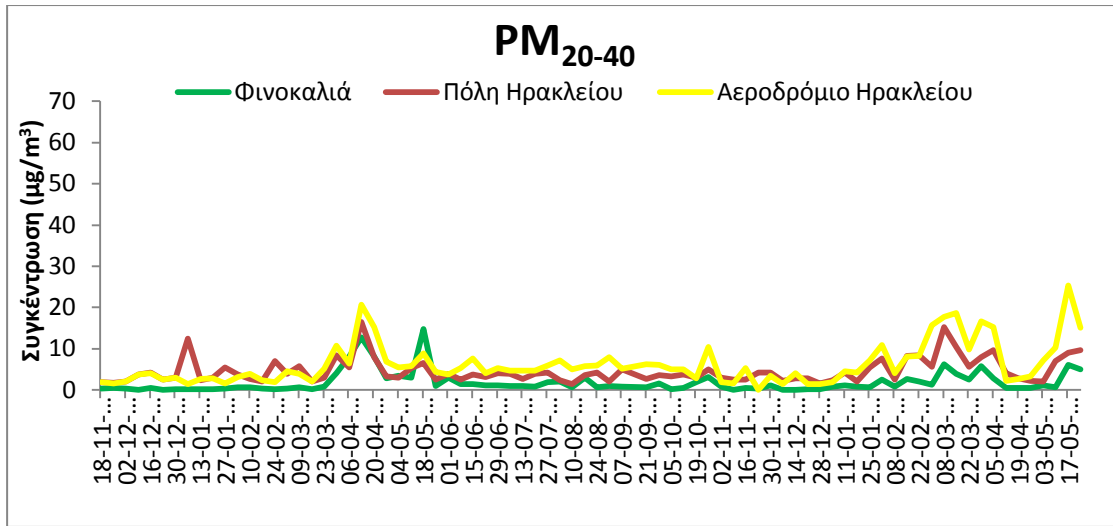
Έλαβε χώρα οπτική μικροσκοπία (bright field) που πραγματοποιήθηκε με φακό μεγέθυνσης 20x και με τη χρήση (βύθιση) μη υδατικού μέσου (έλαιο σιλικόνης). Εν συνεχεία πλήρως αυτοματοποιημένο σύστημα ανάλυσης εικόνας επέτρεψε την ανίχνευση των σωματιδίων, την ατομική μέτρησή τους, τον προσδιορισμό του μεγέθους τους και την οπτική πυκνότητα των μεμονωμένων σωματιδίων με σκοπό τη διάκρισή τους ανάλογα με την πηγή προέλευσής τους (π.χ. ορυκτά, υδατο-διαλυτά σωματίδια όπως το θαλασσινό αλάτι, βιογενές υλικό) και των ανθρωπογενών σωματιδίων (π.χ. ιπτάμενη τέφρα, σωματίδια από τη φθορά των ελαστικών, σωματίδια από φρένα αυτοκινήτων). Επιπλέον, η μελέτη της σωματιδιακής ρύπανσης εστιάστηκε στα επεισόδια μεταφοράς σκόνης Σαχάρας που εξετάζονται σε ξεχωριστά χωρία ακολούθως.

Παρατίθενται οι χρονοσειρές των συγκεντρώσεων της σωματιδιακής ρύπανσης για κάθε σταθμό δειγματοληψίας ανά κλάση μεγέθους των σωματιδίων, τόσο για το σύνολο των αερολυμάτων (Σχήμα 7-1), όσο και για τα αερολύματα τα προερχόμενα από τις δραστηριότητες των ανθρώπων (Σχήμα 7-2). Αρχικά στα συνολικά αιωρούμενα σωματίδια καταγράφονται μεγαλύτερες συγκεντρώσεις για τα μεγέθη μεταξύ 2.5-20μm, αφού λόγω του μικρού μεγέθους μπορούν να ταξιδεύουν σε μεγάλες αποστάσεις από την πηγή προέλευσής τους και αυτές οι τάξεις μεγέθους είναι ικανές να προκαλέσουν βραχυπρόθεσμες συνέπειες στα καρδιαγγειακά (έμφραγμα του μυοκαρδίου για όσους έχουν ιστορικό καρδιακών προβλημάτων, διαταραχές καρδιακού ρυθμού κ.ά.) (Kunzli et al., 2005) και αναπνευστικά προβλήματα (κρίσεις άσθματος, βρογχίτιδα, μειωμένη αναπνευστική λειτουργία κ.ά.) (McConnell et al., 2002), ενώ σε πολλές μελέτες περιγράφεται η συσχέτιση της έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια με τη θνησιμότητα (Dockery et al., 1993; Jerrett et al., 2005; Liang et al., 2009).

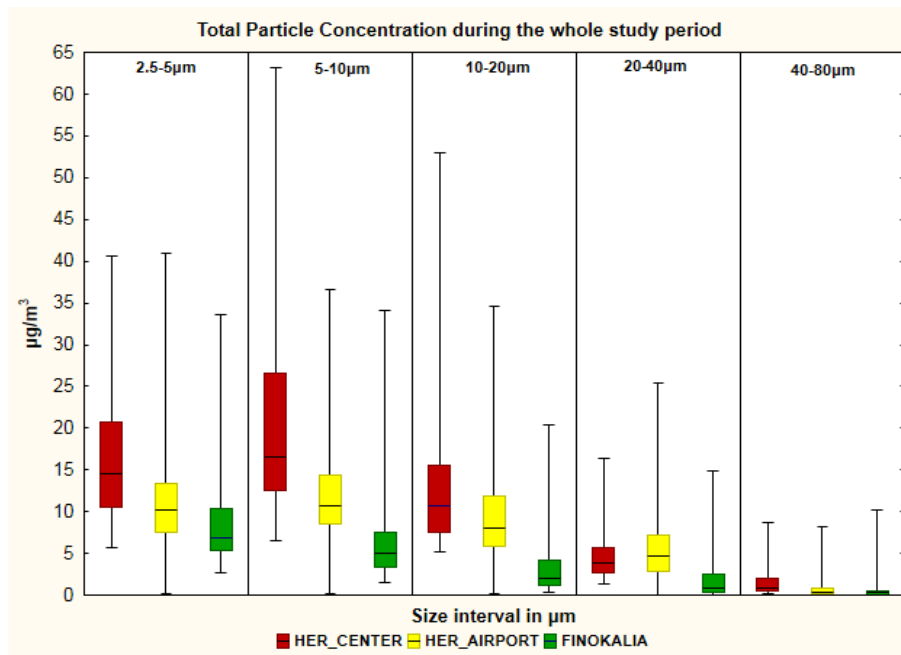
Ο σταθμός 1 της Φινοκαλιάς εμφανίζει σε όλα τα μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων χαμηλές συγκεντρώσεις σε συνάρτηση με τους άλλους δύο σταθμούς, ως σταθμός αναφοράς, ενώ ο σταθμός με τις μεγαλύτερες συγκεντρώσεις είναι ο 2 (κέντρο της πόλης του Ηρακλείου). Συγκεκριμένα, η πόλη του Ηρακλείου στα συνολικά αιωρούμενα σωματίδια από μέγεθος 2.5-20μm εμφανίζει υψηλές συγκεντρώσεις κατά την περίοδο του χειμώνα του 2012 και 2013, πράγμα που εξηγείται από τις υψηλές συγκεντρώσεις κόκκων αλατιού (όπως έδειξε η ανάλυση του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου) που αποτίθενται στο δειγματολήπτη Sigma-2 λόγω των βόρειων ανέμων, που τους μεταφέρουν με μορφή θαλάσσιου σπρέι, εγκλωβίζοντας τα σωματίδια της ατμόσφαιρας. Σε όλους όμως τους

σταθμούς καταγράφονται τα επεισόδια της σκόνης της Σαχάρας, παρατηρώντας τα κυρίως κατά την άνοιξη του 2012 (4 επεισόδια) και του 2013 (8 επεισόδια) με διάρκεια από 1 ημέρα έως και 3 ημέρες, αφού αυξάνεται η συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων μεγέθους μεταξύ 2.5 και 20μm, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία με μελέτες (Rodriguez et al., 2001; Gobbi et al., 2007; Κοζακ et al., 2007) που αφορούν ακόμα και το ελλαδικό χώρο (Gerasopoulos et al., 2006b; Koulouri et al., 2008; Remoundaki et al., 2011).





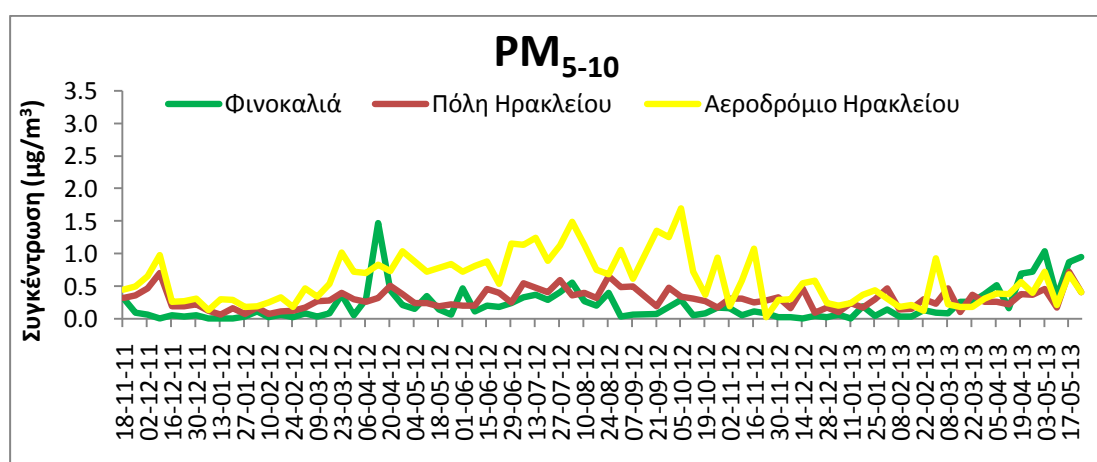
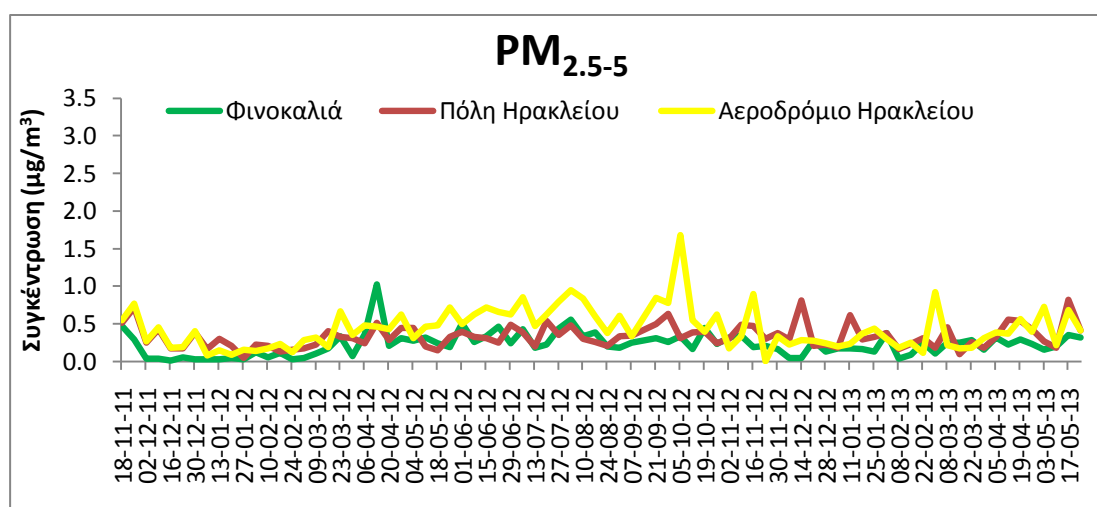
Σχήμα 7-1 Χρονοσειρές των συνολικών αιωρούμενων σωματιδίων ανά κλάση μεγέθους και ανά σταθμό δειγματοληψίας

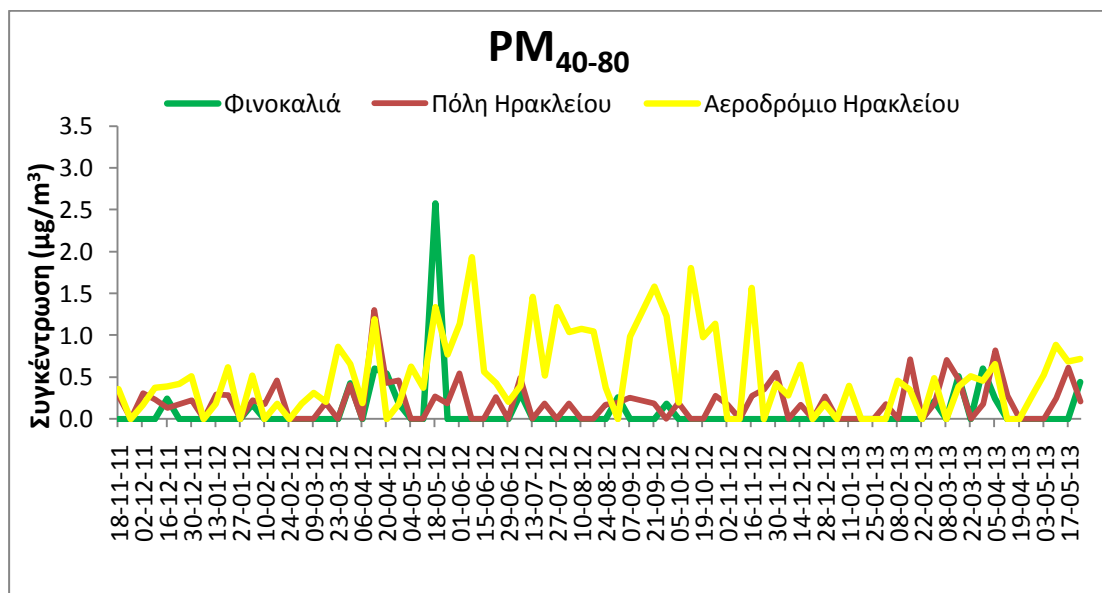
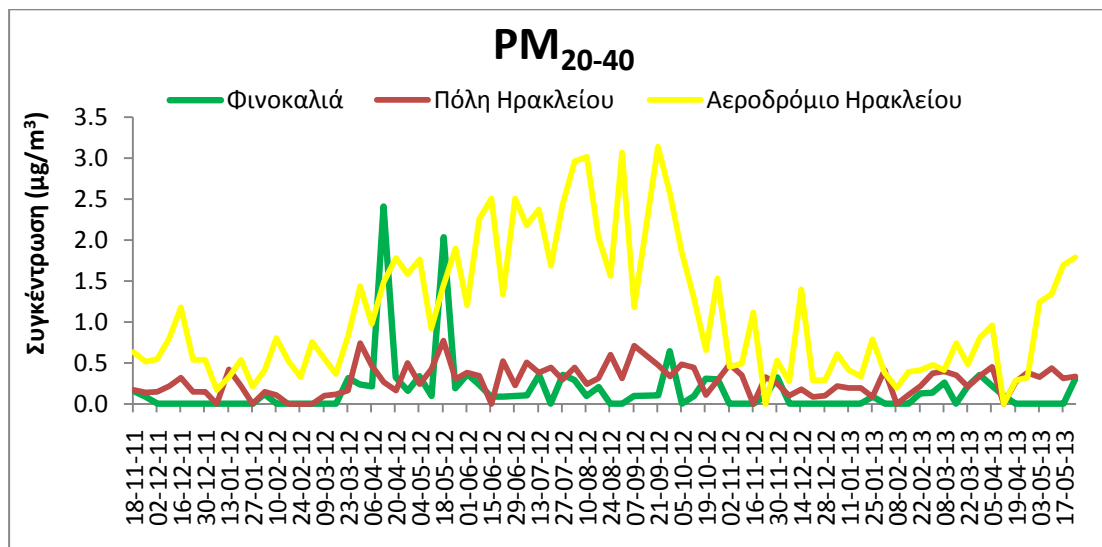
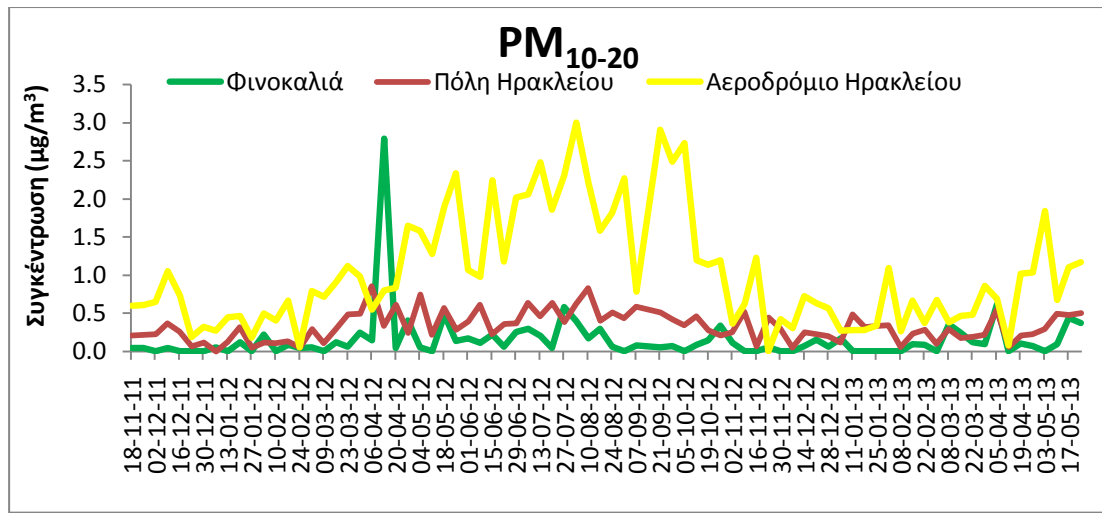


Σχήμα 7-2 Box and Whiskers plots των συνολικών συγκεντρώσεων μάζας (Νοέμβριος 2011-Μάιος 2013) για το σύνολο των σταθμών: στο κέντρο του Ηρακλείου (κόκκινο), στο αεροδρόμιο του

Ηρακλείου (κίτρινο) και στη Φινοκαλιά (πράσινο) για το σύνολο της περιόδου καταγραφής της σωματιδιακής ρύπανσης. Το επάνω και κάτω μέρος των κουτιών είναι πάντα το 25% και το 75% (κατώτερο και ανώτερο τεταρτημόριο, αντίστοιχα). Ενώ η ζώνη – γραμμή κοντά στη μέση του κουτιού αντιστοιχεί στη διάμεσο (50%). Τα άκρα των Whiskers απεικονίζουν τη χαμηλότερη και υψηλότερη συγκέντρωση μάζας (Bleta et al., 2014c).

Οι μέγιστες συγκεντρώσεις στα μικρά μεγέθη των σωματιδίων (2.5-20 μm) καταγράφονται στον σταθμό 2, στο κέντρο της πόλης του Ηρακλείου, δηλαδή 14.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στο μέγεθος με εύρος μεταξύ 2.5-5 μm , 16.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στα μεγέθη σωματιδίων 5-10 μm και 10.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ στην κλάση μεγέθους 10-20 μm . Από την άλλη, στη μεγαλύτερη τάξη μεγέθους 20-40 μm η μέγιστη συγκέντρωση παρατηρείται στο σταθμό 3 του αεροδρομίου, όπου είναι 3.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, αλλά και στην τελευταία τάξη μεγέθους η συγκέντρωση των σωματιδίων στο σταθμό 2 δεν παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά από το σταθμό 2, όπου είναι 0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ έναντι 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Bleta et al., 2014c). Όπως είναι αναμενόμενο ο σταθμός 1 της Φινοκαλιάς παρουσιάζει τις μικρότερες συγκεντρώσεις (Σχήμα 7-2)





Σχήμα 7-3 Χρονοσειρές των ανθρωπογενών αιωρούμενων σωματιδίων ανά κλάση μεγέθους και ανά σταθμό δειγματοληψίας

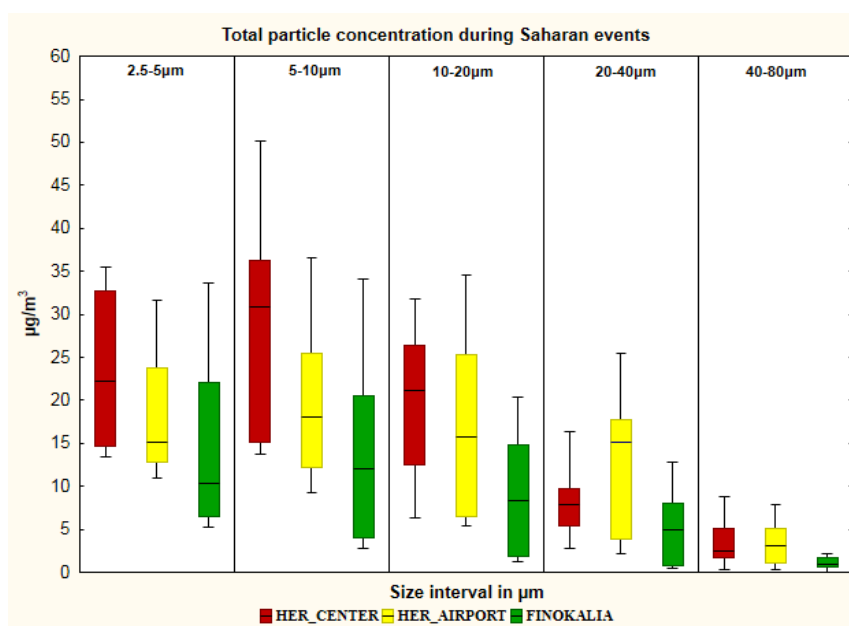
Στις χρονοσειρές του Σχήμα 7-3, που αφορούν τα ανθρωπογενή αιωρούμενα σωματίδια, ο σταθμός 3 του αεροδρομίου εμφανίζει αυξημένες συγκεντρώσεις σε όλες τις

τάξεις μεγέθους έναντι των άλλων σταθμών και μάλιστα η διαφορά μεταξύ τους αυξάνει στα μεγάλα σωματίδια (με διάμετρο >των 5-10μm), τα οποία φαίνεται να αυξάνονται λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στο χώρο του αεροδρομίου (π.χ. απογείωση και προσγείωση αεροπλάνων, κίνηση μεγάλων βυτιοφόρων για τη μεταφορά καυσίμων, αποσκευών και ατόμων εντός του χώρου των αεροδιαδρόμων). Τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν μεγάλη γεωμετρική διάμετρο, αφού πρόκειται για σωματίδια καύσης, που έχουν υποστεί επίστρωση από πτητικά είδη, μεγαλώνοντας έτσι το μέγεθός τους (Petzold et al., 2003). Επιπλέον, η αύξηση των σωματιδίων αυτών στο σταθμό 3 παρατηρείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου αυξάνεται το πλήθος και η συχνότητα των δρομολογίων λόγω της τουριστικής περιόδου. Τέλος, στο σταθμό της Φινοκαλιάς καταγράφεται αύξηση ανθρωπογενών ρύπων κατά την άνοιξη (6/4/2012 και 18/5/2012), διότι την περίοδο αυτή πραγματοποιούνται αγροτικές εργασίες (π.χ. καύση ξύλων, ράντισμα κ.ά.)

7.2 Επεισόδια σκόνης Σαχάρας κατά την περίοδο μελέτης

Κατά τη διάρκεια της συνολικής περιόδου καταγραφής της σωματιδιακής ρύπανσης έλαβαν χώρα δώδεκα επεισόδια σκόνης Σαχάρας κατά τις ακόλουθες ημερομηνίες: 9/3/2012, 4-6/4/2012, 13/4/2012, 20/4/2012, 8/3/2013, 20-21/3/2013, 5/4/2013, 12/4/2013, 17/5/2013, 21/5/2013, 23/5/2013 και 29/5/2013 (Nastos et al., 2012).

Παρόμοια κατά τη διάρκεια των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα, οι μέγιστες συγκεντρώσεις στα σωματίδια με μικρή γεωμετρική διάμετρο από 2.5 έως 20μm καταγράφονται στο σταθμό 2, στο κέντρο της πόλης του Ηρακλείου, δηλαδή το εύρος μεγεθών 2.5-5μm, 5-10μm και 10-20μm των σωματιδίων παρουσιάζουν συγκεντρώσεις 22.2μg/m³, 30.9μg/m³ και 21.2μg/m³ αντίστοιχα. Στο σταθμό 3 του αεροδρομίου καταγράφονται οι μέγιστες συγκεντρώσεις στις τάξεις μεγέθους 20-40μm και 40-80μm με τιμές 15.1μg/m³ και 3.1μg/m³ αντίστοιχα, έναντι των συγκεντρώσεων στο σταθμό 2 με τιμές 7.9 μg/m³ και 2.5μg/m³ αντίστοιχα (Σχήμα 7-4).



Σχήμα 7-4 Box and Whiskers plots των συνολικών συγκεντρώσεων μάζας κατά τη διάρκεια μόνο των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης Σαχάρας την περίοδο Νοέμβριος 2011-Μάιος 2013 για το σύνολο των σταθμών: στο κέντρο του Ηρακλείου (κόκκινο), στο αεροδρόμιο του Ηρακλείου

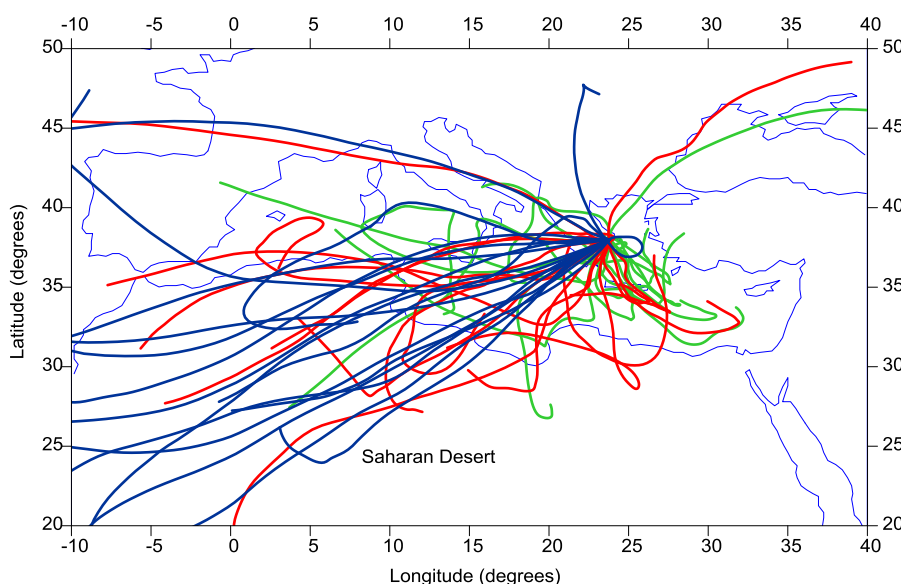
(κίτρινο) και στη Φινοκαλιά (πράσινο) για το σύνολο της περιόδου καταγραφής της σωματιδιακής ρύπανσης. Το επάνω και κάτω μέρος των κουτιών είναι πάντα το 25% και το 75% (κατώτερο και ανώτερο τεταρτημόριο αντίστοιχα). Ενώ η ζώνη – γραμμή κοντά στη μέση του κουτιού αντιστοιχεί στη διάμεσο (50%). Τα άκρα των Whiskers απεικονίζουν τη χαμηλότερη και υψηλότερη συγκέντρωση μάζας.

Πρέπει να τονιστεί ότι η μέγιστη συγκέντρωση των αιωρούμενων σωματιδίων κατά τη διάρκεια των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα παρουσιάζεται κυρίως στις γεωμετρικές διαμέτρους 5-10 μm . Το 80 έως 90% της σκόνης Σαχάρας για να είναι ικανό να ταξιδέψει σε μεγάλες αποστάσεις θα πρέπει να μην έχει μέγεθος μεγαλύτερο από 20 μm (Bücher et al., 1983; Guerzoni et al., 1992; Kiefert et al., 1996).

Επίσης παρατηρώντας τις υψηλότερες συγκεντρώσεις των μεγαλύτερων μεγεθών (σωματίδια μεγέθους μεταξύ 20-40 μm και 40-80 μm) στο σταθμό 3 του αεροδρομίου, μπορούμε να αναφέρουμε ότι τα δείγματα αυτά της αέριας ρύπανσης εκτός από γηγενή στοιχεία, φέρουν επιπρόσθετο φορτίο από τις τοπικές πηγές ρύπανσης (καύσιμα αεροπλάνων), γεγονός που καθιστά δύσκολη τη μεταφορά από μεγάλες αποστάσεις (έρημος Σαχάρας) αερολύματα τέτοιου μεγέθους, δηλώνοντας ότι τα γηγενή αυτά στοιχεία προέρχονται από τη γύρω περιοχή της Κρήτης. Θα πρέπει να επισημανθεί ότι είναι δύσκολο να διαχωριστούν αν τα αιωρούμενα σωματίδια έχουν ταξιδέψει μεγάλες αποστάσεις (σκόνη Σαχάρας) ή παράγονται τοπικά (Gerasopoulos et al., 2006b). Έτσι προσπάθεια διαχωρισμού γίνεται με τη βοήθεια του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου και γνωρίζοντας τη διαφορά της γεωλογίας των δύο περιοχών (Κρήτη – έρημος Σαχάρας).

Επιπλέον, οι συγκεντρώσεις του σταθμού 1 της Φινοκαλιάς και των σταθμών 2 και 3 στην περιοχή του Ηρακλείου παρουσιάζουν μεγάλη διαφορά συγκέντρωσης σε όλες τις τάξεις μεγέθους των σωματιδίων, κάτι που βρίσκεται σε συνάφεια με τη μελέτη των (Gerasopoulos et al., 2006a), όπου αποκαλύφθηκε ότι οι συγκεντρώσεις των PM₁₀ στην πόλη του Ηρακλείου και στη Φινοκαλιά βρίσκονται εντός του εύρους για τις αστικές και τις αγροτικές περιοχές της Ανατολικής Μεσογείου, αντίστοιχα.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι υπολογισμοί των οπισθοτροχιών που έγιναν σε ημερήσια βάση κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, έτσι ώστε να διευκρινιστεί η προέλευση των αέριων μαζών που φθάνουν στους παθητικούς δειγματολήπτες στην νήσο Κρήτη. Οι οπισθοτροχιές υπολογίστηκαν με το υπολογιστικό σύστημα Cm-Hysplit (Customized Meteorology-Hybrid Single Lagrangian Particle Integrated Trajectory). Όπως επιβεβαιώνεται σαφώς από το όνομα του συστήματος, αποτελεί εκτεταμένη εκδοχή του γνωστού ατμοσφαιρικού μοντέλου Hysplit (Draxler and Hess, 1998); NOAA Air Resources Laboratory, 2001). Επιπρόσθετα, η ανάλυση οπισθοτροχιών συμπληρώνεται με τις προσομοιώσεις σκόνης του Skiron Forecast (Kallos et al., 1997) και με τις δορυφορικές εικόνες με σκοπό να εντοπιστούν τα επεισόδια σκόνης από τις περιοχές της ερήμου Σαχάρας.

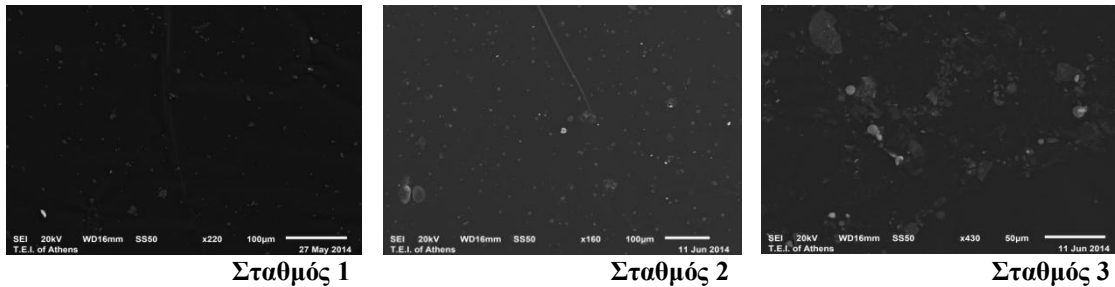


Σχήμα 7-5 Οπισθοτροχιές των αέριων μαζών στα τρία ύψη 500m (πράσινο), 1500m (κόκκινο) και 4000m (μπλε) από το μοντέλο Hysplit, που προέρχονται από νοτιοδυτικά κατά τη διάρκεια των ανιχνευμένων επεισοδίων μεταφοράς σκόνης Σαχάρας (Bleta et al., 2014c)

7.3 Ορυκτολογική ανάλυση δειγμάτων αέριας ρύπανσης

Για το περιβάλλον αλλά κυρίως για την ανθρώπινη υγεία είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε όχι μόνο το μέγεθος, αλλά και τον τύπο του ρύπου που αιωρείται στην ατμόσφαιρα και τελικώς εισπνέεται. Έτσι κάθε τύπος αερολύματος (ανθρωπογενής, γηγενής και βιογενής) φέρει διαφορετικά στοιχεία (οργανικά ή ανόργανα) επηρεάζοντας την ανθρώπινη υγεία και δημιουργώντας καρδιοαγγειακές και αναπνευστικές επιπλοκές. Είναι ευρέως γνωστό ότι η σκόνη Σαχάρας προκαλεί επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία (de Longueville et al., 2013) και για αυτό το λόγο θα γίνει προσπάθεια να ανιχνευθούν ορυκτά και στοιχεία που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα κατά τη διάρκεια αυτών των ημερών και να συνδεθούν με την ανθρώπινη υγεία.

Η ηλεκτρονική μικροσκοπία σάρωσης θεωρείται ως εξαιρετικά κατάλληλη τεχνική για την οπτική παρατήρηση υλικών σε κλίμακα nm έως μm. Παρέχει τοπογραφικές πληροφορίες και χρησιμεύει για την περιγραφή της μορφολογίας κρυσταλλικών αλλά και άμορφων υλικών. Στην περίπτωση αυτής της διδακτορικής διατριβής έγινε προσπάθεια να περιγραφούν ποιοτικά και ποσοτικά τα στοιχεία που συνθέτουν τους αερομεταφερόμενους κόκκους, για αυτό χρησιμοποιήθηκε η διάταξη με δευτερογενή ηλεκτρόνια (Secondary Image), τα οποία έχουν πιο ευαίσθητη επιφάνεια δίνοντας μεγαλύτερη ανάλυση. Στο Σχήμα 7-6 φαίνεται ένα δείγμα για κάθε σταθμό σε χαμηλή ανάλυση στα 100μm και στα 200μm, όπου φαίνονται τα αερομεταφερόμενα σωματίδια κάθε είδους για τα οποία γίνεται λόγος παρακάτω. Τέλος, θα πρέπει να επισημανθεί ότι στις ακόλουθες φωτογραφίες SEM καθώς και στις χαρτογραφήσεις των δειγμάτων παρατηρείται αυξημένη συγκέντρωση του στοιχείου άνθρακα, που συνήθως δεν ανταποκρίνεται στην πραγματικότητα γιατί τα ποσοστά του αυξάνονται λόγω της επιγραφίτωσης που αρχικά υπέστησαν τα δείγματα για να μπορέσουν να μελετηθούν σε συνθήκες κενού από τον ηλεκτρονικό σαρωτή.



Σχήμα 7-6 Δεδομένα από το SEM-EDS, όπου φαίνονται σε μακρινή εστιακή απόσταση τα αιωρούμενα σωματίδια που παγιδεύτηκαν ανά σταθμό στην νήσο Κρήτη

7.3.1 Ορυκτή σκόνη

Η ορυκτή σκόνη αντιπροσωπεύει το κυρίαρχο κλάσμα της μάζας των ατμοσφαιρικών αιωρούμενων σωματιδίων και είναι υπεύθυνη για το μεγάλο βαθμό αβεβαιότητας που συνδέεται με τα κλιματικά αποτελέσματα (σχηματισμό νεφών, ορατότητα, ωκεάνιο εκτροφισμό κ.ά), αλλά και με την ανθρώπινη υγεία. Οι ιδιότητες της ορυκτής σκόνης μεταβάλλονται κατά τη διάρκεια της μεταφοράς, καθώς η λεπτή άργιλος μεταφέρεται μακριά από τις περιοχές προέλευσης σε σχέση με τα μεγαλύτερα κλάσματα, ακόμα η ηλικία των σωματιδίων σκόνης χημικά είναι από την πρόσληψη των ειδών της αέριας φάσης έως τις ετερογενείς αντιδράσεις που πραγματοποιούνται ως την απόθεση (Morales, 1986; Kim and Park, 2001; Park et al., 2004; Zhu et al., 2010).

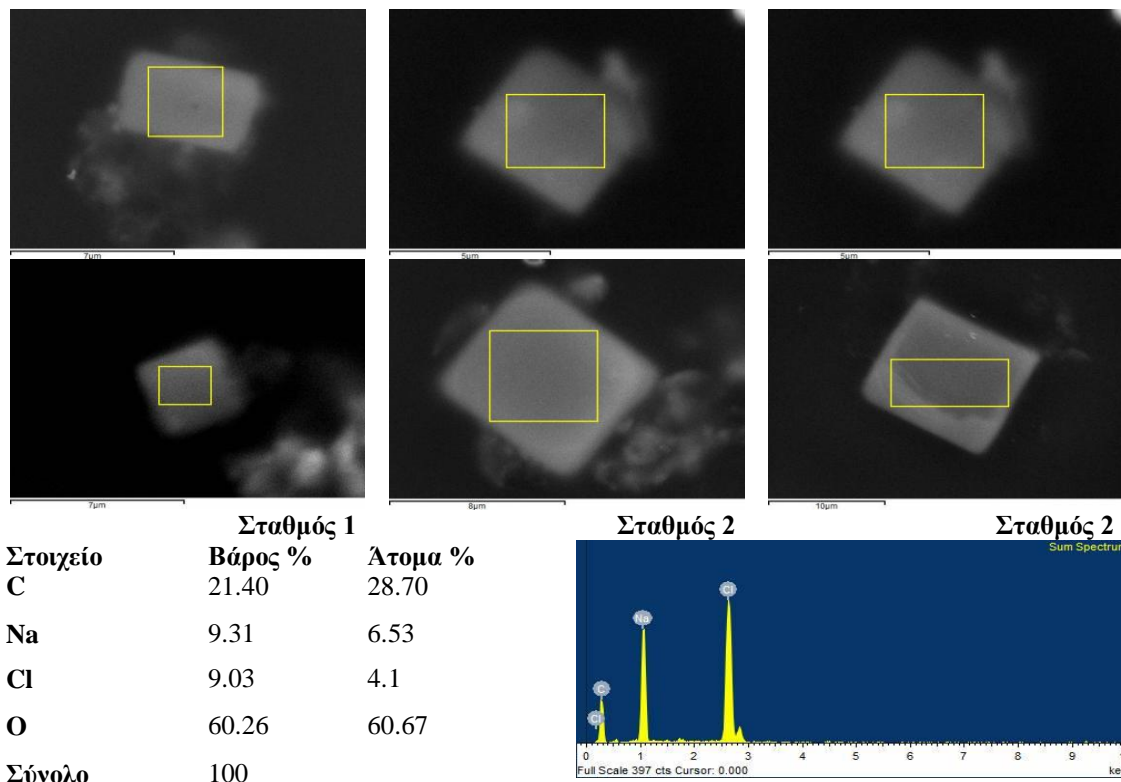
Η ορυκτή σκόνη στα δείγματα που μελετήσαμε μπορεί να προέρχεται από την ευρύτερη περιοχή της Κρήτης ή είναι δυνατόν να προέρχεται από την έρημο Σαχάρας. Η φρεσκο-εκπεμπόμενη σκόνη Σαχάρας είναι υδρόφοβη (Kaaden et al., 2009), όπου η θεϊκή επικάλυψη της ορυκτής σκόνης έχει αυξημένη δραστηριότητα σχηματίζοντας πυρήνες συμπύκνωσης νεφών (CCN) και μπορεί να δράσει ως γίγαντας συμπύκνωσης (Levin et al., 1996), ενώ μειώνεται η δραστηριότητα σχηματισμού πυρήνων πάγων (Pruppacher and Klett, 1997; Cziczo et al., 2009). Η ορυκτή σκόνη είναι ιδιαίτερα σημαντική πηγή σιδήρου σε θρεπτικά περιορισμένη ανοικτή θάλασσα και η χημική γήρανσή της μπορεί να μειώσει το pH της σκόνης, αυξάνοντας τη διαλυτότητα και τη βιοδιαθεσιμότητα του σιδήρου (Jickells et al., 2005; Gassó et al., 2010; Kumar et al., 2010; Rubasinghege et al., 2010).

Ακολουθώς παρουσιάζονται φωτογραφίες από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο ανά σταθμό δείχνοντας κόκκους ορυκτής σκόνης (γηγενή) καθώς παρουσιάζεται η στοιχειακή σύσταση και ποσοτική ανάλυση των στοιχείων των μεταφερόμενων κόκκων.

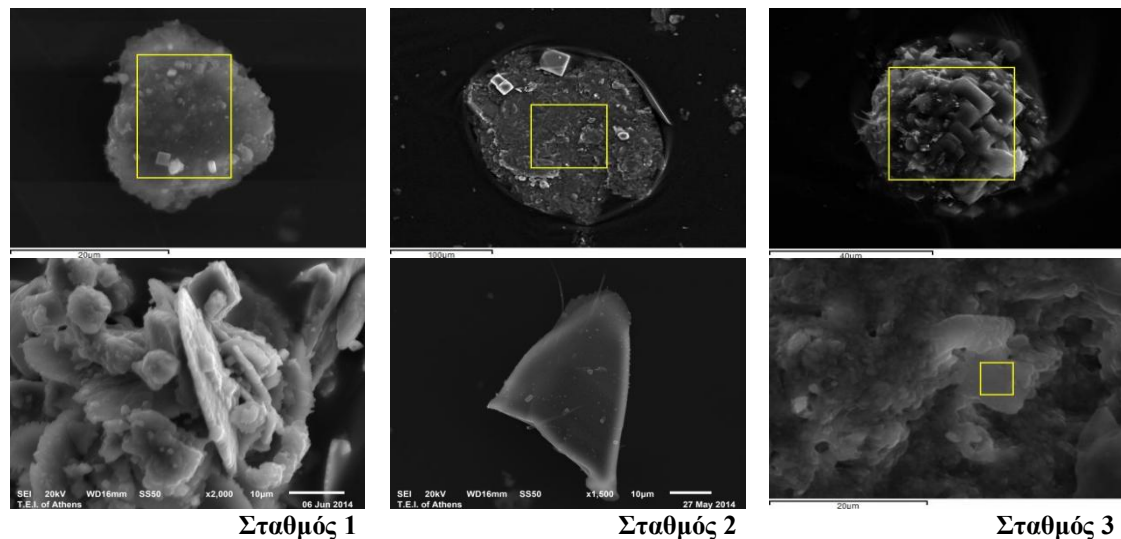
Το αλάτι βρίσκεται σε πληθώρα δειγμάτων κυρίως στους σταθμούς 1 (Φινοκαλιά) και 2 (κέντρο Ηρακλείου) και εξηγείται από την ύπαρξη εμποδίου (βράχου και τοίχου αντίστοιχα) μπροστά από τον κάθε σταθμό.

Αλάτι

Οι κύβοι του αλατιού μπορούν να εγκλωβιστούν σε μεγαλύτερα σωματίδια ή και ακόμα να εγκλωβίσουν μέσα τους ρύπους. Έτσι, φαίνονται φωτογραφίες εγκλωβισμένων κόκκων αλατιού σε όλους τους σταθμούς (Σχήμα 7-8).



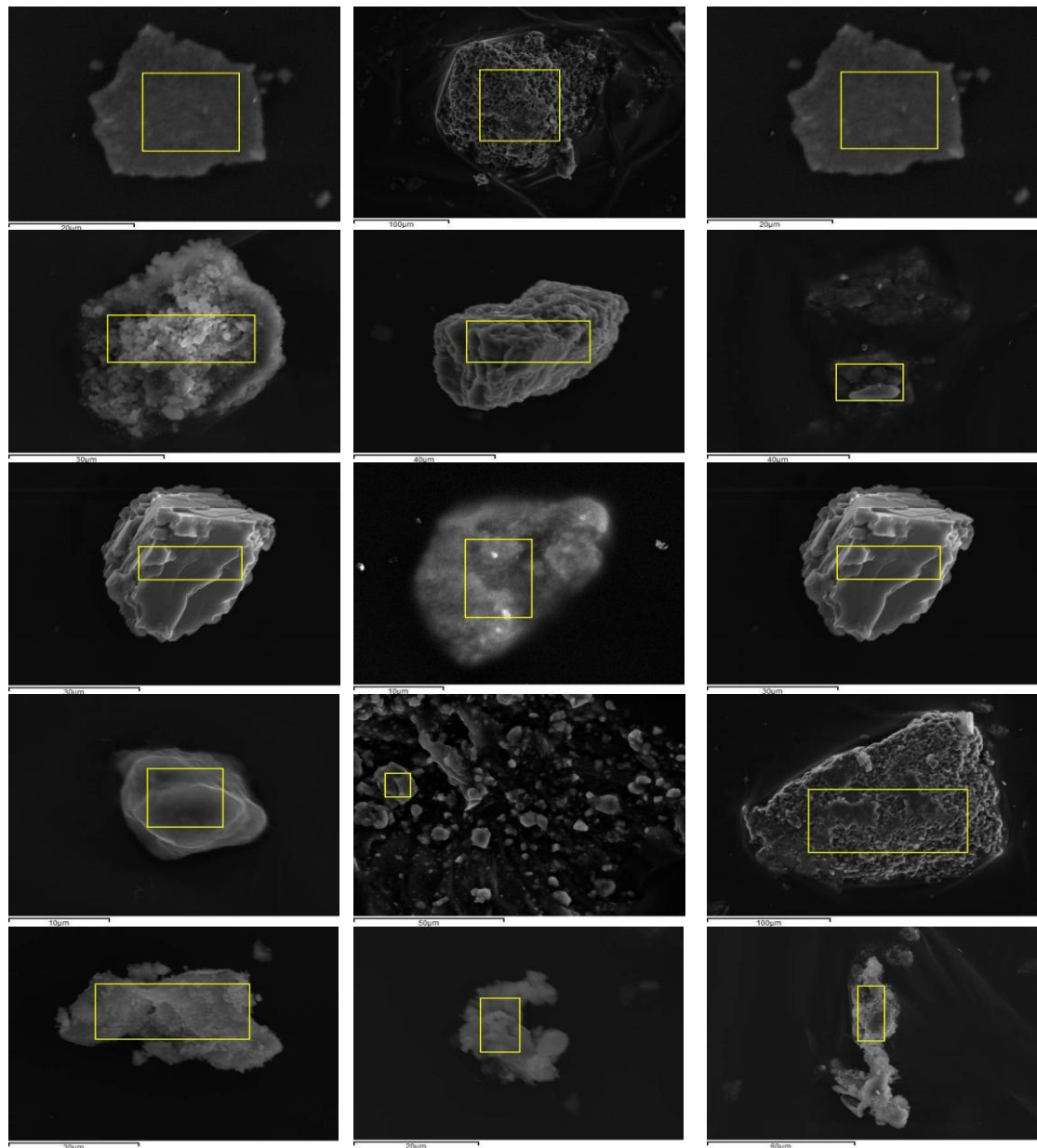
Σχήμα 7-7 Επιλεγμένα δεδομένα του SEM-EDS, όπου παρατηρούνται κόκκοι αλατιού με μεγέθη $\leq 10\mu\text{m}$, καθώς παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυση των συγκεκριμένων σωματιδίων



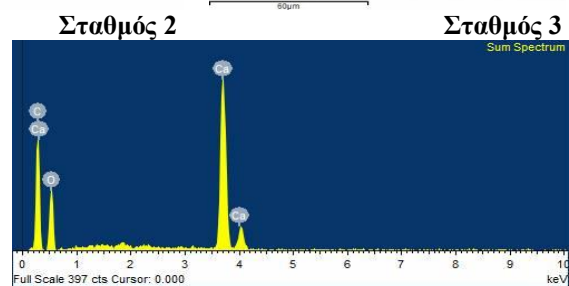
Σχήμα 7-8 Επιλεγμένα δεδομένα του SEM-EDS, όπου παρατηρούνται κόκκοι αλατιού εγκλωβισμένοι εντός μεγαλύτερων σωματιδίων διαφορετικής σύστασης

Ασβεσίτης

Η Κρήτη χαρακτηρίζεται από ασβεστολίθους (Κεφάλαιο 4, Γεωλογία Κρήτης) και γ'αυτό στα δείγματα βρέθηκε αρκετή ποσότητα ασβεσίτη (Ca), δολομιτωμένου ασβεσίτη ή ακόμα και δολομίτη (Ca-Mg).

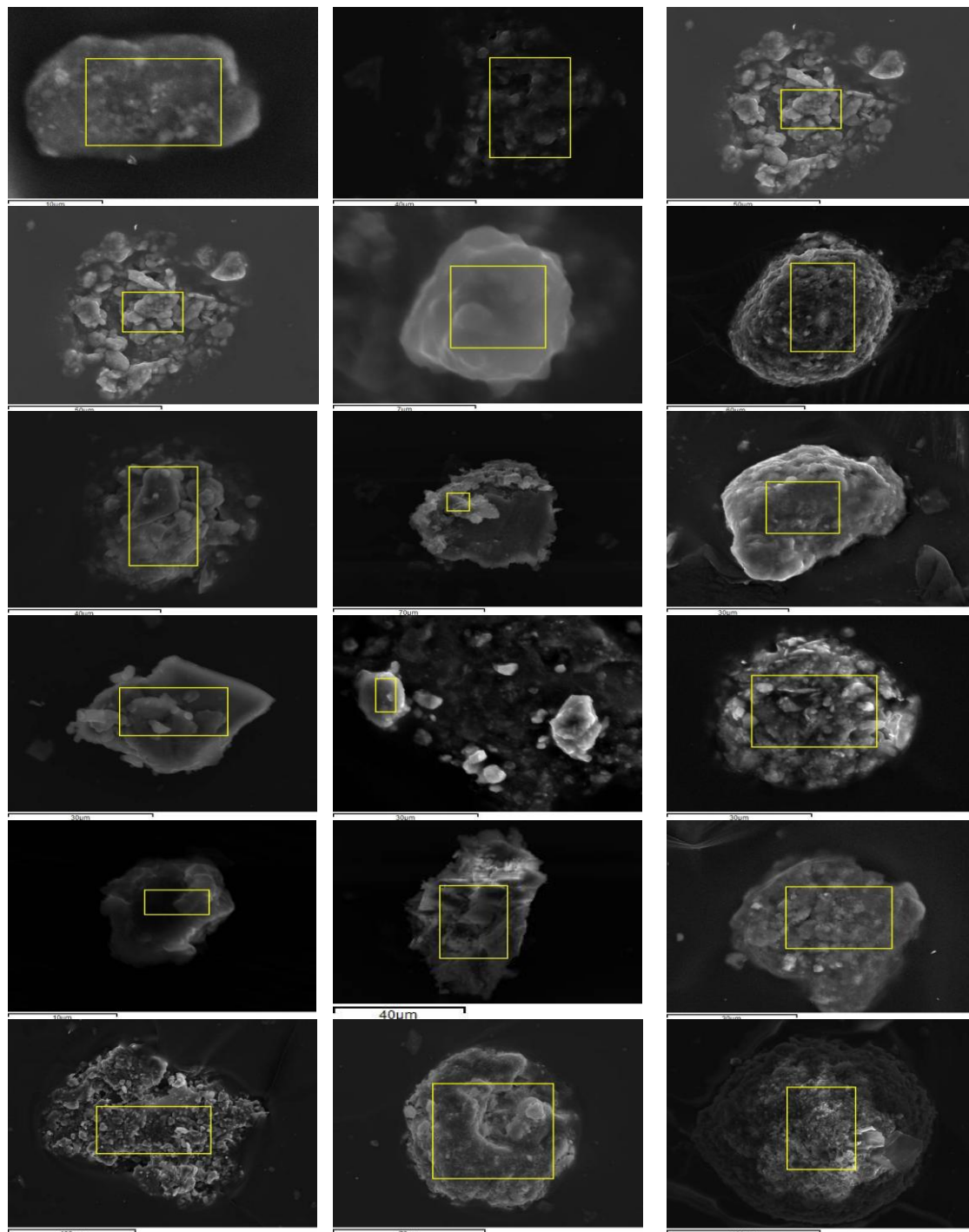


	Σταθμός 1	
Στοιχείο	Βάρος %	Άτομα %
C	21.90	29.14
Mg	3.57	2.35
Ca	9.88	3.94
O	64.65	64.57
Σύνολο	100	

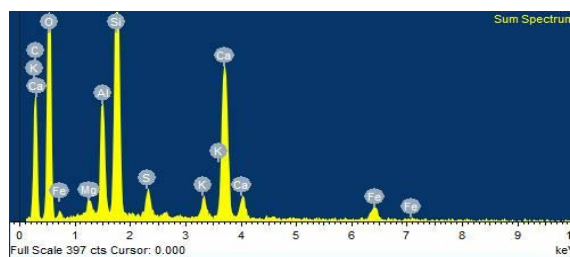


Σχήμα 7-9 Επιλεγμένα δεδομένα του SEM-EDS, όπου παρατηρούνται κόκκοι ασβεστίτη με μεγέθη $\geq 10\mu\text{m}$, καθώς παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυση των συγκεκριμένων σωματιδίων

Σιδηρούχα ορυκτά



	Σταθμός 1	
Στοιχείο	Βάρος %	Άτομα %
C	19.96	26.93
Mg	0.32	0.22
Al	2.20	1.32
Si	5.24	3.02
S	0.58	0.29
K	0.50	0.21
Ca	5.21	2.11
Fe	1.26	0.36
O	64.73	65.54
Σύνολο	100.00	

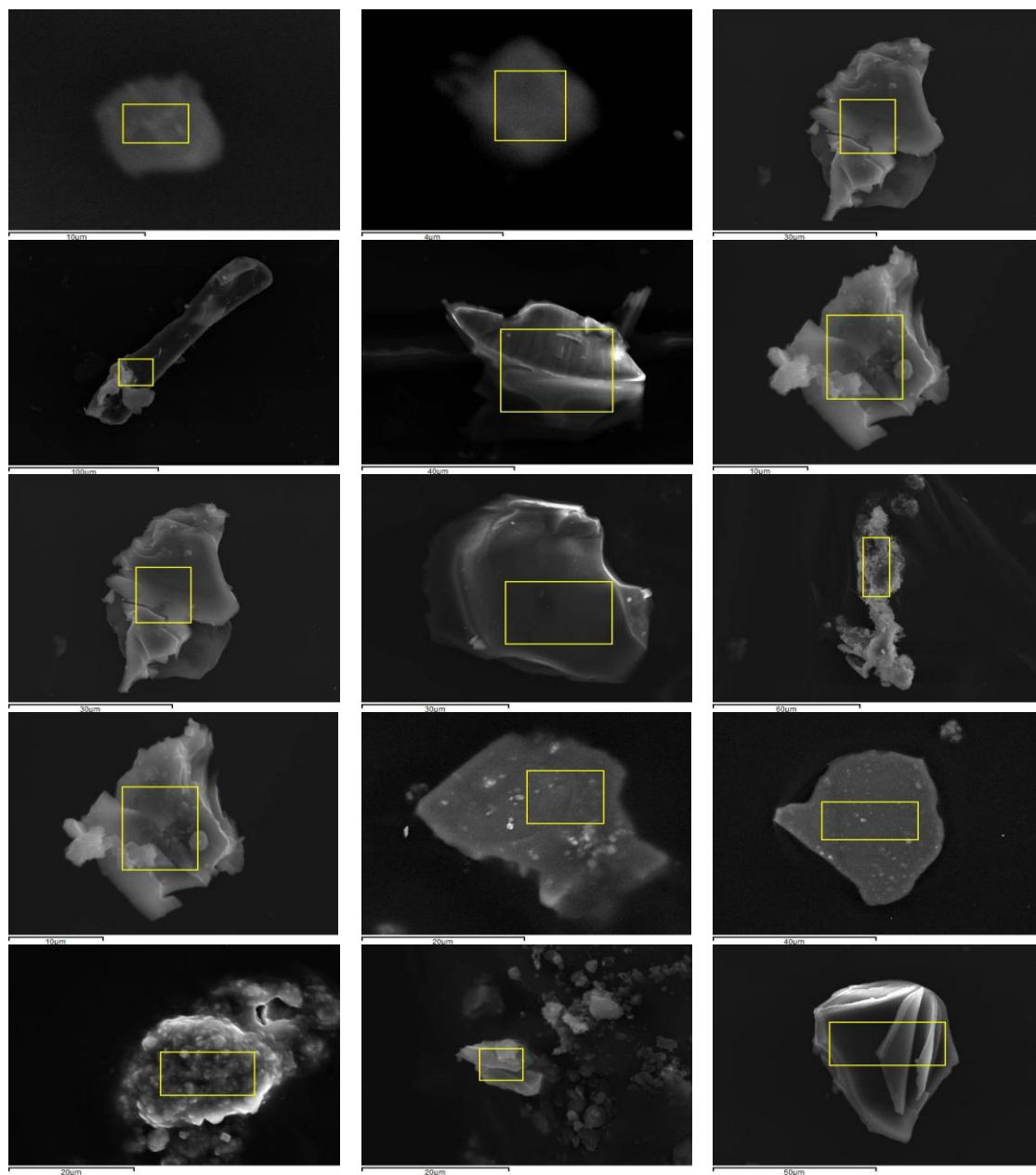


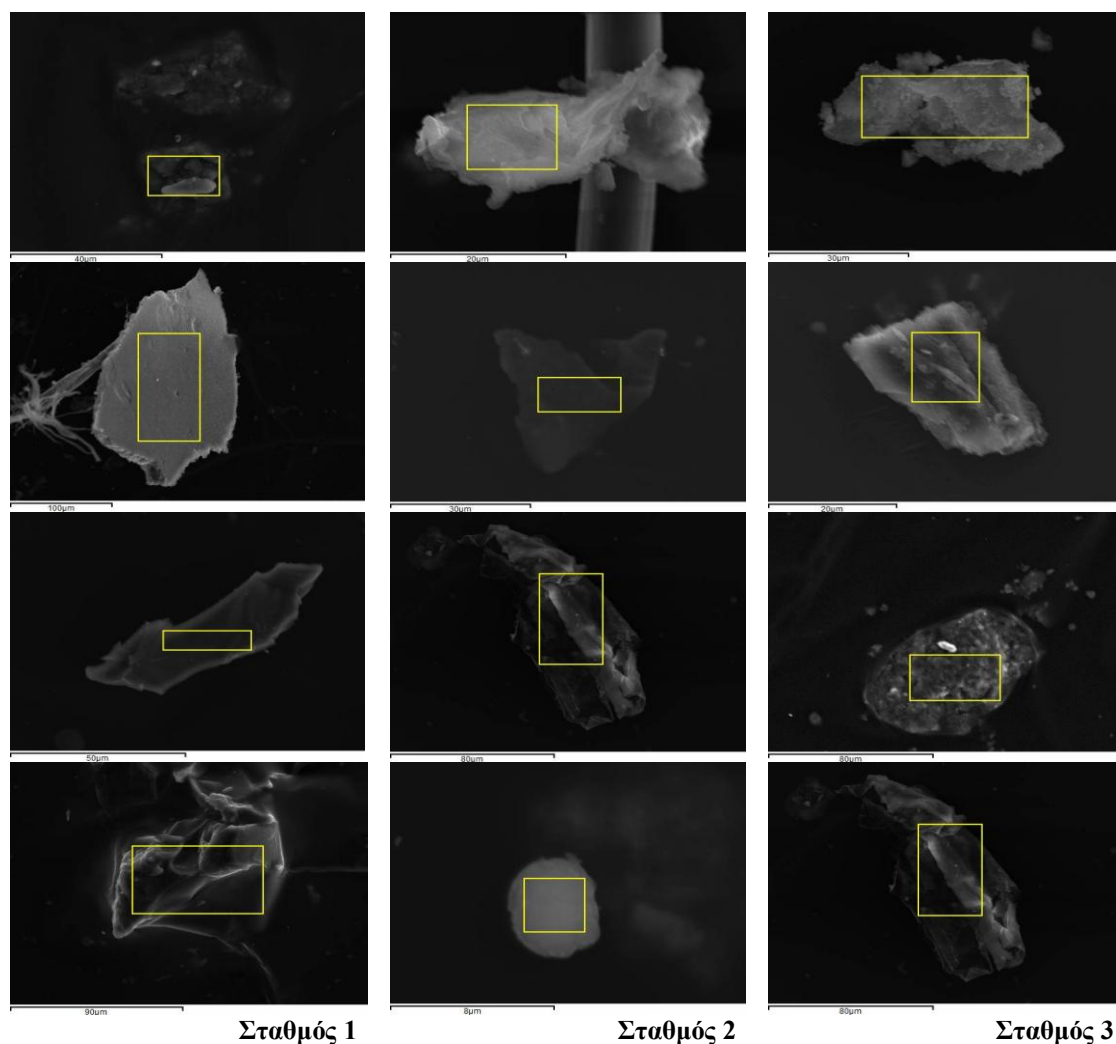
Σχήμα 7-10 Επιλεγμένα δεδομένα του SEM-EDS, όπου παρατηρούνται κόκκοι που περιέχουν Fe σε μεγέθη κόκκων $\geq 10\mu\text{m}$, καθώς παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυσή τους

Η μεταφερόμενη σκόνη από τη Σαχάρα περιέχει πολλά οξειδία του τρισθενούς σιδήρου (Fe_2O_3) (Goudie and Middleton, 2001) και μάλιστα σε όλους τους σταθμούς κατά την περίοδο μεταφοράς σκόνης ανιχνεύθηκε με την ανάλυση SEM αρκετές φορές σίδηρος (είτε με μορφή οξειδίων, είτε σε πρόσμειξη με Al, Si, Ca, Mg, K, Cl κ.ά.). Η ύπαρξη Cl ή K μαζί με τον Fe στα αερολύματα δηλώνει τη μεταφορά του πάνω από θαλάσσιο περιβάλλον.

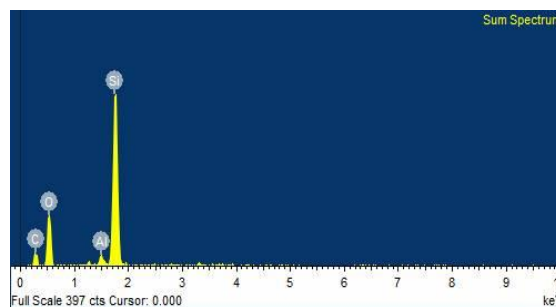
Πυριτιούχα / Αργιλλούχα ορυκτά

Στη συνέχεια παρατίθενται κόκκοι αερομεταφερόμενης σκόνης με Si και Al, που τα υψηλά ποσοστά τους την περίοδο των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης δηλώνουν την αφρικανική τους προέλευση (Stuut et al., 2009) ακόμα και στην περιοχή της Κρήτης (Pye, 1992), ενώ σε πολλές περιπτώσεις ανιχνεύεται και αλάτι.





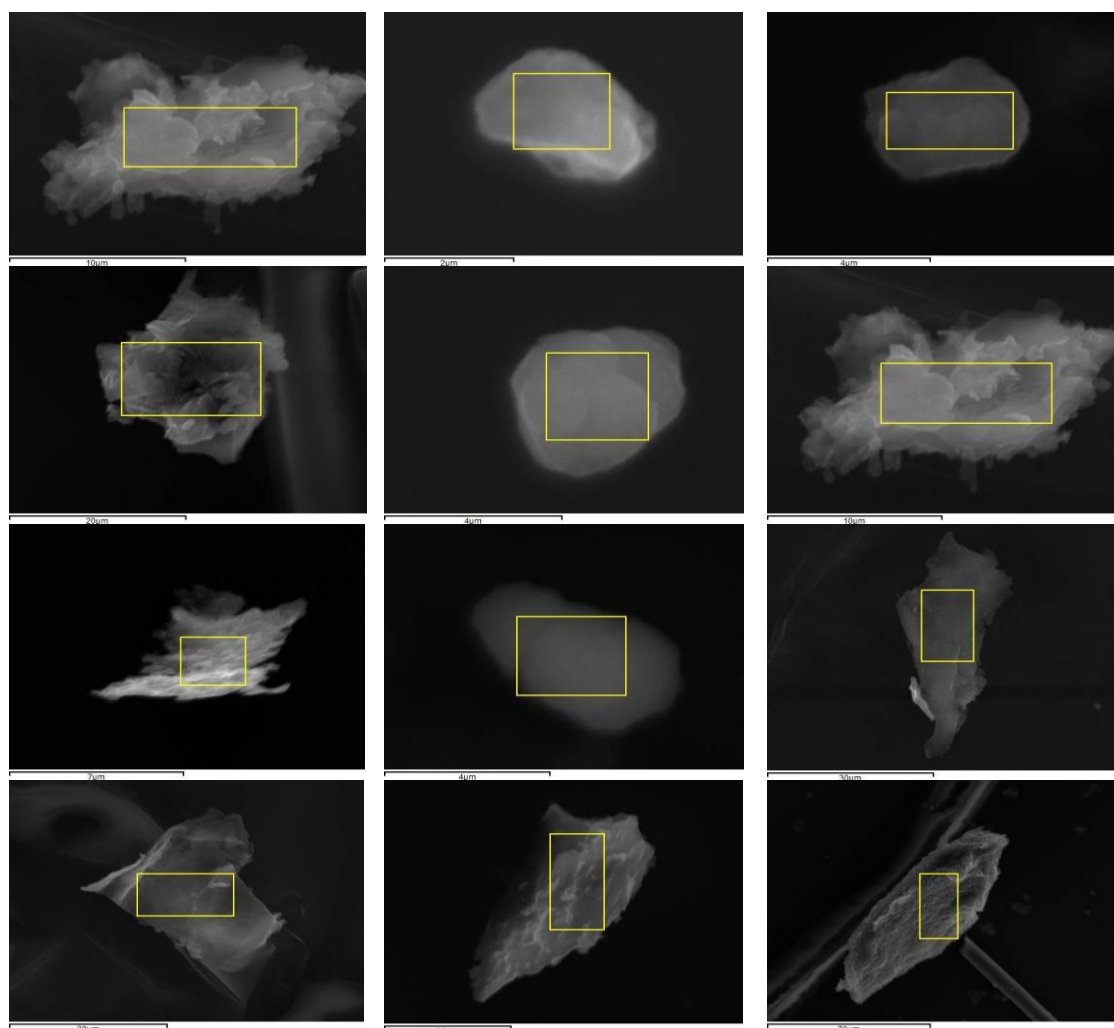
Στοιχείο	Βάρος %	Άτομα %
C	15.99	21.96
Al	0.82	0.50
Si	18.64	10.95
O	64.55	66.58
Σύνολο	100.00	



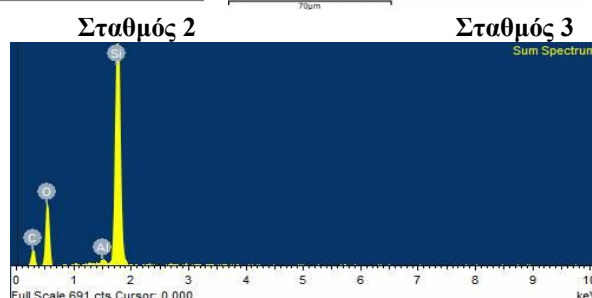
Σχήμα 7-11 Επιλεγμένα δεδομένα του SEM-EDS, όπου παρατηρούνται κόκκοι που περιέχουν Si-Al σε μεγέθη κόκκων 5µm-100µm, καθώς παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυσή τους

Χαλαζίας (SiO₂)

Το πυρίτιο σε πλήθος δειγμάτων (Σχήμα 7-11) εμφανίζεται μόνο με το οξυγόνο, δικαιολογώντας την ύπαρξη πολλών σωματιδίων άμμου σε όλους τους σταθμούς δειγματοληψίας.



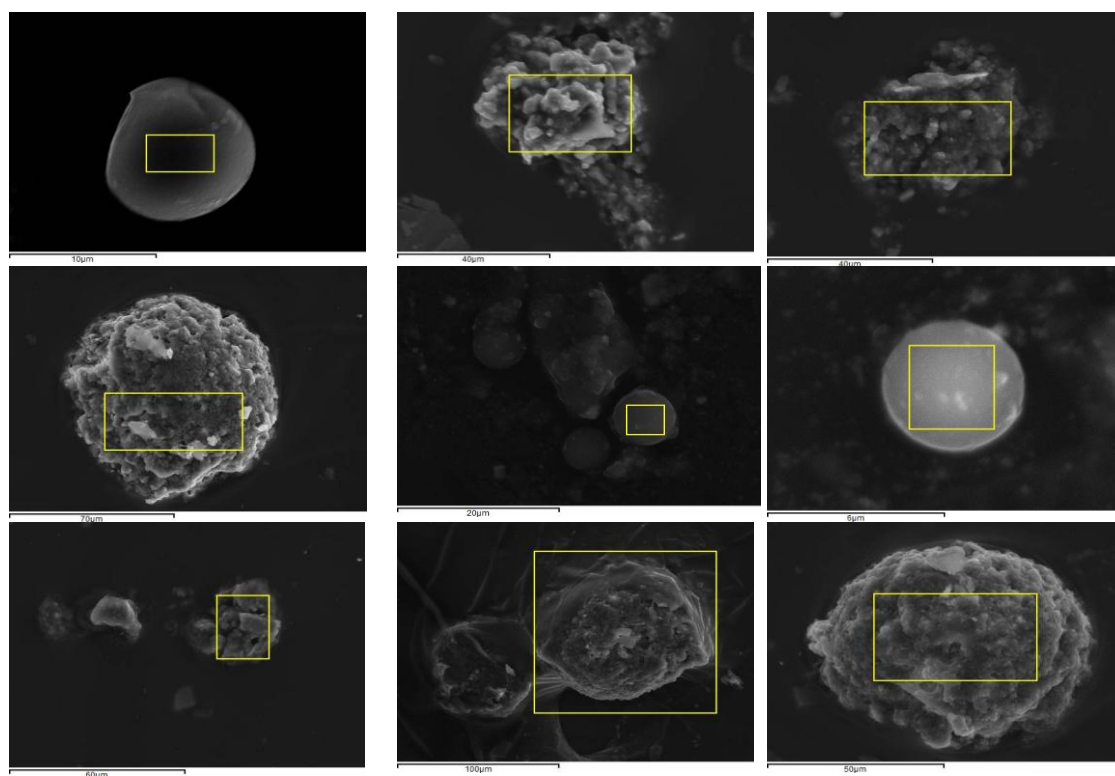
Στοιχείο	Σταθμός 1	
	Βάρος %	Άτομα %
C	27.24	33.29
Si	0.09	0.05
O	72.67	66.67
Total	100.00	



Σχήμα 7-12 Επιλεγμένα δεδομένα του SEM-EDS, όπου παρατηρούνται κόκκοι χαλαζία σε μεγέθη κόκκων 2.5µm-100µm, καθώς παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυσή τους

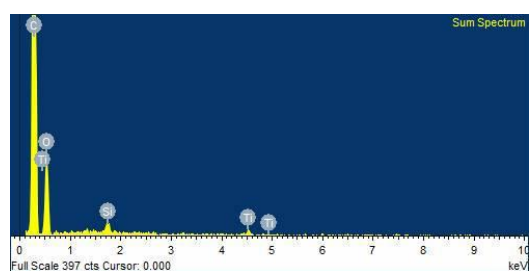
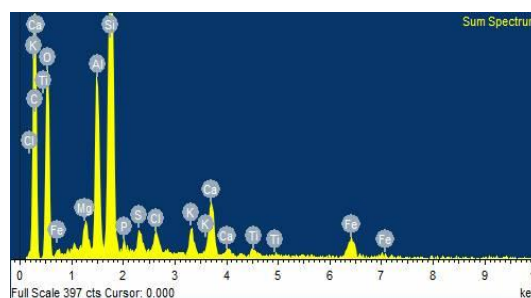
Τιτανιούχα

Τέλος, όσον αφορά την ορυκτή σκόνη, θα πρέπει να τονιστεί ότι μεταφέρονται μέταλλα με τη μορφή οξειδίων όπως το TiO_2 (π.χ. ρουτίλιο, ιλμενίτης) ή ακόμα το CuO (π.χ. χαλκοπυρίτης), που μελέτες δείχνουν ότι η πηγή τους είναι η έρημος Σαχάρας (Harris et al., 2012) και μπορούν να προκαλέσουν προβλήματα υγείας κυρίως του αναπνευστικού, αφού καταστρέφει τα κύτταρα και προκαλεί ελαφρά ίνωση (Nemmar et al., 2011), καθιστώντας το έτσι ως πνευμονικό ερεθιστικό. Τα μεγέθη του ρουτιλίου κυμαίνονται από 10µm ως και είναι πολύ λεπτά (ultra fine) (1-150nm) (Linak et al., 2002).



Στοιχείο	Βάρος %	Άτομα %
C	21.60	28.27
Mg	0.39	0.25
Al	2.09	1.22
Si	5.23	2.93
P	0.14	0.07
S	0.30	0.15
Cl	0.33	0.15
K	0.42	0.17
Ca	1.06	0.42
Ti	0.21	0.07
Fe	1.02	0.29
O	67.20	66.02
Σύνολο	100.00	

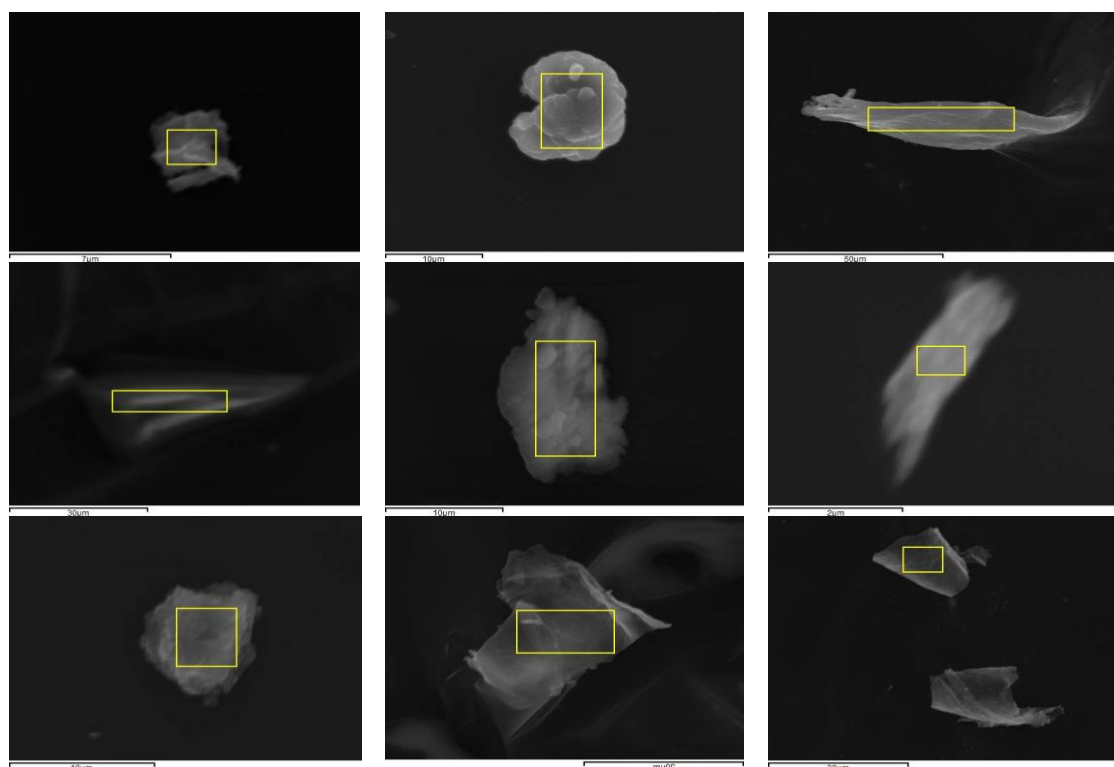
Στοιχείο	Βάρος %	Άτομα %
C	27.20	33.26
Si	0.08	0.04
Ti	0.09	0.03
O	72.62	66.67
Σύνολο	100.00	



Σχήμα 7-13 Επιλεγμένα δεδομένα του SEM-EDS, όπου παρατηρούνται κόκκοι που περιέχουν Τι είτε μαζί με άλλα στοιχεία, είτε ως μορφή TiO_2 σε μεγέθη κόκκων 5μm-100μm, καθώς παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυσή τους

7.3.2 Ανθρωπογενούς προέλευσης αιωρούμενα σωματίδια

Η παρουσία ανθρωπογενών αιωρούμενων σωματιδίων ήταν μεγάλη σε όλους τους σταθμούς ακόμα και στον σταθμό 1 της Φινοκαλιάς (σταθμός αναφοράς). Έχουν ακανόνιστη μορφή και μικρά μεγέθη, ενώ η σύστασή τους χαρακτηρίζεται συνήθως από άνθρακα (C) και θείο (S) (Σχήμα 7-14).



Σταθμός 1

Σταθμός 2

Σταθμός 3

Σχήμα 7-14 Επιλεγμένα δεδομένα του SEM-EDS, όπου παρατηρούνται κόκκοι που περιέχουν μόνο άνθρακα και θείο σε μεγέθη κόκκων 2.5µm-50µm.

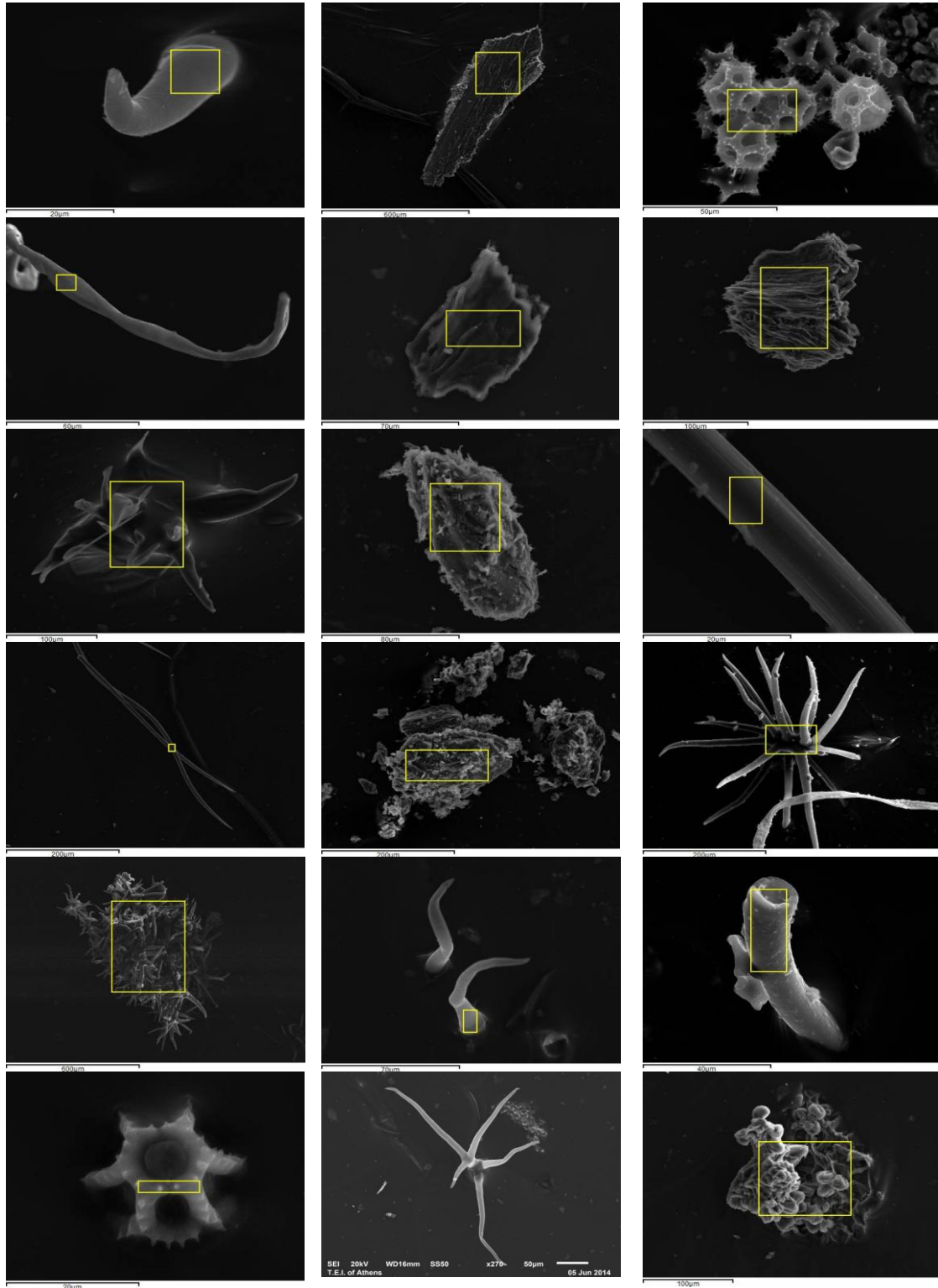
7.3.3 Βιογενούς προέλευσης αιωρούμενα σωματίδια

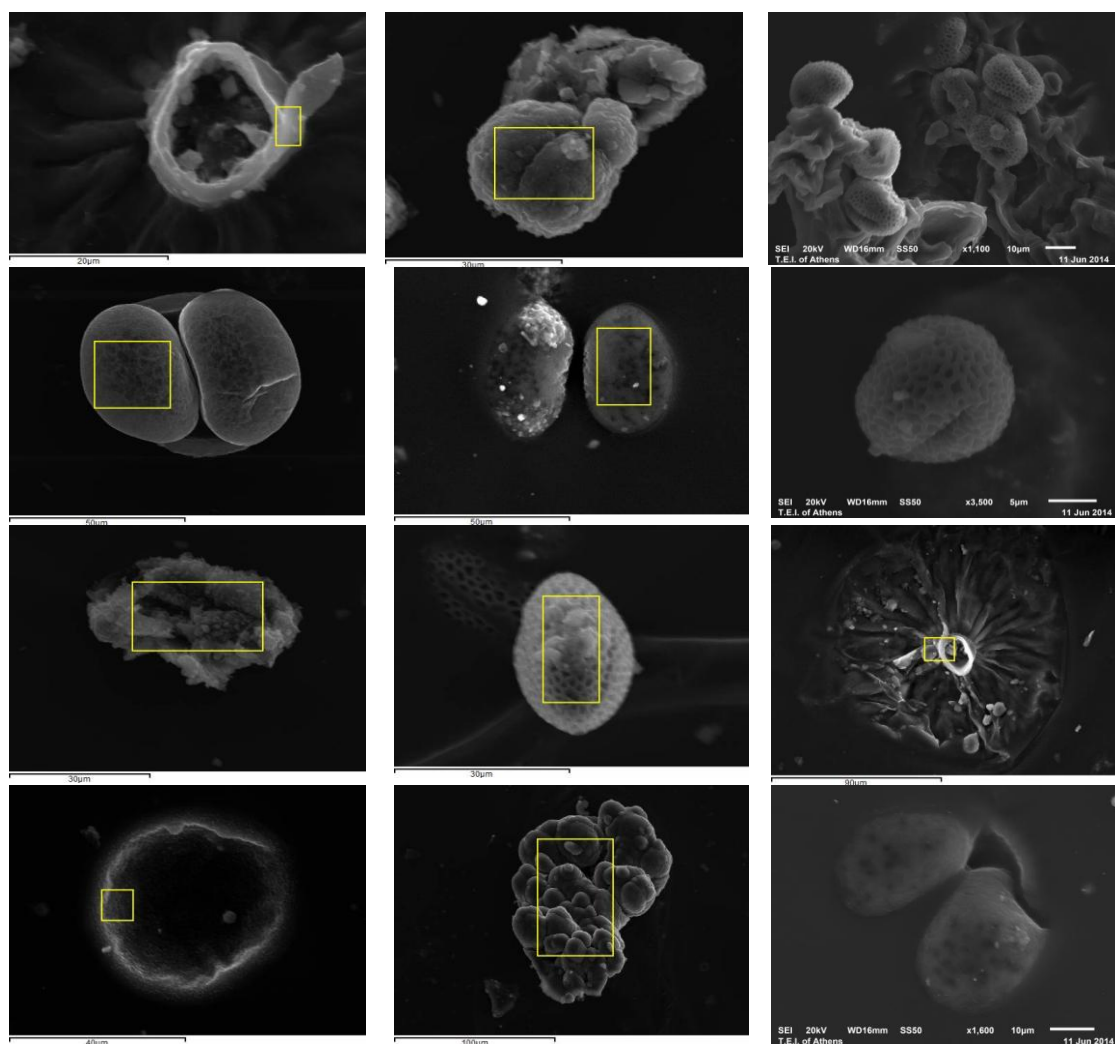
Τέλος, τα αιωρούμενα σωματίδια μπορεί να είναι βιογενούς προέλευσης, τόσο ζωικά (π.χ.ραδιολαρίτες), όσο και φυτικά (π.χ. κλαδιά δέντρων και γύρη) και πολλά από αυτά λόγω της ύπαρξης του πυριτίου στο κέλυφός τους, φανερώνουν θαλάσσια προέλευση. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η εκπομπή βιογενών σωματιδίων, κυρίως της γύρης, επηρεάζεται από διαφορετικές μετεωρολογικές παραμέτρους (θερμοκρασία, ηλιακή ακτινοβολία και υγρασία). Ακόμα, οι καιρικές συνθήκες επηρεάζουν τη διακίνηση και τη διασπορά των αερο-αλλεργιογόνων στην ατμόσφαιρα μέσω της δράσης του ανέμου και της βροχής, αλλά εξαρτώνται και από την ατμοσφαιρική σταθερότητα. Η διάρκεια και η ένταση της εποχιακής γύρης εξαρτάται από την αλλαγή του καιρού και συνεπώς είναι δύσκολο να καθοριστεί αν τα συμπτώματα αλλεργίας δημιουργούνται μόνο λόγω της ύπαρξης της γύρης ή και λόγω της μεταβλητότητας του καιρού που λαμβάνει χώρα εκείνο το διάστημα (Cecchi et al., 2010).

Στις φωτογραφίες SEM του

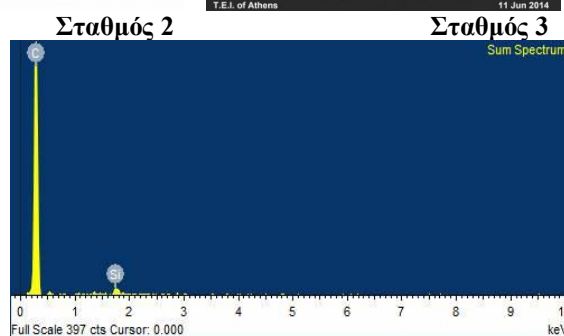
Σχήμα 7-15 απεικονίζονται φωτογραφίες γύρης που βρέθηκε και στους 3 δειγματολήπτες, φανερώνοντας τη μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις, που μάλιστα φτάνουν σε επίπεδο χωρών. Στην κεντρική Ιταλία μελέτη έδειξε ότι αρκετά επεισόδια για ανίχνευση γύρης φάνηκε να συνδέονται με αέριες μάζες προερχόμενες από τα Βαλκάνια (πιθανότατα Ουγγαρία) και ο πληθυσμός της γύρης συχνά φτάνει το κλινικό όριο, υποδηλώνοντας πιθανή αύξηση του ποσοστού ευαισθητοποίησης και της κλινικής επίδρασης στον πληθυσμό με προβλήματα αλλεργιών (Cecchi et al., 2006). Η υπόθεση αυτή υποστηρίζεται από μια προκαταρκτική παρατήρηση της αυξητικής τάσης της αλλεργίας

λόγω της γύρης αμβροσίας σε γειτονική περιοχή, όπου τα φυτά αυτά δεν υπάρχουν (Zauli et al., 2006). Επιπλέον, υπάρχουν πειστικά στοιχεία που αποδεικνύουν ότι η μεταφορά της γύρης σε μεγάλες αποστάσεις από απομακρυσμένες περιοχές μπορεί σημαντικά να αλλάξει τις εποχές επικονίασης (δηλαδή την ώρα έναρξης και διάρκειας των υψηλών συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικής γύρης) σε πολλές ευρωπαϊκές περιοχές. Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη βόρεια Ευρώπη, όπου η ανθοφορία λαμβάνει χώρα αργότερα στις περιοχές με άνοιξη (Estrella et al., 2006).





	Σταθμός 1	
Στοιχείο	Βάρος %	Άτομα %
C	27.19	33.24
Si	0.18	0.09
O	72.63	66.67
Σύνολο	100.00	



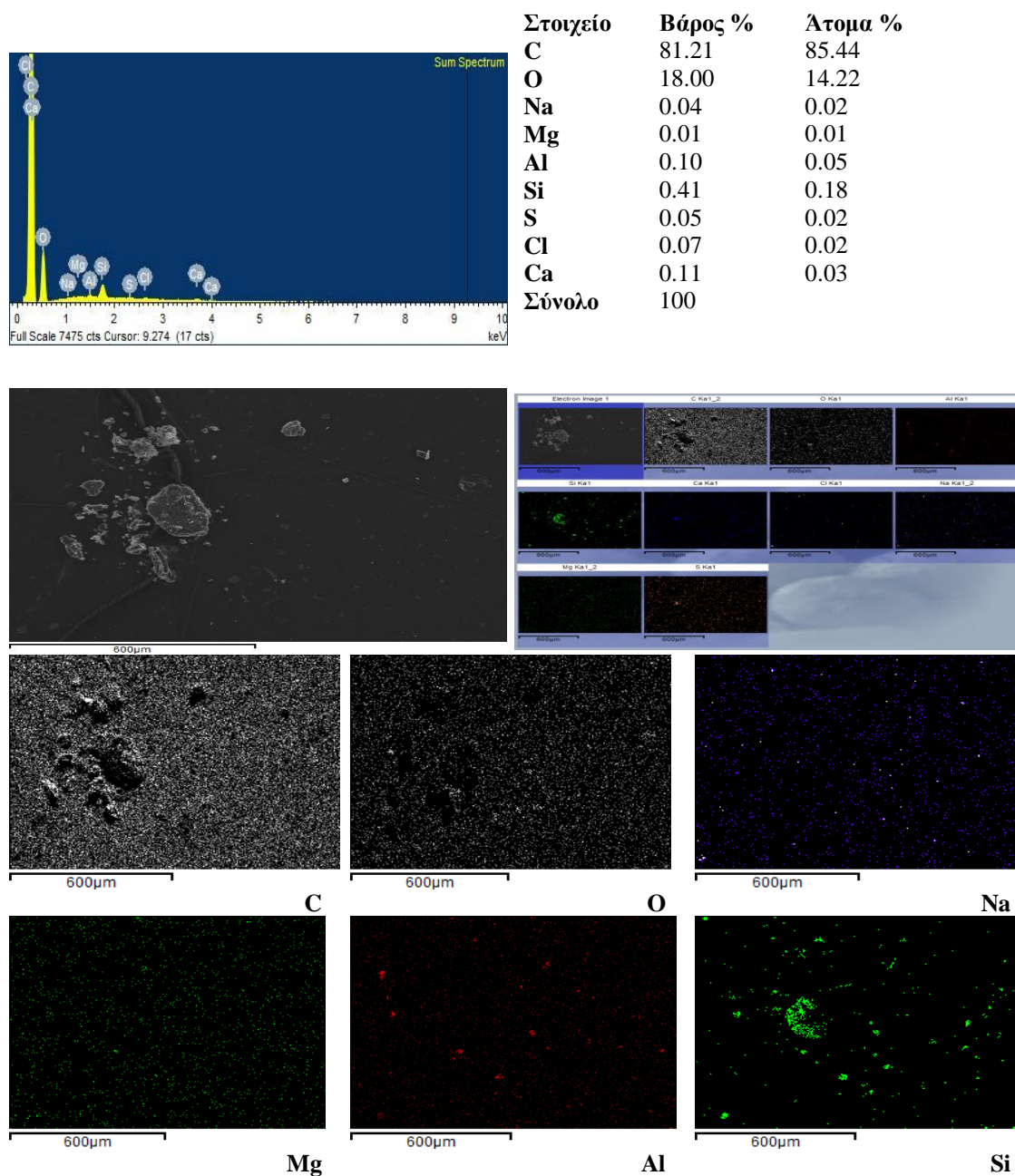
Σχήμα 7-15 Επιλεγμένα δεδομένα του SEM-EDS, όπου παρατηρούνται σχηματισμοί φυτικοί και ζωικοί σε μεγέθη κόκκων $\geq 10\mu\text{m}$, καθώς παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυσή τους

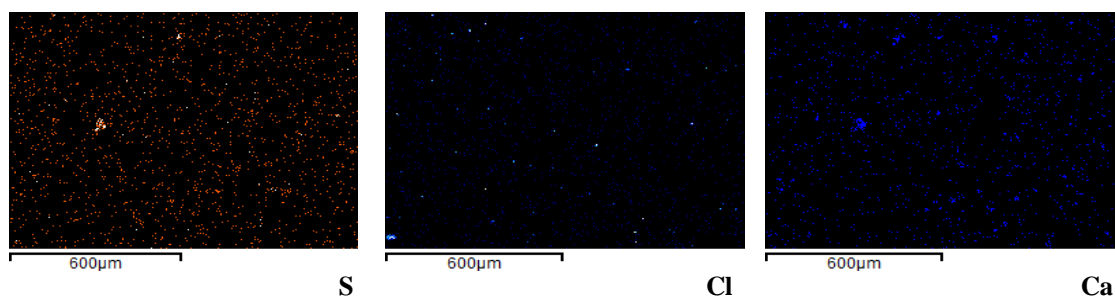
7.3.4 Στοιχειακή χαρτογράφηση

Τέλος, για κάθε σταθμό πραγματοποιήθηκε στοιχειακή χαρτογράφηση σε δείγμα των αιωρούμενων σωματιδίων, κατά τη διάρκεια μεταφοράς σκόνης Σαχάρας, και η κατανομή του κάθε στοιχείου που ανιχνεύθηκε παρουσιάζεται με διαφορετικό χρώμα.

Σταθμός 1

Στο Σχήμα 7-16 το εξεταζόμενο δείγμα του σταθμού 1 (Φινοκαλιά), εκτός από τα αναμενόμενα στοιχεία του άνθρακα και του οξυγόνου, παρατηρήθηκαν αυξημένα ποσοστά πυριτίου, αργιλίου και ασβεστίου. Παράλληλα εντοπίζεται και η ύπαρξη μικρών ποσοτήτων νατρίου και χλωρίου, δηλώνοντας τη μεταφορά σωματιδίων από τη θάλασσα. Το μαγνήσιο που εμφανίζεται σε μικρή ποσότητα πιθανό να προέρχεται μαζί με το ασβέστιο από τους γύρω ασβεστόλιθους της περιοχής.

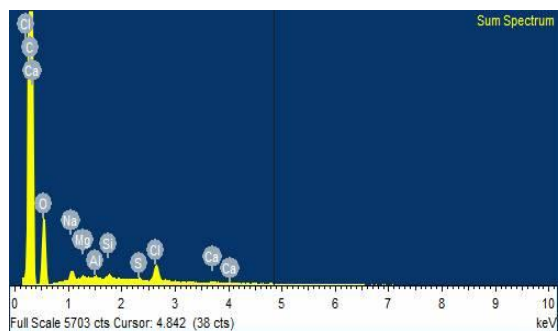




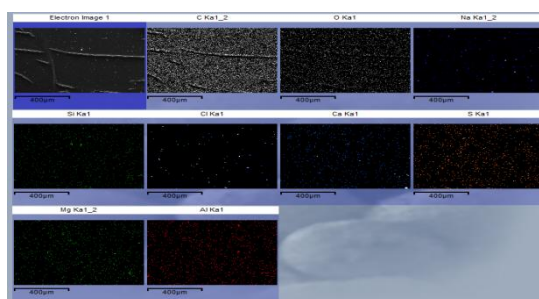
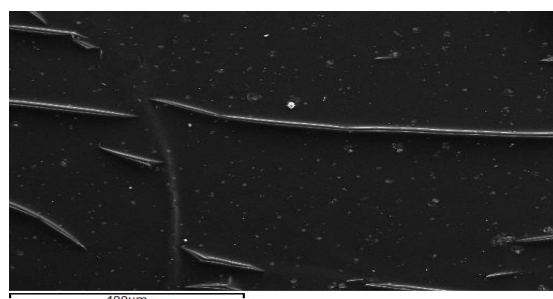
Σχήμα 7-16 Στοιχειακή χαρτογράφηση περιοχής του δείγματος της εβδομάδας 13/04/2012-20/04/2012 στο σταθμό 1, όπου καταγράφεται μεταφορά σκόνης Σαχάρας. Παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυση της περιοχής χαρτογράφησης καθώς και η εξάπλωση του κάθε στοιχείου στην περιοχή που μελετάται

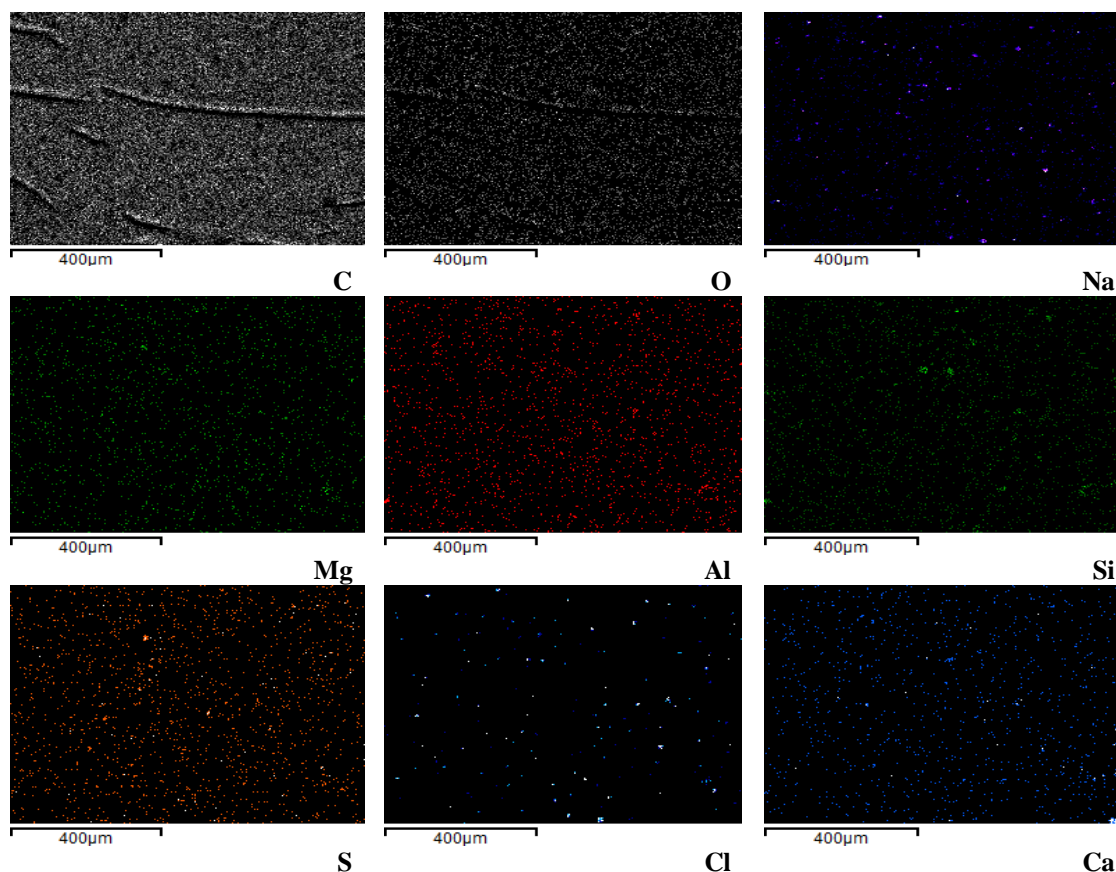
Σταθμός 2

Στην περίπτωση του σταθμού 2 (Σχήμα 7-17) στο κέντρο της πόλης του Ηρακλείου θα πρέπει να τονιστεί η αυξημένη συγκέντρωση του νατρίου και του χλωρίου, δηλώνοντας αυξημένες ποσότητες παγίδευσης αιωρούμενων σωματιδίων αλατιού (όπως έχει δείξει και η ανάλυση στα προηγούμενα δείγματα). Έτσι, ενώ ο σταθμός 2 βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τη θάλασσα σε σχέση με τους άλλους δύο, το αλάτι βρίσκεται κατά κόρον σχεδόν σε όλα τα δείγματα που εξετάστηκαν. Αυτό, τελικώς, εξηγείται από την ύπαρξη ενός ψηλού τείχους ακριβώς στην ίδια ευθεία που βρίσκεται ο δειγματολήπτης στην ακτογραμμή για να προστατευθεί ο παραλιακός δρόμος από τα μεγάλα κύματα. Όμως, καθώς τα κύματα σπάνε πάνω στο εμπόδιο αυτό, μεγάλη ποσότητα σπρεί μεταφερόμενων σωματιδίων αλατιού από τη θάλασσα κατευθύνεται προς το εσωτερικό της πόλης και αποτίθεται σε ό,τι υπάρχει στην κατεύθυνσή τους (δειγματολήπτης 2).



Στοιχείο	Βάρος %	Άτομα %
C	82.09	86.28
O	16.77	13.23
Na	0.33	0.18
Mg	0.05	0.02
Al	0.05	0.02
Si	0.09	0.04
S	0.05	0.02
Cl	0.53	0.19
Ca	0.05	0.01
Σύνολο	100	

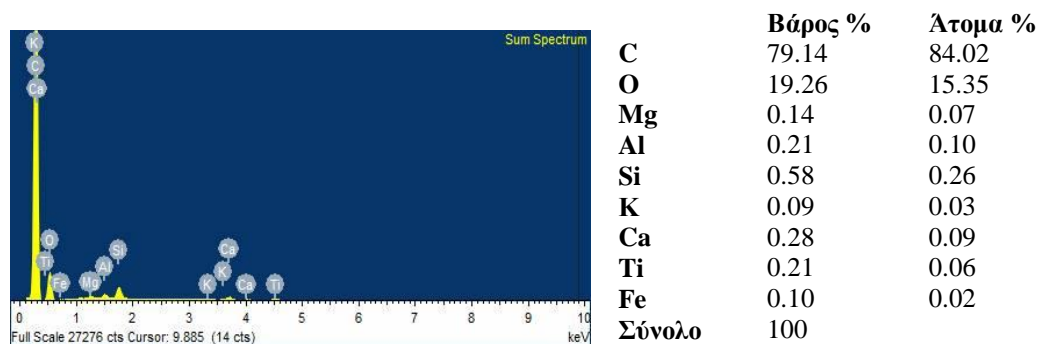


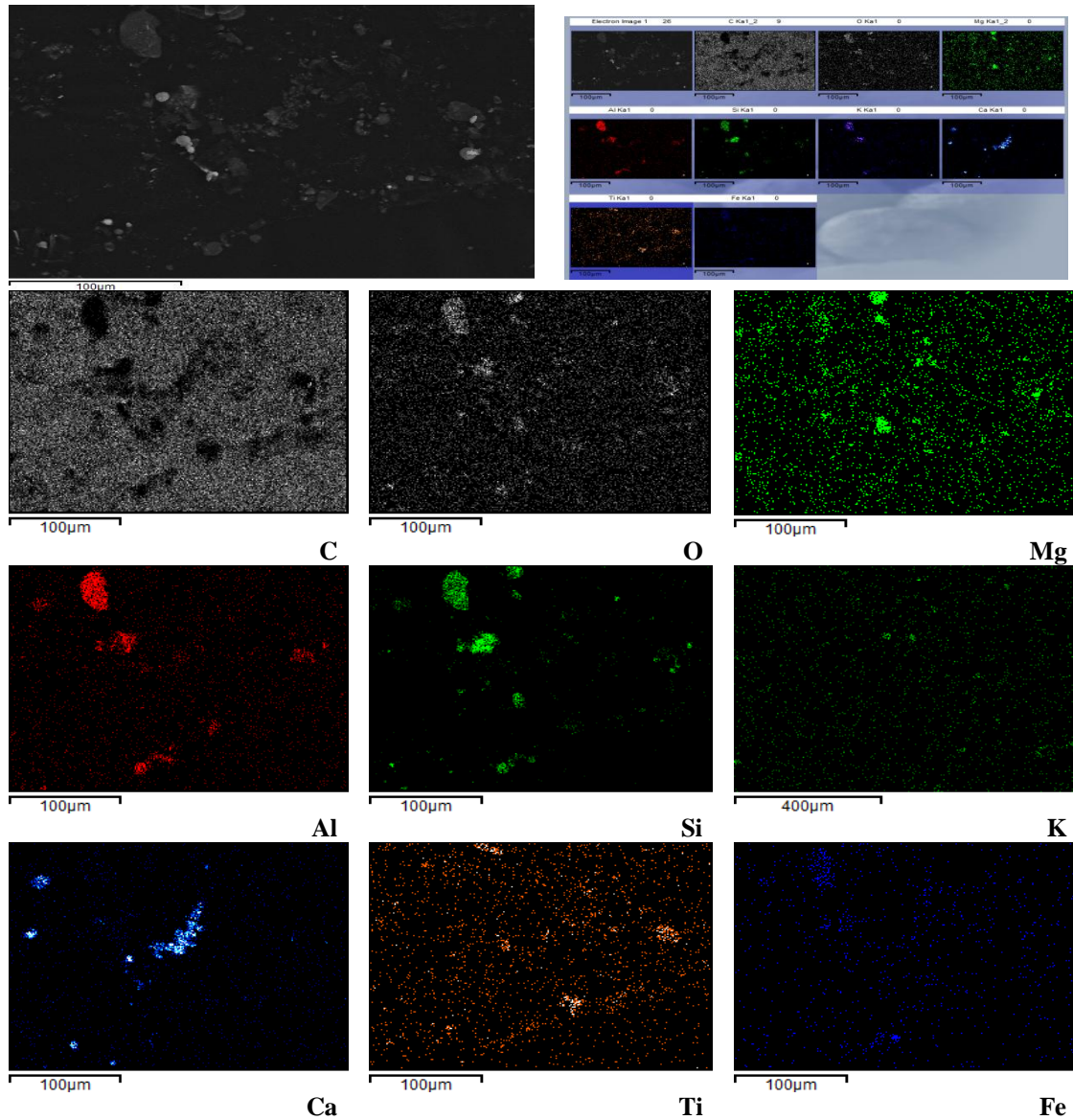


Σχήμα 7-17 Στοιχειακή χαρτογράφηση περιοχής του δείγματος της εβδομάδας 09.03.2012-16.03.2012 στο σταθμό 2, όπου καταγράφεται μεταφορά σκόνης Σαχάρας. Παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυση της περιοχής χαρτογράφησης καθώς και η εξάπλωση του κάθε στοιχείου στην περιοχή που μελετάται

Σταθμός 3

Τέλος, η χαρτογράφηση δείγματος από το σταθμό 3 στο αεροδρόμιο του Ηρακλείου (Σχήμα 7-18) αποκάλυψε την αρκετά μεγάλη συγκέντρωση και εξάπλωση του τιτανίου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί η ύπαρξή του ως οξειδίου (ρουτίλιο) προκαλεί αναπνευστικά προβλήματα, αλλά και λόγω της μικρής τους γεωμετρικής διαμέτρου εισέρχεται στην κυκλοφορία του αίματος δημιουργώντας ύφεση της μιτοχονδριακής δραστηριότητας στα επιθηλιακά κύτταρα (Sayes et al., 2006). Επιπλέον, η ύπαρξη του σιδήρου και η συνένωσή του με το τιτάνιο, μπορεί, επίσης, να προκαλέσει καρδιοαγγειακά προβλήματα, όπως μεταβολή του καρδιακού παλμού, της συστολικής αρτηριακής πίεσης, συστηματική φλεγμονή, αντιοξειδωτική κατάσταση και συσσώρευση αιμοπεταλίων (Nemmar et al., 2011).



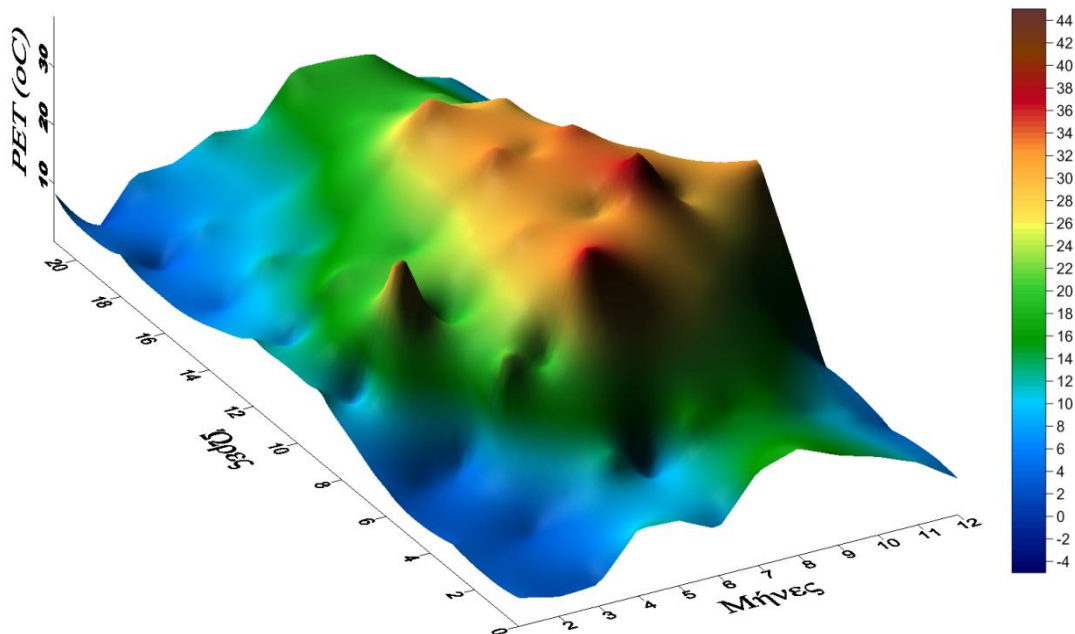


Σχήμα 7-18 Στοιχειακή χαρτογράφηση περιοχής του δείγματος της εβδομάδας 20.04.2012-27.04.2012 στο σταθμό 3, όπου καταγράφεται μεταφορά σκόνης Σαχάρας. Παρουσιάζεται η στοιχειακή και ποσοτική ανάλυση της περιοχής χαρτογράφησης καθώς και η εξάπλωση του κάθε στοιχείου στην περιοχή που μελετάται

8 Βιόκλιμα – Τύποι καιρού και Υγεία

8.1 Βιόκλιμα και Υγεία στο Ηράκλειο Κρήτης

Στο Κεφάλαιο αυτό με την εφαρμογή του μοντέλου RayMan, υπολογίστηκαν οι ωριαίες τιμές της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET), λαμβάνοντας υπόψη τη μέγιστη θερμοκρασία της ημέρας κατά τους 12 μήνες του έτους, η οποία έχει χρησιμοποιηθεί για την εκτίμηση των βιοκλιματικών συνθηκών στην περιοχή του Ηρακλείου κατά τη διάρκεια των ετών 2004-2013. Στο Σχήμα 8-1 φαίνεται η ωριαία μεταβλητότητα του δείκτη PET, όπου τις μεσημεριανές ώρες (12:00) κατά τη θερμή περίοδο (Ιούλιο και Αύγουστο) παρουσιάζεται αύξηση του δείκτη PET. Η τάξη του PET είναι ισχυρό ($35^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 41^{\circ}\text{C}$) και ακραίο ($\text{PET} > 41^{\circ}\text{C}$) θερμικό στρες. Αξιοσημείωτο, όμως, είναι η αύξηση του PET το μήνα Μάρτιο επίσης κατά τις μεσημεριανές ώρες, όπου οι θερμικές συνθήκες χαρακτηρίζονται από μέτρια θερμική καταπόνηση ($29^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 35^{\circ}\text{C}$). Το γεγονός αυτό μπορεί να εξηγηθεί από την ύπαρξη των ανέμων Föhn και των επεισοδίων μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα που επιδεινώνουν τις βιοκλιματικές συνθήκες του νησιού (Nastos et al., 2013a).



Σχήμα 8-1 Ωριαία μεταβλητότητα του βιοκλιματικού δείκτη PET κατά τη διάρκεια της περιόδου 2004-2013 ανά μήνα για την πόλη του Ηρακλείου (Bleta et al., 2014a)

8.2 Βιόκλιμα και καρδιοαγγειακά προβλήματα

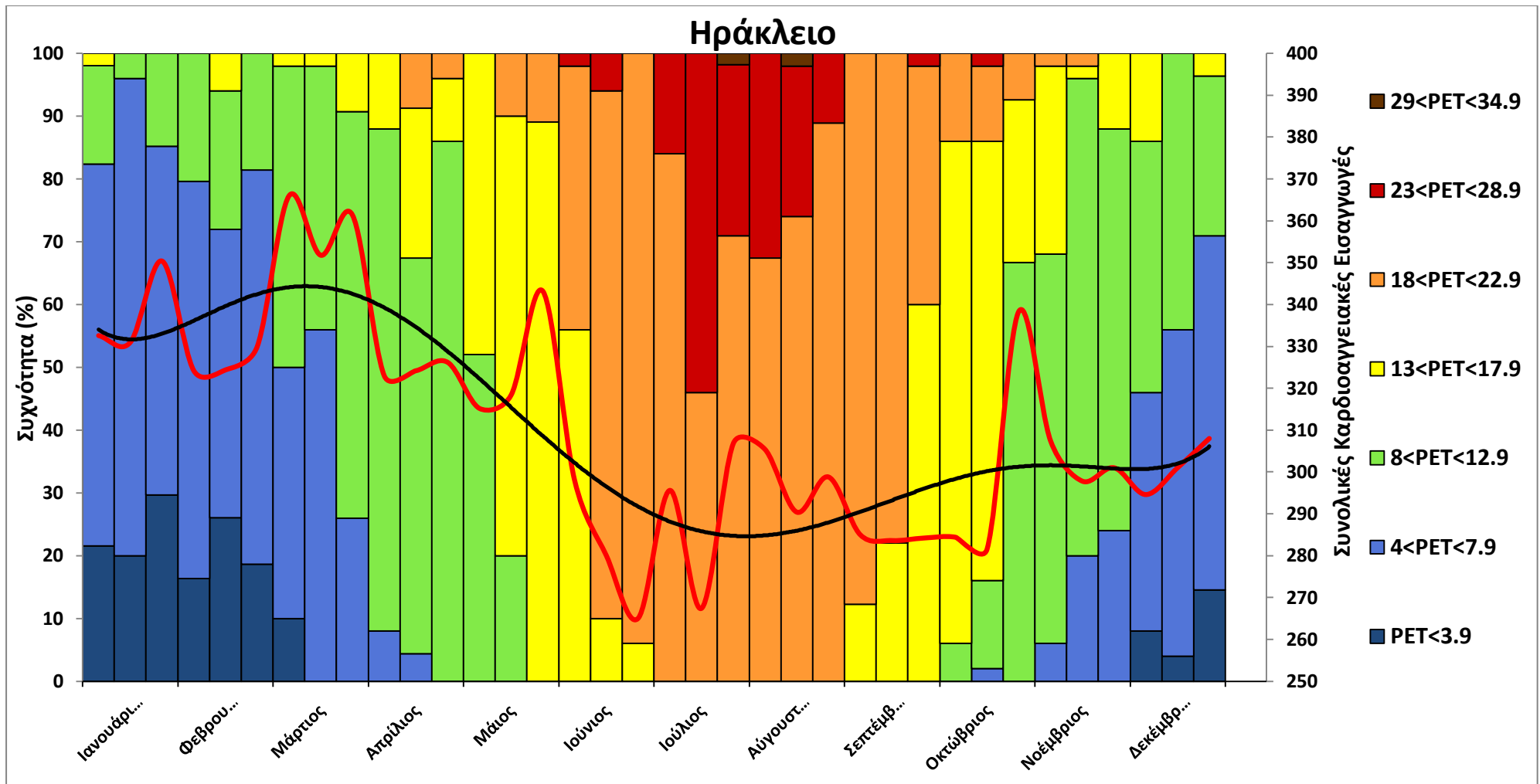
Οι θερμο-ανθρωποβιοκλιματικές συνθήκες στην πόλη του Ηρακλείου παρουσιάζονται σαν ποσοστά εμφάνισης των κλάσεων των δεικτών PET και UTCI σε δεκαήμερα για τη χρονική περίοδο 2008-2012, υπολογιζόμενες με τη μέση τιμή της θερμοκρασίας της ημέρας. Ταυτόχρονα εμφανίζεται η μεταβολή του συνολικού αριθμού των εισαγωγών λόγω καρδιοαγγειακών προβλημάτων ανά 10 ημέρες για την ίδια περίοδο μελέτης.

Επισημαίνεται ότι από το Σχήμα 8-2 είναι φανερό ότι το 50-60% των ημερών από το 1^ο δεκαήμερο του Ιουνίου έως το 3^ο δεκαήμερο του Σεπτεμβρίου εμφανίζουν κλάσεις PET πάνω από 18°C (θερμική άνεση). Επίσης για περίπου 5% των ημερών το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από μέτρια θερμική επιβάρυνση το 3^ο δεκαήμερο του Ιουλίου και το 2^ο δεκαήμερο του Αυγούστου. Όσον αφορά την ισχυρή/ακραία ψυχρή επιβάρυνση αυτή εμφανίζεται πάνω από το 50% των ημερών από το 1^ο δεκαήμερο του Δεκεμβρίου έως το 2^ο δεκαήμερο του Μαρτίου.

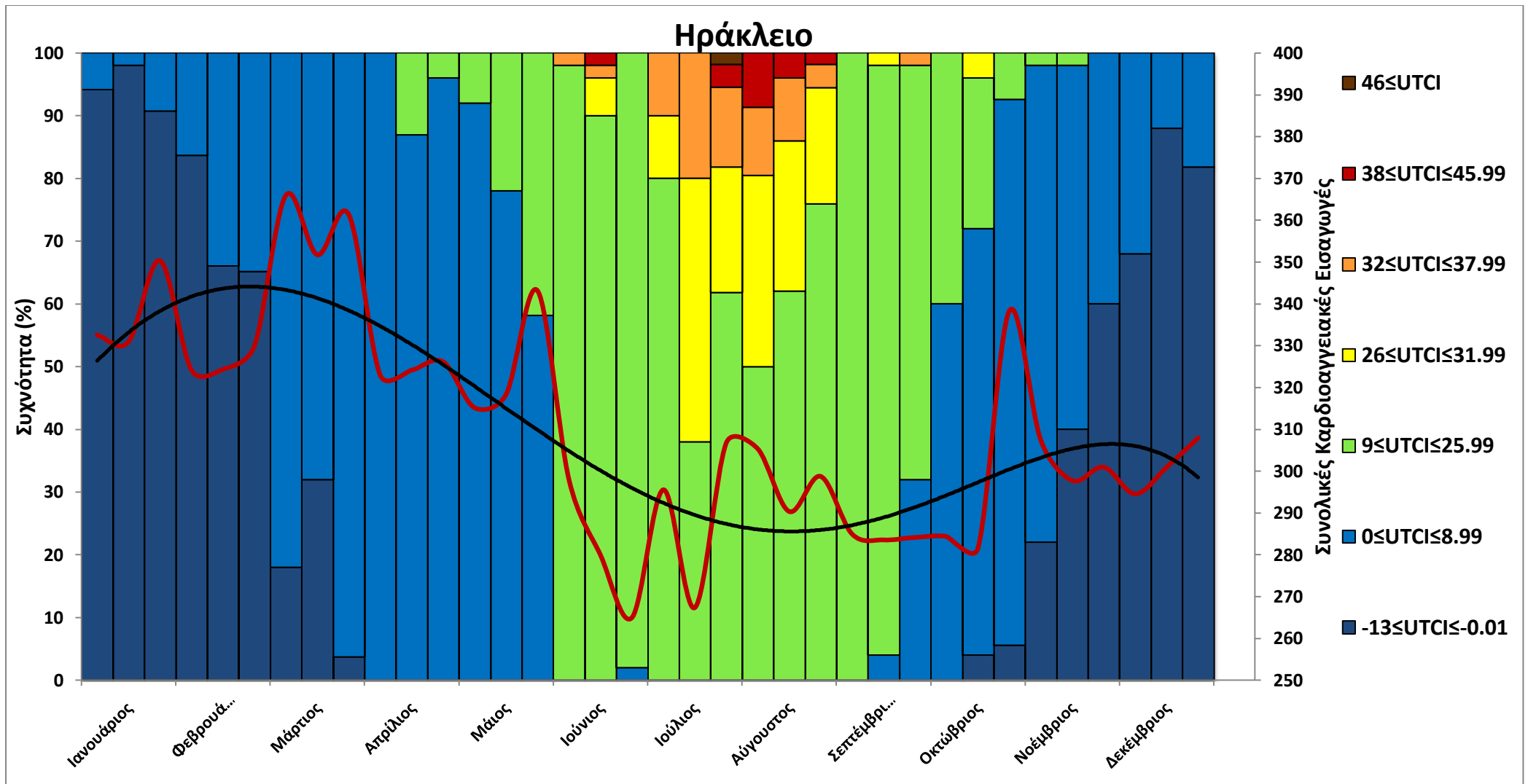
Από την άλλη στο Σχήμα 8-3, παρουσιάζονται οι συχνότητες εμφάνισης της κάθε θερμικής τάξης για το δείκτη UTCI. Συγκεκριμένα η κλάση της θερμικής άνεσης για το δείκτη UTCI (πάνω από 9°C) παραμένει πάνω από το 50-60% των ημερών από το 3^ο δεκαήμερο του Μαΐου έως το 1^ο δεκαήμερο του Οκτωβρίου. Το περιβάλλον μπορεί να χαρακτηριστεί από ισχυρή θερμική επιβάρυνση από το 2^ο δεκαήμερο του Ιουλίου έως το 1^ο δεκαήμερο του Αυγούστου όπου εμφανίζεται σε ποσοστό πάνω από 20%. Αντιθέτως, η ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση καταγράφεται πάνω από 70% περίπου από το 1^ο δεκαήμερο του Δεκεμβρίου έως το 3^ο δεκαήμερο του Φεβρουαρίου.

Ακολούθως, θα πρέπει να επισημάνουμε δύο μέγιστα στις εισαγωγές των καρδιοαγγειακών προβλημάτων κατά την εξεταζόμενη περίοδο. Συγκεκριμένα, από το 3^ο δεκαήμερο του Ιανουαρίου έως και το 3^ο δεκαήμερο του Μαρτίου παρατηρείται αύξηση των εισαγωγών. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι η πτώση του αριθμού των εισαγωγών κατά το 3^ο δεκαήμερο του Φεβρουαρίου οφείλεται στο ότι έχει λιγότερες ημερολογιακές ημέρες. Το δεύτερο μέγιστο παρουσιάζεται το 3^ο δεκαήμερο του Οκτωβρίου. Οι αυξημένες εισαγωγές συμβαίνουν κυρίως κατά τη διάρκεια μέτριας θερμικής καταπόνησης. Οι εισαγωγές των καρδιοαγγειακών προβλημάτων μειώνονται κατά τους θερινούς μήνες (Ιούνιος και Ιούλιος), όπου επικρατεί θερμική άνεση.

Ομοίως, για το βιοκλιματικό δείκτη UTCI, ο μέγιστος αριθμός εισαγωγών καρδιοαγγειακών προβλημάτων καταγράφεται κατά τη διάρκεια ήπιας ψυχρής καταπόνησης, ενώ ο ελάχιστος αριθμός εισαγωγών παρουσιάζεται ομοίως κατά τη διάρκεια της θερμικής άνεσης της κλίμακας του UTCI.



Σχήμα 8-2 Συχνότητα (%) των καρδιοαγγειακών εισαγωγών σε διαστήματα 10 ημερών για τα έτη 2008-2012 στην πόλη του Ηρακλείου ως συνάρτηση του βιοκλιματικού δείκτη PET, σε συνδυασμό με τη μεταβολή του συνολικού αριθμού των καρδιοαγγειακών εισαγωγών ανά δεκαήμερο (κόκκινη γραμμή) και η προσαρμογή του πολυωνύματος (μαύρη γραμμή) (Bleta and Nastos, 2013)

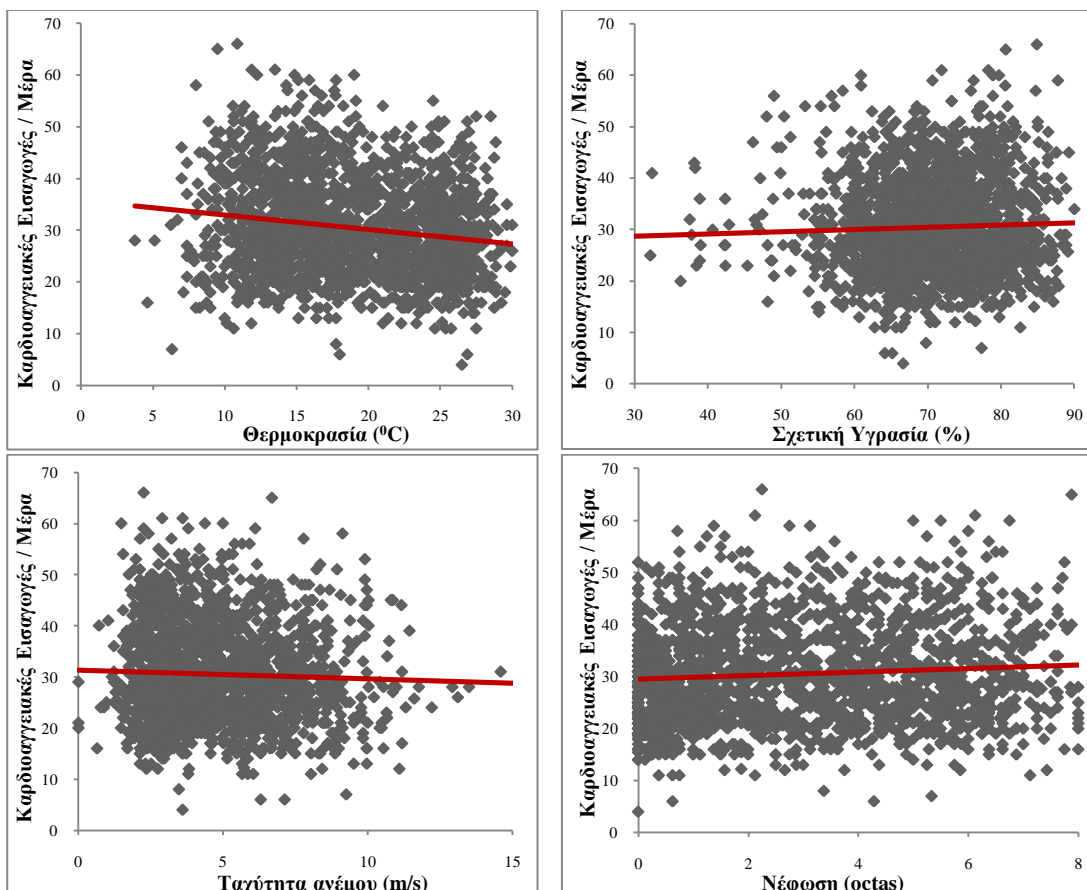


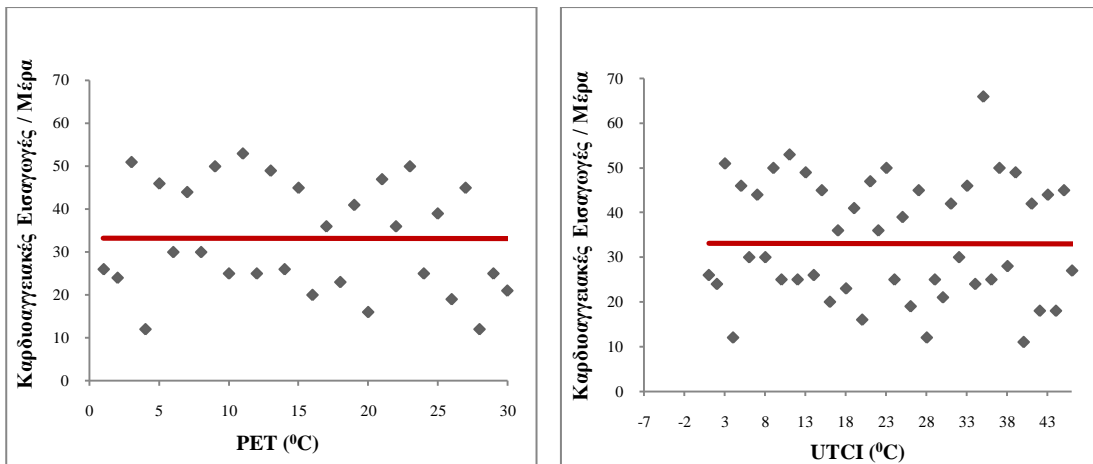
Σχήμα 8-3 Συχνότητα (%) των καρδιοαγγειακών εισαγωγών σε διαστήματα 10 ημερών για τα έτη 2008-2012 στην πόλη του Ηρακλείου ως συνάρτηση του βιοκλιματικού δείκτη UTCl, σε συνδυασμό με τη μεταβολή του συνολικού αριθμού των καρδιοαγγειακών εισαγωγών ανά δεκαήμερα (κόκκινη γραμμή) και η προσαρμογή του πολυωνύματος (μαύρη γραμμή) (Bleta and Nastos, 2013)

Ακολουθώντας, για τα καρδιοαγγειακά προβλήματα με τη βοήθεια γενικευμένων γραμμικών μοντέλων (GLM) βρέθηκαν οι συσχετίσεις καθενιάς μετεωρολογικής παραμέτρου με την αύξηση των εισαγωγών. Έτσι, αύξηση κατά 10°C της θερμοκρασίας αέρα, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση κατά 9% των καρδιοαγγειακών συνδρόμων. Παράλληλα, μείωση κατά 10% της ταχύτητας ανέμου σχετίζεται με αύξηση κατά 6% των εισαγωγών, ενώ 50% αύξηση της νέφωσης οδηγεί σε 7% αύξηση των συνδρόμων (Πίνακας 8-1). Παρόμοια αποτελέσματα έχουν βρεθεί όσον αφορά τη χρονική υστέρηση έως και 3 ημέρες (Bleta and Nastos, 2013).

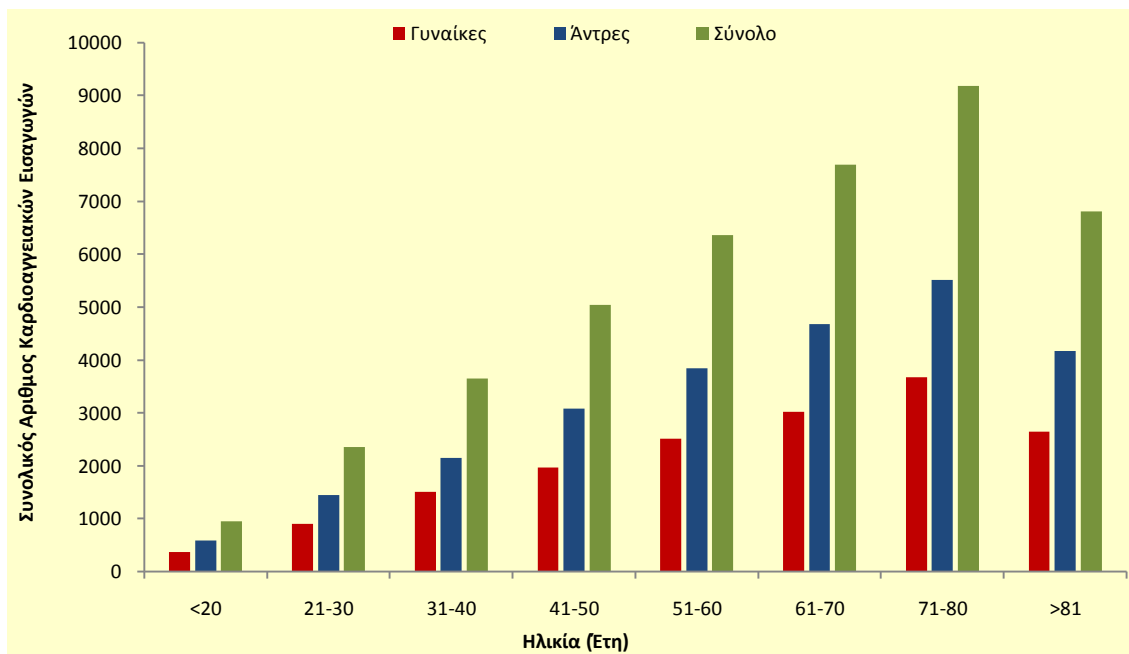
Πίνακας 8-1 Συσχετίσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων με τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές που προέκυψαν από τα GLM

Μετεωρολογικοί Παράμετροι	β	Τιμή p
Θερμοκρασία	-0.0093	0.000
Σχετική Υγρασία	0.0008	0.069
Ταχύτητα Ανέμου	-0.0060	0.002
Νέφωση	0.0109	0.000
PET	0.000	0.2805
UTCI	0.000	0.3068





Σχήμα 8-4 Διαγράμματα διασποράς της θερμοκρασίας αέρα (α), της σχετικής υγρασίας (β), της ταχύτητας του ανέμου (γ), της νέφωσης (δ), του PET (ε) και του UTCI (στ) με τις εισαγωγές για καρδιοαγγειακά προβλήματα (Bleta and Nastos, 2013)

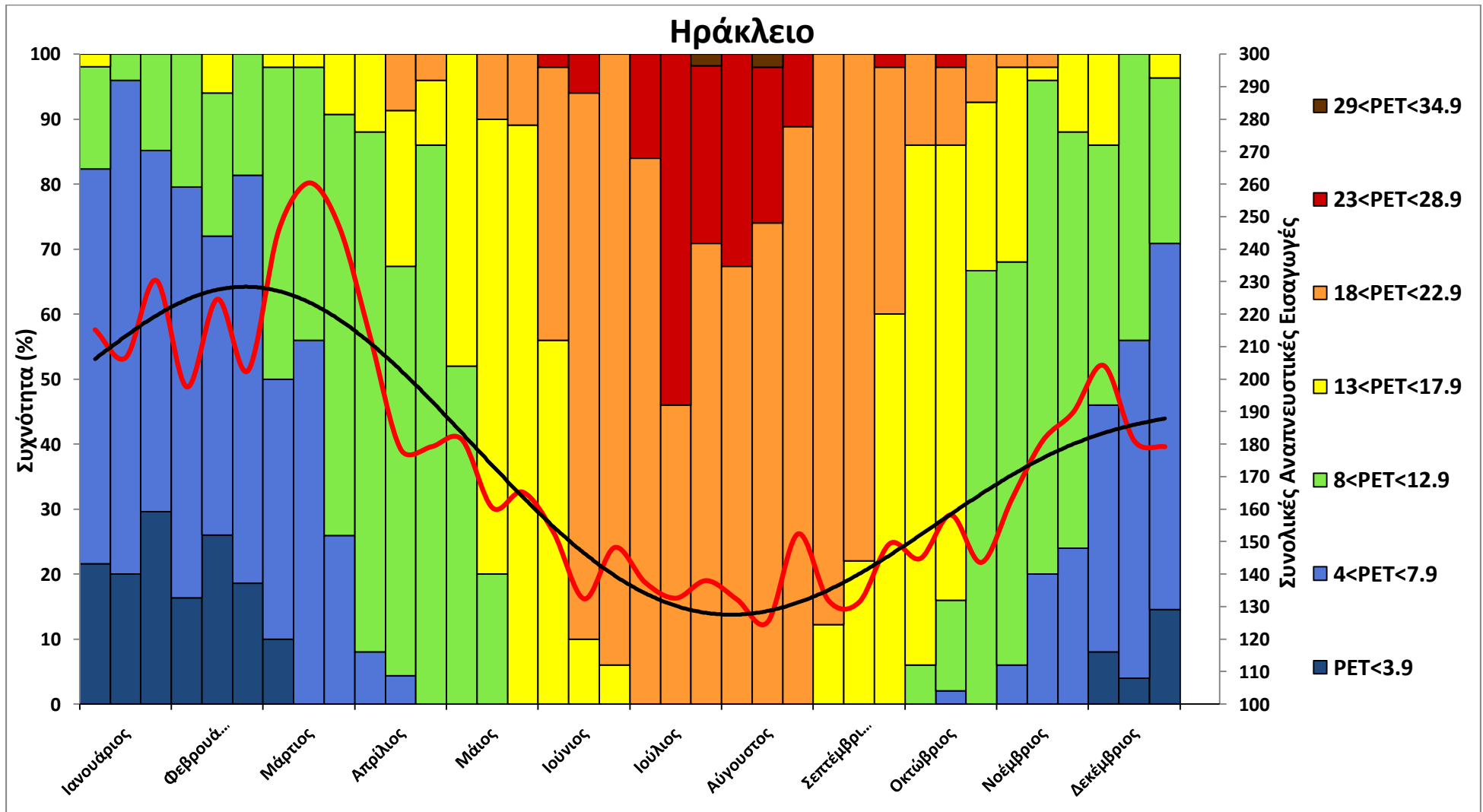


Σχήμα 8-5 Κατανομή ανά φύλο και κλάσεις ηλικίας του κάθε ασθενή με καρδιοαγγειακά προβλήματα στην πόλη του Ηρακλείου (Bleta and Nastos, 2013)

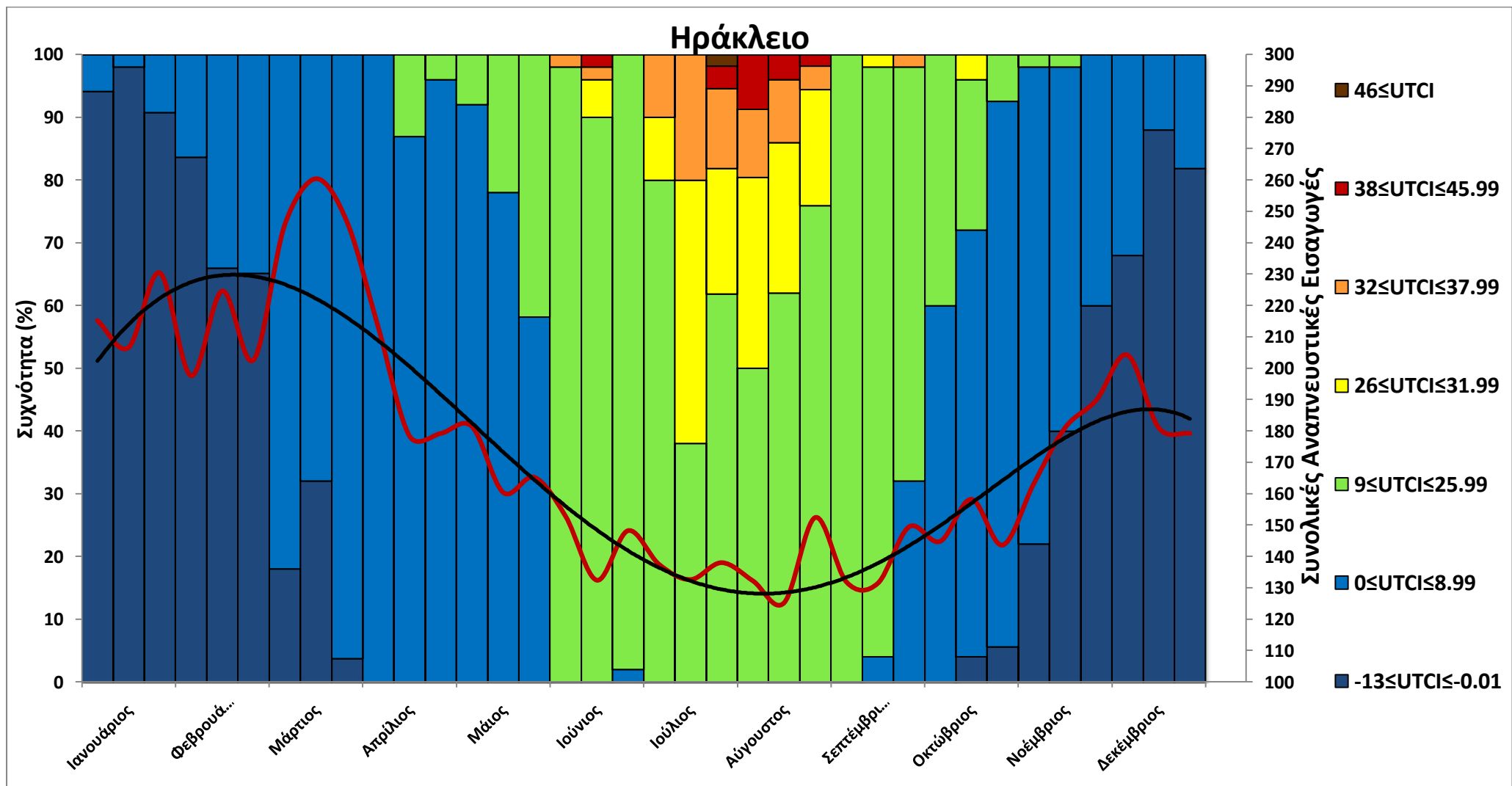
Μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι οι εισαγωγές των ανδρών είναι περισσότερες από εκείνες των γυναικών και κυρίως οι περισσότεροι ασθενείς βρίσκονται στην κλάση 71-80 ετών.

8.3 Βιόκλιμα και αναπνευστικά προβλήματα

Στο Ηράκλειο αύξηση στην καταγραφή των αναπνευστικών προβλημάτων παρουσιάζεται κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο), όπου πάνω από το 50% των ημερών το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από ισχυρή ψυχρή καταπόνηση, αλλά και την άνοιξη (2^ο δεκαήμερο του Μαρτίου) με το 50% του συνόλου των αριθμών να χαρακτηρίζουν το περιβάλλον ως ήπια ψυχρή καταπόνηση για το δείκτη PET. Παρόμοια, οι εισαγωγές των αναπνευστικών προβλημάτων παρουσιάζουν μείωση τους θερινούς μήνες, δηλαδή ειδικότερα το 2^ο δεκαήμερο του Ιουνίου και το 2^ο δεκαήμερο του Αυγούστου, με το περιβάλλον να χαρακτηρίζεται από θερμική άνεση και ήπια θερμική καταπόνηση αντίστοιχα (Σχήμα 8-6).



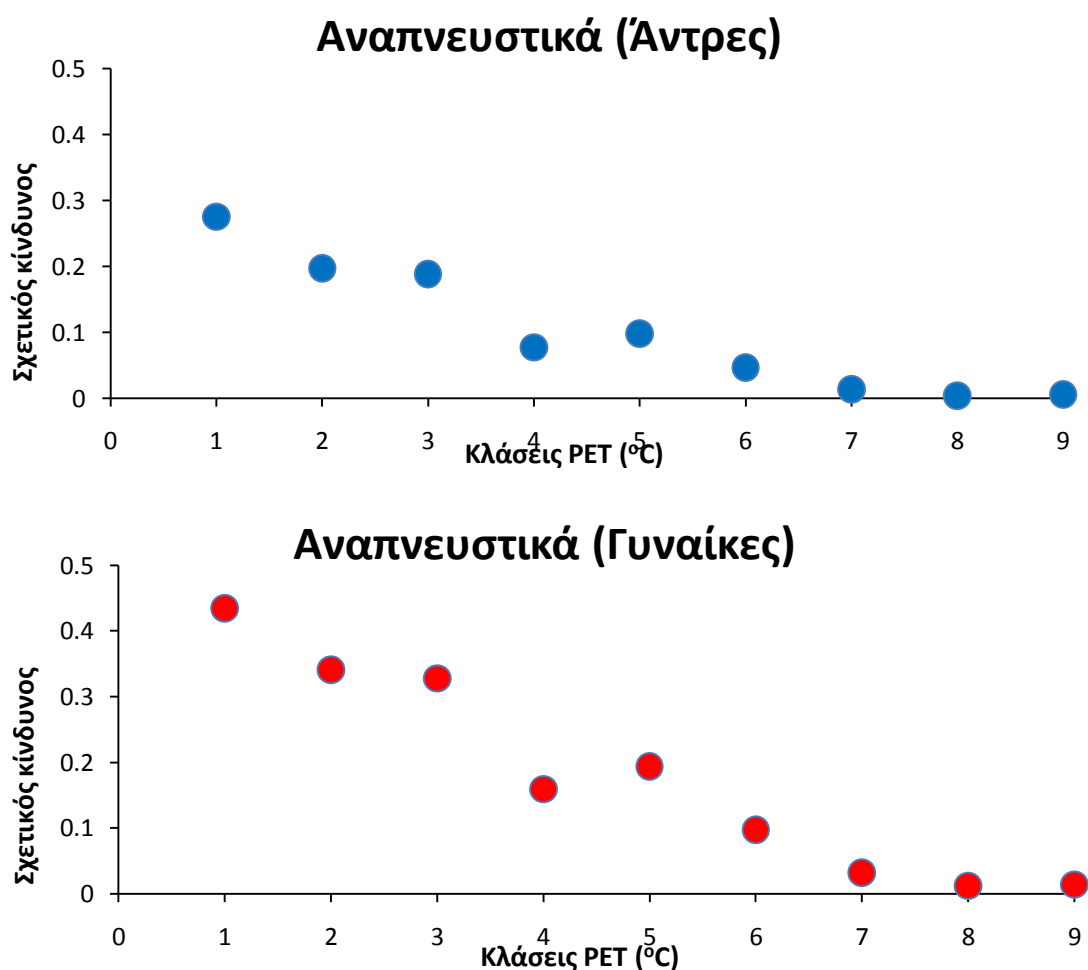
Σχήμα 8-6 Συχνότητα (%) των αναπνευστικών εισαγωγών σε διαστήματα 10 ημερών για τα έτη 2008-2012 στην πόλη του Ηρακλείου ως συνάρτηση του βιοκλιματικού δείκτη PET, σε συνδυασμό με τη μεταβολή του συνολικού αριθμού των αναπνευστικών εισαγωγών ανά δεκαήμερο (κόκκινη γραμμή) και η προσαρμογή του πολυωνύματος (μαύρη γραμμή) (Bleta et al., 2014a)



Σχήμα 8-7 Συχνότητα (%) των αναπνευστικών εισαγωγών σε διαστήματα 10 ημερών για τα έτη 2008-2012 στην πόλη του Ηρακλείου ως συνάρτηση του βιοκλιματικού δείκτη UTCI, σε συνδυασμό με τη μεταβολή του συνολικού αριθμού των αναπνευστικών εισαγωγών ανά δεκαήμερο (κόκκινη γραμμή) και η προσαρμογή του πολυωνύματος (μαύρη γραμμή) (Bleta et al., 2014a)

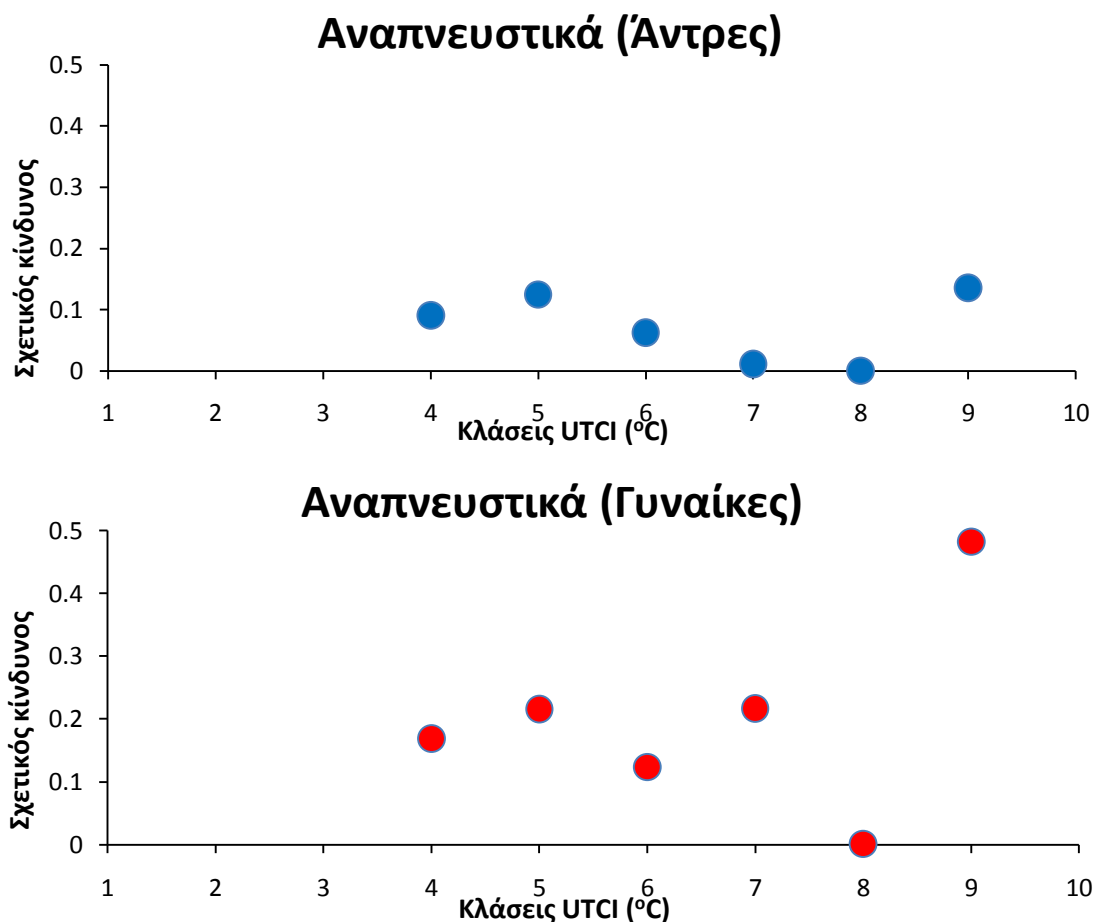
Ομοίως, όσον αφορά το βιοκλιματικό διάγραμμα του δείκτη UTCI, η αύξηση των εισαγωγών των αναπνευστικών προβλημάτων παρατηρείται όταν το περιβάλλον χαρακτηρίζεται από ισχυρή ψυχρή καταπόνηση για τους χειμερινούς μήνες και ήπια ψυχρή καταπόνηση για το μήνα Μάρτιο. Κατά τους θερινούς μήνες που καταγράφονται οι ελάχιστες εισαγωγές για αναπνευστικά προβλήματα, το 20% των ημερών χαρακτηρίζουν το περιβάλλον ως πολύ ισχυρή θερμή καταπόνηση (1^ο Δεκαήμερο του Αυγούστου) και για τους υπόλοιπους θερινούς μήνες το 40% των ημερών χαρακτηρίζουν το περιβάλλον ως ήπια θερμική καταπόνηση (Σχήμα 8-7).

Οι εισαγωγές για αναπνευστικά προβλήματα χωρίστηκαν με βάση το φύλο, έτσι ώστε να υπολογιστεί σε ποιες κλάσεις των δύο βιοκλιματικών δεικτών αυξάνει ο κίνδυνος εμφάνισης των προβλημάτων αυτών. Έτσι, για το δείκτη PET, ο κίνδυνος αύξησης των εισαγωγών για τους άντρες αυξάνει στις χαμηλότερες κλάσεις του PET, που επικρατεί ακραία ή ισχυρή ψυχρή καταπόνηση και ύστερα καθώς οι κλάσεις του PET γίνονται υψηλότερες, δηλαδή ακραία και ισχυρή θερμική καταπόνηση ($PET < 4^{\circ}C$ και $4^{\circ}C < PET < 8^{\circ}C$), ο κίνδυνος μειώνεται όπου στο τέλος μηδενίζεται. Η ίδια πτωτική πορεία του κινδύνου εμφάνισης αναπνευστικών προβλημάτων με την αύξηση στις κλάσεις του PET παρατηρείται και για τα δύο φύλα (Σχήμα 8-8).



Σχήμα 8-8 Σχετικός κίνδυνος (με τη βοήθεια GLM και κατανομή Poisson) σε σχέση με τις κλάσεις του PET (Bleta et al., 2014a)

Ωστόσο για το δείκτη UTCI δεν υπάρχει σαφής εικόνα με την αύξηση του κινδύνου εισαγωγών τόσο για τους άντρες, όσο και για τις γυναίκες. Μάλιστα ο κίνδυνος αύξησης των εισαγωγών αποκτά τη μέγιστη τιμή του, όταν η κλάση του UTCI χαρακτηρίζεται από πολύ ισχυρή θερμή καταπόνηση. Αυτή η κλάση του UTCI ($38^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 46^{\circ}\text{C}$) είναι αρκετά σπάνια στην Κρήτη, δηλαδή υπάρχει μικρή συχνότητα εισαγωγών στους ασθενείς όταν υπάρχει αυτή η κλάση του UTCI (Σχήμα 8-9).



Σχήμα 8-9 Σχετικός κίνδυνος (με τη βοήθεια GLM και κατανομή Poisson) σε σχέση με τις κλάσεις του UTCI (Bleta et al., 2014a)

8.4 Τύποι καιρού και Δημόσια υγεία

Στο σημείο αυτό έγινε προσπάθεια αξιολόγησης της σχέσης μεταξύ των ημερήσιων τύπων καιρού και των ημερήσιων εισαγωγών για καρδιοαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα στην πόλη του Ηρακλείου, κατά την περίοδο 2008-2012. Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν ημερήσιες τιμές 20 παραμέτρων για την περίοδο μελέτης, οι οποίες είναι: μέγιστη θερμοκρασία (T_{\max}), ελάχιστη θερμοκρασία (T_{\min}), μέση θερμοκρασία (T_{mean}), ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος ($T_{\text{range}} = T_{\max} - T_{\min}$), σχετική υγρασία (RH), μέση ατμοσφαιρική πίεση (e), μέση ατμοσφαιρική πίεση στο επίπεδο της θάλασσας (P), μέση ακτινοβολία (I), μέση ηλιοφάνεια (S), μέση ταχύτητα ανέμου (v) και οι ημερήσιες μεταβολές των παραπάνω μεταβλητών. Η πραγματοποιηθείσα ανάλυση βασίστηκε στις στατιστικές μεθόδους, της παραγοντικής ανάλυσης (Factor Analysis) και της ανάλυσης κατά Συστάδες (Cluster Analysis) καθώς και στο Pearson's χ^2 τεστ, χρησιμοποιώντας πίνακες ενδεχομένων (contingency

tables). Η εφαρμογή αυτής της πολύ-παραγοντικής ανάλυσης αποκαλύπτει τη σχέση μεταξύ των εξαγόμενων τύπων καιρού (weather types, wt) και της συχνότητας των καρδιοαγγειακών και αναπνευστικών παθήσεων.

Συγκεκριμένα, αρχικά για να ταξινομηθούν οι τύποι καιρού εφαρμόστηκε η Factor ανάλυση στις 20 μετεωρολογικές παραμέτρους και αυτό είχε ως αποτέλεσμα να προκύψουν 8 παράγοντες (8 factors), που εξηγούν κατά 80% τη μεταβλητότητα του καιρού στην Κρήτη. Στη συνέχεια της διαδικασίας εφαρμόστηκε η Cluster ανάλυση στις 1824 περιπτώσεις (ημέρες) των σκορ των παραγόντων (factor score), προκειμένου να ομαδοποιηθούν οι κατηγορίες των ημερών ανά χαρακτηριστικό τύπο καιρού, οδηγώντας στη δημιουργία 8 ομάδων (clusters).

Πίνακας 8-2 Μέσες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων για κάθε τύπο καιρού (cluster) (Bleta et al., 2013b, 2014b)

Meteor/cal Variables	wt_1	wt_2	wt_3	wt_4	wt_5	wt_6	wt_7	wt_8
Tmax (°C)	22.9	18.6	20.9	23.9	28.4	25.4	20.9	15.9
Tmin (°C)	16.6	12.8	14.3	16.6	23.1	16.0	16.5	12.4
Trange (°C)	6.3	5.8	6.5	6.7	5.3	9.3	4.4	3.5
Tmean (°C)	19.8	15.7	17.6	19.9	25.8	20.6	18.7	14.1
RH (%)	67.2	76.2	73.9	70.4	67.3	58.0	69.5	70.2
e (mm Hg)	15.7	13.6	15.2	15.7	22	14.3	15.1	11.3
P (hPa)	1013.4	1015.5	1015.9	1013.8	1010.2	1011.9	1014.1	1015.3
I (W/m ²)	191.4	54.8	40.3	68.3	221.9	93.0	32.7	30.0
S (hrs)	1.9	3.2	4.3	4.7	8.4	3.8	7.5	3.0
v (m/sec)	4.3	3.4	3.7	4.4	5.0	5.4	5.8	7.0
ΔTmax (°C)	0.4	-0.1	-0.2	0.1	-0.2	3.6	0.6	-1.9
ΔTmin (°C)	-0.7	0.1	-1.5	-0.2	0.3	1.1	2.2	-0.9
ΔTrange (°C)	1.1	-0.2	1.3	0.4	-0.4	2.4	-1.6	-1.1
ΔTmean (°C)	-0.1	0.1	-0.8	0.1	0.1	2.3	1.4	-1.4
ΔRH (%)	-0.1	4.3	2.2	-0.5	0.7	-11.9	-1.9	-3.3
Δe (mm Hg)	0.1	0.8	-0.1	-0.5	0.2	-0.6	0.4	-1.4
ΔP (hPa)	0.5	0.4	1.8	0.5	1.4	3.3	0.2	4.6
ΔI (W/m ²)	35.0	-7.5	0.8	-3.3	-3.9	-13.8	-1.1	-0.7
ΔS (hrs)	0.1	-1.4	2.0	-0.5	-0.1	-0.9	1.0	-0.9
Δv (m/sec)	-1.4	-0.8	-0.8	-0.5	0.21	1.9	1.1	1.2

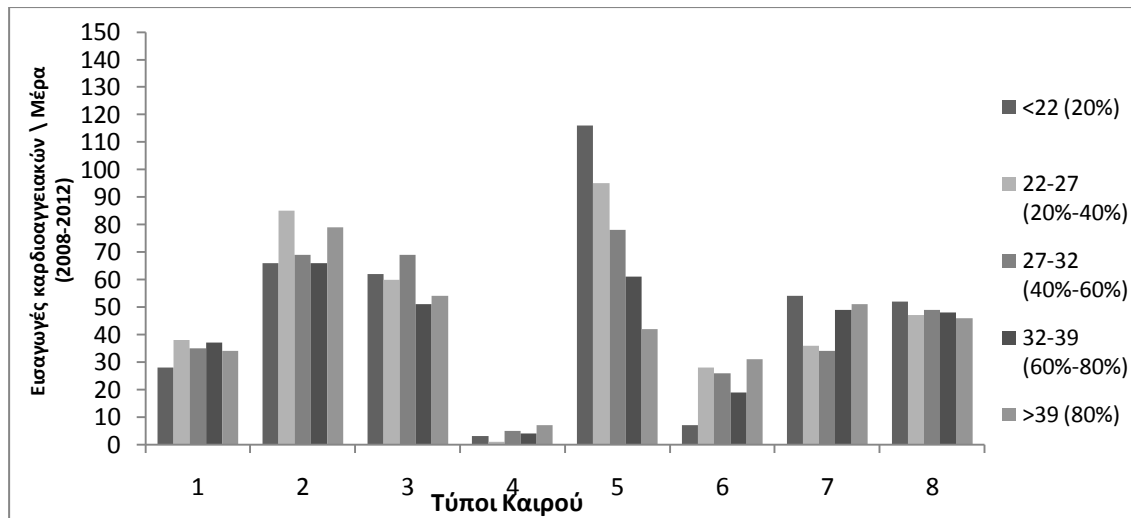
Ο Πίνακας 8-2 παρουσιάζει τις μέσες τιμές των μετεωρολογικών παραμέτρων για κάθε τύπο καιρού. Οι τύποι καιρού 1, 4, 5, 6 και 7 εμφανίζονται κυρίως κατά τη θερμή περίοδο του έτους, σε αντίθεση με τους τύπους καιρού 2, 3 και 8 που επικρατούν κατά την ψυχρή περίοδο του έτους. Προκειμένου να αποκαλυφθεί ποιος τύπος καιρού επηρεάζει περισσότερο τα καρδιοαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα, εφαρμόστηκε το Pearson's χ^2 τεστ σε πίνακα ενδεχομένων ανά πεμπτημόρια των καρδιοαγγειακών και αναπνευστικών εισαγωγών σε σχέση με τους 8 τύπους καιρού (Πίνακας 8-2).

Πίνακας 8-3 Αριθμός ημερών ανά πεμπτημώρια των καρδιοαγγειακών (ψηλά) και των αναπνευστικών (χαμηλά) εισαγωγών σε συνάρτηση με τους 8 τύπους καιρού κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου 2008-2012 (Bleta et al., 2013b, 2014b)

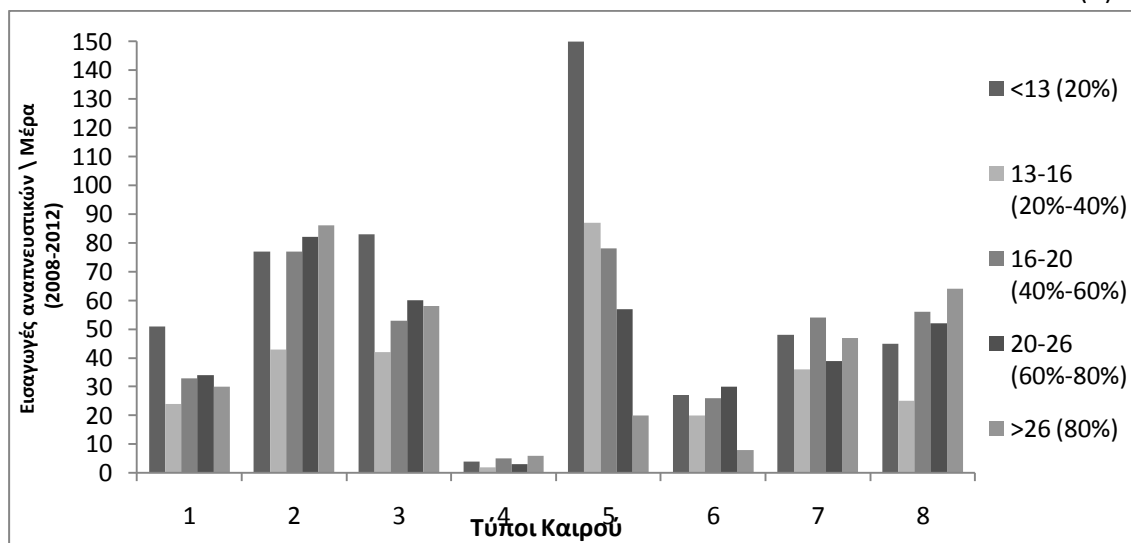
Τύποι Καιρού	Πεμπτημώρια (Quintiles) Καρδιοαγγειακών Εισαγωγών				
	<22 (20%)	22-27 (20%-40%)	27-32 (40%-60%)	32-39 (60%-80%)	>39 (80%)
1	28	38	35	37	34
2	66	85	69	66	79
3	62	60	69	51	54
4	3	1	5	4	7
5	116	95	78	61	42
6	7	28	26	19	31
7	54	36	34	49	51
8	52	47	49	48	46

Τύποι Καιρού	Πεμπτημώρια (Quintiles) Αναπνευστικών Εισαγωγών				
	<13 (20%)	13-16 (20%-40%)	16-20 (40%-60%)	20-26 (60%-80%)	>26 (80%)
1	51	24	33	34	30
2	77	43	77	82	86
3	83	42	53	60	58
4	4	2	5	3	6
5	150	87	78	57	20
6	27	20	26	30	8
7	48	36	54	39	47
8	45	25	56	52	64

Η ανάλυση δείχνει ότι οι πιο πολλές ημέρες (79) με αυξημένες καρδιοαγγειακές εισαγωγές (ανώτερο 20% του πεμπτημορίου) σχετίζονται με τον τύπο καιρού 2, ενώ οι περισσότερες μέρες (116) με χαμηλές καρδιοαγγειακές εισαγωγές, στο κατώτερο 20% πεμπτημορίου, εμφανίζονται στον τύπο καιρού 5 (Πίνακας 8-2 πάνω μέρος). Ειδικότερα, ο τύπος καιρού 5, που χαρακτηρίζεται από υψηλή θερμοκρασία αέρα, υψηλή ολική ηλιακή ακτινοβολία και ηλιοφάνεια, ελαχιστοποιεί τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές. Από την άλλη, οι τύποι καιρού 2 και 8 χαρακτηρίζονται από κρύες αντικυκλωνικές συνθήκες μετά το πέρασμα ενός ψυχρού μετώπου οδηγούν στην αύξηση των καρδιοαγγειακών εισαγωγών.

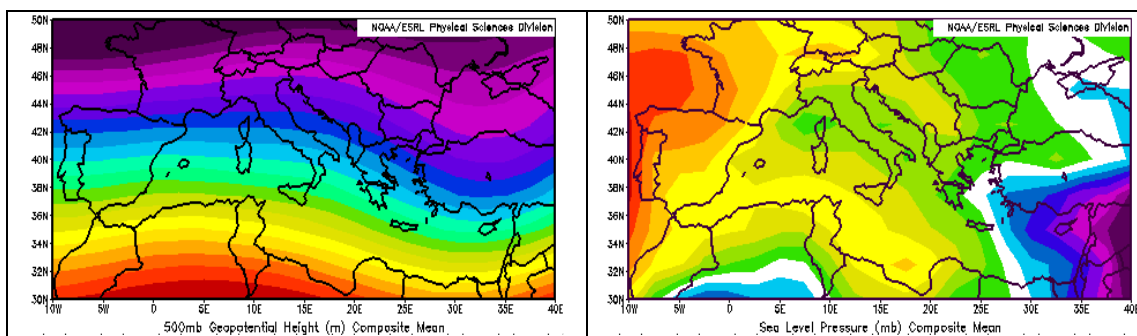


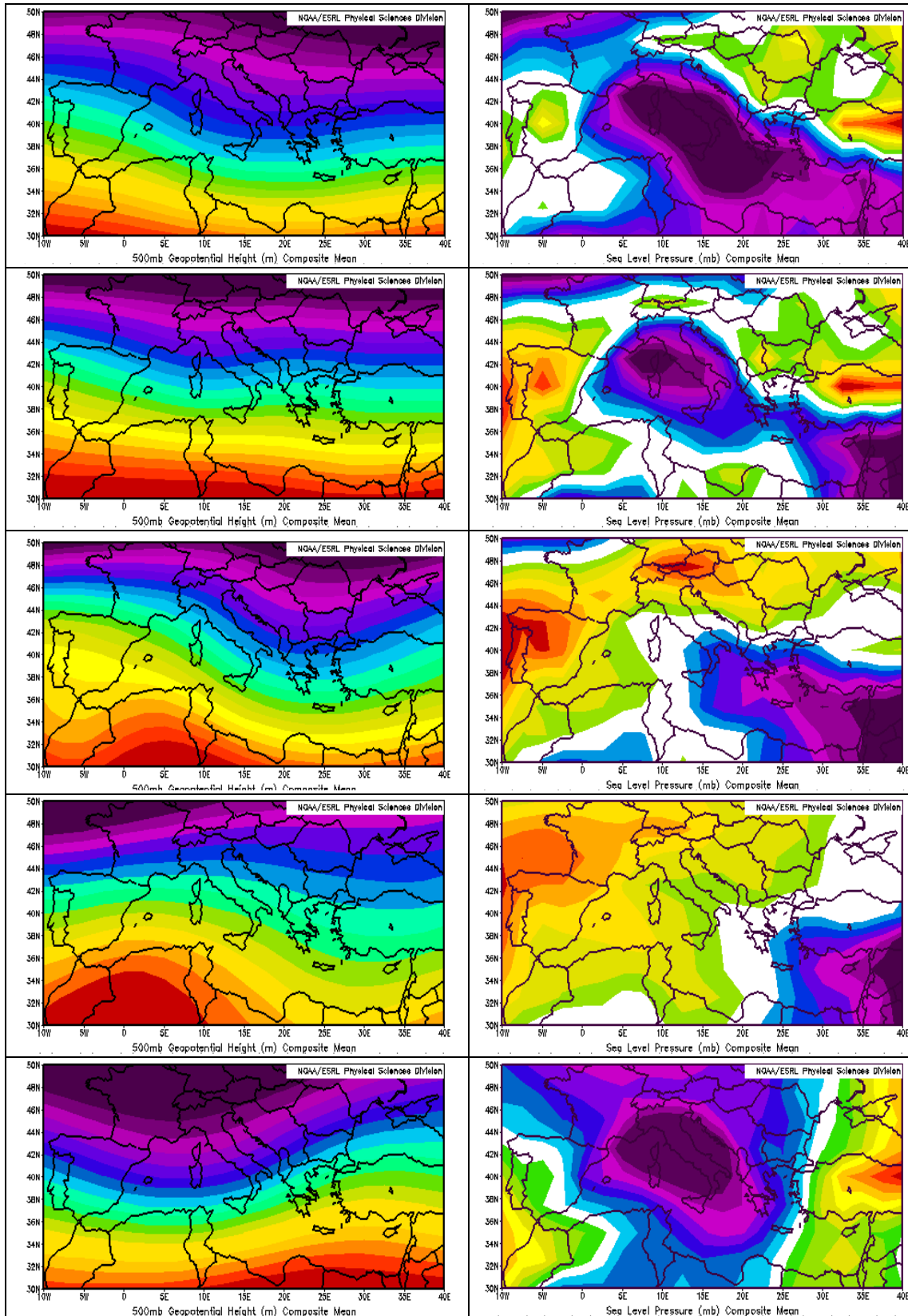
(α)

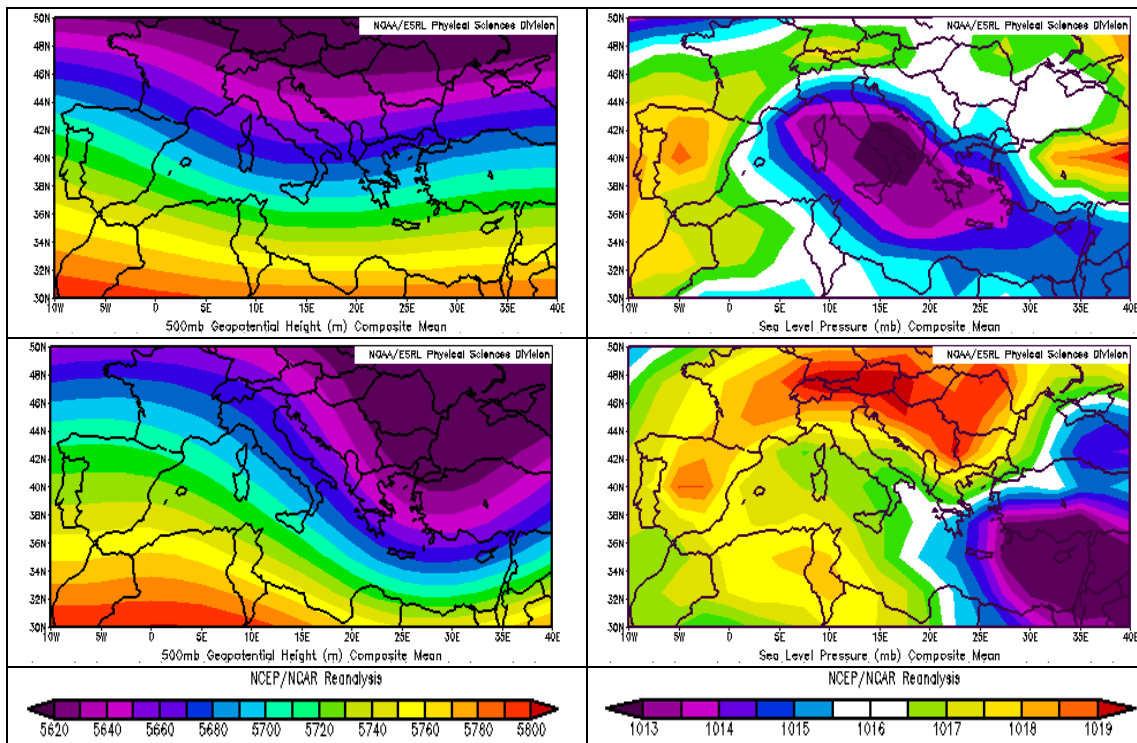


(β)

Σχήμα 8-10: Αριθμός ημερών εντός εκατοστημορίων των καρδιαγγειακών (α) και των αναπνευστικών (β) εισαγωγών για την περίοδο 2008-2012 σε σχέση με τους 8 τύπους καιρού

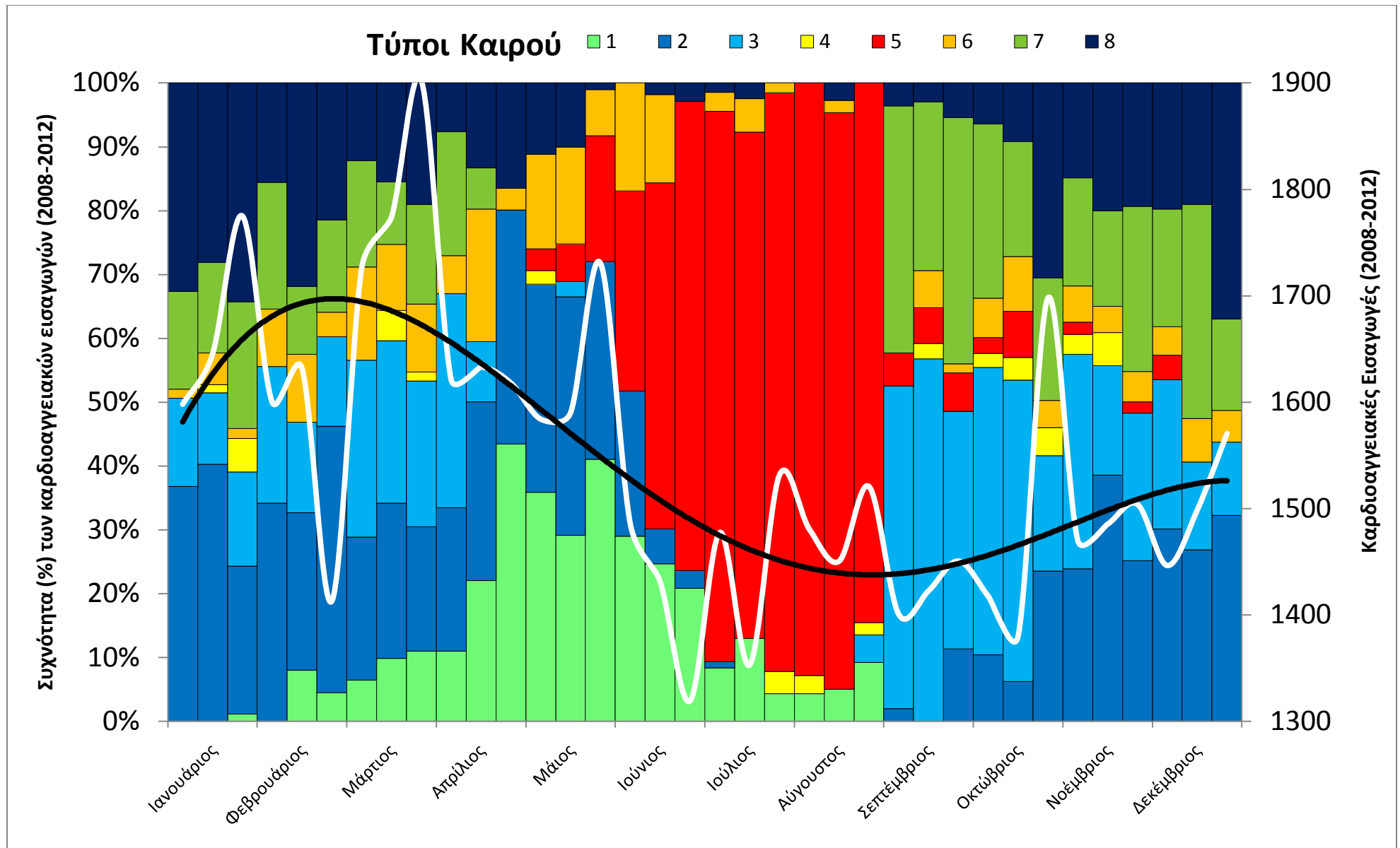






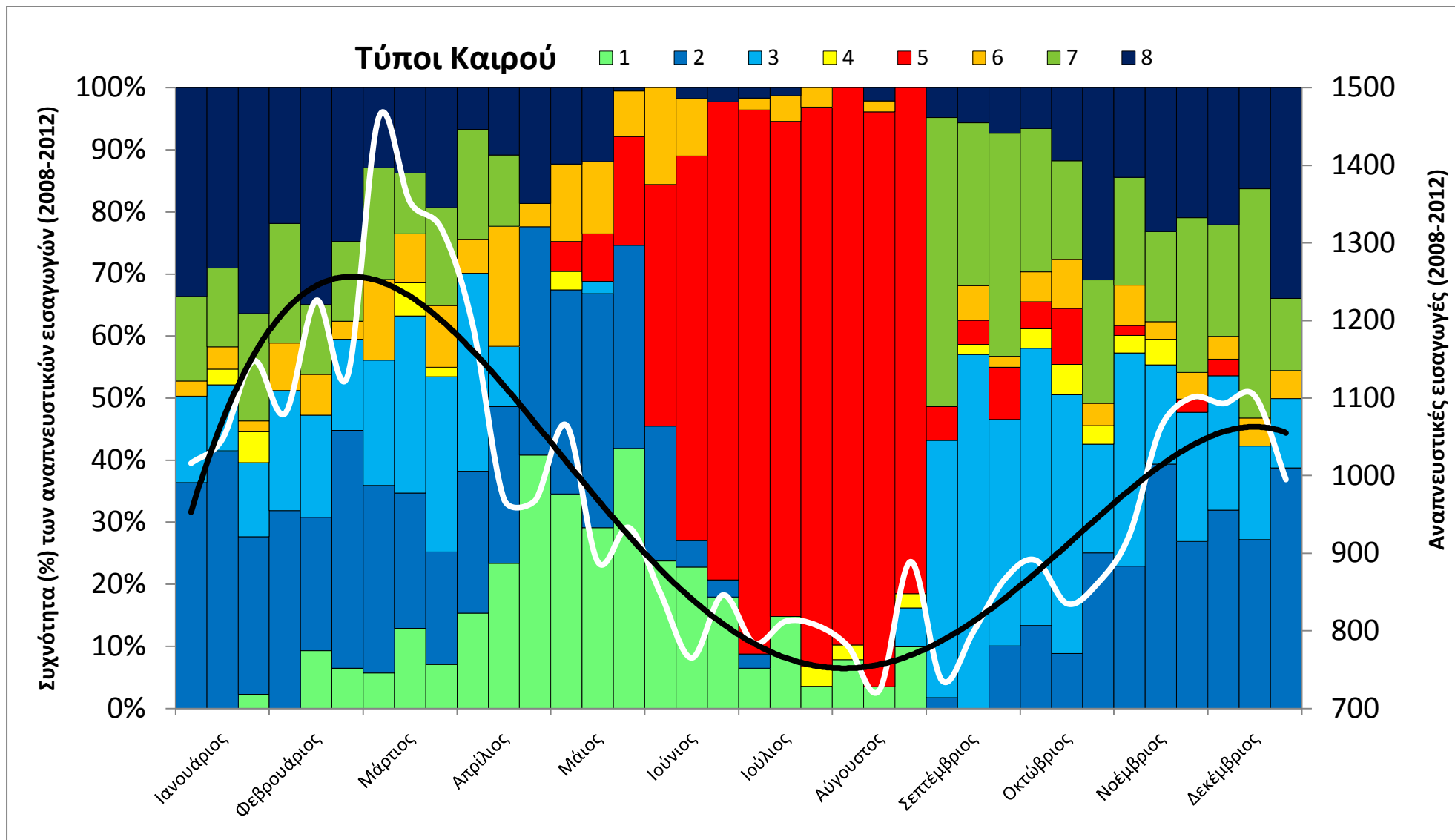
Σχήμα 8-11 Μέσα ημερήσια σύνθετα στα 500mb γεωδυναμικού ύψους (αριστερή πλευρά) και στη πίεση της θαλάσσιας στάθμης από την ανάλυση NCEP/NCAR κατά τη διάρκεια 2008-2012 για τους 8 τύπους καιρού (Bleta et al., 2013b, 2014b)

Παρόμοια αποτελέσματα βρέθηκαν όσον αφορά τις εισαγωγές λόγω αναπνευστικών προβλημάτων (Πίνακας 8-2 κάτω μέρος). Αναλυτικότερα, ο τύπος καιρού 5 που σημειώνεται κυρίως κατά τη θερμή περίοδο του έτους φαίνεται να συσχετίζεται με πολλές μέρες (150) με εισαγωγές αναπνευστικών προβλημάτων στο κατώτερο 20% του πεμπτημορίου. Αντιθέτως, οι τύποι καιρού 2 και 8, επικρατούντες κυρίως κατά την ψυχρή περίοδο του έτους, είναι υπεύθυνοι για την επιδείνωση των αναπνευστικών παθήσεων (Bleta et al., 2014b).



(α)

215



(β)

Σχήμα 8-12 Σχετική συχνότητα (%) των καρδιοαγγειακών (α) και των αναπνευστικών εισαγωγών (β) ανά δεκαήμερο ως συνάρτηση των τύπων καιρού σε συνδυασμό με τη μεταβολή του αριθμού των εισαγωγών ανά δεκαήμερο (λευκή γραμμή) και η πολυωνυμική προσαρμογή (μαύρη γραμμή) (Bleta et al. 2013, 2014)

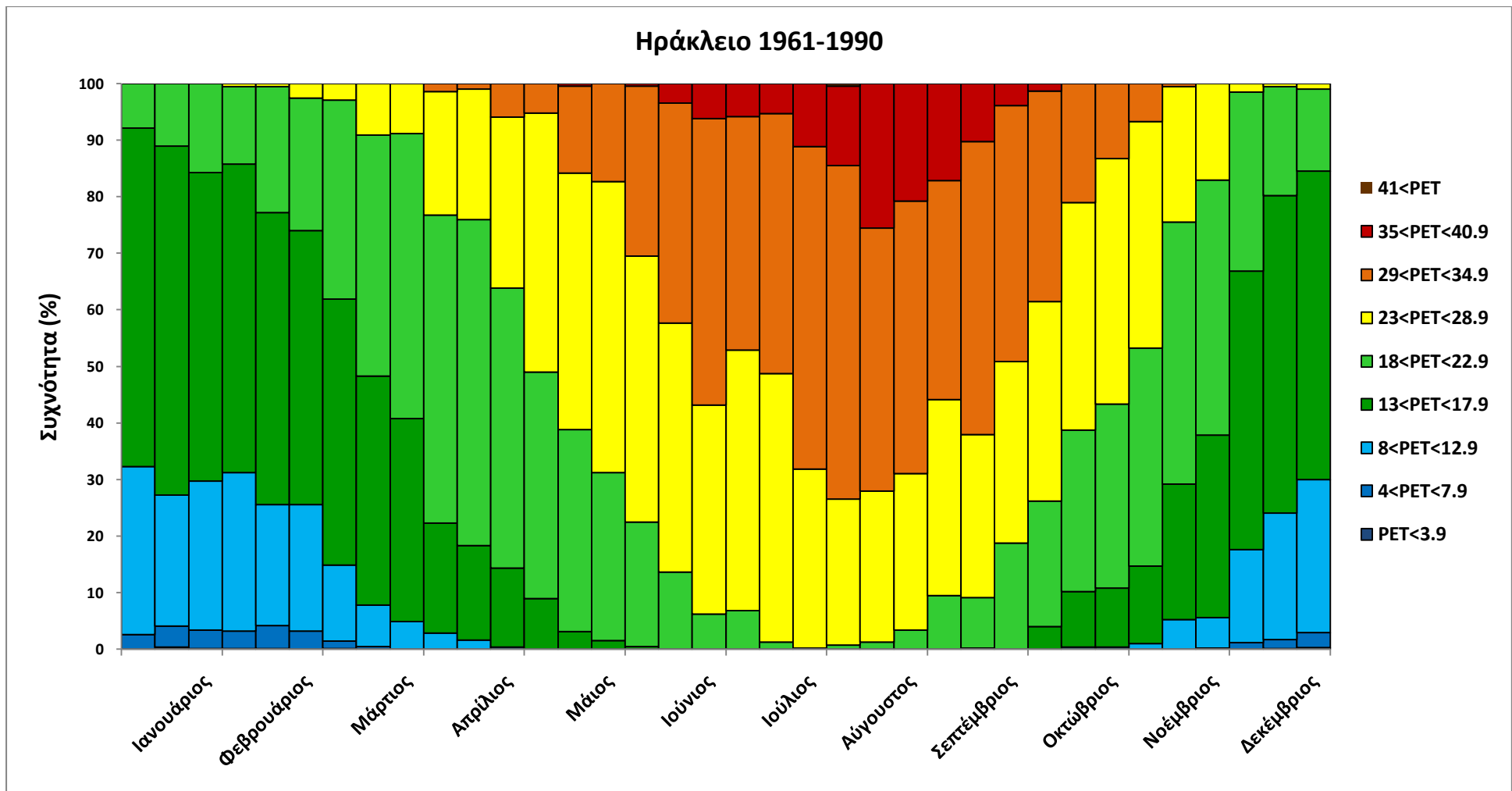
Μια πιο περιγραφική ανάλυση φαίνεται στο Σχήμα 8-12, όπου η σχετική συχνότητα (%) των καρδιοαγγειακών (Σχήμα 8-6α) και των αναπνευστικών (Σχήμα 8-6β) εισαγωγών ανά δεκαήμερο ως συνάρτηση των 8 τύπων καιρού μαζί με τη μεταβολή του συνολικού αριθμού των εισαγωγών ανά δεκαήμερο (λευκή γραμμή) και η πολυωνυμική προσαρμογή (μαύρη γραμμή) απεικονίζονται. Οι ράβδοι, που εμφανίζονται σε κάθε διάστημα αντιπροσωπεύουν τα ποσοστά εισαγωγών που συνδέονται με τους συγκεκριμένους τύπους καιρού. Απεικονίζεται ευκρινώς το ότι ο τύπος καιρού 5 (κόκκινο χρώμα) συνδέεται με το χαμηλότερο ποσοστό εισαγωγών και οι τύποι καιρού 2 και 8 (μπλε και βαθύ μπλε) σχετίζονται κυρίως με τις υψηλότερες εισαγωγές τόσο για τα καρδιοαγγειακά, όσο και για τα αναπνευστικά προβλήματα.

8.5 Μελλοντικές βιοκλιματικές συνθήκες στην πόλη του Ηρακλείου

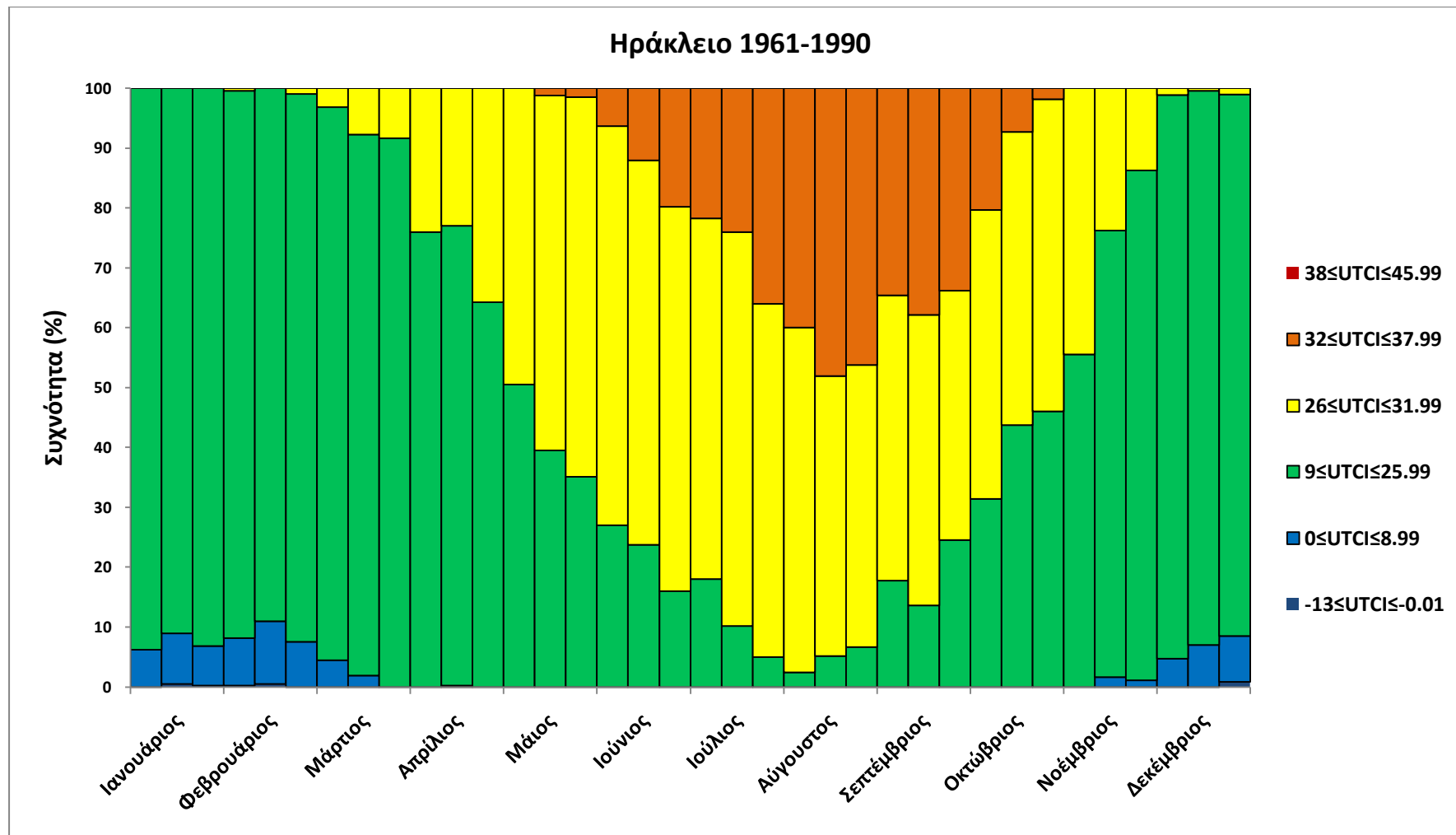
Στο σημείο αυτό του Κεφαλαίου έγινε προσπάθεια αποτύπωσης των μελλοντικών βιοκλιματικών συνθηκών στην πόλη του Ηρακλείου, όπως αυτές εκφράζονται μέσα από τους δείκτες PET και UTCI. Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα μοντέλου από πλέγμα που περιλαμβάνει την ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου προκειμένου να υπολογιστούν οι μελλοντικοί βιοκλιματικοί δείκτες. Οι μελλοντικές μετεωρολογικές παράμετροι της θερμοκρασίας αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας ανέμου και της νεφοκάλυψης διαχωρίστηκαν σε δύο μελλοντικές περιόδους που αφορούν τα έτη 2021-2050 και 2071-2100 για το κοντινό και το μακρινό μέλλον, αντίστοιχα. Χρησιμοποιήθηκε περιοχικό μοντέλο για το κλίμα RAMCO-2 (KNMI) για τις δύο περιόδους 2021-2050 και 2071-2100, σύμφωνα με το σενάριο SRES A1B. Η απόδοση αξιολογήθηκε κατά τη διάρκεια περιόδου ελέγχου – εκπαίδευσης 1961-1990 με τη χρήση ελληνικών μετεωρολογικών δεδομένων χωρισμένα σε καννάβους, από ένα δίκτυο περίπου 74 σταθμών που καλύπτουν την Ελλάδα και τις γειτονικές χώρες. Όλα τα στοιχεία έχουν δοθεί από την Ελληνική Μετεωρολογική Υπηρεσία όπου ακολουθείται πρότυπο ποιότητας ελέγχου (Zanis et al., 2009).

Επομένως, με τη βοήθεια του βιοκλιματικού μοντέλου RayMan υπολογίστηκαν οι βιοκλιματικοί δείκτες PET και UTCI, χρησιμοποιώντας τις μετεωρολογικές παραμέτρους για την περίοδο 1961-1990. Έτσι, σύμφωνα με το Σχήμα 8-13 η θερμική άνεση ($18^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 22.9^{\circ}\text{C}$) παρουσιάζει συχνότητα πάνω από 50% κατά τη χειμερινή περίοδο. Παράλληλα, η κλάση της ακραίας ψυχρής καταπόνησης ($\text{PET} < 4^{\circ}\text{C}$) δεν εμφανίζεται, ενώ το πρώτο δεκαήμερο του Αυγούστου εμφανίζεται με πολύ μικρή συχνότητα (~2%) η κλάση της ακραίας θερμικής καταπόνησης ($\text{PET} > 41^{\circ}\text{C}$). Ακόμα, ολόκληρο το μήνα Αύγουστο η συχνότητα εμφάνισης ισχυρής θερμικής καταπόνησης ($35^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 40.9^{\circ}\text{C}$) είναι περίπου 20%. Επίσης, η ισχυρή ψυχρή καταπόνηση ($4^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 7.9^{\circ}\text{C}$) εμφανίζει συχνότητες μικρότερες από 5% κατά τη διάρκεια της χειμερινής περιόδου.

Ο δείκτης UTCI, όπως είναι αναμενόμενο, δεν διαγράφει έντονη εναλλαγή εντός της περιόδου μελέτης των 30 ετών. Έτσι, θερμική άνεση ($9^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 25.99^{\circ}\text{C}$) παρατηρείται με συχνότητα πάνω από 50% κατά τη διάρκεια όλων των εποχών, εκτός από τη θερινή περίοδο που η συχνότητα αυτή μειώνεται κάτω από το 20%. Κατά τη διάρκεια των μηνών Ιουλίου και Αυγούστου εμφανίζεται ισχυρή θερμική καταπόνηση ($32^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 37.99^{\circ}\text{C}$) σε ποσοστό μεγαλύτερο από 35% (Σχήμα 8-14).



Σχήμα 8-13 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη PET ανά δεκαήμερο για το Ηράκλειο Κρήτης κατά τη χρονική διάρκεια 1961-1990



Σχήμα 8-14 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη UTCI ανά δεκαήμερο για το Ηράκλειο Κρήτης κατά τη χρονική διάρκεια 1961-1990

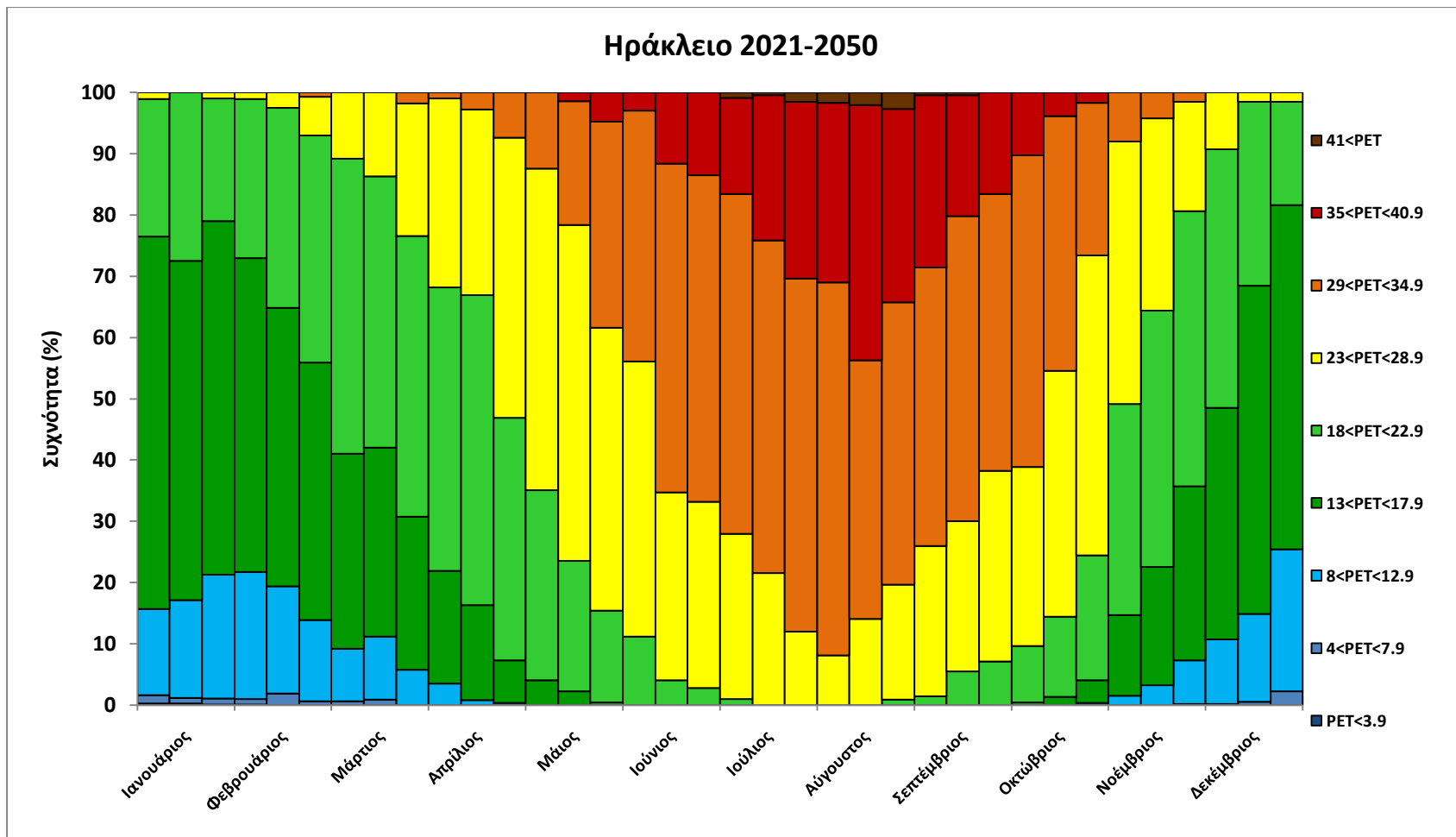
Για το εγγύς μέλλον, 2021-2050, υπολογίστηκαν ομοίως οι βιοκλιματικοί δείκτες PET και UTCI για το Ηράκλειο, όπου καταγράφεται αύξηση της αίσθησης του στρες (καταπόνησης) προς το θερμό και για τους δύο δείκτες. Ειδικά, για το δείκτη PET, η κατηγορία της θερμικής άνεσης ($18^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 22.9^{\circ}\text{C}$) έχει μειωθεί κατά τη διάρκεια του έτους, εμφανίζοντας συχνότητα γύρω στο 50% τους μήνες Μάρτιο, Απρίλιο και Νοέμβριο. Όμως η συχνότητα της ισχυρής θερμικής καταπόνησης ($35^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 40.9^{\circ}\text{C}$) φαίνεται να βρίσκεται γύρω στο 30% κατά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και μάλιστα τους ίδιους μήνες σημειώνεται η κλάση της ακραίας θερμικής καταπόνησης ($\text{PET} > 41^{\circ}\text{C}$) με μικρή συχνότητα (5% περίπου) (Σχήμα 8-15).

Επίσης, η κλάση της θερμικής άνεσης του δείκτη UTCI ($9^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 25.99^{\circ}\text{C}$), για το εγγύς μέλλοντος προβλέπεται να παρουσιάσει μείωση εμφάνισης, φτάνοντας το 50% κατά τους μήνες Νοέμβριο – Απρίλιο. Είναι αξιοσημείωτο ότι η πολύ ισχυρή θερμική καταπόνηση ($38^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 45.99^{\circ}\text{C}$) εμφανίζεται (5%) στο μέλλον τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο, ενώ τους ίδιους μήνες διπλασιάζεται το ποσοστό της συχνότητας (60%) της ισχυρής θερμικής καταπόνησης ($32^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 37.99^{\circ}\text{C}$) (Σχήμα 8-16).

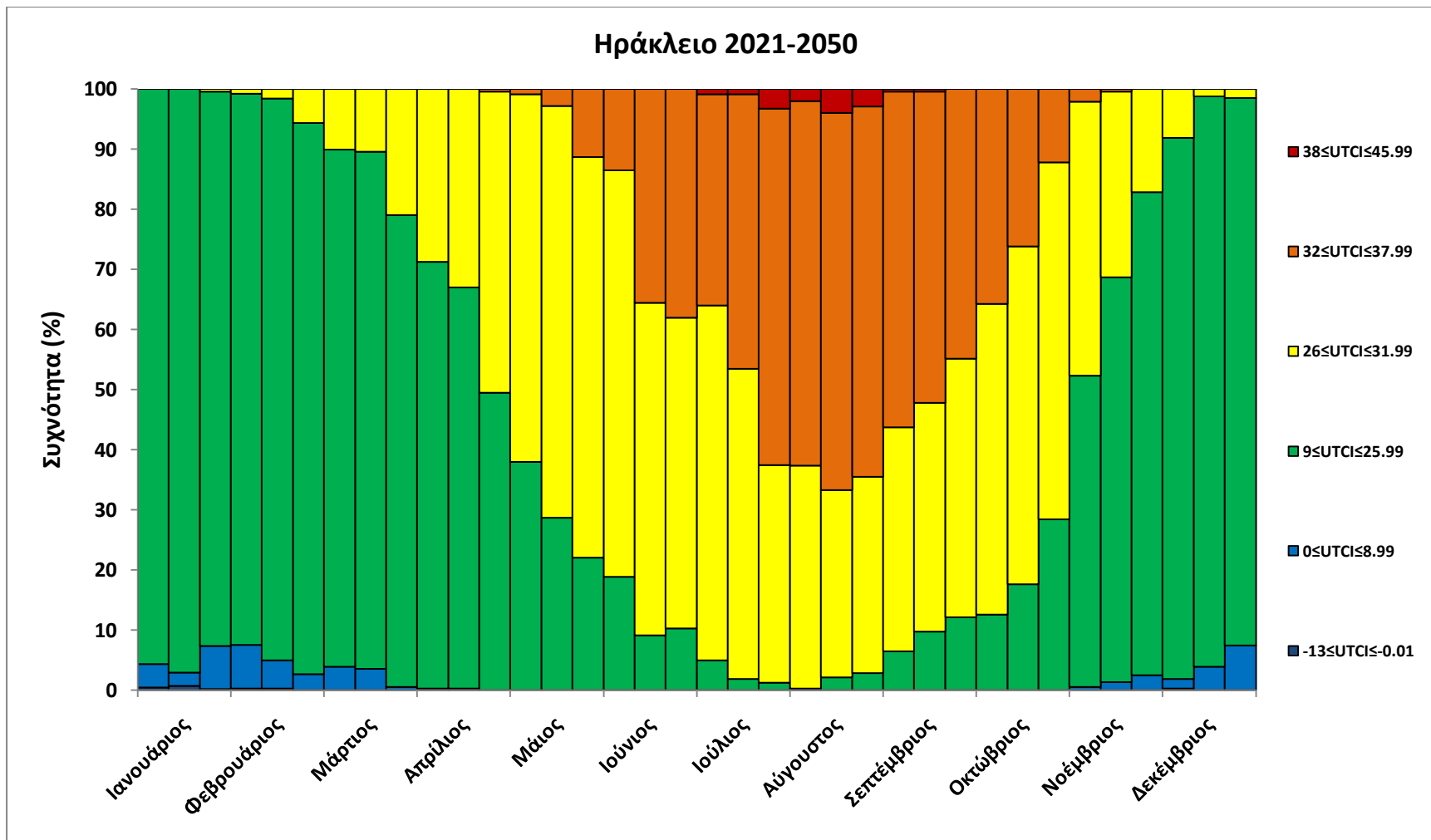
Τέλος, παρουσιάζονται οι βιοκλιματικές συνθήκες για το απώτερο μέλλον (2071-2100), όπου φαίνεται γενική αύξηση του θερμικού στρες. Συγκεκριμένα, η ισχυρή θερμική καταπόνηση ($35^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 40.9^{\circ}\text{C}$) εμφανίζει συχνότητα περίπου 60% για τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο και η ακραία θερμική καταπόνηση ($\text{PET} > 41^{\circ}\text{C}$) εμφανίζεται σε ποσοστό 10% τους καλοκαιρινούς μήνες. Από την άλλη, η θερμική άνεση ($18^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 22.9^{\circ}\text{C}$) παρουσιάζει μείωση σε όλη τη διάρκεια τους έτους με συχνότητα 50% μόνο τους χειμερινούς μήνες. Σημειώνεται ότι η κλάση της ισχυρής ψυχρής καταπόνησης απουσιάζει και η συχνότητα (15%) της ήπιας ψυχρής καταπόνησης ($8^{\circ}\text{C} < \text{PET} < 12.9^{\circ}\text{C}$) εμφανίζεται μόνο τους χειμερινούς μήνες μειωμένη (

Σχήμα 8-17).

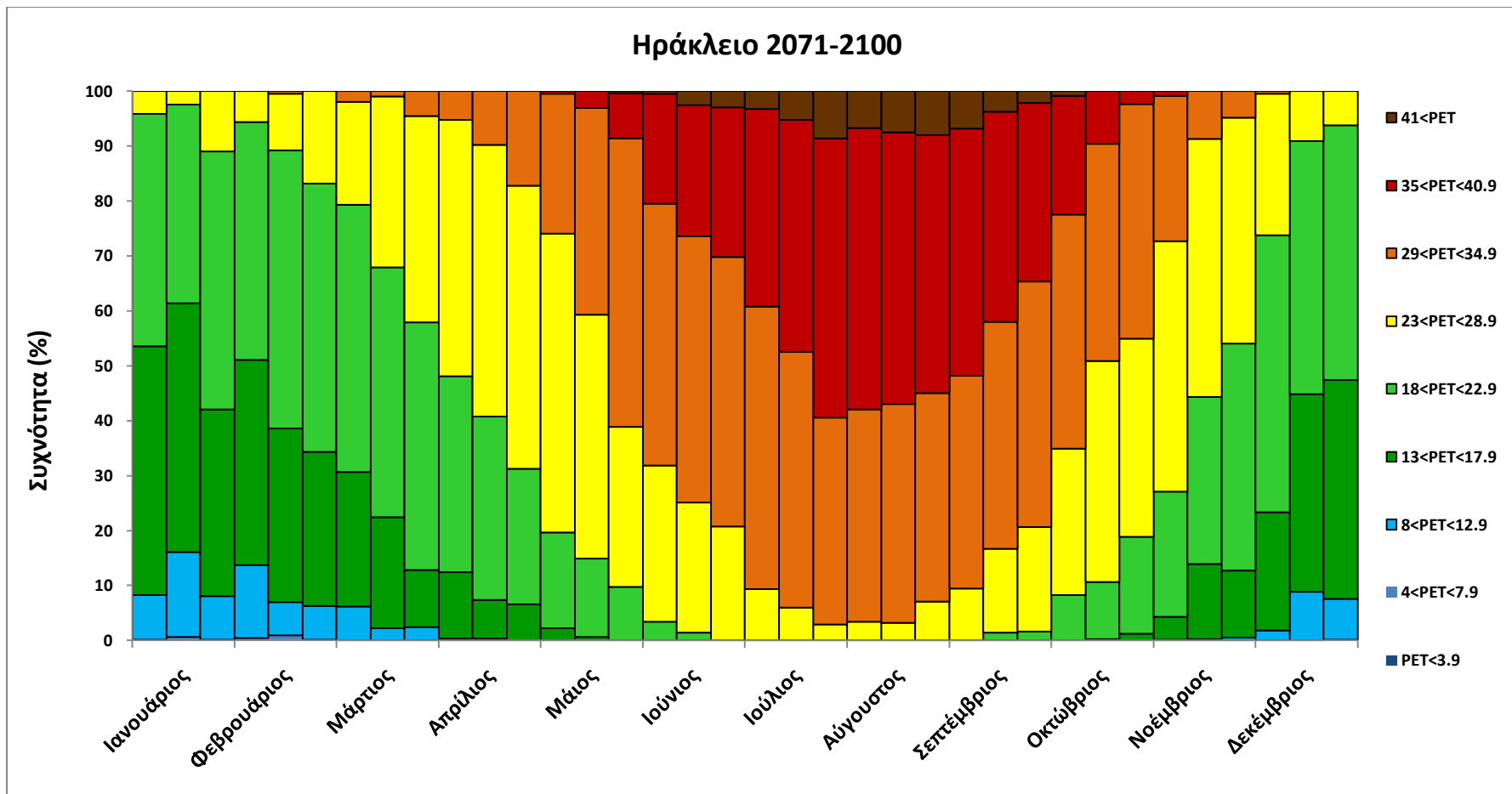
Οι προβλεπόμενες βιοκλιματικές συνθήκες όπως περιγράφονται από το δείκτη UTCI για την περίοδο 2071-2100 παρουσιάζονται στο Σχήμα 8-18, όπου η κλάση της πολύ ισχυρής θερμικής καταπόνησης έχει πλέον μεγάλη συχνότητα (15%). Η κλάση της θερμικής άνεσης ($9^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 25.99^{\circ}\text{C}$) φαίνεται να παρουσιάζει επιπλέον μείωση εμφάνισης, φτάνοντας το 50% κατά τους μήνες Νοέμβριο – Μάρτιο.



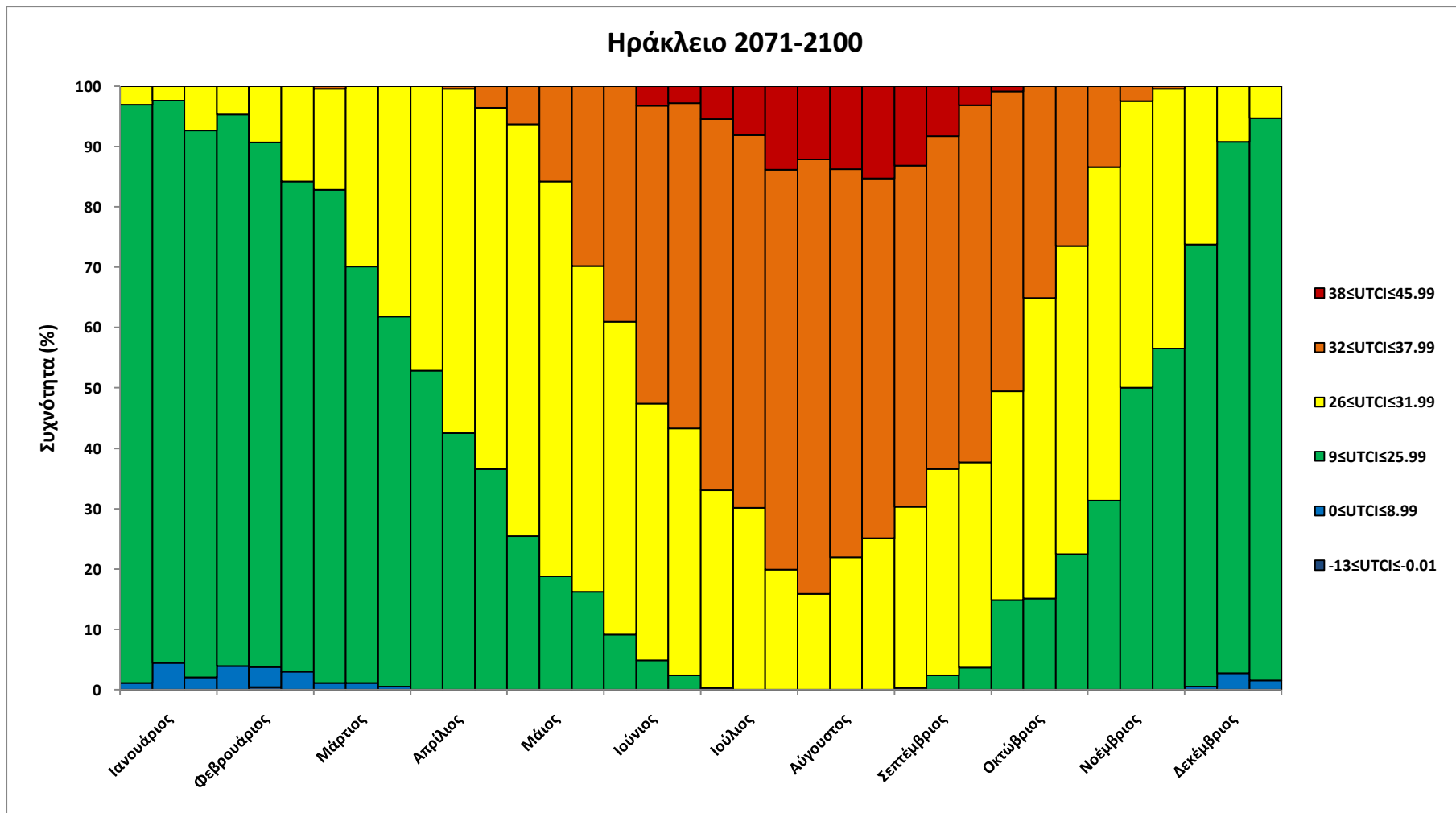
Σχήμα 8-15 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη PET ανά δεκαήμερο για το Ηράκλειο Κρήτης κατά τη χρονική διάρκεια 2021-2050



Σχήμα 8-16 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη UTCI ανά δεκαήμερο για το Ηράκλειο Κρήτης κατά τη χρονική διάρκεια 2021-2050



Σχήμα 8-17 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη PET ανά δεκαήμερο για το Ηράκλειο Κρήτης κατά τη χρονική διάρκεια 2071-2100



Σχήμα 8-18 Συχνότητες των διαφορετικών κλάσεων του δείκτη UTCI ανά δεκαήμερα για το Ηράκλειο Κρήτης κατά τη χρονική διάρκεια 2071-2100

9 Επιπτώσεις βιομετεωρολογικών συνθηκών στη δημόσια υγεία στο Ηράκλειο Κρήτης

A. Παρούσες συνθήκες

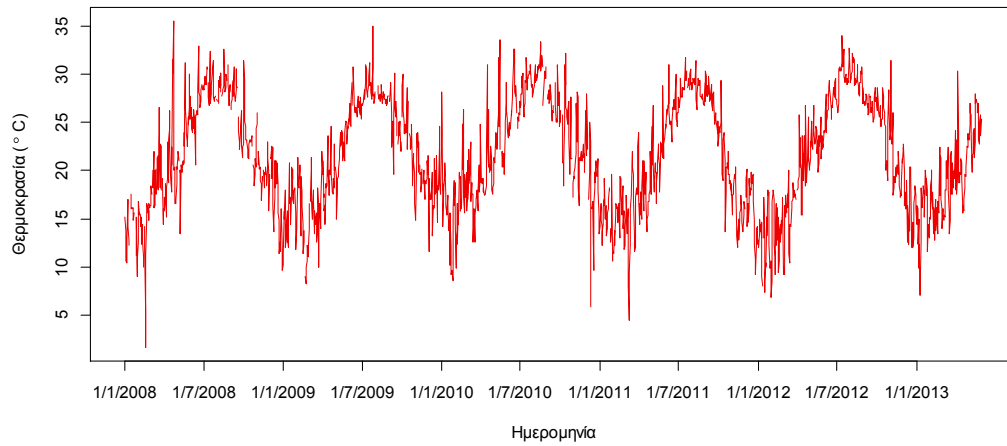
9.1 Περιγραφική στατιστική

Η συσχέτιση μεταξύ των ημερήσιων εισαγωγών καρδιοαγγειακών και αναπνευστικών προβλημάτων με τις μετεωρολογικές παραμέτρους (θερμοκρασία αέρα, σχετική υγρασία, νέφωση, ταχύτητα ανέμου και μέση θερμοκρασία ακτινοβολίας- T_{mrt}) και τους βιοκλιματολογικούς δείκτες (PET και UTCI) αναλύθηκε χρησιμοποιώντας Poisson Generalized Addictive Models (GAMs) επιτρέποντας γραμμικές και μη γραμμικές συνεργατικές επιδράσεις (=confounding effects). Η R (έκδοση 2.13.0) με το πακέτο «mgcv» (έκδοση 1.7-28) χρησιμοποιήθηκε για τη σωστή τοποθέτηση (=fitting) του μοντέλου. Το μοντέλο επεξεργάστηκε ξεχωριστά τα δύο είδη ιατρικών παθήσεων (καρδιοαγγειακά και αναπνευστικά) αφού πρόκειται για προβλήματα διαφορετικής φύσεως, επηρεαζόμενα από διαφορετικές κλιματολογικές και βιοκλιματολογικές μεταβλητές. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα δύο διαφορετικά είδη ιατρικών προβλημάτων έχουν καταγραφεί για διαφορετική χρονική περίοδο. Αρχικά θα παρουσιαστούν τα κλιματολογικά και βιομετεωρολογικά δεδομένα της πόλης του Ηρακλείου σε συνάρτηση με την περίοδο μελέτης.

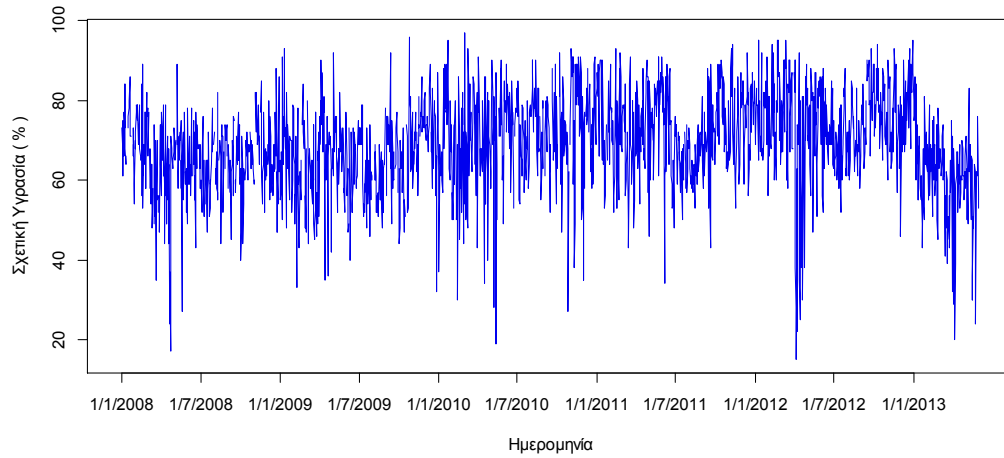
9.2 Κλιματολογικά - βιοκλιματολογικά δεδομένα Ηρακλείου

Τα κλιματολογικά και βιομετεωρολογικά δεδομένα, όπως προέκυψαν από τη χρήση του βιοκλιματικού μοντέλου RayMan (βλ. Κεφ. 5), αφορούν την περίοδο 01/01/2008 έως 31/05/2013. Συγκεκριμένα στο Σχήμα 9-1(α) παρατηρείται η διακύμανση της θερμοκρασίας μέσα στην περίοδο μελέτης, όπου οι μέγιστες τιμές καταγράφονται την θερινή περίοδο και οι ελάχιστες τη χειμερινή, ενώ στο Σχήμα 9-1(β) η σχετική υγρασία φαίνεται να παρουσιάζει ελάχιστο κατά την άνοιξη, ενώ οι μεγαλύτερες τιμές παρουσιάζονται το χειμώνα. Όσον αφορά την ταχύτητα του ανέμου δεν υπάρχει ευδιάκριτη διακύμανση εντός της χρονοσειράς. Θα μπορούσε να σημειωθεί ότι υπάρχει τάση αύξησης κατά τους χειμερινούς μήνες και την περίοδο της άνοιξης παρουσιάζει μείωση (Σχήμα 9-1(γ)). Η νεφοκάλυψη είναι μικρή κατά το καλοκαίρι, ενώ αυξάνει τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες (Σχήμα 9-1(δ)).

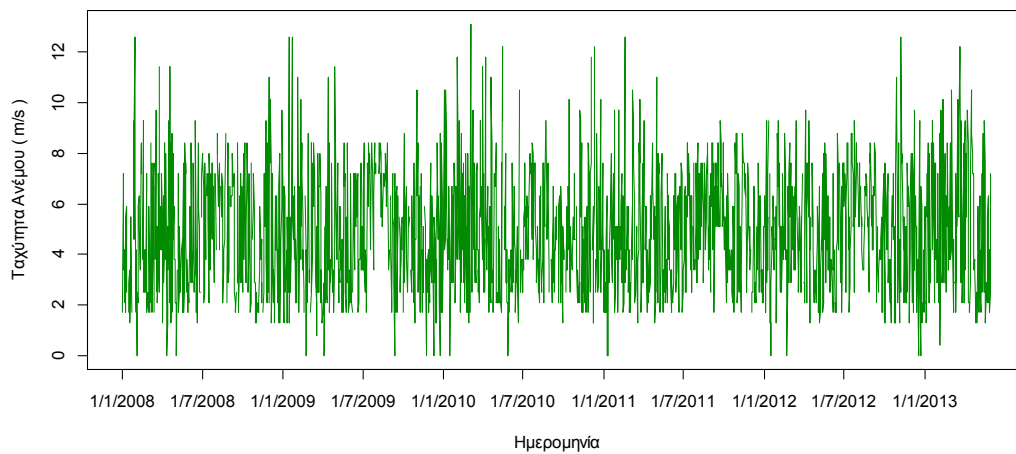
Οι βιομετεωρολογικοί παράγοντες παρουσιάζουν παρόμοιο μοτίβο κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, το οποίο εμφανίζει ομοιότητες με τη χρονοσειρά της θερμοκρασίας και που είναι αύξηση της T_{mrt} και των δεικτών PET και UTCI κατά τους θερινούς μήνες και μείωση τους χειμερινούς μήνες (Σχήμα 9-1(ε), 9-1(στ) και 9.1(ζ)).



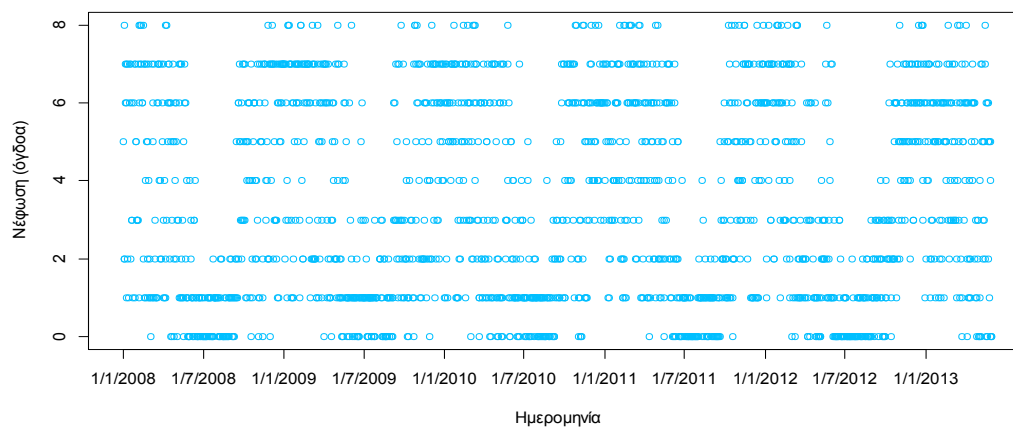
(α)



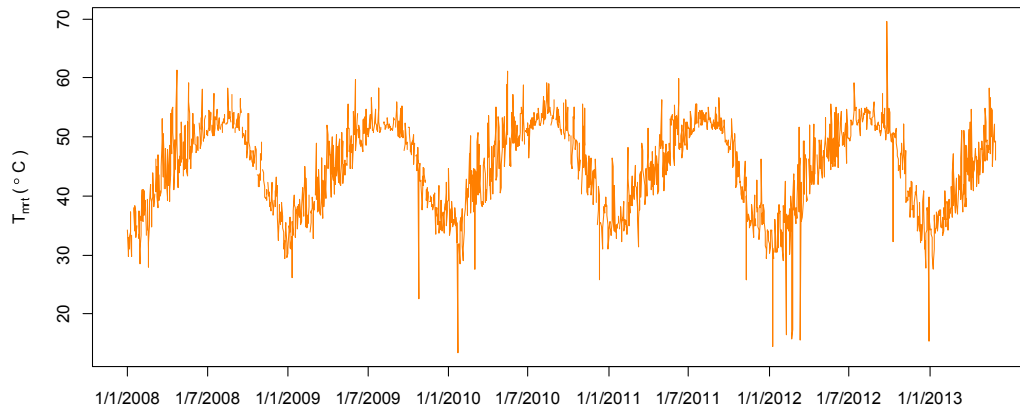
(β)



(γ)

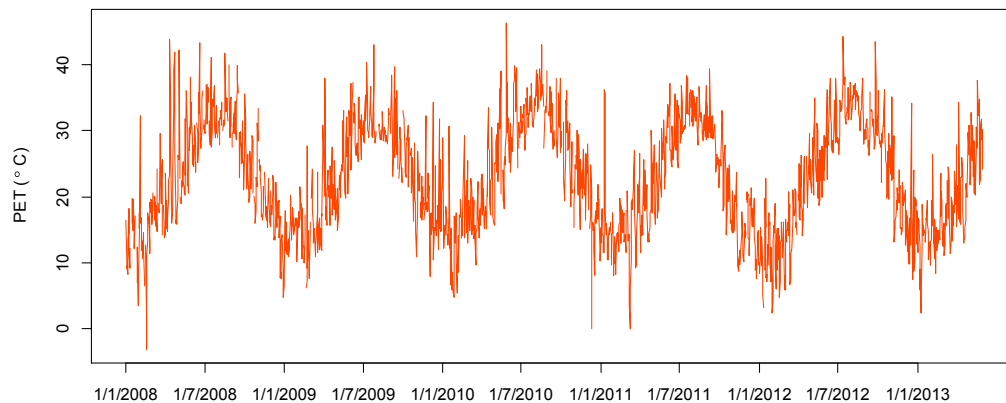


(δ)



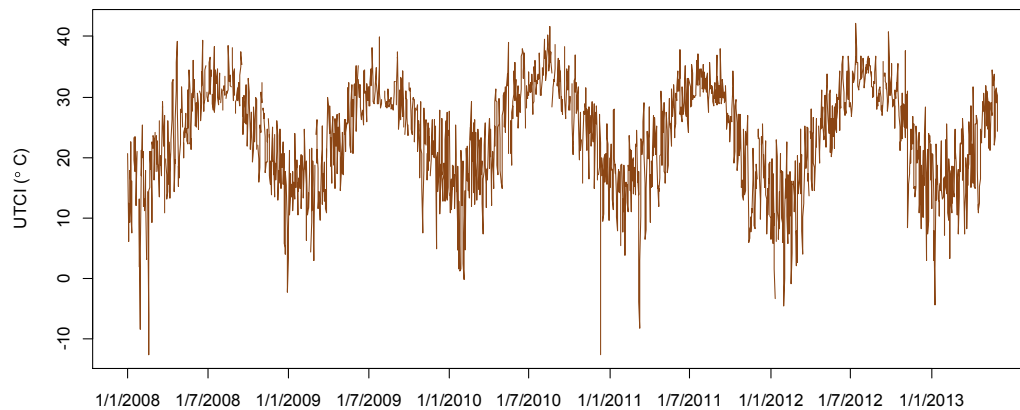
Ημερομηνία

(ε)



Ημερομηνία

(στ)



Ημερομηνία

(ζ)

Σχήμα 9-1 Χρονοσειρές της θερμοκρασίας (α), της σχετικής υγρασίας (β), της ταχύτητας ανέμου (γ), της νεφοκάλυψης (δ), της μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας (ε), της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (στ) και του παγκόσμιου θερμοκλιματικού δείκτη (ζ).

9.3 Επιδημιολογικά δεδομένα

9.3.1 Καρδιαγγειακά δεδομένα

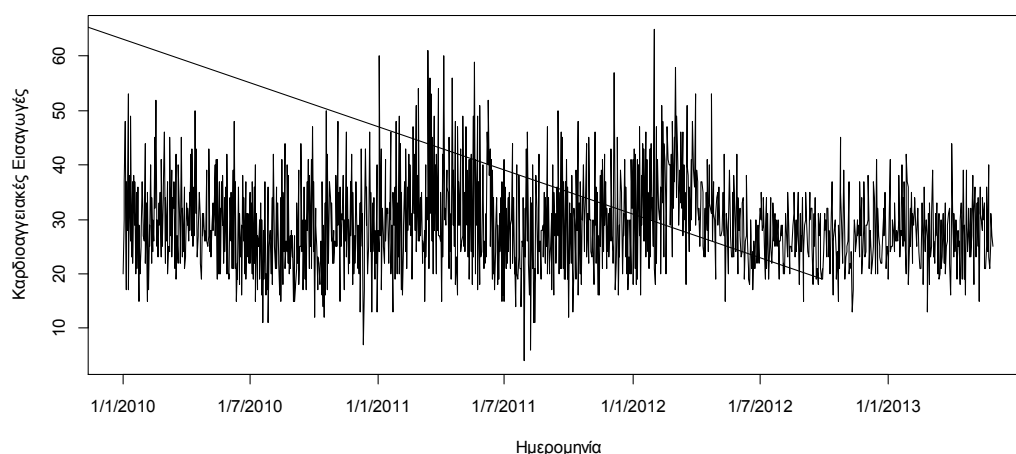
Στο σύνολο της περιόδου μελέτης (1247 ημέρες) κατεγράφησαν 36185 καρδιαγγειακά περιστατικά από τα δύο κύρια νοσοκομεία της πόλης του Ηρακλείου, εκ των οποίων τα 20541 αφορούν άντρες και τα 15644 γυναίκες. Επίσης, από το σύνολο των εισαγωγών οι 4267 αναφέρονται σε ασθενείς ηλικίας ≤ 35 , οι 14550 σε ασθενείς ηλικίας μεταξύ 36-64 και οι 17.360 σε ασθενείς ηλικίας ≥ 65 . Ακολουθούν τα συνοπτικά στατιστικά

στοιχεία για τις ημερήσιες εισαγωγές των καρδιοαγγειακών προβλημάτων (ανά φύλο και ηλικία), της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου, της νεφοκάλυψης, της μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας (T_{mrt}), της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET) και του παγκόσμιου θερμοκλιματικού δείκτη (UTCI) μεταξύ της 1^{ης} Ιανουαρίου 2010 έως 31^{ης} Μαΐου 2013.

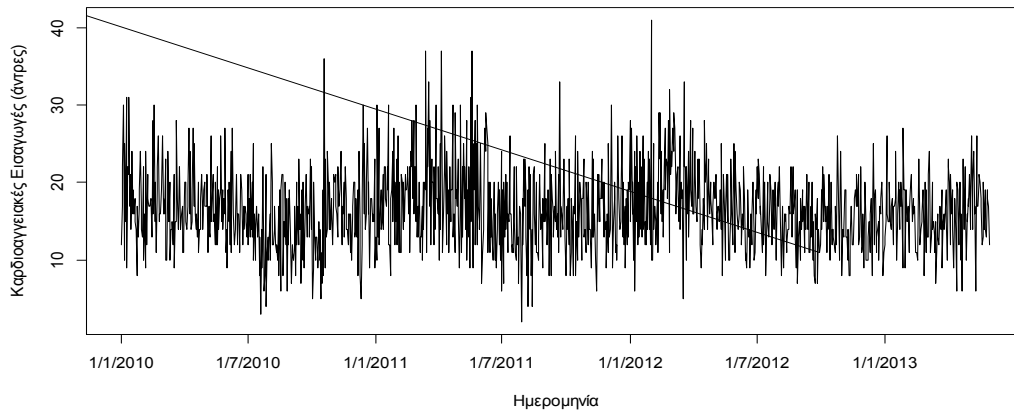
Πίνακας 9-1 Στατιστικές παράμετροι των καρδιοαγγειακών εισαγωγών, του φύλου και της ηλικίας των ασθενών, των μετεωρολογικών και βιομετεωρολογικών παραμέτρων για τη χρονική περίοδο 01/01/2010 έως 31/05/2013

	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Εύρος
καρδιοαγγειακά	29.02	8.76	28.00	4.0	65.0	61.0
άντρες	16.47	5.30	16.00	2.0	41.0	39.0
γυναίκες	12.55	5.07	12.00	2.0	34.0	32.0
ηλικία<35	3.42	2.39	3.00	0.0	16.0	16.0
36<ηλικία<64	11.67	4.34	11.00	1.0	29.0	28.0
ηλικία>65	13.92	4.81	13.00	2.0	39.0	37.0
θερμοκρασία	21.42	5.83	21.00	4.4	34.0	29.6
σχετική υγρασία	71.20	12.50	72.00	15.0	97.0	82.0
ταχύτητα ανέμου	4.99	2.32	5.10	0.0	13.1	13.1
νέφωση	3.38	2.59	3.00	0.0	8.0	8.0
T_{mrt}	44.76	7.54	45.80	13.4	69.6	56.2
PET	22.65	8.48	22.20	0.0	46.4	46.4
UTCI	23.32	8.53	24.50	-12.6	42.2	54.8

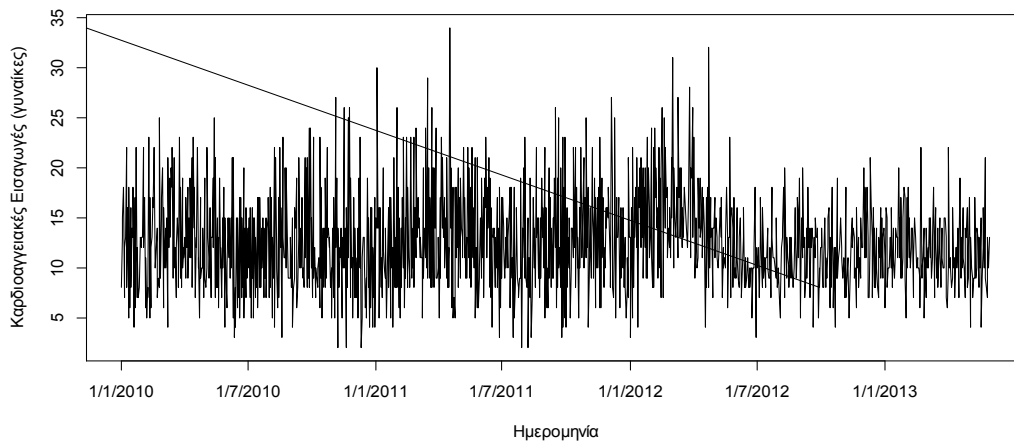
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά των ασθενών κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης (φύλο και ηλικία) στο Σχήμα 9-2. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα δεδομένα για τους ασθενείς της μικρότερης τάξης είναι λίγα (4267 ασθενείς) με αποτέλεσμα να μην μπορούν να αποδοθούν ποσοτικά σε χρονοσειρά και δεν εμφανίζονται στο Σχήμα 9-2.



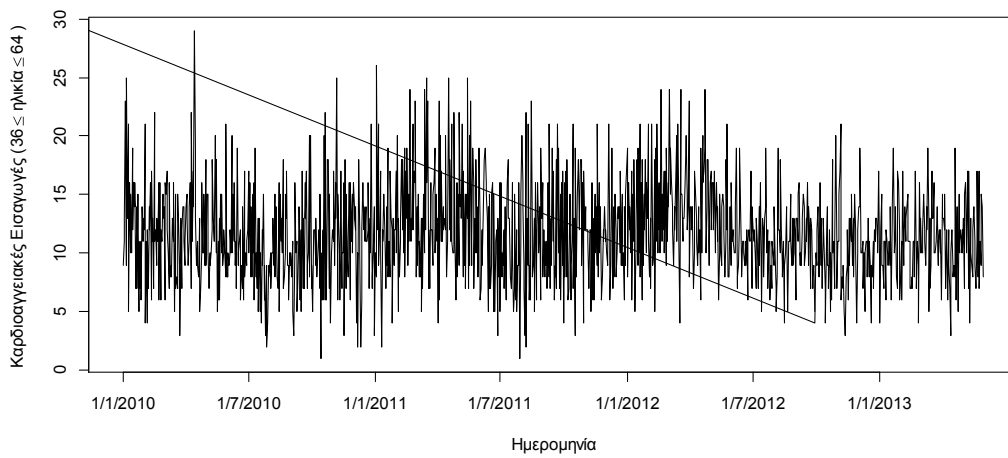
(α)



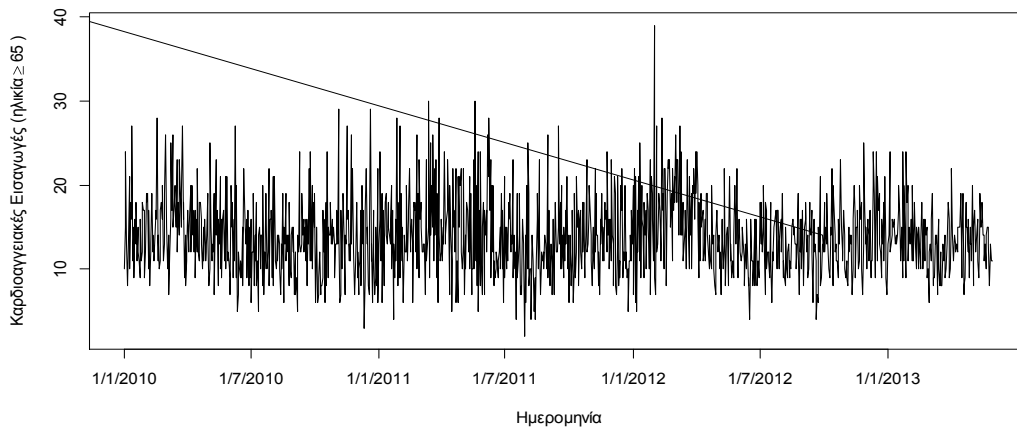
(β)



(γ)



(δ)



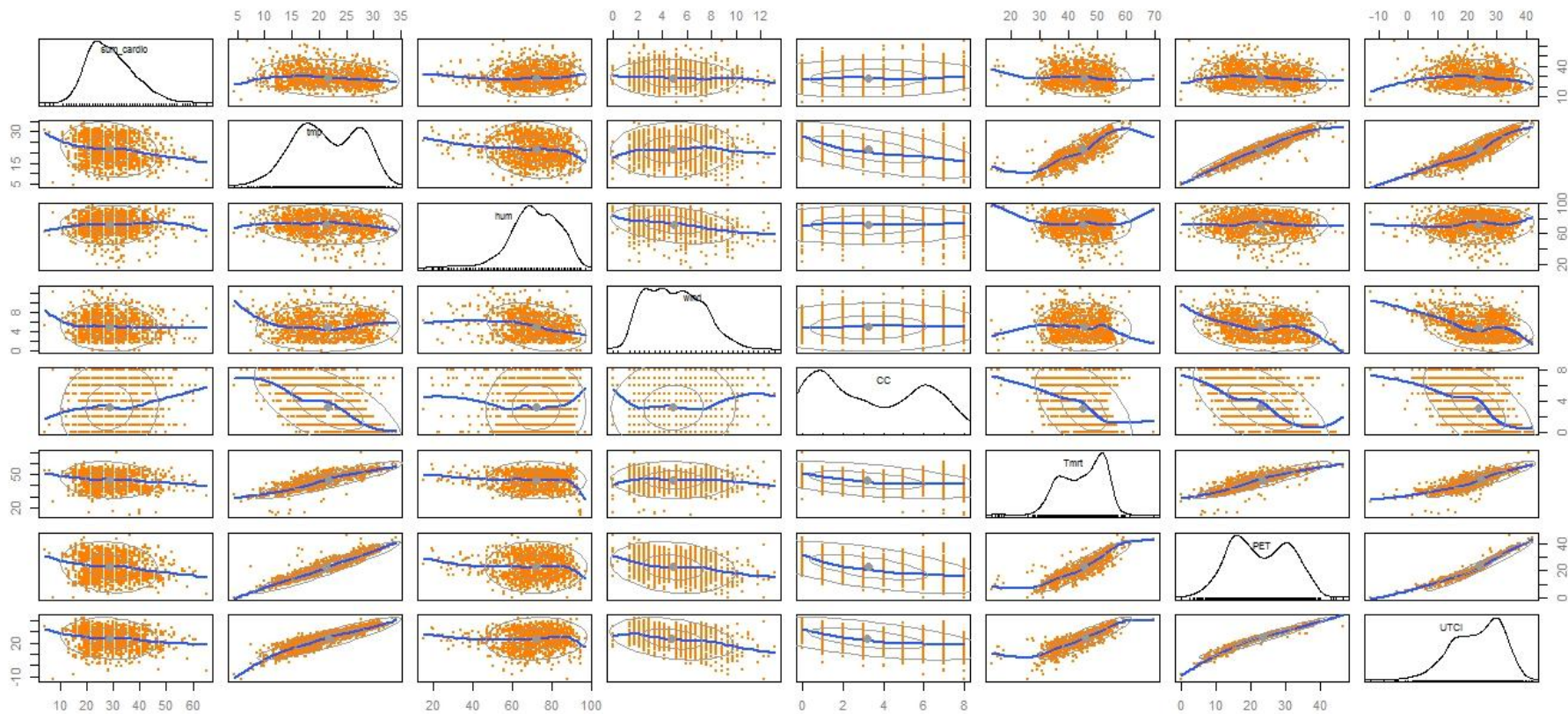
(ε)

Σχήμα 9-2 Χρονοσειρές των ασθενών με καρδιαγγειακά προβλήματα: σύνολο ασθενών (α), άντρες (β), γυναίκες (γ), ασθενείς ηλικίας 36-64 (δ) και ασθενείς ηλικίας ≥ 65 (ε).

Πίνακας 9-2 Συντελεστής συσχέτισης (Spearman) μεταξύ των καρδιαγγειακών και των (βιο)μετεωρολογικών παραμέτρων

	άντρες	γυναίκες	Καρδιαγγειακά συνολικά	ηλικία≤35	36≤ηλικία≤64	ηλικία≥65	Θερμοκρασία	Σχετική υγρασία	Ταχύτητα ανέμου	Νέφωση	Tmrt	PET
γυναίκες	0.399***											
Καρδιαγγειακά συνολικά	0.831***	0.826***										
ηλικία≤35	0.464***	0.513***	0.579***									
36≤ηλικία≤64	0.661***	0.630***	0.778***	0.322***								
ηλικία≥65	0.656***	0.645***	0.778***	0.273***	0.330***							
Θερμοκρασία	-0.150***	-0.108***	-0.150***	-0.066*	-0.117***	-0.164***						
Σχετική υγρασία	0.048.	0.047.	0.055.	0.027	0.024	0.073*	-0.115***					
Ταχύτητα ανέμου	-0.071*	-0.026	-0.054.	-0.027	-0.021	-0.063*	0.054.	-	0.316***			
Νέφωση	0.072*	0.050.	0.073*	0.030	0.048.	0.101***	-0.605***	0.036	0.036			
Tmrt	-0.110***	-0.080**	-0.112***	-0.029	-0.092**	-0.130***	0.884***	-0.041	-0.045	-0.457***		
PET	-0.124***	-0.097***	-0.130***	-0.053.	-0.110***	-0.138***	0.946***	-0.010	-0.210***	-0.576***	0.914***	
UTCI	-0.116***	-0.092**	-0.122***	-0.048.	-0.106***	-0.128***	0.914***	0.074*	-0.298***	-0.566***	0.899***	0.987***

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001



Σχήμα 9-3 Σχήματα διασποράς για εξαρτημένη (καρδιοαγγειακές εισαγωγές) και ανεξάρτητες μεταβλητές (κλιματολογικές – βιοκλιματολογικές) (η ομαλή γραμμή spline δηλώνει τη καμπυλότητα στο κάθε διάγραμμα)

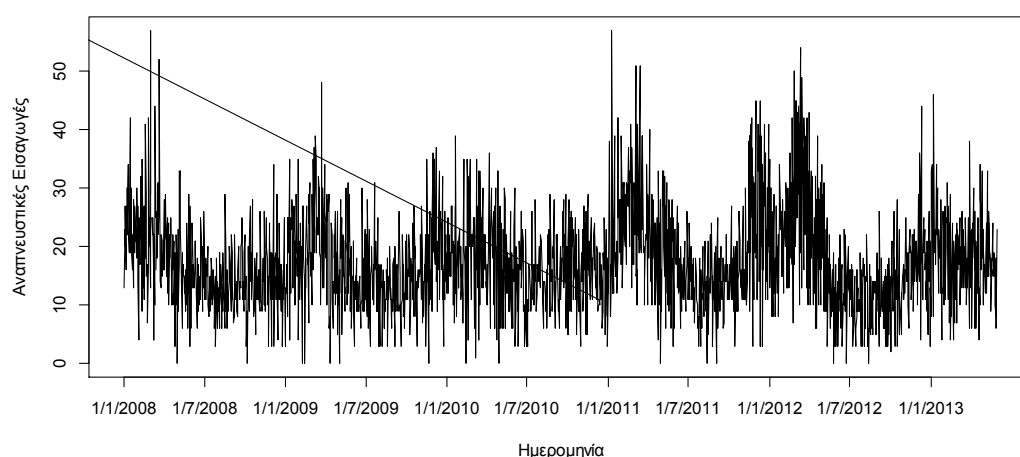
9.3.2 Αναπνευστικά δεδομένα

Στο σύνολο της περιόδου μελέτης (1978 ημέρες) κατεγράφησαν 34350 αναπνευστικά περιστατικά από τα δύο κύρια νοσοκομεία της πόλης του Ηρακλείου, εκ των οποίων τα 23173 αφορούσαν άντρες και τα 11177 γυναίκες. Ακολουθούν τα συνοπτικά στατιστικά στοιχεία για τις ημερήσιες εισαγωγές των αναπνευστικών προβλημάτων (σύμφωνα και με το φύλο), τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, τη ταχύτητα του ανέμου, την νεφοκάλυψη, τη μέση ακτινοβόλο θερμοκρασία (T_{mrt}), τη φυσιολογικά ισοδύναμη θερμοκρασία (PET) και τον παγκόσμιο θερμικό κλιματικό δείκτη (UTCI) μεταξύ της 1^{ης} Ιανουαρίου 2008 έως 31^{ης} Μαΐου 2013.

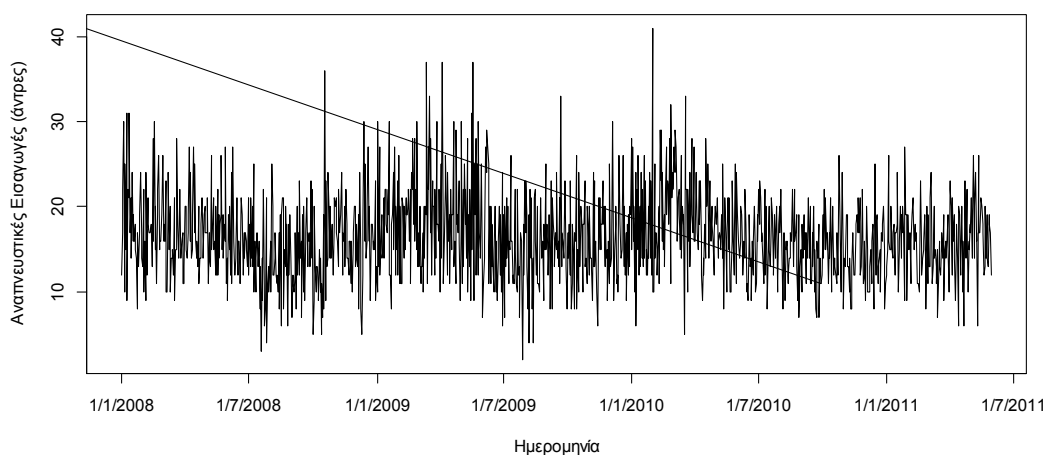
Πίνακας 9-3 Στατιστικές παράμετροι των αναπνευστικών εισαγωγών με βάση και το φύλο των ασθενών, των μετεωρολογικών και βιομετεωρολογικών παραμέτρων για τη χρονική περίοδο 01/01/2008 έως 31/05/2013

	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Εύρος
Αναπνευστικά	17.38	8.53	16.0	0.0	57.0	57.0
άντρες	11.73	6.16	11.0	0.0	41.0	41.0
γυναίκες	5.66	4.47	5.0	0.0	28.0	28.0
θερμοκρασία	21.47	5.73	21.0	1.6	35.6	34.0
σχετική υγρασία	69.04	12.11	69.0	15.0	97.0	82.0
ταχύτητα ανέμου	4.91	2.35	4.6	0.0	13.1	13.1
νέφωση	3.35	2.61	3.0	0.0	8.0	8.0
T_{mrt}	44.80	7.34	45.7	13.4	69.6	56.2
PET	22.79	8.33	22.3	-3.2	46.4	49.6
UTCI	23.39	8.24	24.5	-12.6	42.2	54.8

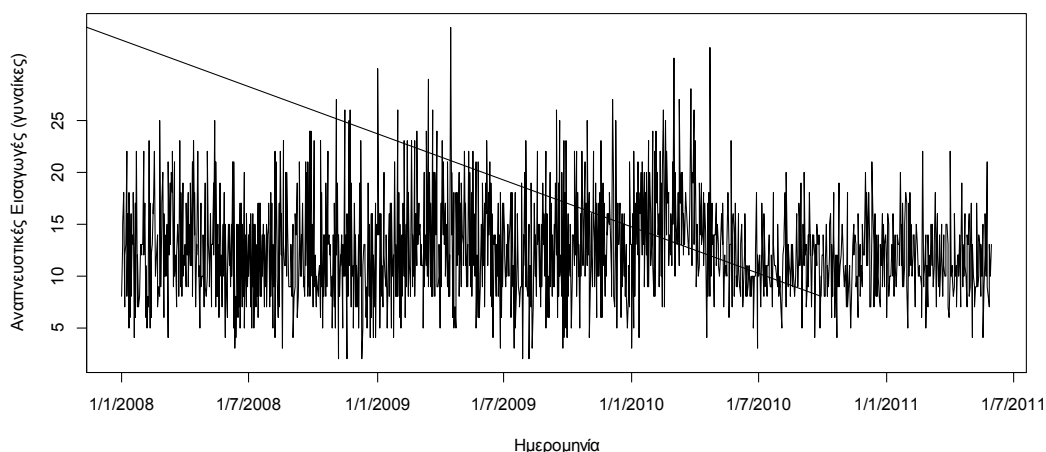
Εν συνεχεία εκτίθενται των ασθενών με αναπνευστικές παθήσεις και τα δύο φύλα των ασθενών με αναπνευστικές παθήσεις κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης Σχήμα 9-4.



(α)



(β)



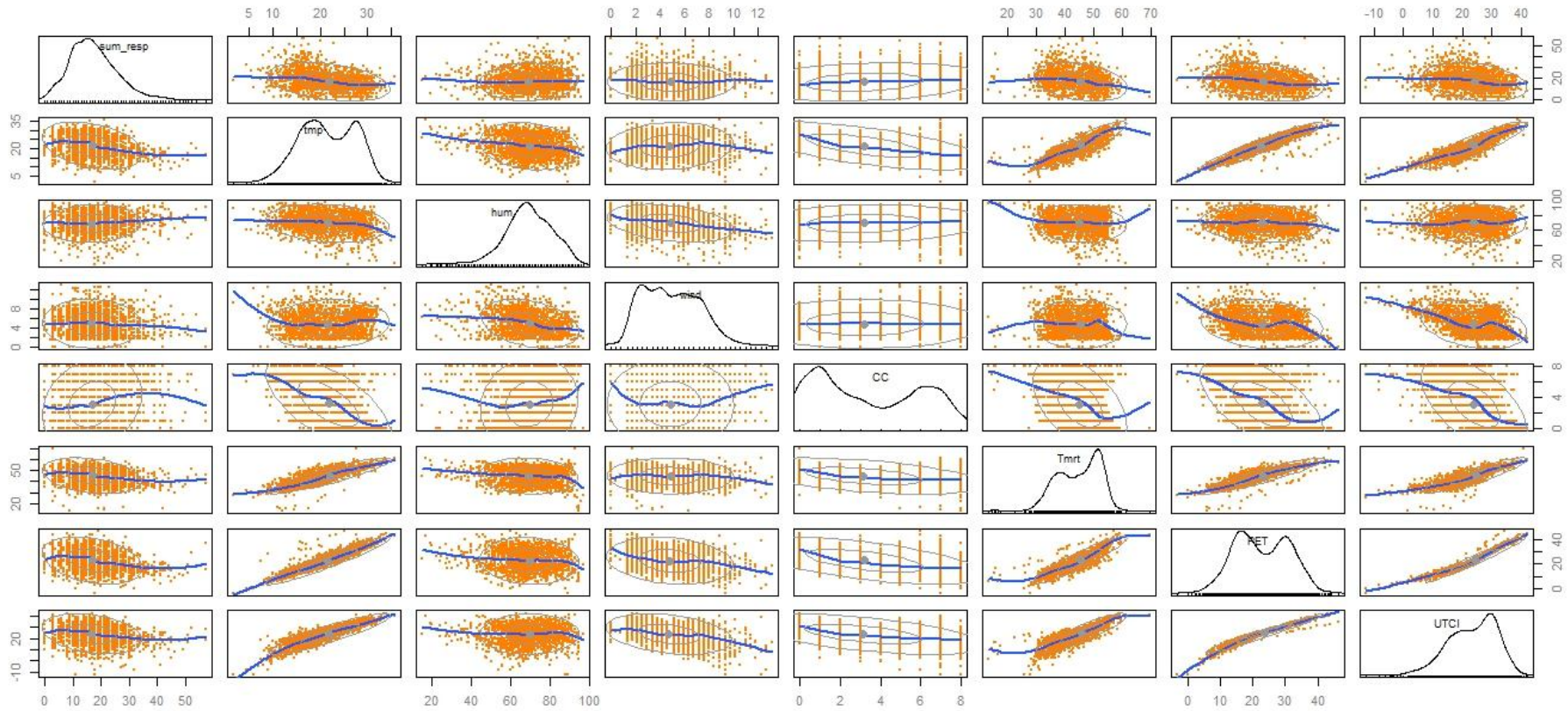
(γ)

Σχήμα 9-4: Χρονοσειρές των ασθενών με αναπνευστικά προβλήματα: σύνολο ασθενών (α), άντρες (β) και γυναίκες (γ).

Πίνακας 9-4 Συντελεστής συσχέτισης (Spearman) μεταξύ των αναπνευστικών και των (βιο)μετεωρολογικών παραμέτρων

	Αναπνευστικά συνολικά	άντρες	γυναίκες	Θερμοκρασία	Σχετική υγρασία	Ταχύτητα ανέμου	Νέφωση	Tmrt	PET
άντρες	0.848 ^{***}								
γυναίκες	0.704 ^{***}	0.266 ^{***}							
Θερμοκρασία	-0.335 ^{***}	-0.262 ^{***}	-0.288 ^{***}						
Σχετική υγρασία	0.054 [*]	0.043 [*]	0.034	-0.177 ^{***}					
Ταχύτητα ανέμου	-0.044 [*]	-0.037	-0.033	0.085 ^{***}	-0.302 ^{***}				
Νέφωση	0.206 ^{***}	0.159 ^{***}	0.160 ^{***}	-0.602 ^{***}	0.098 ^{***}	0.003			
Tmrt	-0.287 ^{***}	-0.225 ^{***}	-0.244 ^{***}	0.886 ^{***}	-0.098 ^{***}	-0.028	-0.438 ^{***}		
PET	-0.305 ^{***}	-0.238 ^{***}	-0.262 ^{***}	0.935 ^{***}	-0.064 ^{**}	-0.203 ^{***}	-0.552 ^{***}	0.915 ^{***}	
UTCI	-0.296 ^{***}	-0.231 ^{***}	-0.255 ^{***}	0.903 ^{***}	0.020	-0.293 ^{***}	-0.546 ^{***}	0.899 ^{***}	0.985 ^{***}

^{*}p<0.1, ^{*}p<0.05, ^{**}p<0.01, ^{***}p<0.001



Σχήμα 9-5 Σχήματα διασποράς για εξαρτημένη (αναπνευστικές εισαγωγές) και ανεξάρτητες μεταβλητές (κλιματολογικές – βιοκλιματολογικές) (η ομαλή γραμμή spline δηλώνει τη καμπυλότητα στο κάθε διάγραμμα)

9.4 Μονομεταβλητή ανάλυση για τη συσχέτιση καιρού και ιατρικών δεδομένων

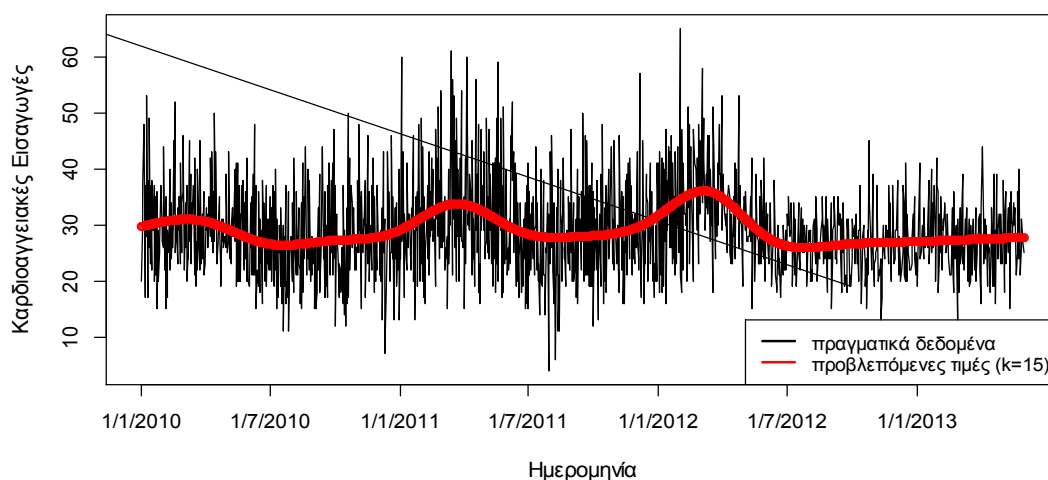
Αρχικά εφαρμόστηκε παλινδρόμηση στα επιδημιολογικά δεδομένα με τη μέθοδο cubic splines regression, συναρτήσεις της οποίας μεθόδου περιλαμβάνονται στο mgcn package. Το ποσοστό εξομάλυνσης που τελικώς εφαρμόστηκε καθορίστηκε από την ελαχιστοποίηση της μερικής αυτοσυσχέτισης των καταλοίπων (PACF) για κάθε τύπο εισαγωγής. Είναι αρκετά σημαντικό να βρεθεί το κατάλληλο επίπεδο της εξομάλυνσης για τον κάθε προγνωστικό παράγοντα (ιατρικές εισαγωγές στο πρόβλημά μας). Έτσι, αυτό επιτυγχάνεται καλύτερα με τον καθορισμό του επιπέδου της εξομάλυνσης χρησιμοποιώντας την έννοια των κόμβων, που ελαχιστοποιούν την αυτοσυσχέτιση των καταλοίπων μέσω του κριτηρίου sum PACF. Συνεπώς, μια εύλογη ισορροπία πρέπει να διατηρηθεί μεταξύ του συνολικού αριθμού των παρατηρήσεων και του συνολικού αριθμού των κόμβων (k) που χρησιμοποιούνται για τη προσαρμογή του μοντέλου (Guisan et al., 2002).

Αναφορικά με τις εισαγωγές λόγω των καρδιαγγειακών προβλημάτων, ο βαθμός εξομάλυνσης k που ελαχιστοποιούσε το PACF βρέθηκε $k=15$ και για τις εισαγωγές των αναπνευστικών βρέθηκε επίσης $k=25$ (λαμβάνοντας υπόψη και τα περισσότερα δεδομένα που είχαμε). Στα κάτωθι διαγράμματα παρατηρούνται οι υπολογισθείσες εξομαλυμένες τιμές.

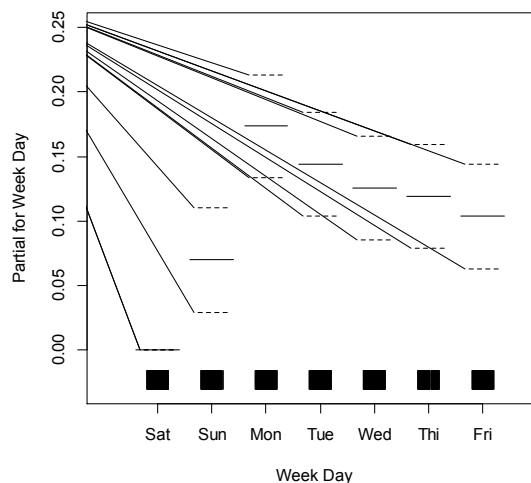
9.4.1 Καρδιαγγειακά δεδομένα

Συγκεκριμένα, στο Σχήμα 9-6(α) φαίνονται οι ημερήσιες καταγραφές των καρδιαγγειακών εισαγωγών κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, όπου παρατηρείται ισχυρή εποχιακή διακύμανση με υψηλότερο αριθμό ημερήσιων εισαγωγών κατά τους χειμερινούς μήνες. Εκτός από τους ετήσιους κύκλους, διαγράφεται μια λιγότερη έντονη αιχμή κατά τους ανοιξιάτικους μήνες (Μάρτιος – Απρίλιος), που πιθανότατα να οφείλεται στην απότομη αλλαγή των βιοκλιματικών συνθηκών (ύπαρξη ανέμων Föhn και επεισοδίων Σαχάρας).

Η γραφική απεικόνιση του PACF στο Σχήμα 9-6(β) δείχνει ισχυρή αυτοσυσχέτιση για την ημέρα της Δευτέρας, δηλαδή το Σάββατο θεωρείται ως ημέρα αναφοράς (παρουσιάζονται οι λιγότερες καταγραφές των καρδιαγγειακών εισαγωγών).



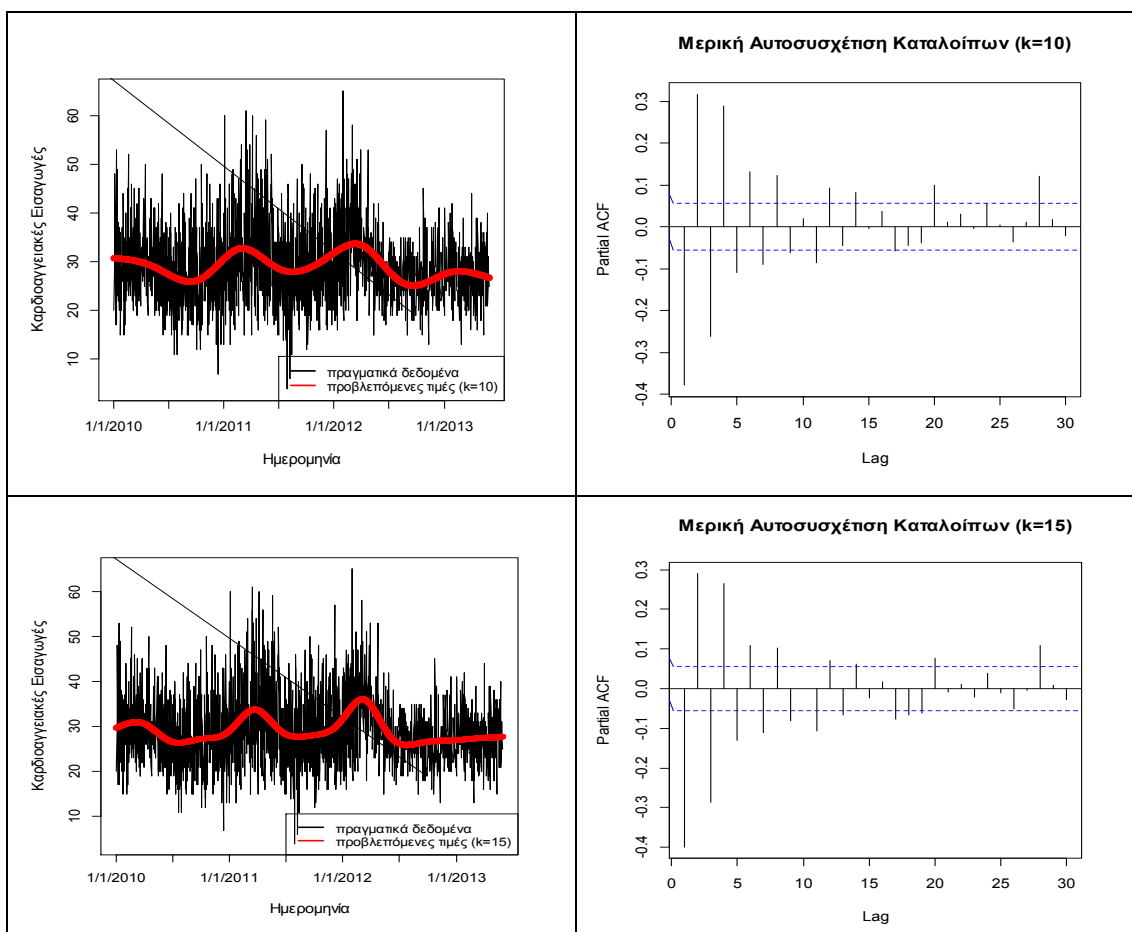
(α)

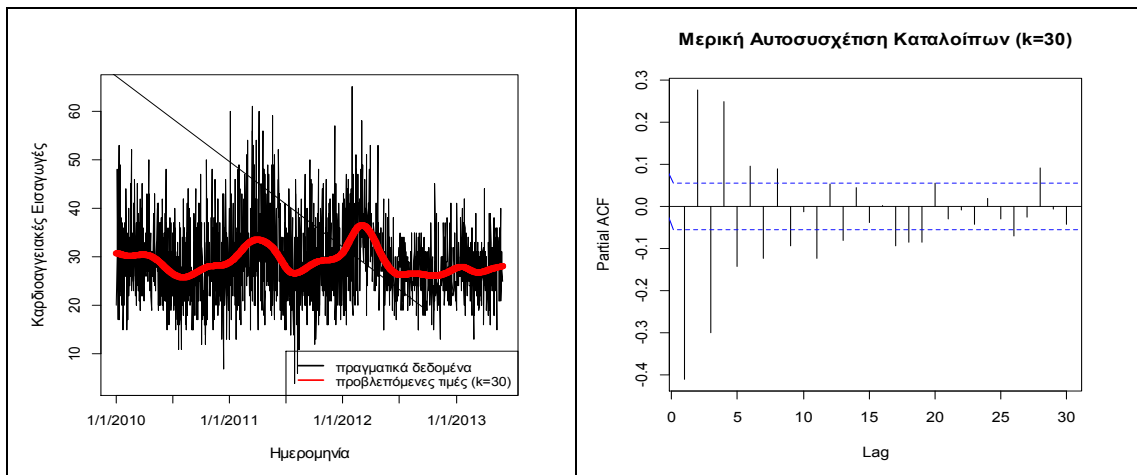


(β)

Σχήμα 9-6 (α) Χρονοσειρά των ημερήσιων καρδιαγγειακών εισαγωγών στο Ηράκλειο Κρήτης από 01 Ιανουαρίου 2010 έως 31 Μαΐου 2013 με τις προβλεπόμενες τιμές των εισαγωγών που δίνει το μοντέλο της μονομεταβλητής ανάλυσης και **(β)** η γραφική απεικόνιση του σχετικού κινδύνου για τις ημέρες της εβδομάδας

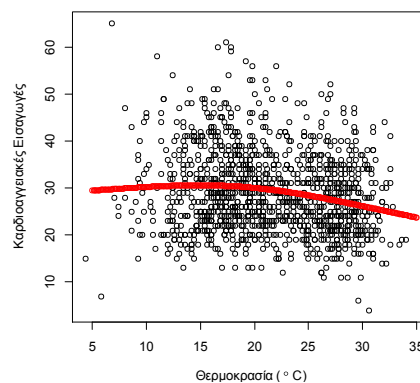
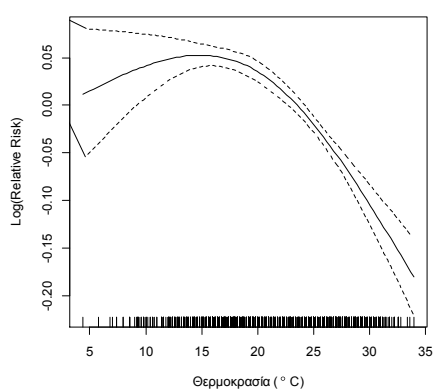
Παρατίθενται τα γραφήματα των εξομαλυμένων τιμών των καρδιαγγειακών εισαγωγών για διαφορετικές τιμές του (k) και οι αντίστοιχες αυτοσυσχετίσεις των καταλοίπων Σχήμα 9-7, όπου για k=10 υπάρχει υποεξομάλυνση και για k=30 υπερεξομάλυνση, ενώ επιλέγεται k=15 γιατί ελαχιστοποιείται το άθροισμα των αυτοσυσχετίσεων των καταλοίπων.



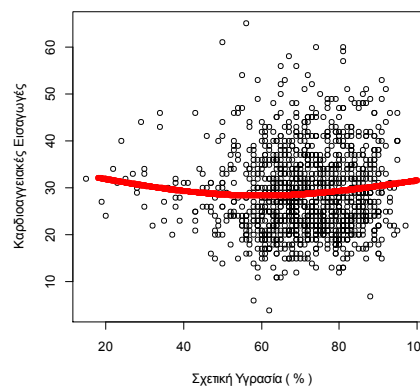
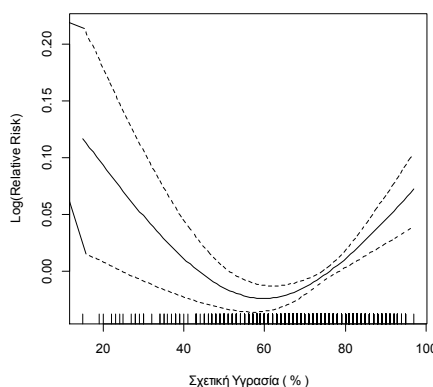


Σχήμα 9-7 Εξομαλύνσεις των καρδιαγγειακών εισαγωγών για διαφορετικούς κόμβους (k) (αριστερή στήλη) και τα αντίστοιχα κατάλοιπα PACFs (δεξιά στήλη)

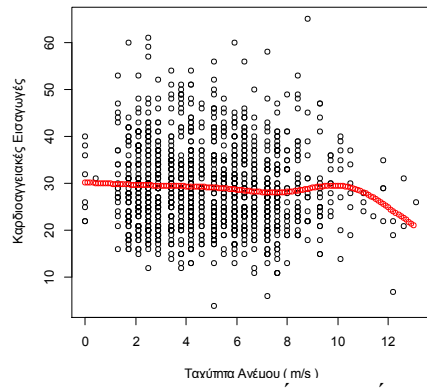
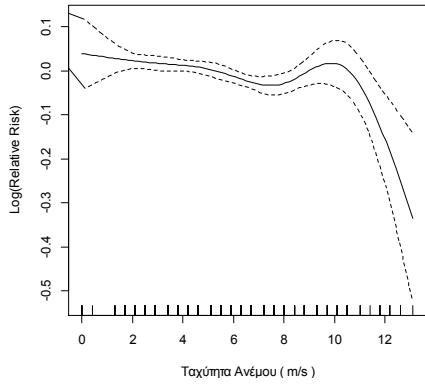
Στη συνέχεια παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές και βιομετεωρολογικές μεταβλητές σε συνάρτηση με τις καρδιαγγειακές εισαγωγές. Παρουσιάζεται το ποσοστό μείωσης ή αύξησης των καρδιαγγειακών εισαγωγών σε συνάρτηση με την κάθε μεταβλητή στο Σχήμα 9-8 (αριστερή στήλη), οι εκτιμώμενες τιμές των εισαγωγών αυτών σε σχέση με την κάθε μεταβλητή αντίστοιχα όπως προκύπτει από το μοντέλο μονομεταβλητής ανάλυσης στο Σχήμα 9-8 (δεξιά στήλη).



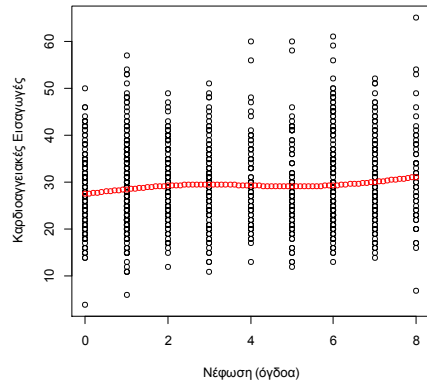
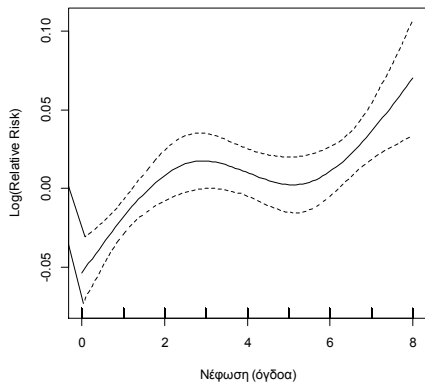
θερμοκρασία αέρα ($k=3$)



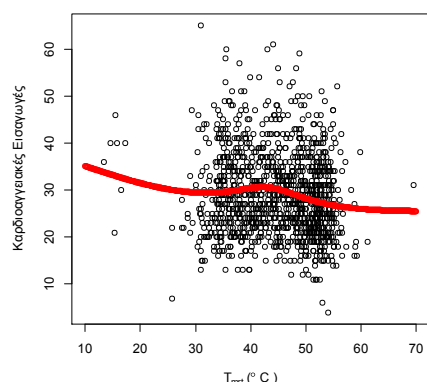
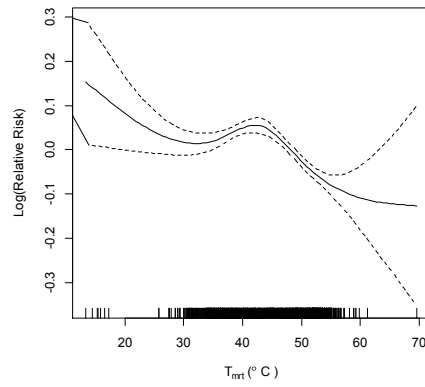
σχετική υγρασία ($k=3$)



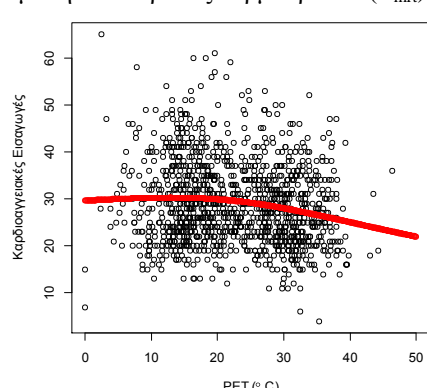
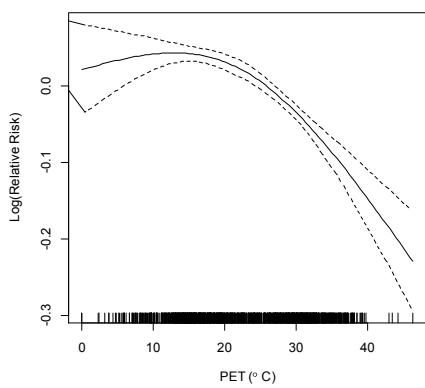
ταχύτητα ανέμου (k=6)



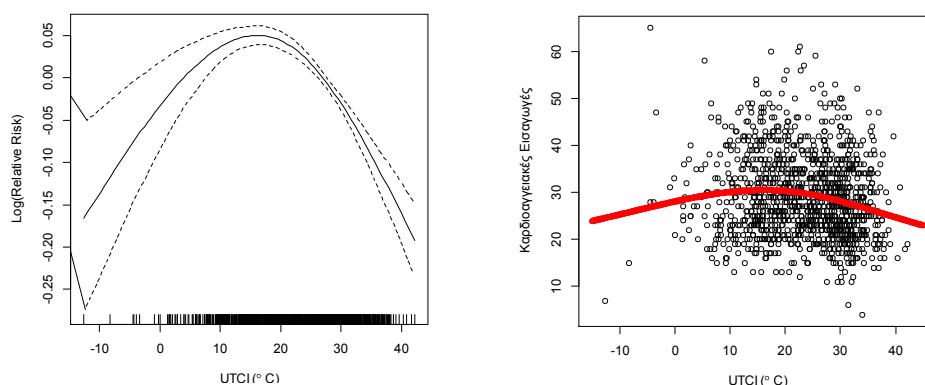
νέφωση (k=4)



μέση ακτινοβόλος θερμοκρασία (T_{mrt}) (k=5)



φυσιολογικά ισοδύναμη θερμοκρασία (PET) (k=3)



παγκόσμιος θερμικός κλιματικός δείκτης (UTCI) (k=3)

Σχήμα 9-8 Καμπύλες παλινδρόμησης των καρδιοαγγειακών εισαγωγών σε συνάρτηση με την κάθε μεταβλητή, όπου με διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζονται τα όρια εμπιστοσύνης (αριστερή στήλη). Εκτιμηθείσες τιμές με εξομάλυνση cubic spline (φαίνεται ο βαθμός εξομάλυνσης της κάθε μεταβλητής) (κόκκινη γραμμή) και πραγματικές τιμές (κουκκίδες) των καρδιοαγγειακών εισαγωγών σε σχέση με την κάθε μεταβλητή (δεξιά στήλη).

Διορθώνοντας για την ημέρα της εβδομάδας, τις εποχιακές διακυμάνσεις και τις χρονικές τάσεις προκύπτει ο Πίνακας 9-5 για τις συνολικές καρδιοαγγειακές εισαγωγές, για το κάθε φύλο και την κάθε κατηγορία ηλικίας.

Πίνακας 9-5 Στατιστικά αποτελέσματα μεταξύ των μετεωρολογικών - βιομετεωρολογικών παραμέτρων και του ημερήσιου αριθμού καρδιοαγγειακών εισαγωγών για τη χρονικό διάστημα 01/01/2010-31/05/2013

Συνολικά Καρδιοαγγειακά Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία	-0.010640	< 2e-16***	0.989416	0.010584	0.9870569-0.991782
Σχετική υγρασία	0.0007917	0.065236	1.000792	0.000792	0.99995-1.001635
Ταχύτητα ανέμου	-0.008284	0.000320***	0.99175	0.008250	0.987285-0.9962349
Νέφωση	0.006075	0.010541*	1.006094	0.006094	1.00142-1.010789
Tmrt	-0.005127	3.54e-07***	0.994886	0.005114	0.9929242-0.996851
PET	-0.0059266	1.81e-12***	0.994090	0.005910	0.9924539-0.995731
UTCI	-0.0039524	5.99e-07***	0.996055	0.003945	0.9945107-0.997602

Καρδιοαγγειακά άντρες Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία	-0.012256	3.44e-14***	0.987819	0.012181	0.9846934-0.990954
Σχετική υγρασία	0.0007807	0.17086	1.000781	0.000781	0.9996634-1.0019
Ταχύτητα ανέμου	-0.011503	0.000172***	0.988563	0.011437	0.9826485-0.994513
Νέφωση	0.008007	0.01108*	1.008039	0.008039	1.001831-1.014286
Tmrt	-0.005693	2.06e-05***	0.994323	0.005677	0.9917217-0.996932
PET	-0.006351	1.28e-08***	0.993669	0.006331	0.9914972-0.995846
UTCI	-0.004217	6.01e-05***	0.995792	0.004208	0.9937426-0.997845

Καρδιοαγγειακά γυναίκες Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία	-0.008516	4.33e-06***	0.99152	0.008480	0.9879245-0.995128
Σχετική υγρασία	0.0008063	0.216886	1.000807	0.000807	0.9995266-1.002088
Ταχύτητα ανέμου	-0.004081	0.242536	0.995927	0.004073	0.9891337-1.002767
Νέφωση	0.003541	0.327152	1.003547	0.003547	0.9964645-1.01068
Tmrt	-0.004387	0.004160**	0.995623	0.004377	0.9926399-0.998614
PET	-0.005370	2.66e-05***	0.994644	0.005356	0.9921554-0.99714
UTCI	-0.003605	0.002752**	0.996401	0.003599	0.9940523-0.998756

Καρδιοαγγειακά ηλικίας≤35 Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία	-0.017896	4.48e-07***	0.982263	0.017737	0.9754599-0.989113
Σχετική υγρασία	0.001012	0.4187	1.001012	0.001012	0.9985603-1.00347
Ταχύτητα ανέμου	-0.008952	0.1826	0.991088	0.008912	0.9781269-1.004221
Νέφωση	0.013298	0.0541.	1.013386	0.013386	0.9997664-1.027192
T _{mrt}	-0.010403	0.000413***	0.989651	0.010349	0.9839536-0.995382
PET	-0.01002	4.36e-05***	0.990034	0.009966	0.9852903-0.994800
UTCI	-0.007903	0.000588***	0.992128	0.007872	0.9876668-0.996609

Καρδιοαγγειακά 36≤ηλικίας≤64 Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία	-0.010371	6.91e-08***	0.989682	0.010318	0.9859593-0.993419
Σχετική υγρασία	0.0001813	0.788213	1.000181	0.000181	0.9988591-1.001505
Ταχύτητα ανέμου	-0.005503	0.129169	0.994512	0.005488	0.9874685-1.001606
Νέφωση	0.004493	0.230309	1.004503	0.004503	0.9971557-1.011905
T _{mrt}	-0.005483	0.000566***	0.994532	0.005468	0.9914362-0.997637
PET	-0.006585	6.87e-07 ***	0.993437	0.006563	0.9908578-0.996023
UTCI	-0.004298	0.000587***	0.995711	0.004289	0.9932743-0.998154

Καρδιοαγγειακά ηλικία ≥65 Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία	-0.009181	1.76e-07***	0.990861	0.009139	0.9874532-0.994281
Σχετική υγρασία	0.0012831	0.0390*	1.001284	0.001284	1.000065-1.002505
Ταχύτητα ανέμου	-0.010179	0.0022**	0.989872	0.010128	0.9834429-0.996344
Νέφωση	0.005783	0.091887.	1.0058	0.005800	0.9990587-1.012586
T _{mrt}	-0.003614	0.0127*	0.996392	0.003608	0.993565-0.9992272
PET	-0.004477	0.000225***	0.995533	0.004467	0.9931676-0.997903
UTCI	-0.002769	0.01534*	0.997234	0.002766	0.99500-0.99947

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Η τιμή p δείχνει τη συσχέτιση μεταξύ των καρδιοαγγειακών εισαγωγών με την αντίστοιχη μετεωρολογική – βιομετεωρολογική παράμετρο, ως IRR (Incident Rate Ratio) συμβολίζεται το τυχαίο ποσοστό αναλογίας, ως RR (Relative Risk) συμβολίζεται ο σχετικός κίνδυνος και ως 95%CI συμβολίζεται το διάστημα εμπιστοσύνης (Confidence interval) είναι το 95% των επιπέδων εμπιστοσύνης του IRR.

Η θερμοκρασία αέρα και ο δείκτης PET είναι στατιστικά σημαντικά (>99%) για την κάθε κατηγορία των καρδιοαγγειακών εισαγωγών, καταγράφοντας αρνητική συσχέτιση. Συγκεκριμένα, παρουσιάζεται αρνητική συσχέτιση με τις εισαγωγές, δηλαδή μείωση της θερμοκρασίας και του PET οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των εισαγωγών. Περιγράφονται οι επιδράσεις της κάθε μεταβλητής με >95% συσχέτιση. Η σχετική υγρασία φαίνεται να μην επηρεάζει σημαντικά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές, εκτός από τους ηλικιωμένους.

Όσον αφορά τις συνολικές εισαγωγές για τα καρδιοαγγειακά παρατηρείται ότι πτώση της θερμοκρασίας κατά 1°C προκαλεί αύξηση των εισαγωγών κατά 1%, πτώση της ταχύτητας ανέμου κατά 1m/s οδηγεί σε αύξηση των εισαγωγών κατά 0.8% και πτώση της T_{mrt} κατά 1°C οδηγεί σε 0.5% αύξηση των περιστατικών. Επιπλέον, μείωση κατά 1°C στους δείκτες PET και UTCI προκαλεί αύξηση των καρδιοαγγειακών εισαγωγών κατά 0.6% και

0.4%, αντίστοιχα. Επιπλέον, η αύξηση της νέφωσης κατά 50%, αυξάνει τα καρδιαγγειακά περιστατικά κατά 2.4%.

Οι άντρες, φαίνεται να επηρεάζονται από περισσότερους παράγοντες από ότι οι γυναίκες. Ειδικότερα, μείωση κατά 1°C της θερμοκρασίας, της T_{mrt} , του PET και του UTCI προκαλεί αύξηση των εισαγωγών των αντρών με καρδιαγγειακά προβλήματα κατά 1.2%, 0.6%, 0.6% και 0.4%, αντίστοιχα. Ακόμα μείωση κατά 1m/s της ταχύτητας του ανέμου αυξάνει τα περιστατικά αυτά κατά 1.1%, ενώ και η αύξηση κατά 50% της νέφωσης αυξάνει τα περιστατικά κατά 3.2%. Οι γυναίκες με καρδιαγγειακά προβλήματα εμφανίζουν αύξηση στις εισαγωγές τους όταν μειωθεί η θερμοκρασία και ο δείκτης PET. Έτσι, μείωση 1°C οδηγεί σε αύξηση των περιστατικών των γυναικών κατά 0.8% και 0.5%. Επίσης, μικρότερη αύξηση (0.4%) εμφανίζουν με τη μείωση κατά 1°C της T_{mrt} και του UTCI.

Τέλος, όσον αφορά τις κατηγορίες των ηλικιών, παρουσιάζεται καλή συσχέτιση για τους νεαρούς ασθενείς (ηλικία ≤ 35), όταν μειωθεί κατά 1°C η θερμοκρασία, η T_{mrt} , ο PET και ο UTCI δημιουργεί αύξηση εισαγωγών κατά 1.8%, 1%, 1% και 0.8%, αντίστοιχα. Ομοίως, αύξηση κατά 1°C των παραπάνω μεταβλητών εμφανίζει αύξηση στις καρδιαγγειακές εισαγωγές των ατόμων μεταξύ των ηλικιών 36-64 ετών σε ποσοστά 1%, 0.6%, 0.7% και 0.4%, αντίστοιχα. Αντιθέτως, η κατηγορία των ηλικιωμένων επηρεάζεται από περισσότερους παράγοντες. Έτσι, μείωση κατά 1°C της θερμοκρασίας, της T_{mrt} και των δεικτών PET και UTCI οδηγεί σε αύξηση 0.9%, 0.4%, 0.4% και 0.3%, αντίστοιχα, των εισαγωγών. Όμως, ακόμα αύξηση κατά 10% της υγρασίας είναι δυνατό να οδηγήσει σε αύξηση κατά 1.2% των καρδιαγγειακών περιστατικών. Τέλος και ο άνεμος επηρεάζει τις εισαγωγές των ηλικιωμένων, αφού αύξηση του ανέμου κατά 1m/s προκαλεί αύξηση των εισαγωγών τους κατά 1%.

Θα πρέπει να τονίσουμε ότι τα ευρήματα αυτά βρίσκονται σε συμφωνία με πρόσφατη μελέτη που διεξήχθη στο Bangladesh, όπου αύξηση κατά 1°C της T_{mrt} οδηγεί σε αύξηση κατά 1% της θνησιμότητας λόγω καρδιαγγειακών προβλημάτων (Burkart et al., 2011). Οι Panagiotakos et al. (2004) στη μελέτη που έλαβε χώρα στο ευρύτερο λεκανοπέδιο της περιοχής της Αθήνας, έδειξαν ότι αύξηση της θερμοκρασίας 1°C προκαλεί αύξηση των εισαγωγών λόγω καρδιαγγειακών συνδρόμων.

Στη συνέχεια έγινε εφαρμογή της συνάρτησης διασταυρούμενης συσχέτισης (cross-correlation function), όπου διαπιστώθηκε ότι οι εισαγωγές των καρδιαγγειακών συνδέονται σημαντικά με τη θερμοκρασία αέρα με υστέρηση 4 ημερών, της υγρασίας με υστέρηση 2 ημερών, της ταχύτητας ανέμου με υστέρηση 0 ημερών, της νεφοκάλυψης με υστέρηση 3 ημερών και της T_{mrt} και των δεικτών PET και UTCI με υστέρηση 4 ημερών, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακα 9-6.

Πίνακας 9-6 Στατιστικά αποτελέσματα μεταξύ των μετεωρολογικών - βιομετεωρολογικών παραμέτρων, με τις αντίστοιχες χρονικές υστερήσεις και του ημερήσιου αριθμού καρδιοαγγειακών εισαγωγών για τη χρονικό διάστημα 01/01/2010-31/05/2013

Συνολικά Καρδιοαγγειακά Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία (lag4)	-0.014189	< 2e-16***	0.985912	0.014088	0.9836032-0.988225
Σχετική υγρασία (lag2)	0.0007733	0.072032.	1.000774	0.000774	0.9999308-1.001617
Cloudiness (lag3)	0.011055	2.83e-06***	1.011117	0.011117	1.006448-1.015806
T _{mrt} (lag4)	-0.0078935	1.06e-15***	0.992138	0.007862	0.9902254-0.994053
PET (lag4)	-0.0091659	< 2e-16 ***	0.990876	0.009124	0.9892764-0.992478
UTCI (lag4)	-0.0081590	< 2e-16 ***	0.991874	0.008126	0.9903684-0.993382

Καρδιοαγγειακά άντρες Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία (lag4)	-0.015712	< 2e-16***	0.984410	0.015590	0.9813511-0.987479
Σχετική υγρασία (lag2)	-0.0002158	0.70383	0.999784	0.000216	0.9986722-1.000897
Νέφωση (lag3)	0.013460	1.71e-05***	1.013551	0.013551	1.007351-1.01979
T _{mrt} (lag4)	-0.009182	2.04e-12***	0.99086	0.009140	0.9883273-0.993399
PET (lag4)	-0.010162	< 2e-16***	0.98989	0.010110	0.9877678-0.992016
UTCI (lag4)	-0.008795	< 2e-16***	0.991244	0.008756	0.9892476-0.993244

Καρδιοαγγειακά γυναίκες Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία (lag4)	-0.012192	1.99e-11***	0.987882	0.012118	0.984369-0.9914084
Σχετική υγρασία (lag2)	0.002087	0.001513**	1.002089	0.002089	1.000798-1.003383
Νέφωση (lag3)	0.007890	0.028181*	1.007921	0.007921	1.000844-1.015048
T _{mrt} (lag4)	-0.006203	3.45e-05***	0.993817	0.006183	0.9909036-0.996738
PET (lag4)	-0.007862	3.44e-10***	0.992169	0.007831	0.9897363-0.994607
UTCI (lag4)	-0.007326	5.22e-10***	0.992701	0.007299	0.9904095-0.994998

Καρδιοαγγειακά ηλικία≤35 Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία (lag4)	-0.017956	2.7e-07***	0.982204	0.017796	0.9755058-0.988948
Σχετική υγρασία (lag2)	0.000543	0.6639	1.000543	0.000543	0.9980959-1.002996
Νέφωση (lag3)	0.011850	0.0843.	1.01192	0.011920	0.998396-1.025628
T _{mrt} (lag4)	-0.012167	2.41e-05***	0.987907	0.012093	0.9823435-0.993501
PET (lag4)	-0.011219	3.13e-06***	0.988843	0.011157	0.9841898-0.993519
UTCI (lag4)	-0.010763	1.96e-06***	0.989295	0.010705	0.9849175-0.993691

Καρδιοαγγειακά 36≤ ηλικία ≤64 Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία (lag4)	-0.015763	< 2e-16***	0.984361	0.015639	0.980732-0.9880035
Σχετική υγρασία (lag2)	-3.936e-05	0.953488	0.999961	0.000039	0.9986388-1.001284
Νέφωση (lag3)	0.0104743	0.004942**	1.010529	0.010529	1.003175-1.017937
T _{mrt} (lag4)	-0.008273	1.03e-07***	0.991761	0.008239	0.9887439-0.994788
PET (lag4)	-0.009812	4.33e-14***	0.990236	0.009764	0.9877176-0.992762
UTCI (lag4)	-0.008220	1.73e-11***	0.991814	0.008186	0.9894409-0.994192

Καρδιοαγγειακά ≥65 Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία (lag4)	-0.011822	7.57e-12***	0.988247	0.011753	0.984908-0.9915976
Σχετική υγρασία (lag2)	0.0015451	0.0132*	1.001546	0.001546	1.000323-1.002771
Νέφωση (lag3)	0.011441	0.000786***	1.011507	0.011507	1.004774-1.018285
T _{mrt} (lag4)	-0.006617	3.02e-06***	0.993404	0.006596	0.990649-0.9961674
PET (lag4)	-0.008114	9.08e-12***	0.991919	0.008081	0.9896088-0.994235
UTCI (lag4)	-0.007483	2.24e-11***	0.992545	0.007455	0.9903706-0.994723

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Η τιμή ρ δείχνει τη συσχέτιση μεταξύ των καρδιαγγειακών εισαγωγών με την αντίστοιχη μετεωρολογική – βιομετεωρολογική παράμετρο (με την αντίστοιχη χρονική υστέρηση).

Αναλύοντας τα αποτελέσματα του παραπάνω Πίνακα 9-6 με τις αντίστοιχες χρονικές υστερήσεις της κάθε μετεωρολογικής και βιομετεωρολογικής μεταβλητής, πρέπει να επισημανθεί ότι οι όλες οι μεταβλητές παρουσιάζουν συσχέτιση >95%.

Όσον αφορά τις συνολικές εισαγωγές για τα καρδιαγγειακά παρατηρείται ότι πτώση της θερμοκρασίας κατά 1°C προκαλεί αύξηση των εισαγωγών κατά 1.4%, αύξηση 10% της σχετικής υγρασίας οδηγεί σε αύξηση κατά 0.1%, αύξηση της νέφωσης κατά 50% οδηγεί σε αύξηση των εισαγωγών κατά 4.4%, ενώ πτώση της T_{mrt} κατά 1°C οδηγεί σε 0.8% αύξηση των περιστατικών. Επιπλέον, μείωση κατά 1°C στους δείκτες PET και UTCI προκαλεί αύξηση των καρδιαγγειακών εισαγωγών κατά 0.9% και 0.8%, αντίστοιχα.

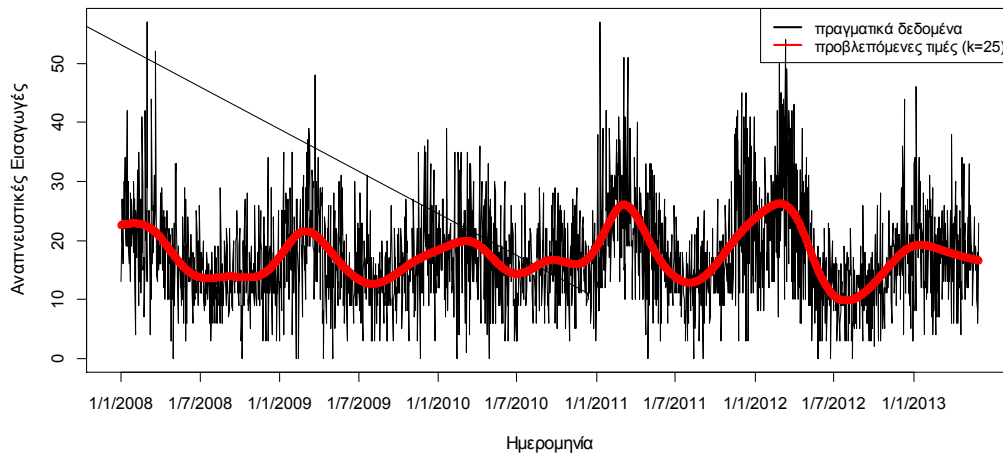
Για τους άντρες ασθενείς, μείωση κατά 1°C της θερμοκρασίας, της T_{mrt} , του PET και του UTCI προκαλεί αύξηση των εισαγωγών των αντρών με καρδιαγγειακά προβλήματα κατά 1.6%, 0.9%, 1% και 0.9%, αντίστοιχα. Επιπλέον αύξηση κατά 50% της νέφωσης αυξάνει τα περιστατικά κατά 5.4%. Οι γυναίκες με καρδιαγγειακά προβλήματα εμφανίζουν επίσης αύξηση κατά 1.2%, 0.6%, 0.8% και 0.7% στις εισαγωγές τους, όταν μειωθεί κατά 1°C η θερμοκρασία, η T_{mrt} και οι δείκτες PET και UTCI, αντίστοιχα. Η αύξηση της νεφοκάλυψης κατά 50% προκαλεί κατά 3.1% αύξηση στις καρδιαγγειακές εισαγωγές των γυναικών. Όμως, θα πρέπει να αναφερθεί ότι η σχετική υγρασία επηρεάζει τις γυναίκες και μάλιστα αύξησή της κατά 10%, αυξάνει τα περιστατικά κατά 2%.

Τέλος, όσον αφορά τις κατηγορίες των ηλικιών, παρουσιάζεται καλή συσχέτιση για τους νεαρούς ασθενείς (≤ 35), όταν μειωθεί κατά 1°C η θερμοκρασία, η T_{mrt} , ο PET και ο UTCI προκαλείται αύξηση εισαγωγών κατά 1.8%, 1.2%, 1.1% και 1%, αντίστοιχα. Ακόμα, η αύξηση 50% της νεφοκάλυψης οδηγεί σε αύξηση των περιστατικών κατά 4.8%. Ομοίως, αύξηση κατά 1°C των παραπάνω μεταβλητών (θερμοκρασία, T_{mrt} , PET και UTCI) προκαλεί αύξηση στις καρδιαγγειακές εισαγωγές των ατόμων μεταξύ των ηλικιών 36-64 σε ποσοστά 1.6%, 0.8%, 1% και 0.8%, αντίστοιχα. Επιπλέον, αύξηση της νέφωσης κατά 50% προκαλεί αύξηση των εισαγωγών κατά 1.1% στους μεσήλικες ασθενείς. Οι ηλικιωμένοι επηρεάζονται επιπλέον από την αύξηση της σχετικής υγρασίας, όπου 10% αύξηση είναι δυνατό να προκαλέσει 1.5% των εισαγωγών τους. Επίσης, με την μείωση κατά 1°C της θερμοκρασίας, της T_{mrt} και των δεικτών PET και UTCI οδηγεί σε αύξηση 1.2%, 0.7%, 0.8% και 0.7%, αντίστοιχα, των εισαγωγών.

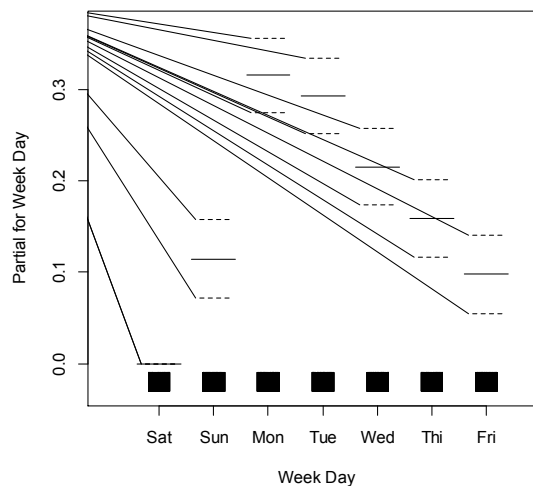
9.4.2 Αναπνευστικά δεδομένα

Όσον αφορά τα αναπνευστικά δεδομένα (Σχήμα 9-9(α)) παρουσιάζονται οι ημερήσιες μετρήσεις των αναπνευστικών εισαγωγών κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, διακρίνοντας ισχυρή εποχιακή διακύμανση με υψηλότερο αριθμό ημερήσιων εισαγωγών κατά τη διάρκεια της άνοιξης, λόγω των εξάρσεων των αλλεργιών και των εποχιακών ιώσεων. Βέβαια, κατά τη χειμερινή περίοδο (κυρίως 2011 και 2012) φαίνεται αύξηση των εισαγωγών λόγω βιοκλιματικών συνθηκών που χαρακτηρίζονται από (ακραία ή πολύ) ψυχρή καταπόνηση. Ομοίως, για τις εισαγωγές των αναπνευστικών η ημέρα

αναφοράς είναι και πάλι το Σάββατο, όπως δείχνει η γραφική απεικόνιση της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης (Σχήμα 9-9(β)).



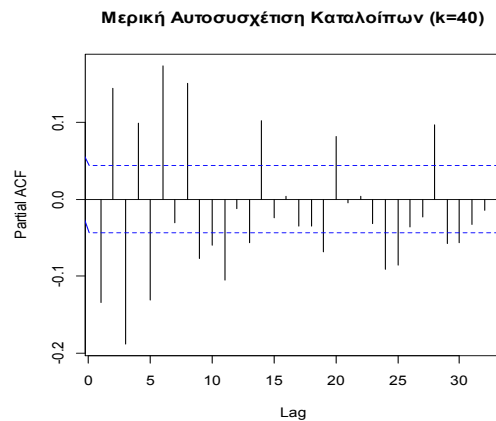
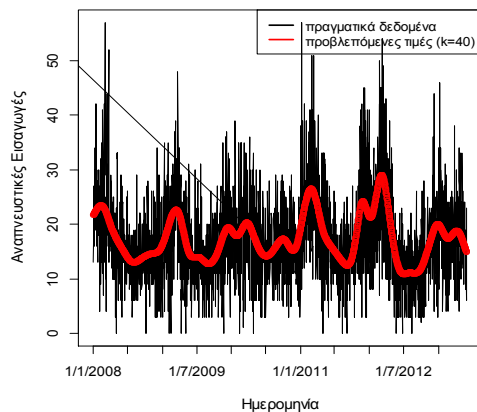
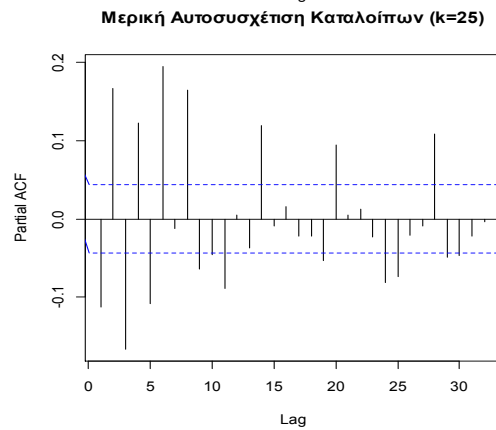
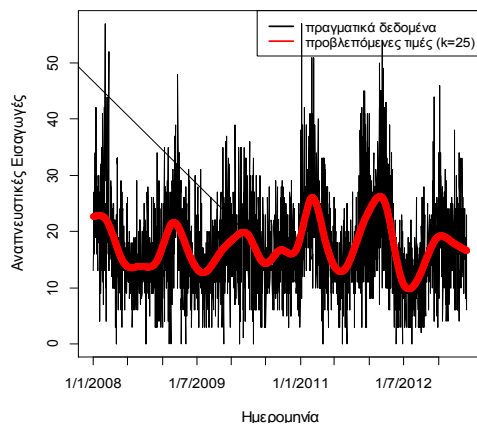
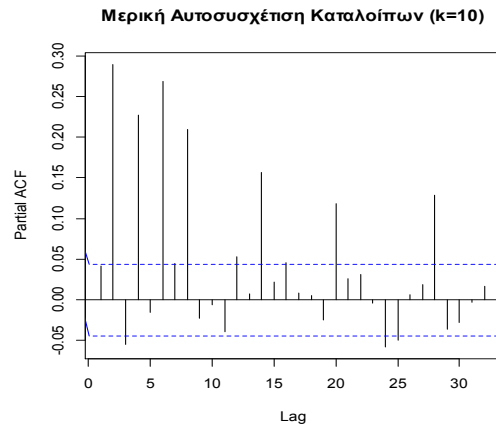
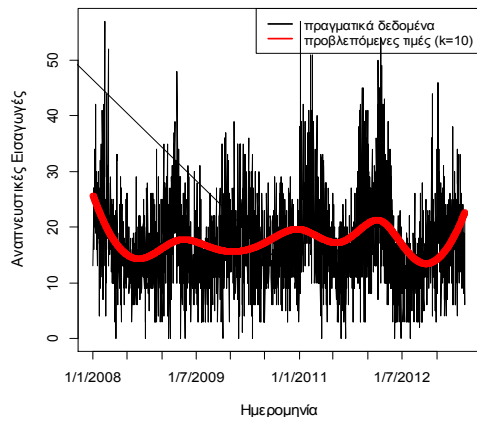
(α)



(β)

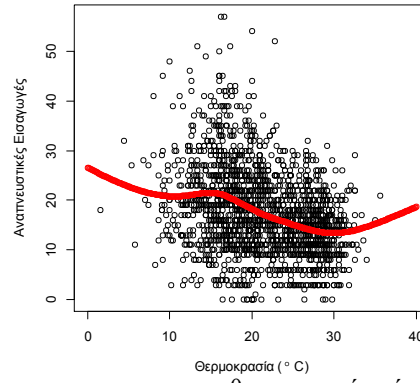
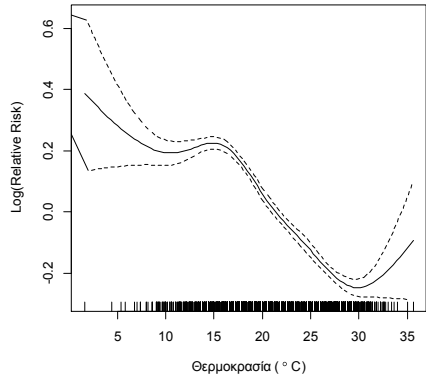
Σχήμα 9-9 (α) Χρονοσειρά των ημερήσιων αναπνευστικών εισαγωγών στο Ηράκλειο Κρήτης από 01/01/2008 έως 31/05/2013 με τις προβλεπόμενες τιμές των εισαγωγών που δίνει το μοντέλο της μονομεταβλητής ανάλυσης και **(β)** η γραφική απεικόνιση του σχετικού κινδύνου για τις ημέρες της εβδομάδας

Στο Σχήμα 9-10 παρουσιάζονται, οι εξομαλύνσεις των αναπνευστικών εισαγωγών για διαφορετικές τιμές του k και οι αντίστοιχες αυτοσυσχετίσεις των καταλοίπων Σχήμα 9-10, όπου για $k=10$ υπάρχει υποεξομάλυνση και για $k=40$ υπερεξομάλυνση, ενώ επιλέγεται $k=25$ γιατί ελαχιστοποιείται το άθροισμα των αυτοσυσχετίσεων των καταλοίπων, χωρίς να ακολουθούν τάση τα υπόλοιπα και να βρίσκονται κατανομημένα σε θετικά και αρνητικά.

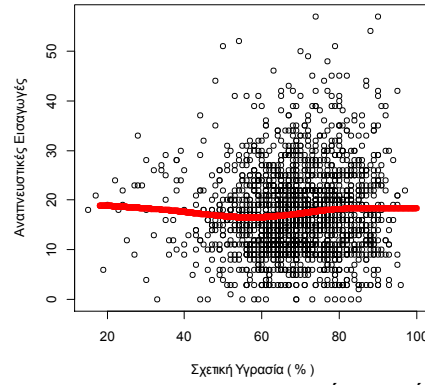
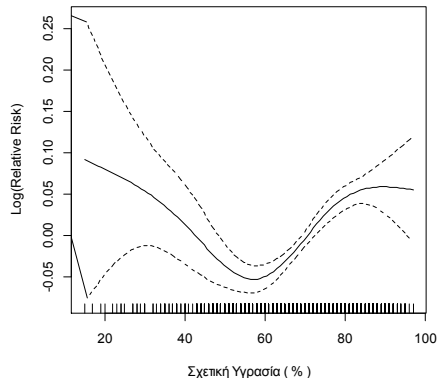


Σχήμα 9-10 Εξομαλύνσεις των αναπνευστικών εισαγωγών για διαφορετικούς κόμβους (k) (αριστερή στήλη) και τα αντίστοιχα υπόλοιπα από την εφαρμογή της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης (δεξιά στήλη).

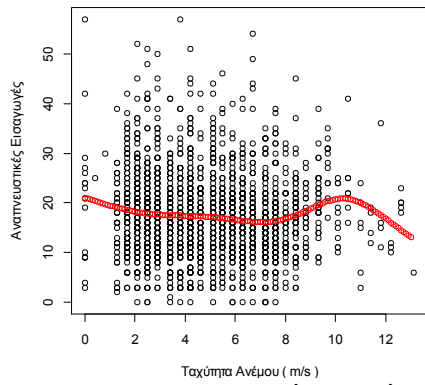
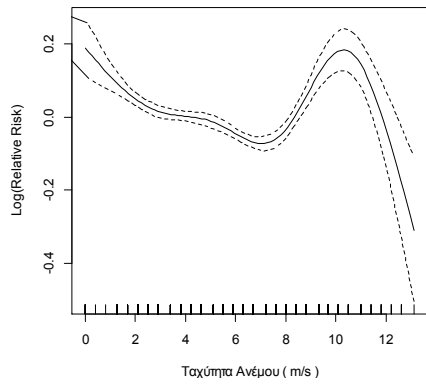
Ακολουθως παρουσιάζονται οι μετεωρολογικές και βιομετεωρολογικές μεταβλητές σε συνάρτηση με τις εισαγωγές λόγω αναπνευστικών προβλημάτων. Παρουσιάζεται το ποσοστό μείωσης ή αύξησης των αναπνευστικών εισαγωγών σε συνάρτηση με την κάθε μεταβλητή Σχήμα 9-11 (αριστερή στήλη του σχήματος), οι εκτιμώμενες τιμές των εισαγωγών αυτών σε σχέση με την κάθε μεταβλητή αντίστοιχα, όπως προκύπτει από το μοντέλο μονομεταβλητής ανάλυσης Σχήμα 9-11 (δεξιά στήλη σχήματος), όπου με διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζονται τα όρια εμπιστοσύνης.



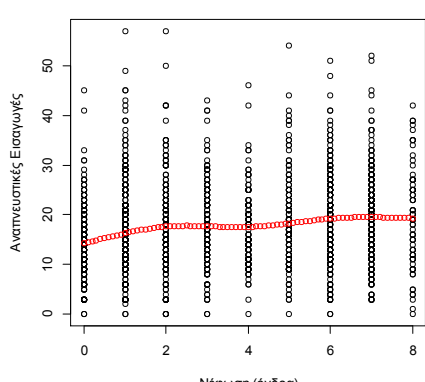
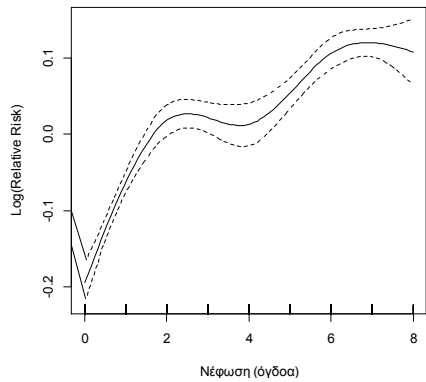
θερμοκρασία αέρα (k=7)



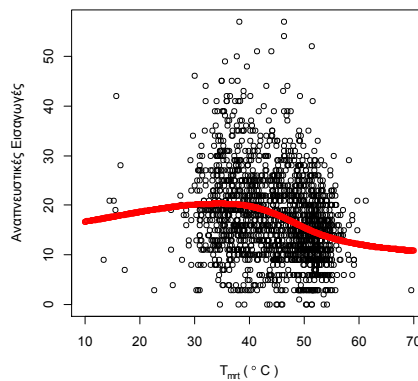
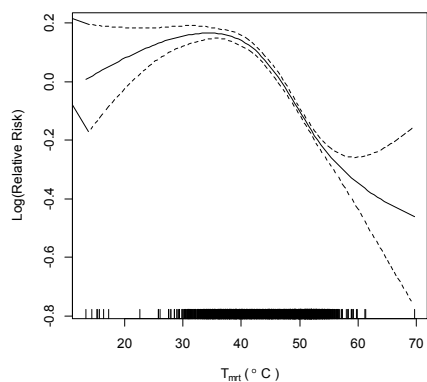
σχετική υγρασία (k=5)



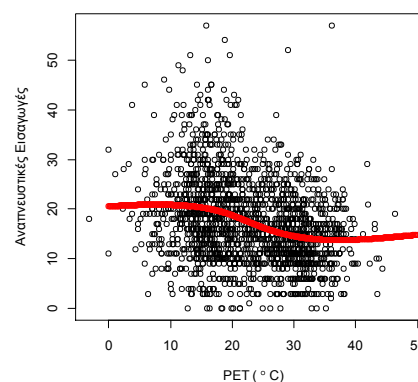
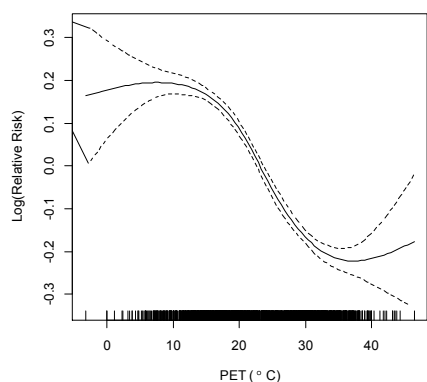
ταχύτητα ανέμου (k=6)



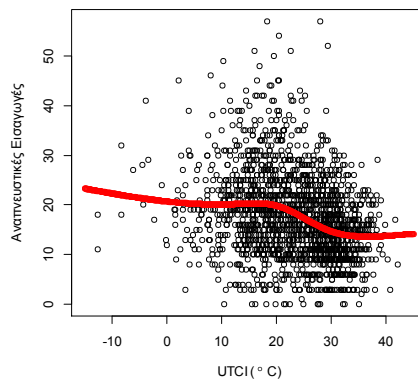
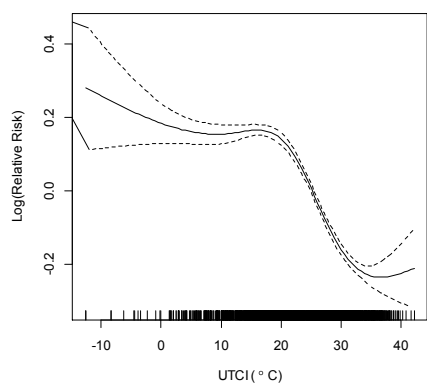
νέφωση (k=5)



μέση ακτινοβόλος θερμοκρασία (k=6)



φυσιολογικά ισοδύναμη θερμοκρασία (k=6)



παγκόσμιος θερμικός κλιματικός δείκτης (k=5)

Σχήμα 9-11 Καμπύλες παλινδρόμησης των αναπνευστικών εισαγωγών σε συνάρτηση με την κάθε μεταβλητή, όπου με διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζονται τα όρια εμπιστοσύνης (αριστερό τμήμα σχήματος). Εκτιμηθείσες τιμές με εξομάλυνση cubic splines (φαίνεται ο βαθμός εξομάλυνσης της κάθε μεταβλητής) (κόκκινη γραμμή) και πραγματικές τιμές (κουκκίδες) των αναπνευστικών εισαγωγών σε σχέση με την κάθε μεταβλητή (δεξιά στήλη σχήματος).

Διορθώνοντας για την ημέρα της εβδομάδας, τις εποχιακές διακυμάνσεις και τις χρονικές τάσεις προκύπτει ο Πίνακας 9-7 για το συνολικό αριθμό εισαγωγών λόγω αναπνευστικών συμπτωμάτων, για κάθε φύλο.

Πίνακας 9-7 Στατιστικά αποτελέσματα μεταξύ των μετεωρολογικών - βιομετεωρολογικών παραμέτρων και του ημερήσιου αριθμού αναπνευστικών εισαγωγών για τη χρονικό διάστημα 01/01/2008-31/05/2013.

Συνολικά Αναπνευστικά Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία	-0.024391	< 2e-16***	0.975904	0.024096	0.9734828-0.978332
Σχετική υγρασία	0.0009974	0.029*	1.000998	0.000998	1.000102-1.001894
Ταχύτητα ανέμου	-0.007872	0.000737***	0.992159	0.007841	0.987634-0.9967045
Νέφωση	0.013415	2.30e-08***	1.013506	0.013506	1.008748-1.018286
T _{mrt}	-0.010794	< 2e-16***	0.989264	0.010736	0.9872039-0.991328
PET	-0.0130521	< 2e-16***	0.987033	0.012967	0.9853261-0.988742
UTCI	-0.010229	< 2e-16***	0.989823	0.010177	0.9882318-0.991417

Αναπνευστικά άντρες Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία	-0.020385	< 2e-16***	0.979821	0.020179	0.9768579-0.982794
Σχετική υγρασία	0.0011838	0.033493*	1.001184	0.001184	1.000092-1.002278
Ταχύτητα ανέμου	-0.008144	0.004183**	0.99189	0.008110	0.9863771-0.997433
Νέφωση	0.012741	1.33e-05***	1.012823	0.012823	1.007031-1.018647
T _{mrt}	-0.008489	7.35e-11***	0.991547	0.008453	0.9890177-0.994083
PET	-0.010769	< 2e-16***	0.989289	0.010711	0.9872083-0.991374
UTCI	-0.008118	7.33e-16***	0.991915	0.008085	0.9899594-0.993874

Αναπνευστικά γυναίκες Παράμετροι	β	Pr(> z)	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία	-0.032661	< 2e-16***	0.967867	0.032133	0.9636707-0.972082
Σχετική υγρασία	0.0006150	0.44102	1.000615	0.000615	0.9990509-1.002182
Ταχύτητα ανέμου	-0.007362	0.07096.	0.992665	0.007335	0.9847639-1.000629
Νέφωση	0.01483	0.000415***	1.01494	0.014940	1.006619-1.023329
T _{mrt}	-0.015415	< 2e-16***	0.984703	0.015297	0.9811592-0.988259
PET	-0.017797	< 2e-16***	0.982360	0.017640	0.979378-0.9853513
UTCI	-0.014474	< 2e-16***	0.985631	0,014369	0.982893-0.988376

[†]p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Η τιμή p δείχνει την συσχέτιση μεταξύ των αναπνευστικών εισαγωγών με την αντίστοιχη μετεωρολογική – βιομετεωρολογική παράμετρο.

Παρατηρούμε ότι οι εισαγωγές λόγω αναπνευστικών προβλημάτων συσχετίζονται αρνητικά αλλά σημαντικά με τη θερμοκρασία αέρα, την T_{mrt}, τους δείκτες PET και UTCI αλλά και με τη νέφωση. Η ταχύτητα ανέμου εμφανίζει καλή συσχέτιση στις συνολικές εισαγωγές, αλλά μικρότερη στους άντρες και καθόλου συσχέτιση στις γυναίκες. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία παρουσιάζει μικρή θετική συσχέτιση στα συνολικά περιστατικά και στους άντρες. Παρατίθενται, λοιπόν, οι μεταβλητές με >95% συσχετίσεις ως ακολούθως.

Το σύνολο των ασθενών με αναπνευστικά προβλήματα αυξάνει όταν πέφτει η θερμοκρασία κατά 1°C σε ποσοστό 2.4%. Επίσης, αύξηση εμφανίζεται στις εισαγωγές όταν η ταχύτητα του ανέμου μειωθεί κατά 1m/s που ανέρχεται στο 0.8%, ενώ αύξηση της νέφωσης κατά 50% οδηγεί σε αύξηση των περιστατικών κατά 5.4%. Οι εισαγωγές των αναπνευστικών, επιπλέον, αυξάνουν κατά 1.1%, 1.3% και 1% όταν μειωθεί κατά 1°C η T_{mrt}, ο δείκτης PET και ο δείκτης UTCI, αντίστοιχα. Όσον αφορά τη σχετική υγρασία, δεν φαίνεται να επηρεάζει τις εισαγωγές, αφού αύξηση κατά 10% οδηγεί σε αύξηση μόλις 0.1% των εισαγωγών.

Αναφορικά με τους άντρες ασθενείς φαίνεται να αυξάνονται με μείωση της θερμοκρασίας, όπου μείωση κατά 1°C οδηγεί σε αύξηση των εισαγωγών κατά 2%. Η αύξηση της νέφωσης κατά 50% προκαλεί αύξηση κατά 5.2% στον αριθμό των εισαγωγών ανδρών ασθενών. Παράλληλα, 1°C μείωση της T_{mrt} και των δεικτών PET και UTCI προκαλεί 0.8%, 1.3% και 0.8%, αντίστοιχα, αύξηση στις εισαγωγές. Επιπλέον, μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά 1m/s προκαλεί αύξηση 0.8% των περιστατικών και κατά 10% αύξηση της σχετικής υγρασίας προκαλεί μικρή αύξηση των εισαγωγών της τάξης του 0.2%.

Τέλος, οι γυναίκες ασθενείς επηρεάζονται σημαντικά από τη θερμοκρασία, της οποίας 1°C μείωση αυξάνει τα περιστατικά κατά 3.2%. Ακόμα, 1.5% αύξηση των περιστατικών των γυναικών παρουσιάζεται με μείωση κατά 1°C της T_{mrt} . Ομοίως μείωση 1°C των βιοκλιματικών δεικτών PET και UTCI προκαλεί αύξηση των περιστατικών των γυναικών κατά 1.8% και 1.4% αντίστοιχα. Τέλος, 50% αύξηση της νέφωσης οδηγεί σε αύξηση κατά 6% των περιστατικών εισαγωγών λόγω αναπνευστικών συμπτωμάτων.

Εφαρμόστηκε η συνάρτηση διασταυρούμενης αυτοσυσχέτισης και παρατηρήθηκε ότι οι εισαγωγές των αναπνευστικών συνδέονται με τη θερμοκρασία αέρα με υστέρηση 3 ημερών, της υγρασίας με υστέρηση 0 ημερών, της ταχύτητας ανέμου με υστέρηση 3 ημερών, της νεφοκάλυψης με υστέρηση 2 ημερών, της T_{mrt} με υστέρηση 3 ημερών και των δεικτών PET και UTCI με υστέρηση 7 και 5 ημερών αντίστοιχα, όπως φαίνεται στον Πίνακας 9-8.

Πίνακας 9-8 Στατιστικά αποτελέσματα μεταξύ των μετεωρολογικών - βιομετεωρολογικών παραμέτρων, με τις αντίστοιχες χρονικές υστερήσεις και του ημερήσιου αριθμού λόγω αναπνευστικών προβλημάτων εισαγωγών για τη χρονικό διάστημα 01/01/2010-31/05/2013.

Συνολικά Αναπνευστικά Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία (lag3)	-0.028540	< 2e-16***	0.971864	0.028136	0.9694757-0.974257
Ταχύτητα ανέμου (lag3)	-0.011559	8.50e-07***	0.988508	0.011492	0.9839694-0.993067
Νέφωση (lag2)	0.021646	< 2e-16***	1.021882	0.021882	1.017128-1.026658
T_{mrt} (lag3)	-0.016404	< 2e-16***	0.98373	0.016270	0.9817033-0.98576
PET (lag7)	-0.0185878	< 2e-16***	0.981584	0.018416	0.9799603-0.983210
UTCI (lag5)	-0.0149235	< 2e-16***	0.985187	0.014813	0.9836489-0.986728

Αναπνευστικά άντρες Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία (lag3)	-0.022735	< 2e-16***	0.977522	0.022478	0.9745923-0.98046
Ταχύτητα ανέμου (lag3)	-0.011343	7.45e-05***	0.988721	0.011279	0.9831879-0.994286
Νέφωση (lag2)	0.019597	1.34e-11***	1.01979	0.019790	1.014016-1.025597
T_{mrt} (lag3)	-0.012499	< 2e-16***	0.987579	0.012421	0.9850832-0.990081
PET (lag7)	-0.014554	< 2e-16***	0.985551	0.014449	0.9835704-0.987536
UTCI (lag5)	-0.0115701	< 2e-16***	0.988497	0.011503	0.9866-0.9903967

Αναπνευστικά γυναίκες Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
Θερμοκρασία (lag3)	-0.040461	< 2e-16***	0.960347	0.039653	0.956229-0.9644823
Ταχύτητα ανέμου (lag3)	-0.011946	0.00358**	0.988125	0.011875	0.9802145-0.996099
Νέφωση (lag2)	0.025889	5.39e-10***	1.026227	0.026227	1.017872-1.03465
T_{mrt} (lag3)	-0.024173	< 2e-16***	0.976116	0.023884	0.9726541-0.979591
PET (lag7)	-0.027006	< 2e-16***	0.973355	0.026645	0.9705207-0.976198
UTCI (lag5)	-0.021608	< 2e-16***	0.978624	0.021376	0.9759973-0.981257

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Η τιμή p δείχνει τη συσχέτιση μεταξύ των αναπνευστικών εισαγωγών με την αντίστοιχη μετεωρολογική – βιομετεωρολογική παράμετρο με την αντίστοιχη χρονική υστέρηση.

Παρατηρούμε ότι οι εισαγωγές λόγω αναπνευστικών προβλημάτων συσχετίζονται αρνητικά αλλά σημαντικά (>99%) με τη θερμοκρασία αέρα, την T_{mrt} , τους δείκτες PET και UTCI αλλά και με τη ταχύτητα ανέμου και τη νέφωση. Το σύνολο των εισαγωγών των ασθενών με αναπνευστικά προβλήματα αυξάνει όταν μειώνεται η θερμοκρασία κατά 1°C σε ποσοστό 2.8%. Επίσης, αύξηση εμφανίζεται στις εισαγωγές όταν η ταχύτητα του ανέμου μειωθεί κατά 1m/s όπου ανέρχεται στο 1.1%, ενώ αύξηση της νέφωσης κατά 50% οδηγεί σε αύξηση των περιστατικών κατά 8.8%. Οι εισαγωγές λόγω αναπνευστικών προβλημάτων, επιπλέον, αυξάνουν κατά 1.6%, 1.8% και 1.5% όταν μειωθεί κατά 1°C η T_{mrt} , ο δείκτης PET και ο δείκτης UTCI, αντίστοιχα.

Οι άντρες ασθενείς φαίνεται να αυξάνονται με μείωση της θερμοκρασίας, όπου μείωση 1°C οδηγεί σε αύξηση των εισαγωγών κατά 2.2%. Η αύξηση της νέφωσης κατά 50% προκαλεί αύξηση κατά 7.9% στους άντρες ασθενείς. Παράλληλα, 1°C μείωση της T_{mrt} και των δεικτών PET και UTCI προκαλεί 1.2%, 1.4% και 1.2%, αντίστοιχα, αύξηση στον αριθμό των εισαγωγών. Επιπλέον, αύξηση της ταχύτητας του ανέμου κατά 1m/s προκαλεί αύξηση 1.1% των περιστατικών.

Όσο για τις γυναίκες ασθενείς επηρεάζονται σημαντικά από τη θερμοκρασία, της οποίας 1°C μείωση αυξάνει τα περιστατικά κατά 4%. Ακόμα, 2.4% αύξηση των περιστατικών των γυναικών παρουσιάζεται με μείωση κατά 1°C της T_{mrt} . Ομοίως, μείωση 1°C των βιοκλιματικών δεικτών PET και UTCI προκαλεί αύξηση των περιστατικών των γυναικών κατά 2.7% και 2.1%, αντίστοιχα. Επιπλέον, μείωση της ταχύτητας του ανέμου κατά 1m/s αυξάνει τα αναπνευστικά περιστατικά των γυναικών κατά 1.2%, ενώ η μεγαλύτερη αύξηση των περιστατικών εισαγωγών γυναικών λαμβάνει χώρα με 50% αύξηση της νέφωσης που οδηγεί στην αύξησή τους κατά 10%.

9.5 Πολυμεταβλητή ανάλυση για τη συσχέτιση καιρού και ιατρικών δεδομένων

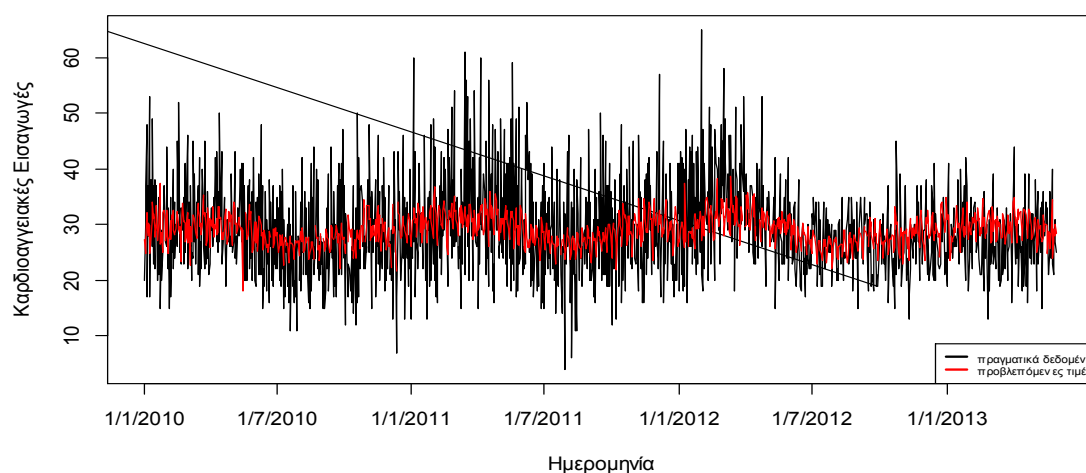
Έγινε εφαρμογή πολυπαραγοντικού μοντέλου με τη χρήση του προς τα πίσω περιορισμού backward elimination με τη χρήση του κριτηρίου AIC (Exner, 2009; Wanka et al., 2014), χρησιμοποιώντας τις (βιο)μετεωρολογικές μεταβλητές στα γενικευμένα αθροιστικά μοντέλα (GAM), ως μια ισχυρή και ευρέως χρησιμοποιούμενη μέθοδο για την παραμετρική προσαρμογή της επίδρασης των συ-μεταβλητών στο μετασχηματισμό της εξαρτημένης μεταβλητής (ιατρικές εισαγωγές). Για κάθε είδος, λοιπόν, ιατρικών δεδομένων υπολογίστηκαν δύο διαφορετικά γενικευμένα αθροιστικά μοντέλα (GAMs). Το πρώτο μοντέλο περιλαμβάνει τις επιπτώσεις της κάθε παραμέτρου στην πραγματική ημέρα στις ιατρικές εισαγωγές, ενώ το δεύτερο μοντέλο περιλαμβάνει όλες τις συ-μεταβλητές συμπεριλαμβανομένων των διαφορετικών χρονικών υστερήσεων (lags). Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται ο εκτιμητής (estimate) ως β , οι εκτιμώμενοι βαθμοί ελευθερίας ως edf (estimated degrees of freedom), η τιμή p (p value), ο συντελεστής προσδιορισμού (R^2), η στατιστική σημαντικότητα (Deviance explained) καθώς και τα αποτελέσματα των ελέγχων των τριών κριτηρίων UBRE, AIC και PACF.

9.5.1 Καρδιολογικά δεδομένα

Όσον αφορά τις συνολικές καρδιαγγειακές εισαγωγές βρέθηκε ισχυρή συσχέτιση (>95%) με τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, τη νέφωση, την T_{mrt} και το δείκτη PET. Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις συνολικές καρδιαγγειακές εισαγωγές εξηγεί το 7.3% της μεταβλητότητας των δεδομένων. Επιπλέον φαίνεται ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση (>99%) στην ημέρα της εβδομάδας (ιδίως τη Δευτέρα), ενώ η εποχικότητα δείχνει ότι τη θερμή περίοδο του έτους υπάρχει αύξηση των εισαγωγών (Πίνακας 9-9).

Πίνακας 9-9 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιαγγειακές εισαγωγές σε συνάρτηση του καιρού

Καρδιαγγειακά Συνολικά	β	edf	$Pr(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.07383		0.00033***						
Δευτέρα	0.17486		< 2e-16***						
Τρίτη	0.14751		4.59e-13***						
Τετάρτη	0.12956		2.23e-10***						
Πέμπτη	0.12896		2.73e-10***						
Παρασκευή	0.10116		8.93e-07***						
s(Θερμοκρασία)					0.0732	10.3%	1.3898	9233.728	0.3259687
s(Σχετική υγρασία)		6.726							
s(Ταχύτητα ανέμου)		6.051		0.00685**					
s(Νέφωση)		7.577		1.26e-06***					
s(T_{mrt})		7.828		0.00422**					
s(PET)		1.001		6.26e-09***					
s(UTCI)				1.15e-09***					

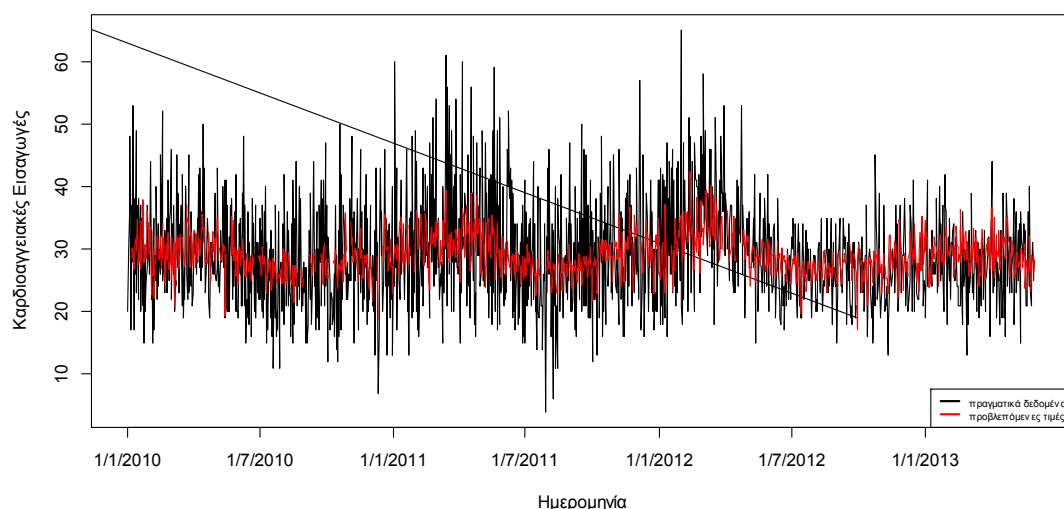


Σχήμα 9-12 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό χωρίς χρονικές υστερήσεις.

Στην περίπτωση όμως που υπεισέρχονται στο πολυμεταβλητό μοντέλο και οι αντίστοιχες χρονικές υστερήσεις για την κάθε παράμετρο αυξάνει ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (8.9%) και ισχυροποιείται η εποχικότητα δείχνοντας ότι τη θερμή περίοδο τα περιστατικά αυξάνονται κατά 4.7%. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι χρονικές υστερήσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων της θερμοκρασίας, της νέφωσης και των δεικτών PET και UTCI παίζουν σημαντικό ρόλο στο μοντέλο για τις συνολικές εισαγωγές λόγω καρδιολογικών προβλημάτων (Πίνακας 9-10).

Πίνακας 9-10 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές σε συνάρτηση του καιρού με χρονικές υστερήσεις

Καρδιοαγγειακά Συνολικά	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.06279		0.00356**						
Δευτέρα	0.17107		9.40e-16***						
Τρίτη	0.13935		7.33e-11***						
Τετάρτη	0.12788		1.81e-09***						
Πέμπτη	0.12026		1.73e-08***						
Παρασκευή	0.10820		4.61e-07***						
s(Θερμοκρασία)		6.015		0.368143					
Θερμοκρασία (lag4)		6.123		0.004930**					
s(Σχετική υγρασία)		6.277		0.043443*					
Σχετική υγρασία (lag2)		1.001		0.061925.					
s(Ταχύτητα ανέμου)		5.021		0.263475	0.0896	15.7%	1.2783	8652.658	0.0988482
s(Νέφωση)		7.705		0.016589*					
Νέφωση (lag3)		7.520		0.017800*					
s(Tmrt)		7.753		0.000434***					
Tmrt (lag4)		7.059		0.015227*					
s(PET)									
PET (lag4)		6.258		0.024814*					
s(UTCI)		7.995		0.151293					
UTCI (lag4)		5.369		0.043073*					

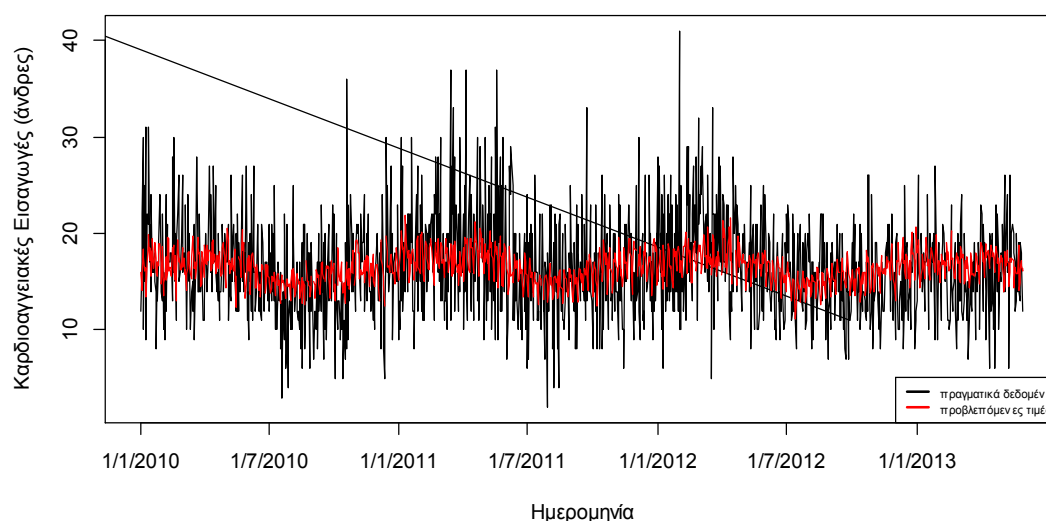


Σχήμα 9-13 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό με τις αντίστοιχες χρονικές υστερήσεις

Οι άντρες ασθενείς στην εφαρμογή πολυμεταβλητής ανάλυσης επηρεάζονται σημαντικά (>95%) από τη θερμοκρασία και τη σχετική υγρασία (Πίνακας 9-11). Μετά τον έλεγχο για την ημέρα της εβδομάδας και την εποχικότητα, ο αριθμός των εισαγωγών αυξάνεται και μάλιστα κατά τη θερινή περίοδο και το ποσοστό ανέρχεται στο 6.4%. Τέλος, οι περισσότερες εισαγωγές καταγράφονται την Τρίτη.

Πίνακας 9-11 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές των αντρών σε συνάρτηση του καιρού

Καρδιοαγγειακά άντρες	β	edf	$Pr(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.08680		0.00158**						
Δευτέρα	0.20272		4.28e-14***						
Τρίτη	0.17399		1.25e-10***						
Τετάρτη	0.13689		4.76e-07***						
Πέμπτη	0.14545		9.36e-08***						
Παρασκευή	0.12084		1.09e-05***						
ς (Θερμοκρασία)		1.014		4.34e-05***	0.0793	10.7%	0.57628	7542.384	0.317673
ς (Σχετική υγρασία)		5.388		0.0299*					
ς (Ταχύτητα ανέμου)									
ς (Νέφωση)									
ς (T _{mrt})		7.228		0.1003					
ς (PET)		7.986		0.1263					
ς (UTCI)		4.400		0.2738					

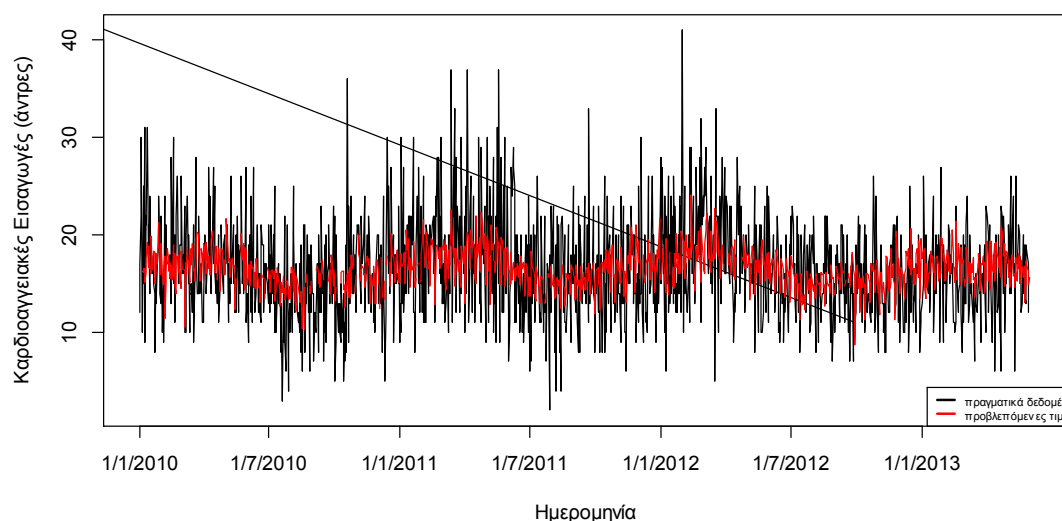


Σχήμα 9-14 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών αντρών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό χωρίς χρονικές υστερήσεις

Όταν υπεισέρχονται στο πολυμεταβλητό μοντέλο και οι αντίστοιχες χρονικές υστερήσεις για την κάθε παράμετρο αυξάνει ο συντελεστής προσδιορισμού R^2 (9.9%) και ισχυροποιείται η εποχικότητα δείχνοντας ότι τη θερμή περίοδο τα περιστατικά αυξάνονται κατά 6.7%. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι χρονικές υστερήσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων της νέφωσης και της T_{mrt} παίζουν σημαντικό ρόλο στο μοντέλο για τις συνολικές εισαγωγές των ανδρών λόγω καρδιολογικών προβλημάτων (Πίνακας 9-12).

Πίνακας 9-12 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές των αντρών σε συνάρτηση του καιρού με χρονικές υστερήσεις

Καρδιοαγγειακά άντρες	β	edf	$Pr(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.07522		0.00805**						
Δευτέρα	0.20790		1.26e-13***						
Τρίτη	0.17382		5.95e-10***						
Τετάρτη	0.13559		1.37e-06***						
Πέμπτη	0.13229		2.55e-06***						
Παρασκευή	0.12272		1.57e-05***						
$s(\Theta$ ερμοκρασία)		5.851		0.6478					
Θ ερμοκρασία (lag4)		6.127		0.1197					
$s(\Sigma$ χετική υγρασία)		1.755		0.2277		15.5%	0.54157	7228.493	0.1946406
Σ χετική υγρασία (lag2)									
$s(\tau$ αχύτητα ανέμου)		1.000		0.2115					
$s(\nu$ έφωση)		7.292		0.2708					
ν έφωση (lag3)		7.023		0.0140*					
$s(T_{mrt})$		7.014		0.2066					
T_{mrt} (lag4)		6.762		0.0853.					
$s(PET)$									
PET (lag4)		5.587		0.2019					
$s(UTCI)$		8.494		0.1188					
$UTCI$ (lag4)		6.663		0.1781					

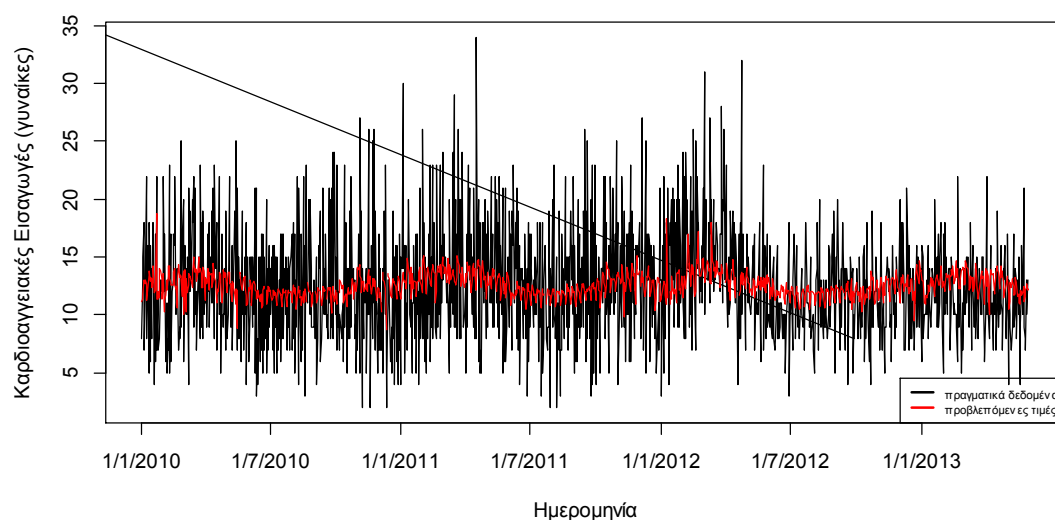


Σχήμα 9-15 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών αντρών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό με χρονικές υστερήσεις

Διαπιστώνεται ότι, οι γυναίκες ασθενείς στην εφαρμογή της πολυμεταβλητής ανάλυσης δείχνουν να επηρεάζονται σημαντικά (>95%) από τη θερμοκρασία (γραμμικά), την νέφωση (γραμμικά) την T_{mrt} και τον UTCI (γραμμικά) (Πίνακας 9-13). Μετά τον έλεγχο για την ημέρα της βδομάδας φαίνεται ότι οι περισσότερες εισαγωγές καταγράφονται τη Δευτέρα, ενώ δεν επηρεάζονται από την εποχικότητα. Το ποσοστό της μεταβλητότητας στα δεδομένα που ερμηνεύεται από τη πολυμεταβλητή ανάλυση είναι 2.9%.

Πίνακας 9-13 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές γυναικών σε συνάρτηση του καιρού

Καρδιοαγγειακά γυναίκες	β	edf	$\Pr(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.057207		0.064712.						
Δευτέρα	0.132248		1.43e-05***						
Τρίτη	0.109511		0.000371***						
Τετάρτη	0.108127		0.000426***						
Πέμπτη	0.102844		0.000835***						
Παρασκευή	0.081413		0.008545**						
s(Θερμοκρασία)		1.000		0.000684***	0.029	4.66%	0.97036	7659.276	0.2788868
s(Σχετική υγρασία)									
s(Ταχύτητα ανέμου)		4.979		0.227384					
s(Νέφωση)		1.000		0.066923.					
s(Tmrt)		7.058		7.21e-06***					
s(PET)									
s(UTCI)		1.001		0.096212.					

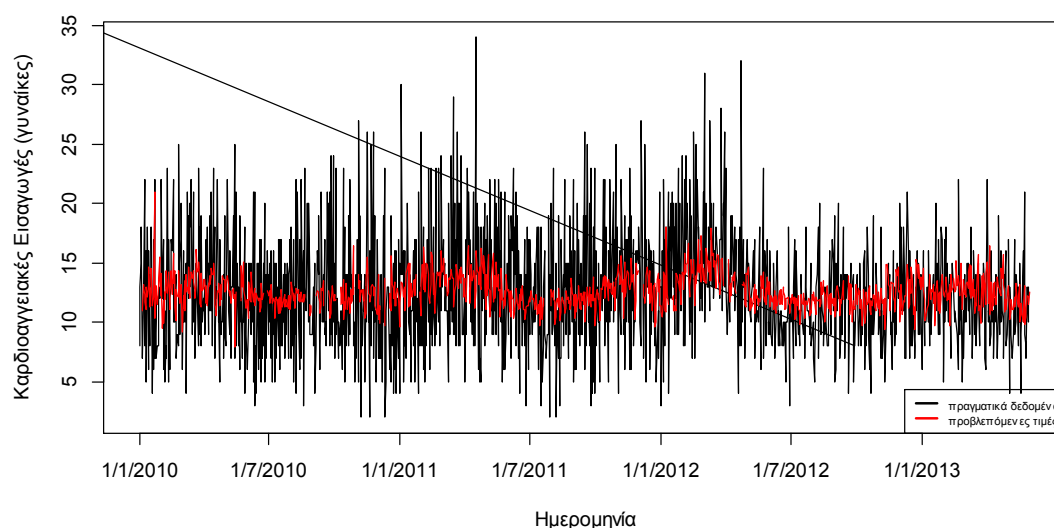


Σχήμα 9-16 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών γυναικών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό χωρίς χρονικές υστερήσεις

Στην περίπτωση όμως που υπεισέρχονται στην εφαρμογή του πολυμεταβλητού μοντέλου και οι αντίστοιχες χρονικές υστερήσεις για την κάθε παράμετρο αυξάνει ο συντελεστής προσδιορισμού ($R^2=4.7\%$) σε σχέση με την περίπτωση που λαμβάνεται υπόψη μόνο ο καιρός. Πρέπει να σημειωθεί ότι οι χρονικές υστερήσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων της σχετικής υγρασίας, της νέφωσης και του δείκτη PET παίζουν σημαντικό ρόλο στο μοντέλο για τις συνολικές εισαγωγές γυναικών λόγω καρδιολογικών προβλημάτων (Πίνακας 9-14).

Πίνακας 9-14 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές γυναικών σε συνάρτηση του καιρού με χρονικές υστερήσεις

Καρδιοαγγειακά γυναίκες	β	edf	$Pr(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.05207		0.10577						
Δευτέρα	0.12930		5.13e-05***						
Τρίτη	0.10214		0.00146**						
Τετάρτη	0.12394		0.00010***						
Πέμπτη	0.10209		0.00142**						
Παρασκευή	0.09448		0.00317**						
s(Θερμοκρασία)									
Θερμοκρασία (lag4)		5.071		0.2088					
s(Σχετική υγρασία)		6.623		0.0982.	0.0471	9.06%	0.90403	7208.079	0.0806252
Σχετική υγρασία (lag2)		3.461		0.0092**					
s(Ταχύτητα ανέμου)		5.042		0.1852					
s(Νέφωση)		7.557		0.1817					
Νέφωση (lag3)		7.451		0.0107*					
s(Tmrt)		7.033		5.37e-05***					
Tmrt (lag4)									
s(PET)									
PET (lag4)		2.775		0.0575.					
s(UTCI)		1.001		0.0841.					
UTCI (lag4)									



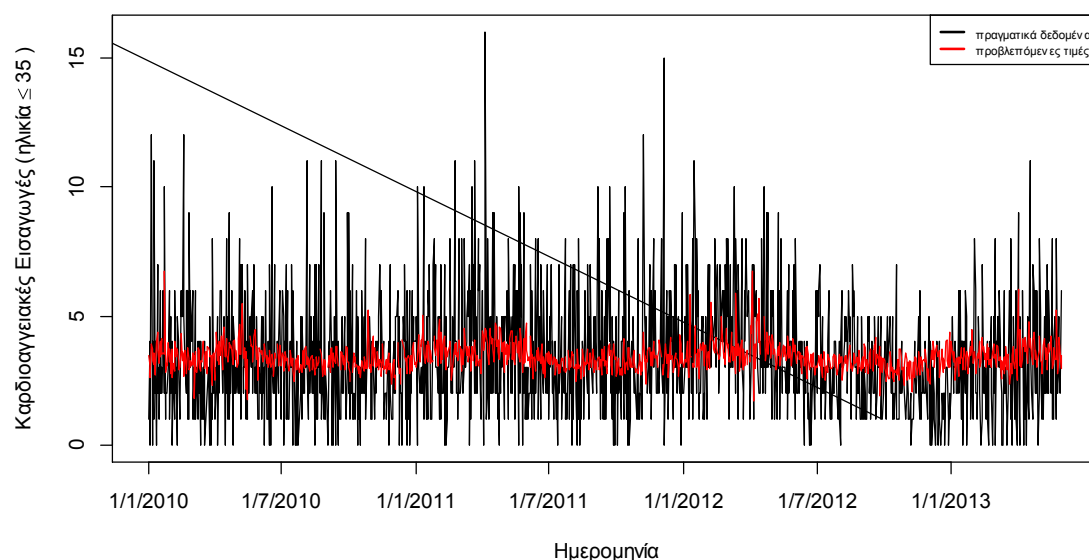
Σχήμα 9-17 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών γυναικών με καρδιολογικά προβλήματα, μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό με χρονικές υστερήσεις.

Οι καρδιοαγγειακές εισαγωγές των νέων ηλικίας <35 ετών επηρεάζονται (>90% συσχέτιση) ταυτόχρονα από τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα ανέμου και την T_{mrt} (Πίνακας 9-15).

Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εισαγωγές των νέων επηρεάζονται από την εποχικότητα, δηλαδή τη θερμή περίοδο το ποσοστό εισαγωγής αυξάνεται κατά 19.5%. Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης ερμηνεύει το 3.1% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα. Οι καταγραφές αυτής της ηλικιακής κατηγορίας δεν έχουν μεγάλο πλήθος, με αποτέλεσμα η ανάλυση για την ημέρα της εβδομάδας να μην δίνει αξιόπιστα συμπεράσματα. Βέβαια, την Τρίτη φαίνεται να καταγράφονται οι περισσότερες εισαγωγές (Πίνακας 9-15).

Πίνακας 9-15 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές ασθενών ηλικίας <35 ετών σε συνάρτηση του καιρού

Καρδιοαγγειακά ηλικίας≤35	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	-0.09853		0.103574						
Δευτέρα	0.08897		0.124753						
Τρίτη	0.14012		0.014897*						
Τετάρτη	0.07796		0.178465						
Πέμπτη	-0.03488		0.560845						
Παρασκευή	0.08640		0.137577						
s(Θερμοκρασία)		1.000		0.0139*	0.0311	5.3%	0.68873	5487.277	0.3728959
s(Σχετική υγρασία)		8.218		0.0695.					
s(Ταχύτητα ανέμου)		5.876		0.0776.					
s(Νέφωση)									
s(Tmrt)		7.437		0.0247*					
s(PET)		1.669		0.2248					
s(UTCI)									

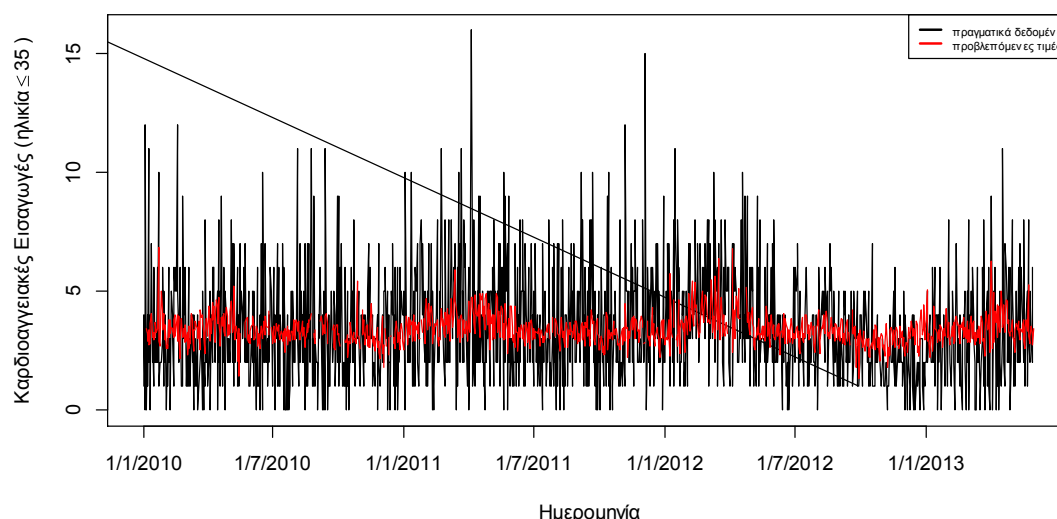


Σχήμα 9-18 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών των ασθενών ηλικίας ≤35 ετών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό χωρίς χρονικές υστερήσεις

Λαβάνοντας υπόψη τις χρονικές υστερήσεις στην εφαρμογή του πολυμεταβλητού μοντέλου, το ποσοστό της μεταβλητότητας που ερμηνεύονται είναι 4.6%. Παρατηρείται ότι η χρονική υστέρηση της θερμοκρασίας επηρεάζει σημαντικά τις εισαγωγές που αυξάνονται κατά 18.8% στη διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους (Πίνακας 9-16).

Πίνακας 9-16 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές ασθενών ηλικίας ≤ 35 ετών σε συνάρτηση του καιρού με χρονικές υστερήσεις

Καρδιοαγγειακά ηλικίας ≤ 35	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	-0.11423		0.06659.						
Δευτέρα	0.05801		0.33880						
Τρίτη	0.15096		0.01064*						
Τετάρτη	0.09512		0.10946						
Πέμπτη	-0.01869		0.76151						
Παρασκευή	0.10425		0.08020.						
s(Θερμοκρασία)									
Θερμοκρασία (lag4)		7.055		0.01813*					
s(Σχετική υγρασία)		7.273		0.07201.	0.0461	7.49%	0.64285	5230.98	0.3288861
Σχετική υγρασία (lag2)									
s(Ταχύτητα ανέμου)		5.146		0.02569*					
s(Νέφωση)									
Νέφωση (lag3)		1.803		0.43388					
s(Tmrt)		7.469		0.00400**					
Tmrt (lag4)		6.104		0.20093					
s(PET)									
PET (lag4)									
s(UTCI)		1.001		0.00473**					
UTCI (lag4)									



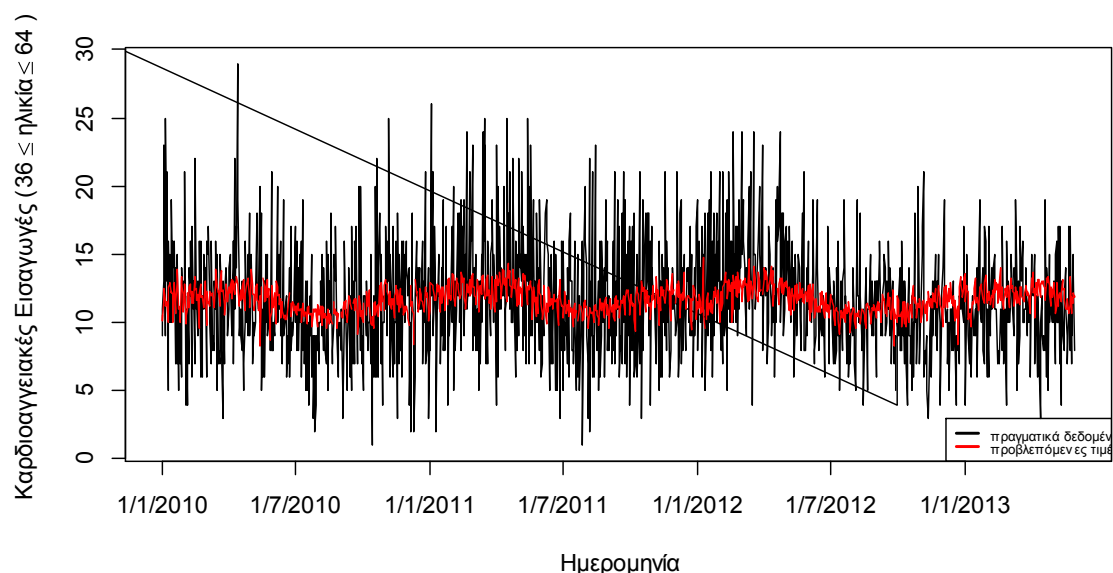
Σχήμα 9-19 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών των ασθενών ηλικίας ≤ 35 ετών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό με χρονικές υστερήσεις.

Οι καρδιοαγγειακές εισαγωγές ασθενών ηλικίας 36-64 ετών επηρεάζονται (>90% συσχέτιση) από τη θερμοκρασία (γραμμικά), τη νέφωση (γραμμικά), την T_{mrt} και τους δείκτες PET και UTCI (γραμμικά) (Πίνακας 9-17).

Από τον ίδιο πίνακα διαπιστώνεται ότι οι εισαγωγές ασθενών της ηλικιακής κατηγορίας 36-64 ετών επηρεάζονται από την εποχικότητα, αυξάνοντας το ποσοστό εισαγωγής τη θερινή περίοδο κατά 5.5%. Επιπλέον, φαίνεται ότι τη Δευτέρα καταγράφονται οι περισσότερες καρδιοαγγειακές εισαγωγές των ασθενών αυτών. Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης ερμηνεύει περίπου 4% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα.

Πίνακας 9-17 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές ασθενών ηλικίας 36-64 ετών σε συνάρτηση του καιρού

Καρδιοαγγειακά 36≤ηλικία≤64	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.12494		7.97e-05***						
Δευτέρα	0.13927		1.12e-05***						
Τρίτη	0.09003		0.00508**						
Τετάρτη	0.11044		0.00053***						
Πέμπτη	0.10081		0.00165**						
Παρασκευή	0.06888		0.03298*						
ς(Θερμοκρασία)		1.000		0.01403*	0.0396	5.88%	0.5669	7092.002	0.2706948
ς(Σχετική υγρασία)		6.375		0.18779					
ς(Ταχύτητα ανέμου)									
ς(Νέφωση)		1.000		0.09940.					
ς(Tmrt)		7.225		0.00602**					
ς(PET)		1.000		0.02442*					
ς(UTCI)		1.000		0.00703 *					

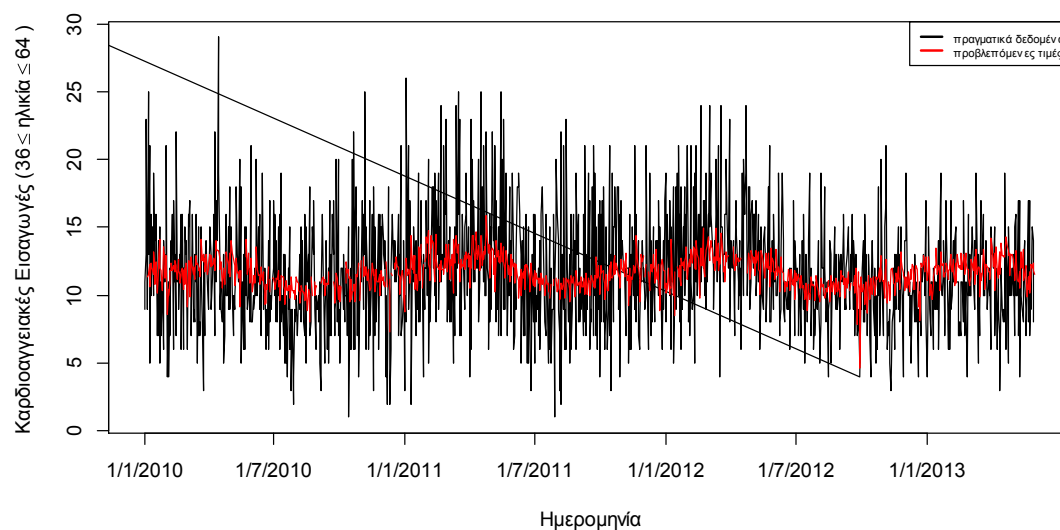


Σχήμα 9-20 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών ασθενών ηλικίας 36-64 ετών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό χωρίς χρονικές υστερήσεις

Η εφαρμογή της πολυμεταβλητής ανάλυσης προσθέτοντας τις χρονικές υστερήσεις έδειξε ότι η θερμοκρασία επηρεάζει σημαντικά (>99%) τις εισαγωγές (Πίνακας 9-18). Επιπλέον, λαμβάνοντας υπόψη την εποχικότητα, τη θερμή περίοδο αυξάνουν κατά 6% τα περιστατικά, ενώ φαίνεται ότι η Δευτέρα, αποτελεί την ημέρα με τις περισσότερες καταγραφές. Το μοντέλο υπολογίζοντας και τις χρονικές υστερήσεις ερμηνεύει το 5.2% της μεταβλητότητας των δεδομένων.

Πίνακας 9-18 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιαγγειακές εισαγωγές ασθενών ηλικίας 36-64 ετών σε συνάρτηση του καιρού με χρονικές υστερήσεις

Καρδιαγγειακά 36≤ηλικία≤64	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.11527		0.000393***						
Δευτέρα	0.13333		4.89e-05***						
Τρίτη	0.08408		0.010804*						
Τετάρτη	0.10244		0.001756**						
Πέμπτη	0.08688		0.008010**						
Παρασκευή	0.07098		0.032048*						
s(Θερμοκρασία)		7.175		0.087937.					
Θερμοκρασία (lag4)		1.000		0.000463***					
s(Σχετική υγρασία)					0.0521	8.61%	0.53516	6797.691	0.1360436
Σχετική υγρασία (lag2)									
s(Ταχύτητα ανέμου)									
s(Νέφωση)	7.572			0.175213					
Νέφωση (lag3)	1.354			0.787590					
s(Tmrt)	7.497			0.007739**					
Tmrt (lag4)	6.655			0.147005					
s(PET)									
PET (lag4)									
s(UTCI)	3.019			0.183931					
UTCI (lag4)									

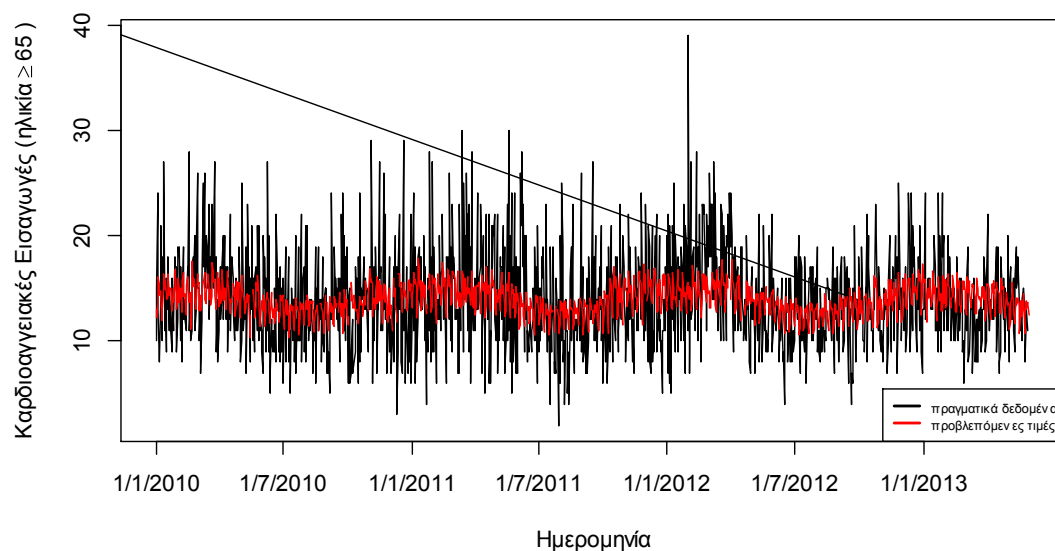


Σχήμα 9-21 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών ασθενών ηλικίας 36-64 ετών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό με χρονικές υστερήσεις

Οι καρδιαγγειακές εισαγωγές των ασθενών ηλικίας >65 ετών επηρεάζονται (>90% συσχέτιση) από τη θερμοκρασία, τη νέφωση και το δείκτη UTCI. Όμως, λαμβάνοντας υπόψη την εποχικότητα στην κατηγορία των ηλικιωμένων θα πρέπει να τονιστεί ότι τα περιστατικά των εισαγωγών τους αυξάνονται κατά 0.5% τη χειμερινή περίοδο, χωρίς όμως να είναι στατιστικά σημαντικά (Πίνακας 9-19). Μετά τον έλεγχο για την ημέρα της εβδομάδας την Τρίτη καταγράφονται οι περισσότερες καρδιαγγειακές εισαγωγές των ασθενών μεγάλης ηλικίας. Η εφαρμογή του μοντέλου της πολυμεταβλητής ανάλυσης ερμηνεύει το περίπου 8.2% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα.

Πίνακας 9-19 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές των ασθενών ηλικίας ≥ 65 ετών σε συνάρτηση του καιρού

Καρδιοαγγειακά ηλικία ≥ 65	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.071779		0.0174*						
Δευτέρα	0.228448		4.99e-15***						
Τρίτη	0.198579		1.45e-11***						
Τετάρτη	0.162151		4.47e-08***						
Πέμπτη	0.194693		3.76e-11***						
Παρασκευή	0.139389		3.11e-06***						
s(Θερμοκρασία)		4.351		8.18e-07***	0.0818	9.9%	0.52003	7262.861	0.2537027
s(Σχετική υγρασία)		2.363		0.1202					
s(Ταχύτητα ανέμου)									
s(Νέφωση)		6.543		0.0810.					
s(Tmrt)									
s(PET)									
s(UTCI)		1.001		0.0314*					

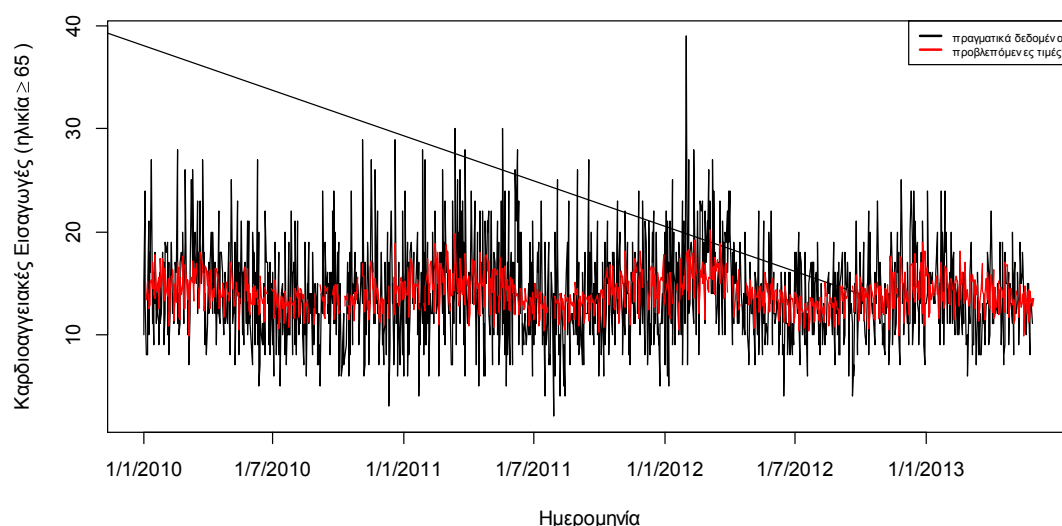


Σχήμα 9-22 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών ασθενών ηλικίας ≥ 65 ετών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό χωρίς χρονικές υστερήσεις

Υπολογίζοντας τις χρονικές υστερήσεις στην εφαρμογή της πολυμεταβλητής ανάλυσης οι ηλικιωμένοι επηρεάζονται από την υστέρηση της σχετικής υγρασίας, της νέφωσης και του PET. Το μοντέλο λαμβάνοντας υπόψη και τις χρονικές υστερήσεις ερμηνεύει το 10.4% της μεταβλητότητας των δεδομένων (Πίνακας 9-20).

Πίνακας 9-20 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές ασθενών ηλικίας ≥ 65 ετών σε συνάρτηση του καιρού με χρονικές υστερήσεις

Καρδιοαγγειακά ηλικία ≥ 65	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.06599		0.0357 *						
Δευτέρα	0.24494		6.47e-16 ***						
Τρίτη	0.19224		3.56e-10 ***						
Τετάρτη	0.16857		3.76e-08 ***						
Πέμπτη	0.19353		2.26e-10 ***						
Παρασκευή	0.14879		1.45e-06 ***						
s(Θερμοκρασία)		2.449		0.05269.					
Θερμοκρασία (lag4)		6.885		0.15650					
s(Σχετική υγρασία)		2.449		0.32027					
Σχετική υγρασία (lag2)		1.000		0.02358*	0.104	14.1%	0.48119	6865.074	0.1320593
s(Ταχύτητα ανέμου)									
s(Νέφωση)		6.964		0.12918					
Νέφωση (lag3)		7.486		0.00921**					
s(Tmrt)		1.000		0.28408					
Tmrt (lag4)		5.715		0.37827					
s(PET)									
PET (lag4)		3.670		0.03745*					
s(UTCI)		1.000		0.12484					
UTCI (lag4)		1.002		0.28648					



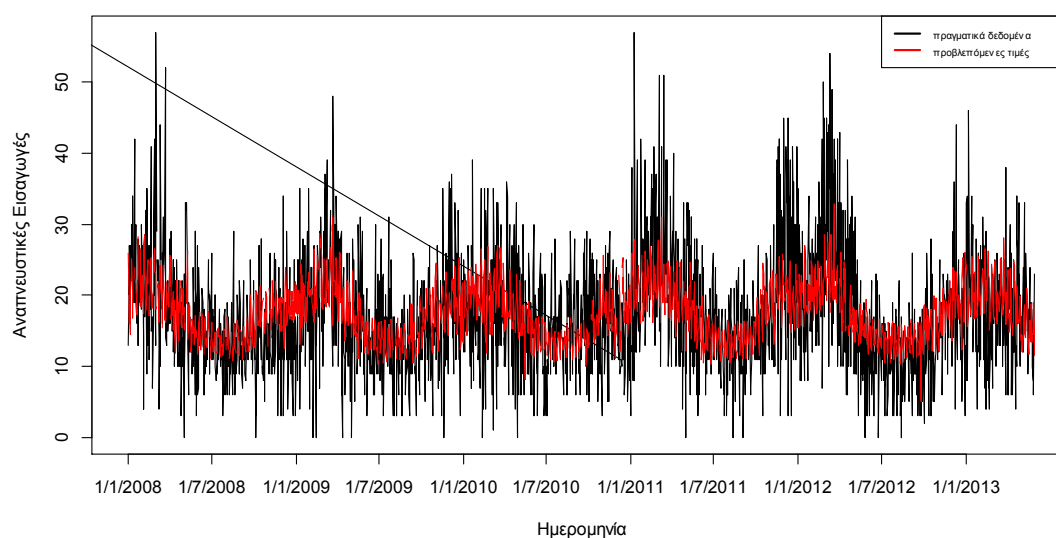
Σχήμα 9-23 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών ασθενών ηλικίας ≥ 65 ετών με καρδιολογικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό με χρονικές υστερήσεις

9.5.2 Αναπνευστικά δεδομένα

Εφαρμογή του μοντέλου της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τα αναπνευστικά δεδομένα εμφανίζει ισχυρή συσχέτιση (>99%) με την εποχικότητα, όπου κατά την ψυχρή περίοδο παρατηρείται αύξηση των συνολικών εισαγωγών κατά 11%. Λαμβάνοντας δε υπόψη και την ημέρα της εβδομάδας, διαπιστώνεται ότι Δευτέρα, Τρίτη και Τετάρτη καταγράφονται τα περισσότερα αναπνευστικά περιστατικά. Επιπλέον, ισχυρή συσχέτιση παρουσιάζεται με τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, την νέφωση και την T_{mrt} . Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τα αναπνευστικά προβλήματα ερμηνεύει το 18.6% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα (Πίνακας 9-21).

Πίνακας 9-21 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές συνολικών ασθενών σε συνάρτηση του καιρού

Αναπνευστικά Συνολικά	β	edf	$\Pr(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.12074		2.99e-08***						
Δευτέρα	0.31511		< 2e-16***						
Τρίτη	0.29530		< 2e-16***						
Τετάρτη	0.21522		< 2e-16***						
Πέμπτη	0.17596		4.67e-16***						
Παρασκευή	0.10078		4.73e-06***						
s(Θερμοκρασία)		8.625		1.47e-10***	0.186	20.3%	2.4335	15264.76	0.7000264
s(Σχετική υγρασία)		7.159		1.39e-07***					
s(Ταχύτητα ανέμου)		7.195		6.91e-08***					
s(Νέφωση)		4.030		8.91e-06***					
s(Tmrt)		8.824		5.55e-15***					
s(PET)		8.184		0.019*					
s(UTCI)									

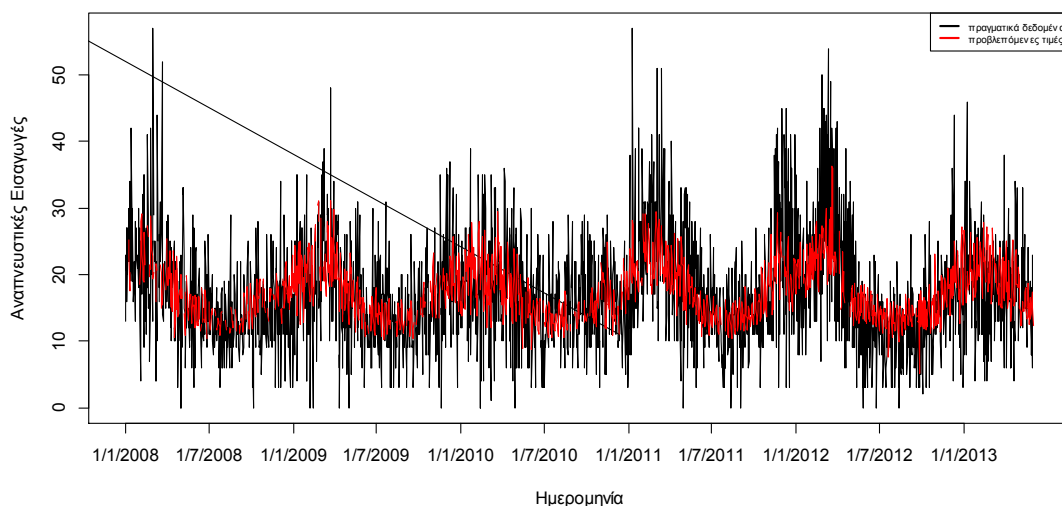


Σχήμα 9-24 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών συνολικών ασθενών με αναπνευστικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό χωρίς χρονικές υστερήσεις

Λαμβάνοντας υπόψη τις χρονικές υστερήσεις στην εφαρμογή της πολυμεταβλητής ανάλυσης, διαπιστώνεται ότι οι ίδιοι (βιο)μετεωρολογικοί παράγοντες, που επηρεάζουν τις αναπνευστικές εισαγωγές, παραμένουν (Πίνακες 9-21 και 9-22). Μάλιστα, οι χρονικές υστερήσεις της θερμοκρασίας, της ταχύτητας του ανέμου, της νέφωσης, της T_{mrt} και του PET είναι στατιστικά σημαντικές (95%). Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις συνολικές αναπνευστικές εισαγωγές ερμηνεύει το 21.5% της μεταβλητότητας των δεδομένων (Πίνακας 9-22).

Πίνακας 9-22 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές συνολικών ασθενών σε συνάρτηση του καιρού με χρονικές υστερήσεις

Αναπνευστικά Συνολικά	β	edf	$\Pr(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.11817		2.20e-07***						
Δευτέρα	0.30548		< 2e-16***						
Τρίτη	0.27729		< 2e-16***						
Τετάρτη	0.20144		< 2e-16***						
Πέμπτη	0.15930		2.86e-12***						
Παρασκευή	0.07905		0.000673***						
s(Θερμοκρασία)		8.295		0.006868**	0.215	24%	2.3175	13693.13	0.5833188
Θερμοκρασία (lag3)		4.017		9.05e-11***					
s(Σχετική υγρασία)		7.589		0.000103***					
s(Ταχύτητα ανέμου)		7.287		7.06e-08***					
Ταχύτητα ανέμου (lag3)		5.987		0.002725**					
s(Νέφωση)		1.002		0.000269***					
Νέφωση (lag2)		2.758		0.018687*					
s(Tmrt)		8.645		2.08e-11***					
Tmrt (lag3)		6.496		0.000136 ***					
s(PET)		8.253		0.011836 *					
PET (lag7)		8.372		3.05e-14 ***					
s(UTCI)									
UTCI (lag5)									

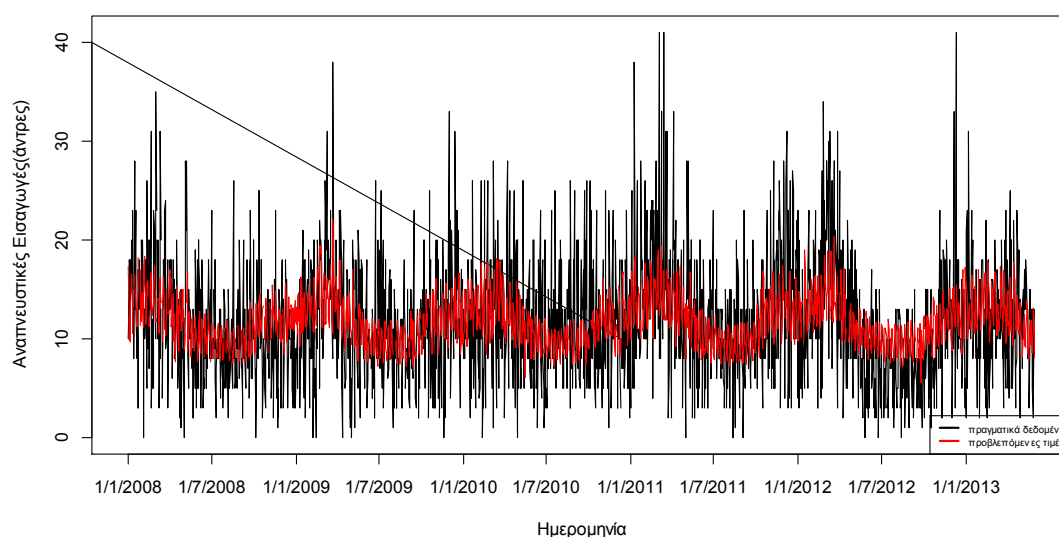


Σχήμα 9-25 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών συνολικών ασθενών με αναπνευστικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό με χρονικές υστερήσεις

Όσον αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές των αντρών βρέθηκε ισχυρή συσχέτιση (>95%) με τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, τη νέφωση, την T_{mrt} και τον δείκτη PET (Πίνακας 9-23). Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις συνολικές αναπνευστικές εισαγωγές ερμηνεύει το 13.8% της μεταβλητότητας των δεδομένων. Επιπλέον, φαίνεται ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση (>99%) με την ημέρα της εβδομάδας (Δευτέρα, Τρίτη, Τετάρτη), ενώ η εποχικότητα δείχνει ότι κατά τη ψυχρή περίοδο υπάρχει σημαντική αύξηση των εισαγωγών κατά 7.8%.

Πίνακας 9-23 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές αντρών σε συνάρτηση του καιρού

Αναπνευστικά άντρες	β	edf	$Pr(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.14301		9.32e-08***						
Δευτέρα	0.35676		< 2e-16***						
Τρίτη	0.34800		< 2e-16***						
Τετάρτη	0.27057		< 2e-16***						
Πέμπτη	0.20075		4.44e-14***						
Παρασκευή	0.10028		0.000229***						
ς (Θερμοκρασία)		7.605		1.64e-05***	0.138	15.4%	1.8351	13334.82	0.6414714
ς (Σχετική υγρασία)		6.972		0.00081***					
ς (Ταχύτητα ανέμου)		6.542		0.01717*					
ς (Νέφωση)		4.276		0.03613*					
ς (Tmrt)		8.456		9.98e-07***					
ς (PET)		8.227		0.00750**					
ς (UTCI)									

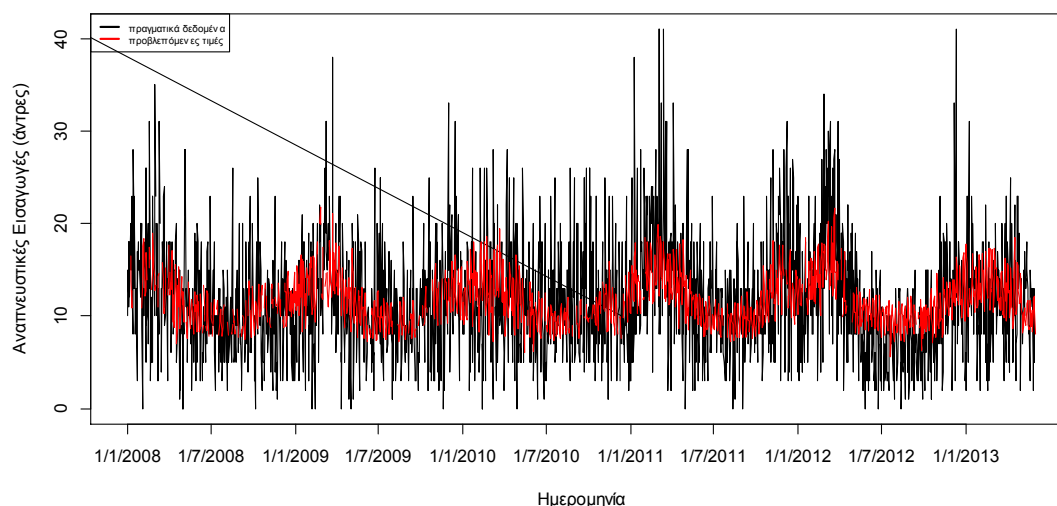


Σχήμα 9-26 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών αντρών με αναπνευστικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό χωρίς χρονικές υστερήσεις

Από την εφαρμογή της πολυμεταβλητής ανάλυσης, φαίνεται ότι όλοι οι (βιο)μετεωρολογικοί παράγοντες με τις χρονικές υστερήσεις εκτός από το δείκτη UTCI επηρεάζουν τον αριθμό των ανδρών που εισάγονται λόγω αναπνευστικών εισαγωγών. Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις συνολικές αναπνευστικές εισαγωγές ερμηνεύει το 15.1% της μεταβλητότητας των δεδομένων (Πίνακας 9-24). Ακόμα, μετά τον έλεγχο για την ημέρα της εβδομάδας και την εποχικότητα, ο αριθμός των εισαγωγών για αναπνευστικά προβλήματα αντρών αυξάνεται τη Δευτέρα, την Τρίτη και την Τετάρτη, ενώ δεν δείχνει να επηρεάζεται σημαντικά από την εποχή, παρόλο που υπάρχει αρνητική συσχέτιση με τη θερμή περίοδο.

Πίνακας 9-24 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές αντρών σε συνάρτηση του καιρού με χρονικές υστερήσεις

Αναπνευστικά άντρες	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.14463		2.49e-07***						
Δευτέρα	0.34780		< 2e-16***						
Τρίτη	0.33974		< 2e-16***						
Τετάρτη	0.24830		< 2e-16***						
Πέμπτη	0.19500		3.10e-12***						
Παρασκευή	0.08867		0.00202 **						
s(Θερμοκρασία)		7.391		0.000276***	0.151	17.8%	1.8012	12073.72	0.618867
Θερμοκρασία (lag3)		1.000		1.86e-06***					
s(Σχετική υγρασία)		7.132		0.002948**					
s(Ταχύτητα ανέμου)		6.816		0.000787***					
Ταχύτητα ανέμου (lag3)		5.003		0.031182*					
s(Νέφωση)		1.006		0.107545					
Νέφωση (lag2)		2.812		0.014667*					
s(Tmrt)		6.366		0.000205***					
Tmrt (lag3)		6.132		0.006036**					
s(PET)		8.494		0.000114***					
PET (lag7)		8.529		6.42e-06***					
s(UTCI)		1.000		0.063876.					
UTCI (lag5)									

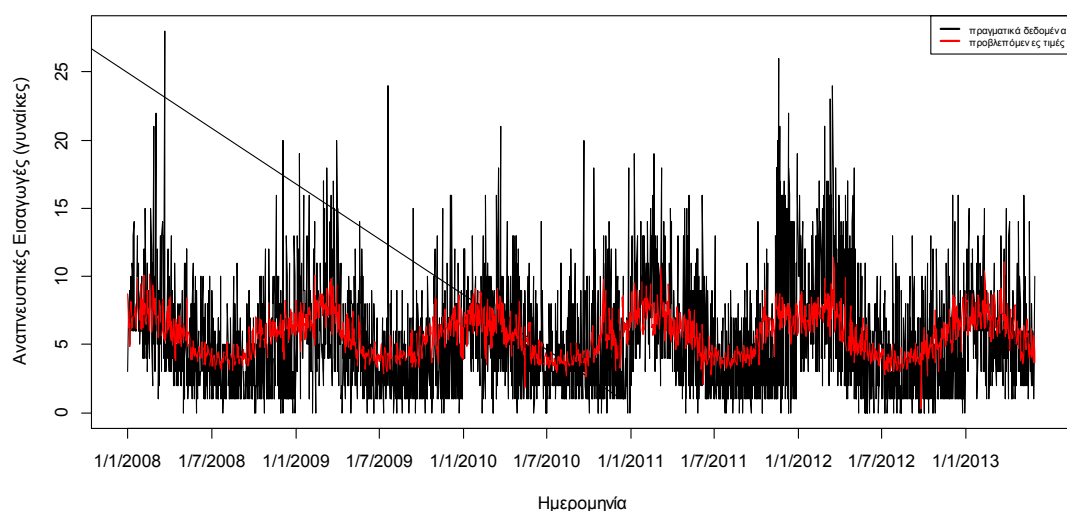


Σχήμα 9-27 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών αντρών με αναπνευστικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό με χρονικές υστερήσεις

Τέλος, ο αριθμός των γυναικών που εισάγονται λόγω αναπνευστικών προβλημάτων βρέθηκε ισχυρή συσχέτιση (>99%) με τη θερμοκρασία, τη σχετική υγρασία, την ταχύτητα του ανέμου, τη νέφωση και την T_{mrt} . Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις συνολικές αναπνευστικές εισαγωγές εξηγεί το 10.7% της μεταβλητότητας των δεδομένων. Επιπλέον φαίνεται ότι υπάρχει ισχυρή συσχέτιση (>99%) στην ημέρα της εβδομάδας (Δευτέρα και Τρίτη), ενώ η εποχικότητα δείχνει ότι τη κρύα περίοδο υπάρχει σημαντική αύξηση των εισαγωγών κατά 17% (Πίνακας 9-25).

Πίνακας 9-25 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές των γυναικών σε συνάρτηση του καιρού.

Αναπνευστικά γυναικές	β	edf	$\Pr(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.07855		0.035457*						
Δευτέρα	0.23096		2.21e-10***						
Τρίτη	0.19050		1.77e-07***						
Τετάρτη	0.09953		0.007658 **						
Πέμπτη	0.12417		0.000861***						
Παρασκευή	0.10171		0.006467**						
s(Θερμοκρασία)		8.906		< 2e-16***	0.107	12.4%	2.1647	12176.01	0.4242693
s(Σχετική υγρασία)		4.205		4.09e-05***					
s(Ταχύτητα ανέμου)		6.679		6.83e-06***					
s(Νέφωση)		1.002		1.88e-07***					
s(Tmrt)		8.817		6.25e-15***					
s(PET)									
s(UTCI)									

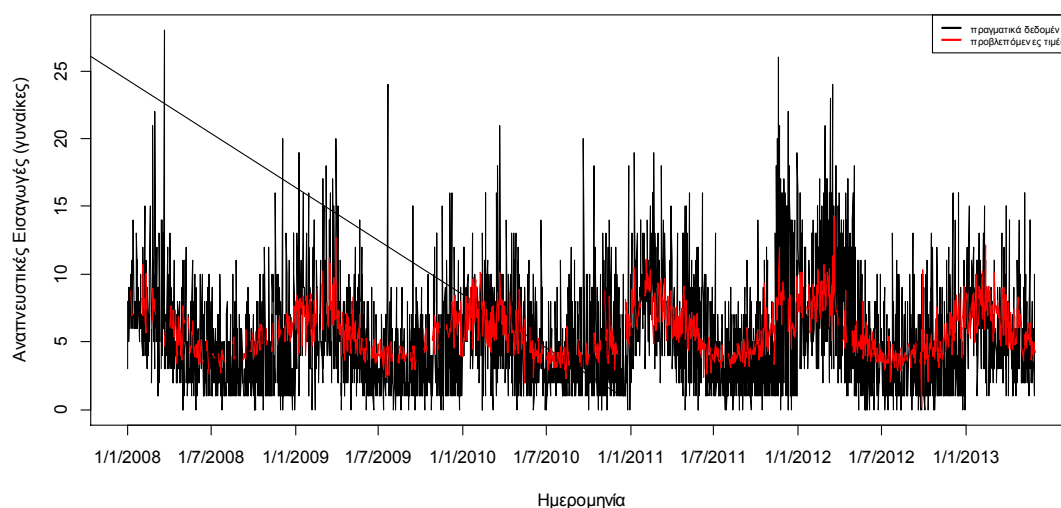


Σχήμα 9-28 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών γυναικών με αναπνευστικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό χωρίς χρονικές υστερήσεις.

Στην εφαρμογή της πολυμεταβλητής ανάλυσης, φαίνεται ότι οι (βιο)μετεωρολογικοί παράγοντες με χρονικές υστερήσεις είναι στατιστικά σημαντικοί για τις εισαγωγές γυναικών, με >99% είναι η θερμοκρασία, η νέφωση, η T_{mrt} και οι δείκτες PET και UTCI. Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης για το συνολικό αριθμό γυναικών που εισάγονται με αναπνευστικά προβλήματα ερμηνεύει το 13.8% της μεταβλητότητας των δεδομένων. Ακόμα, μετά τον έλεγχο για την ημέρα της εβδομάδας και την εποχικότητα, ο αριθμός των εισαγωγών για αναπνευστικά προβλήματα των γυναικών αυξάνεται τη Δευτέρα, ενώ κατά τη ψυχρή περίοδο εμφανίζεται αύξηση των εισαγωγών κατά 10.5% (Πίνακας 9-26).

Πίνακας 9-26 Μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές γυναικών σε συνάρτηση του καιρού με χρονικές υστερήσεις

Αναπνευστικά γυναίκες	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
Κυριακή	0.06982		0.081423.						
Δευτέρα	0.22927		4.42e-09***						
Τρίτη	0.14566		0.000214***						
Τετάρτη	0.10761		0.007213**						
Πέμπτη	0.09554		0.016786*						
Παρασκευή	0.08014		0.045007*						
s(Θερμοκρασία)		8.836		4.77e-07***					
Θερμοκρασία (lag3)		5.007		4.59e-06***					
s(Σχετική υγρασία)		4.623		0.00426**					
s(Ταχύτητα ανέμου)		6.674		6.19e-05***					
Ταχύτητα ανέμου (lag3)		4.534		0.24648	0.138	16.6%	2.0499	10599.77	0.1803749
s(Νέφωση)		1.000		1.27e-05***					
Νέφωση (lag2)		6.675		0.03099*					
s(Tmrt)		8.857		1.34e-14***					
Tmrt (lag3)		6.186		0.00172**					
s(PET)									
PET (lag7)		6.634		1.01e-07***					
s(UTCI)									
UTCI (lag5)		8.433		0.04427*					



Σχήμα 9-29 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών γυναικών με αναπνευστικά προβλήματα, σύμφωνα με το μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης για τον καιρό με χρονικές υστερήσεις

B. Μελλοντικές συνθήκες

Είναι ευρέως γνωστό, ότι τα περιστατικά των καρδιοαγγειακών και αναπνευστικών εισαγωγών επηρεάζονται από τις μελλοντικές κλιματολογικές και βιοκλιματολογικές συνθήκες. Συνακολούθως, έγινε προσπάθεια να ποσοτικοποιηθούν οι τυχούσες επιδράσεις του κλίματος στους αριθμούς εισαγωγών στα νοσοκομεία της περιοχής του Ηρακλείου. Οι προσομοιώσεις έγιναν από το περιοχικό μοντέλο για το κλίμα RAMCO-2 (KNMI) για το εγγύς μέλλον (2021-2050) και το απώτερο μέλλον (2071-2100) σε σχέση με την περίοδο αναφοράς (1961-1990), σύμφωνα με το σενάριο SRES A1B. Στη συνέχεια, λοιπόν παρουσιάζονται οι πιθανές μεταβολές στην κάθε κατηγορία των ιατρικών δεδομένων, υπολογίζοντας από την περίοδο αναφοράς τη μεταβολή των μέσων τιμών των κλιματολογικών και βιοκλιματολογικών παραμέτρων, εκείνων που είναι στατιστικά σημαντικοί. Συνεπώς, οι στατιστικά σημαντικοί παράμετροι είναι η θερμοκρασία, η T_{mrt} , ο PET και ο UTCI. Στον Πίνακα 9-27 παρατηρούνται οι μεταβολές τους για το εγγύς και το απώτερο μέλλον.

Πίνακας 9-27 Μεταβολές στο κοντινό (2021-2050) και το απώτερο (2071-2100) μέλλον των στατιστικά σημαντικών (βιο)κλιματολογικών παραμέτρων

Παράμετροι	2021-2050	2071-2100
Θερμοκρασία	1.29359	3.13118
T_{mrt}	0.91061	2.17836
PET	1.64813	3.86217
UTCI	1.32072	3.15649

Καρδιοαγγειακά δεδομένα

Όσον αφορά το εγγύς μέλλον (2021-2050) λαμβάνοντας υπόψη τις παραπάνω μεταβολές της θερμοκρασίας, της T_{mrt} και των δεικτών PET και UTCI, τα περιστατικά των συνολικών εισαγωγών για καρδιοαγγειακά προβλήματα είναι πιθανόν να μειωθούν επιπλέον κατά 1.3%, 0.46%, 1% και 0.53%, αντίστοιχα. Οι άντρες θα παρουσιάσουν μεγαλύτερη επιπλέον μείωση που θα φτάνει το 1.6%, 0.55%, 1% και 0.53% με την παραπάνω αύξηση των μεταβλητών θερμοκρασίας, T_{mrt} , PET και UTCI, αντίστοιχα. Επιπλέον, οι γυναίκες εμφανίζουν πιθανή αντίστοιχη μείωση κατά 1%, 0.46%, 1% και 0.53%. Ακολούθως, οι ηλικιακές τάξεις εμφανίζουν μείωση στις εισαγωγές με μεγαλύτερη αυτή των ασθενών με ηλικία ≤ 35 ετών, όταν η θερμοκρασία στο εγγύς μέλλον αυξηθεί (περίπου 1.3°C) κατά 2.33%. Μικρότερη μείωση των εισαγωγών των νέων κατά 0.9%, 1.6% και 1.1% πιθανό να καταγραφεί με την αύξηση των T_{mrt} , PET και UTCI κατά 0.9°C, 1.7°C και 1.3°C, αντίστοιχα (Πίνακας 9-27). Αυτό μπορεί να οφείλεται στο ότι η τάξη αυτή δεν είναι τόσο συχνή με αποτέλεσμα να επηρεάζονται περισσότερο από τις μελετηθείσες παραμέτρους. Στην επόμενη ηλικιακή τάξη (ηλικίες από 36 έως 64 ετών) παρουσιάζεται μεγαλύτερη επιπλέον μείωση των καρδιοαγγειακών εισαγωγών με την πτώση της θερμοκρασίας και του PET, όπου θα είναι πιθανό 1.3% και 1.2%, αντίστοιχα. Ακόμα η T_{mrt} και ο δείκτης UTCI προκαλούν μείωση των περιστατικών αυτών κατά 0.55% και 0.53%, αντίστοιχα. Μπορεί να λεχθεί ότι οι ηλικιωμένοι επηρεάζονται περισσότερο από την αύξηση της θερμοκρασίας, το ποσοστό εισαγωγής των οποίων φαίνεται να μειώνεται κατά 1.2%. Οι υπόλοιποι παράγοντες της T_{mrt} , PET και UTCI προξενούν μείωση των περιστατικών των καρδιοαγγειακών εισαγωγών των ηλικιωμένων κατά 0.36%, 0.66% και 0.4%, αντίστοιχα.

Για το απώτερο μέλλον (2071-2100) πρέπει να επισημανθεί ότι παρουσιάζεται περαιτέρω αύξηση των παραμέτρων της θερμοκρασίας, της T_{mrt} , του PET και του UTCI περίπου κατά 3.1°C, 2.2°C, 3.9°C και 3.2°C, αντίστοιχα. Η αύξηση στη θερμοκρασία, στην T_{mrt} και στους δείκτες PET και UTCI, όπως παρουσιάζεται στον Πίνακας 9-27 θα έχει ως αποτέλεσμα την επιπλέον μείωση των εισαγωγών κατά 3.1%, 1.1%, 1.9% και 1.3%, αντίστοιχα. Οι άντρες φαίνεται να μειώνονται περισσότερο, αφού η αύξηση της θερμοκρασίας (κατά 3.1°C) οδηγεί στην επιπλέον μείωση των περιστατικών τους κατά 3.8%. Ενώ, μείωση των περιστατικών κατά 1.3%, 1% και 1.3% είναι πιθανό να καταγραφεί με αύξηση των T_{mrt} , PET και UTCI κατά 2.2°C, 3.9°C και 3.2°C, αντίστοιχα. Όσον αφορά τις γυναίκες, αυτές εμφανίζουν με τις ίδιες παραπάνω αυξήσεις των παραμέτρων μείωση κατά 2.5%, 1.1%, 1.5% και 1.3%, αντίστοιχα. Οι νέοι ηλικίας ≤ 35 ετών εμφανίζουν επιπλέον μείωση στα περιστατικά κατά 5.6% με την αύξηση της θερμοκρασίας. Ακόμα, αύξηση των T_{mrt} , PET και UTCI είναι δυνατό να προκαλέσει αντίστοιχα πτώση κατά 2.8%, 3.9% και 2.5% στις εισαγωγές της μικρότερης ηλικιακής ομάδας. Οι ασθενείς ηλικίας 36 έως 64 ετών εμφανίζουν κατά αντιστοιχία μικρότερη μείωση, δηλαδή 3.1%, 1.3%, 2.7% και 1.3%. Τέλος, οι ηλικιωμένοι (≥ 65 ετών) φαίνεται να μην παρουσιάζουν μεγάλη μείωση στις εισαγωγές τους με τη μελλοντική αύξηση της θερμοκρασίας, T_{mrt} , PET και UTCI, η οποία μπορεί να είναι 2.8%, 0.9%, 1.5% και 0.9%, αντίστοιχα.

Αναπνευστικά δεδομένα

Τα συνολικά περιστατικά που αφορούν τα αναπνευστικά για το εγγύς μέλλον 2021-2050, παρουσιάζουν μεγαλύτερη μείωση σε σύγκριση με τα καρδιοαγγειακά. Συγκεκριμένα, λαμβάνοντας το υπόψη το σενάριο φαίνεται ότι οι εισαγωγές πιθανόν να μειωθούν επιπλέον κατά 3.1% με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.3°C. Παρόμοια, για τις αντίστοιχες μεταβολές των παραμέτρων της T_{mrt} , του PET και του UTCI, είναι δυνατό η μείωση να φτάσει το 1%, 2.1% και 1.3%, αντίστοιχα. Οι άντρες ασθενείς δεν παρουσιάζουν μεγάλη μείωση αντίστοιχα για τη μεταβολή της θερμοκρασίας, της T_{mrt} και των δεικτών PET και UTCI, η οποία πιθανότατα θα είναι 2.6%, 0.7%, 2.1% και 1.1%, αντίστοιχα. Αντίθετα, οι γυναίκες δείχνουν να μειώνονται επιπλέον στις εισαγωγές τους κατά 4.1%, 1.4%, 3% και 1.8% με τις παραπάνω μεταβολές-αυξήσεις των (βιο)κλιματολογικών παραμέτρων.

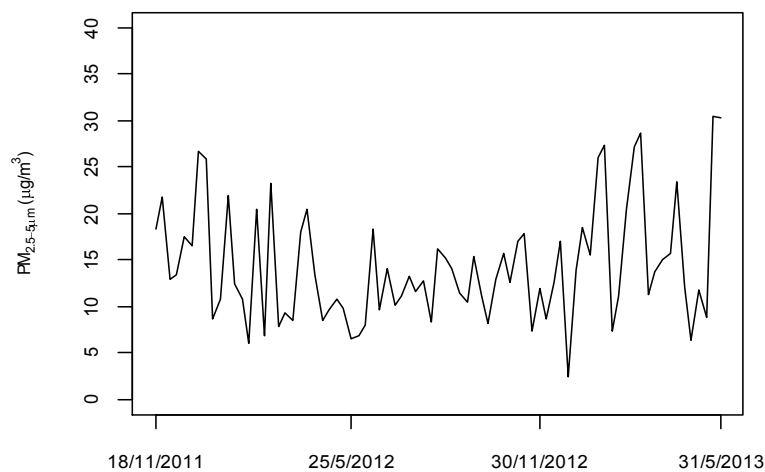
Τέλος, οι προβλέψεις για το απώτερο μέλλον δείχνουν σημαντική μείωση των εισαγωγών λόγω αναπνευστικών προβλημάτων αφού αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3.1°C είναι πιθανόν να προκαλέσει επιπλέον μείωση κατά 7.5%. Επιπρόσθετα, αύξηση 2.2°C στην T_{mrt} μπορεί να προκαλέσει μείωση κατά 2.4% και αύξηση 3.9°C και 3.2°C των δεικτών PET και UTCI η οποία οδηγεί περίπου σε επιπλέον μείωση κατά 5% και 2.5%, αντίστοιχα. Όσον αφορά τους άντρες, η αύξηση στο απώτερο μέλλον της θερμοκρασίας, της T_{mrt} , του PET και του UTCI θα έχει ως συνέπεια την επιπλέον μείωση των ημερήσιων αναπνευστικών περιστατικών τους κατά 6.3%, 1.7%, 5% και 2.5%, αντίστοιχα. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι οι εισαγωγές των γυναικών μειώνονται σημαντικά και πιθανόν να φτάσουν 10% λόγω της μελλοντικής αύξησης της θερμοκρασίας. Επιπρόσθετα, αύξηση στην T_{mrt} και στους δείκτες PET και UTCI είναι δυνατό να οδηγήσει σε επιπλέον μείωση των περιστατικών κατά 3.3%, 7% και 4.4%, αντίστοιχα.

10 Επιπτώσεις της σωματιδιακής ρύπανσης στην υγεία στο Ηράκλειο Κρήτης

10.1 Δεδομένα αέρια ρύπανσης

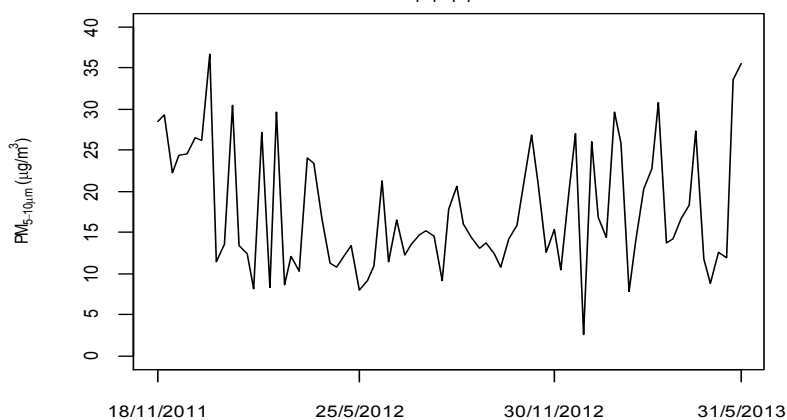
Στη συνέχεια της ανάλυσης έγινε προσπάθεια συσχέτισης των δεδομένων της αέριας ρύπανσης από τους δύο παθητικούς δειγματολήπτες στο Ηράκλειο παίρνοντας τη μέση τιμή της ρύπανσης σε κάθε τάξη μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων. Τα δεδομένα της ρύπανσης αφορούν την περίοδο 18/11/2011 έως 31/05/2013, για την ίδια περίοδο λήφθηκαν τα ιατρικά και τα κλιματικά δεδομένα παίρνοντας τη μέση τιμή της εκάστοτε βδομάδας ώστε να είναι συγκρίσιμα με τα δεδομένα της ρύπανσης.

Στο Σχήμα 10-1 παρουσιάζεται η χρονοσειρά της κάθε τάξης μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων μέσα στην περίοδο μελέτης παρατηρώντας ότι κατά την άνοιξη του 2012 και 2013, καταγράφονται οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις (φαινόμενο μεταφοράς σκόνης – Κεφ.7). Τα σωματίδια μεγέθους με αεροδυναμική διάμετρο <20μm εμφανίζουν μεγαλύτερες συγκεντρώσεις.



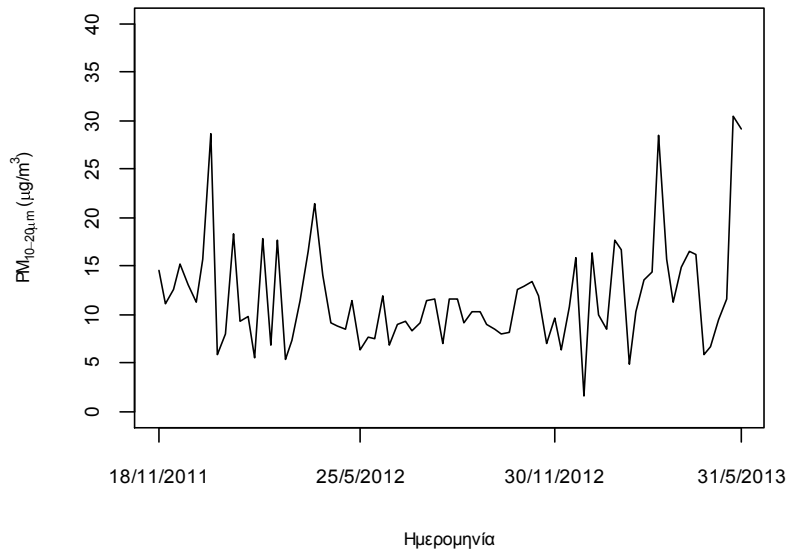
Ημερομηνία

(α)

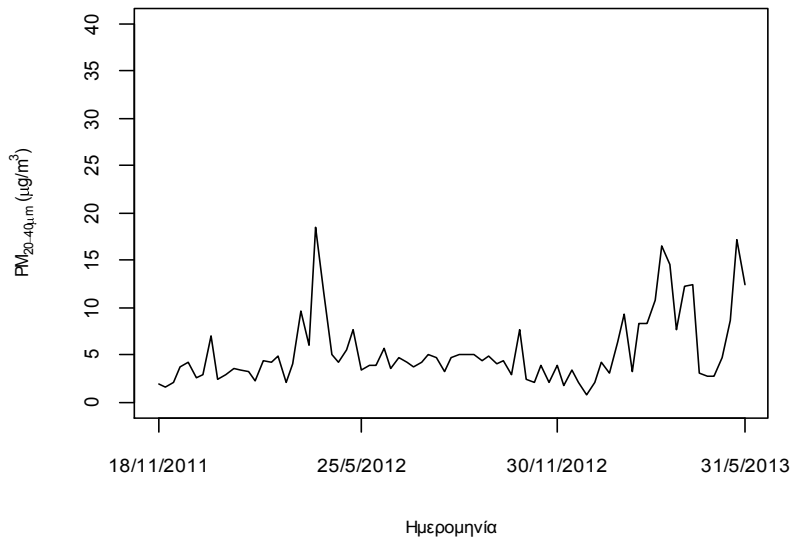


Ημερομηνία

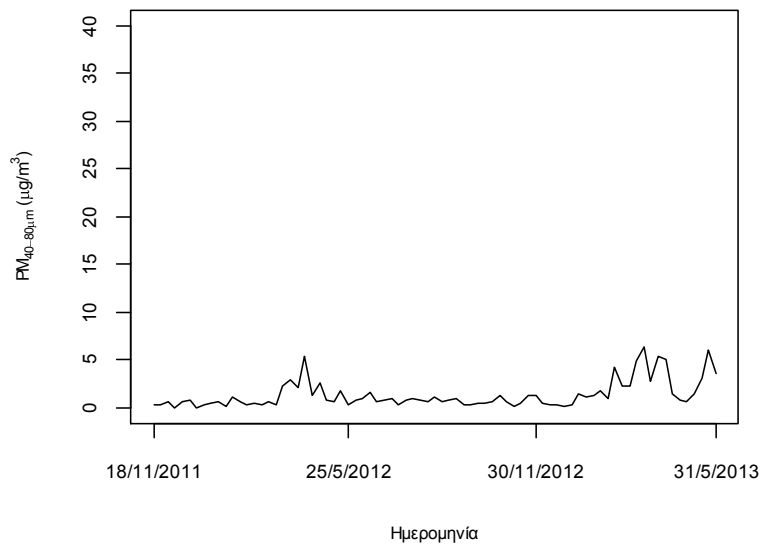
(β)



(γ)



(δ)



(ε)

Σχήμα 10-1 Χρονοσειρά σωματιδιακής ρύπανσης στο Ηράκλειο Κρήτης, για την περίοδο 18/01/2011 έως 31/05/2013 για τα $PM_{2.5-5}$ (α), PM_{5-10} (β), PM_{10-20} (γ), PM_{20-40} (δ) και PM_{40-80} (ε)

10.2 Επιδημιολογικά δεδομένα κατά την περίοδο καταγραφής της αέριας ρύπανσης

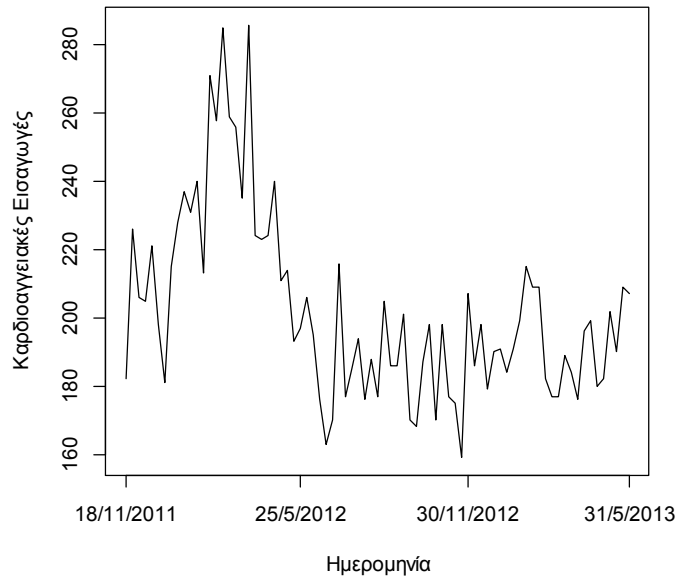
10.2.1 Καρδιοαγγειακά δεδομένα

Στο σύνολο της περιόδου μελέτης (79 εβδομάδες) κατεγράφησαν 15970 καρδιοαγγειακά περιστατικά από τα δύο κύρια νοσοκομεία της πόλης του Ηρακλείου, εκ των οποίων τα 9053 αφορούν άντρες και τα 6917 γυναίκες. Επίσης, από το σύνολο των εισαγωγών οι 1792 αναφέρονται σε ασθενείς ηλικίας ≤ 35 , οι 6418 σε ασθενείς ηλικίας μεταξύ 36-64 και οι 7705 σε ασθενείς ηλικίας ≥ 65 . Στον Πίνακα 10-1 παρουσιάζονται συνοπτικά τα στατιστικά στοιχεία για τις ημερήσιες εισαγωγές των καρδιοαγγειακών προβλημάτων (ανά φύλο και ηλικία), της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου, της νεφοκάλυψης, της μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας (T_{mrt}), της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET), του παγκόσμιου θερμικού κλιματικού δείκτη (UTCI) και της κάθε τάξης μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων μεταξύ της 18^{ης} Νοεμβρίου 2011 έως 31^{ης} Μαΐου 2013.

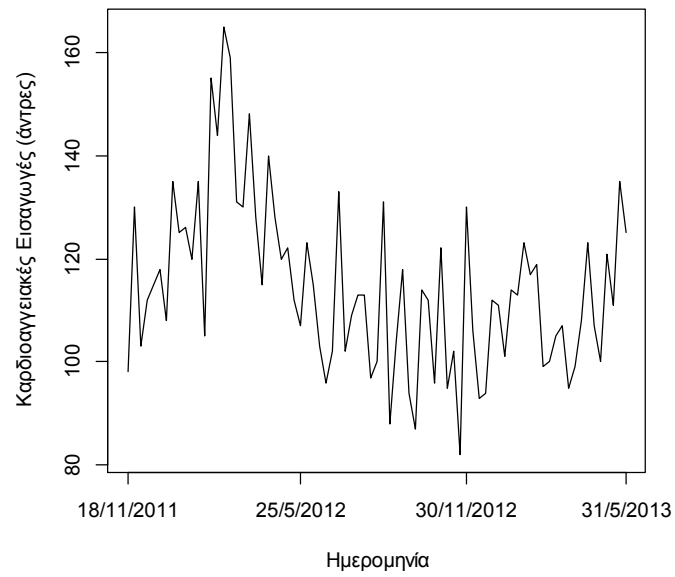
Πίνακας 10-1 Στατιστικές παράμετροι των καρδιοαγγειακών εισαγωγών, του φύλου και της ηλικίας των ασθενών, των μετεωρολογικών και βιομετεωρολογικών παραμέτρων για τη χρονική περίοδο 18/11/2010 έως 31/05/2013

	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Εύρος
καρδιοαγγειακά	202.15	27.15	198.00	159.00	286.00	127.00
άντρες	114.59	16.58	113.00	82.00	165.00	83.00
γυναίκες	87.56	14.69	83.00	63.00	138.00	75.00
ηλικία<35	22.68	7.67	23.00	7.00	41.00	34.00
36<ηλικία<64	81.24	13.07	80.00	46.00	120.00	74.00
ηλικία>65	97.53	14.78	95.00	69.00	134.00	65.00
PM_{2.5-5}	13.16	6.65	11.74	2.38	30.47	28.09
PM₅₋₁₀	15.78	7.84	13.83	2.57	36.64	34.07
PM₁₀₋₂₀	11.00	6.00	9.72	1.58	30.46	28.88
PM₂₀₋₄₀	5.25	3.82	4.25	0.75	18.54	17.79
PM₄₀₋₈₀	1.32	1.49	0.75	0.00	6.32	6.32
θερμοκρασία	20.56	5.65	19.80	9.97	31.20	21.23
σχετική υγρασία	70.90	8.75	72.71	47.71	86.83	39.12
ταχύτητα ανέμου	4.99	1.15	5.06	2.71	8.14	5.43
νέφωση	3.45	1.92	3.86	0.00	6.71	6.71
T_{mrt}	43.27	7.31	44.39	28.98	54.47	25.49
PET	21.35	7.95	19.30	7.50	36.43	28.93
UTCI	22.02	7.75	20.70	6.21	35.60	29.39

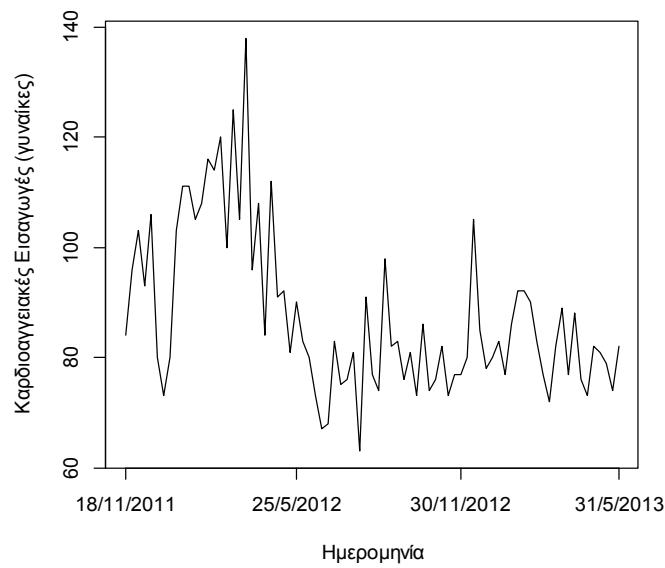
Στο Σχήμα 10-2 παρουσιάζονται οι χρονοσειρές των καρδιοαγγειακών εισαγωγών συνολικά και ανάλογα με τα χαρακτηριστικά (φύλο και ηλικία) των ασθενών κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης.



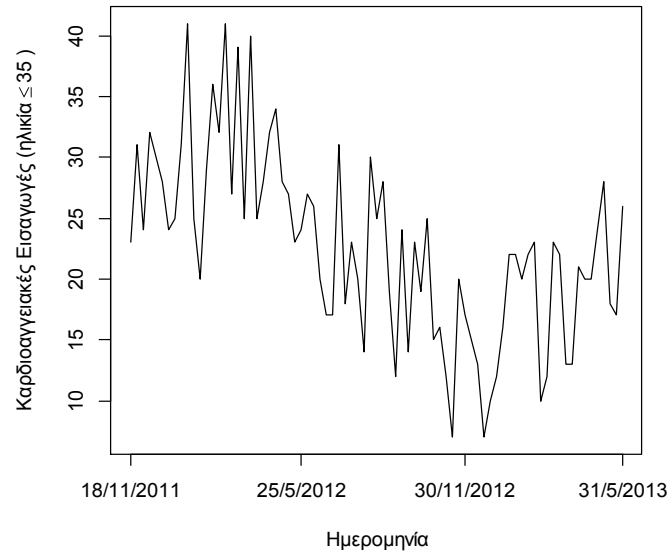
(α)



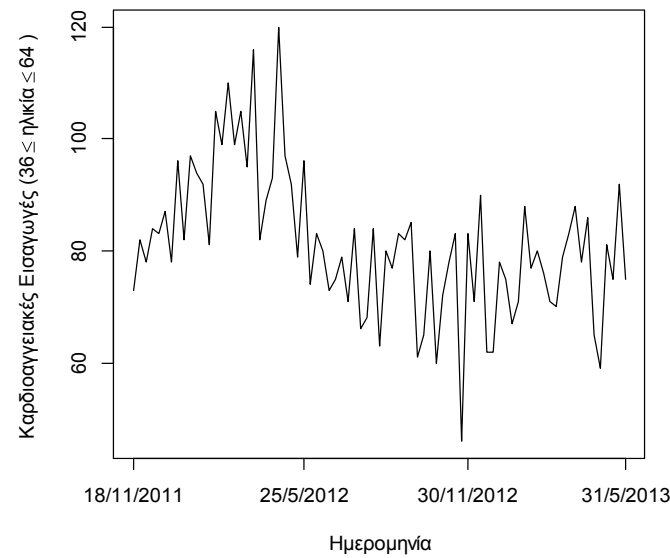
(β)



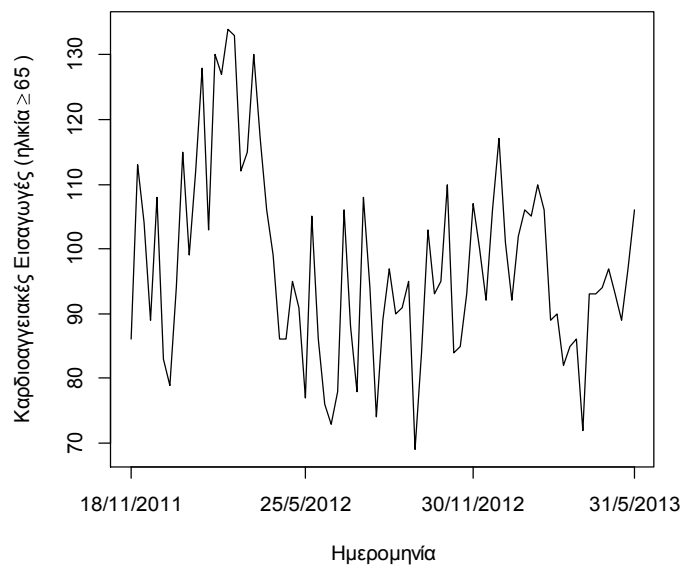
(γ)



(δ)



(ε)



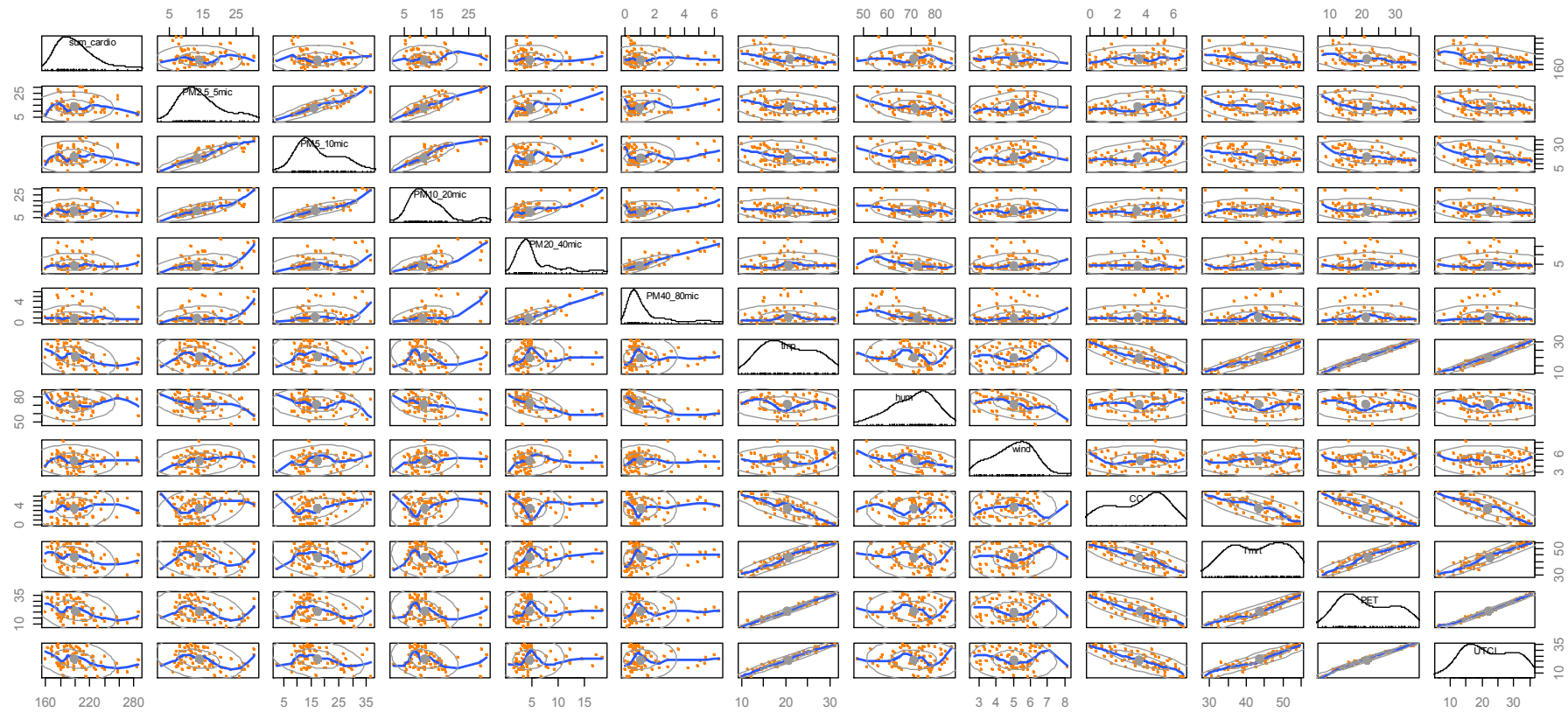
(στ)

Σχήμα 10-2 Χρονοσειρές των ασθενών με καρδιοαγγειακά προβλήματα: σύνολο ασθενών (α), άντρες (β), γυναίκες (γ), ασθενείς ηλικίας ≤ 35 , ασθενείς ηλικίας 36-64 (ε) και ασθενείς ηλικίας ≥ 65 (στ).

Πίνακας 10-2 Συντελεστής συσχέτισης (Spearman) μεταξύ των μεταβλητών των καρδιοαγγειακών εισαγωγών, των (βιο)μετεωρολογικών παραμέτρων και της αέριας ρύπανσης

	Συνολικά καρδιοαγγειακά	Άντρες	γυναίκες	ηλικία≤35	35<ηλικία≤64	ηλικία≥65	PM _{2,5-5}	PM ₅₋₁₀	PM ₁₀₋₂₀	PM ₂₀₋₄₀	PM ₄₀₋₈₀	Θερμοκρασία	Σχετική υγρασία	Ταχύτητα ανέμου	Νέφωση	Tmrt	PET
άντρες	0.869 ^{***}																
γυναίκες	0.761 ^{***}	0.381 ^{***}															
ηλικία<35	0.712 ^{***}	0.622 ^{***}	0.582 ^{***}														
35<ηλικία<65	0.699 ^{***}	0.579 ^{***}	0.581 ^{***}	0.513 ^{***}													
ηλικία>65	0.716 ^{***}	0.667 ^{***}	0.518 ^{***}	0.320 ^{**}	0.155												
PM _{2,5-5}	-0.118	-0.061	-0.190*	-0.217*	-0.021	-0.107											
PM ₅₋₁₀	-0.051	-0.019	-0.137	-0.172	-0.009	-0.035	0.936 ^{***}										
PM ₁₀₋₂₀	0.033	0.059	-0.062	-0.128	0.060	-0.001	0.828 ^{***}	0.878 ^{***}									
PM ₂₀₋₄₀	0.011	0.096	-0.088	-0.043	0.130	-0.142	0.333 ^{**}	0.215*	0.494 ^{***}								
PM ₄₀₋₈₀	-0.008	0.055	-0.096	-0.080	-0.028	-0.082	0.172	0.058	0.266*	0.706 ^{***}							
Θερμοκρασία	-0.390^{***}	-0.225*	-0.439^{***}	-0.140	-0.266*	-0.396^{***}	-0.203*	-0.226*	-0.160	0.236*	0.176						
Σχετική υγρασία	0.013	-0.079	0.156	0.101	0.118	-0.009	-0.278*	-0.151	-0.296 ^{**}	-0.530 ^{***}	-0.693 ^{***}	-0.164					
Ταχύτητα ανέμου	-0.118	-0.005	-0.184	-0.235*	-0.085	0.045	0.310 ^{**}	0.267*	0.211*	0.207*	0.132	0.135	-0.356 ^{**}				
Νέφωση	0.127	-0.003	0.206*	-0.172	0.012	0.292^{**}	0.290 ^{**}	0.342 ^{**}	0.284*	-0.167	-0.090	-0.800 ^{***}	0.124	-0.055			
Tmrt	-0.317^{**}	-0.163	-0.360^{**}	-0.046	-0.171	-0.375^{***}	-0.179	-0.230*	-0.128	0.349 ^{**}	0.222*	0.947 ^{***}	-0.185	0.127	-0.789 ^{***}		
PET	-0.378^{***}	-0.221	-0.422^{***}	-0.113	-0.262*	-0.390^{***}	-0.244*	-0.266*	-0.184	0.221*	0.157	0.987 ^{***}	-0.141	0.030	-0.805 ^{***}	0.956 ^{***}	
UTCI	-0.359^{**}	-0.213	-0.402^{***}	-0.087	-0.256*	-0.382^{***}	-0.272*	-0.276*	-0.195	0.187	0.121	0.976 ^{***}	-0.079	-0.027	-0.808 ^{***}	0.941 ^{***}	0.993 ^{***}

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001



Σχήμα 10-3 Διαγράμματα διασποράς για εξαρτημένη (καρδιοαγγειακές εισαγωγές) και ανεξάρτητες μεταβλητές (κλιματολογικές-βιοκλιματολογικές-αέριας ρύπανσης) (η ομαλή γραμμή spline δηλώνει τη καμπυλότητα στο κάθε διάγραμμα)

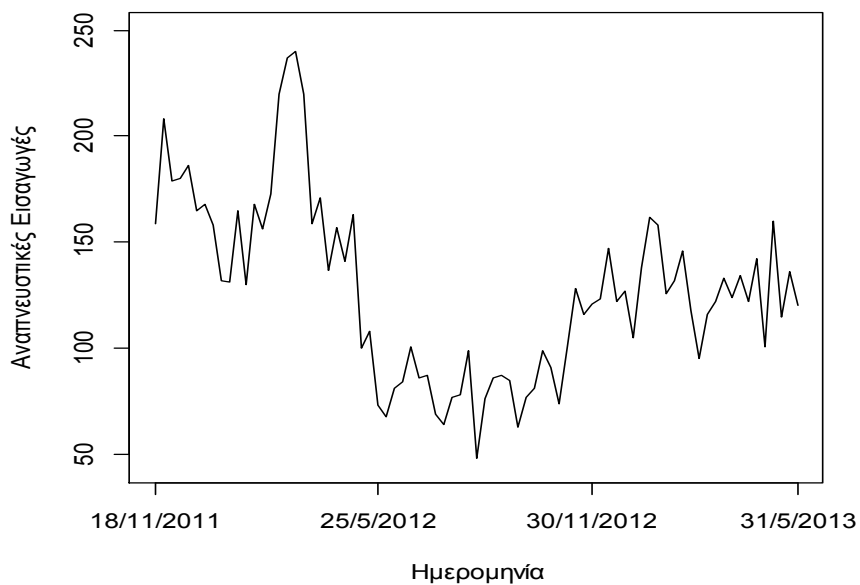
10.2.2 Αναπνευστικά δεδομένα

Στο σύνολο της περιόδου μελέτης (79 εβδομάδες) καταγράφηκαν 10035 αναπνευστικά περιστατικά από τα δύο κύρια νοσοκομεία της πόλης του Ηρακλείου, εκ των οποίων τα 6530 αφορούν άντρες και τα 3505 γυναίκες. Τα συνοπτικά στατιστικά στοιχεία για τις ημερήσιες εισαγωγές λόγω αναπνευστικών προβλημάτων ανά φύλο, της θερμοκρασίας, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου, της νεφοκάλυψης, της μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας (T_{mrt}), της φυσιολογικά ισοδύναμης θερμοκρασίας (PET), του παγκόσμιου θερμικού κλιματικού δείκτη (UTCI) και της κάθε τάξης μεγέθους των αιωρούμενων σωματιδίων μεταξύ της 18^{ης} Νοεμβρίου 2011 έως 31^{ης} Μαΐου 2013, εμφανίζονται στον Πίνακα 10-3.

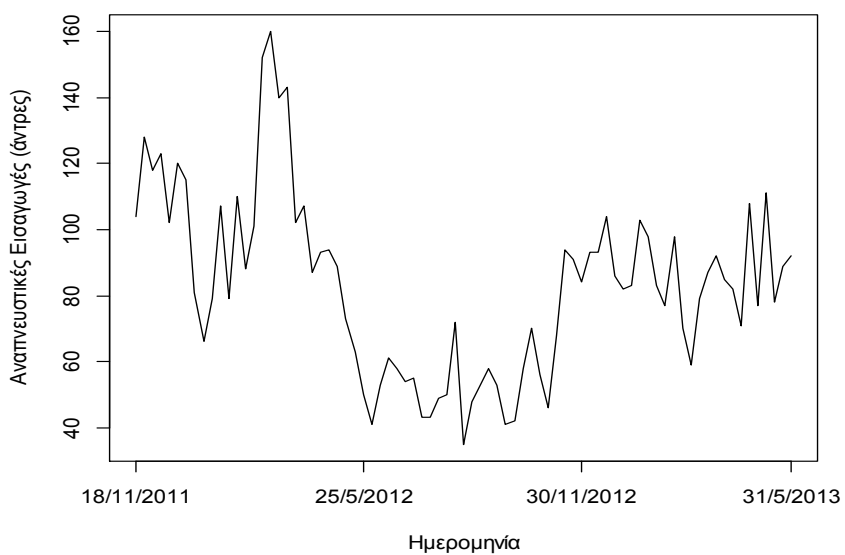
Πίνακας 10-3 Στατιστικές παράμετροι των καρδιοαγγειακών εισαγωγών, του φύλου και της ηλικίας των ασθενών, των μετεωρολογικών και βιομετεωρολογικών παραμέτρων για τη χρονική περίοδο 18/11/2010 έως 31/05/2013

	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Διάμεσος	Ελάχιστη	Μέγιστη	Εύρος
Αναπνευστικά	127.03	42.13	124.00	48.00	240.00	192.00
άντρες	82.66	27.30	83.00	35.00	160.00	125.00
γυναίκες	44.37	18.16	41.00	13.00	100.00	87.00
PM_{2.5-5}	13.16	6.65	11.74	2.38	30.47	28.09
PM₅₋₁₀	15.78	7.84	13.83	2.57	36.64	34.07
PM₁₀₋₂₀	11.00	6.00	9.72	1.58	30.46	28.88
PM₂₀₋₄₀	5.25	3.82	4.25	0.75	18.54	17.79
PM₄₀₋₈₀	1.32	1.49	0.75	0.00	6.32	6.32
θερμοκρασία	20.56	5.65	19.80	9.97	31.20	21.23
σχετική υγρασία	70.90	8.75	72.71	47.71	86.83	39.12
ταχύτητα ανέμου	4.99	1.15	5.06	2.71	8.14	5.43
νέφωση	3.45	1.92	3.86	0.00	6.71	6.71
T_{mrt}	43.27	7.31	44.39	28.98	54.47	25.49
PET	21.35	7.95	19.30	7.50	36.43	28.93
UTCI	22.02	7.75	20.70	6.21	35.60	29.39

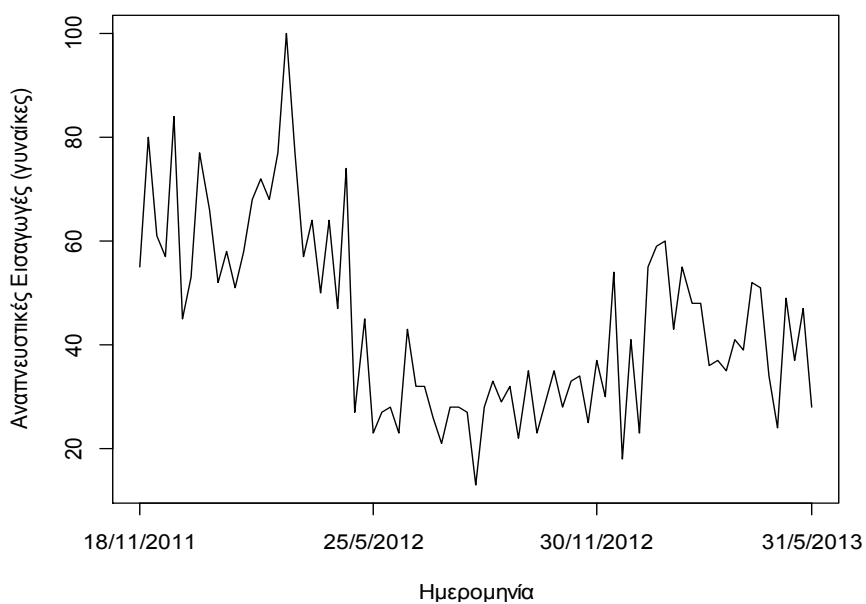
Στο Σχήμα 10-4 απεικονίζονται οι χρονοσειρές των εισαγωγών λόγω αναπνευστικών προβλημάτων, αλλά και του κάθε φύλου ξεχωριστά για την περίοδο 18/11/2010 έως 31/05/2013



(α)



(β)



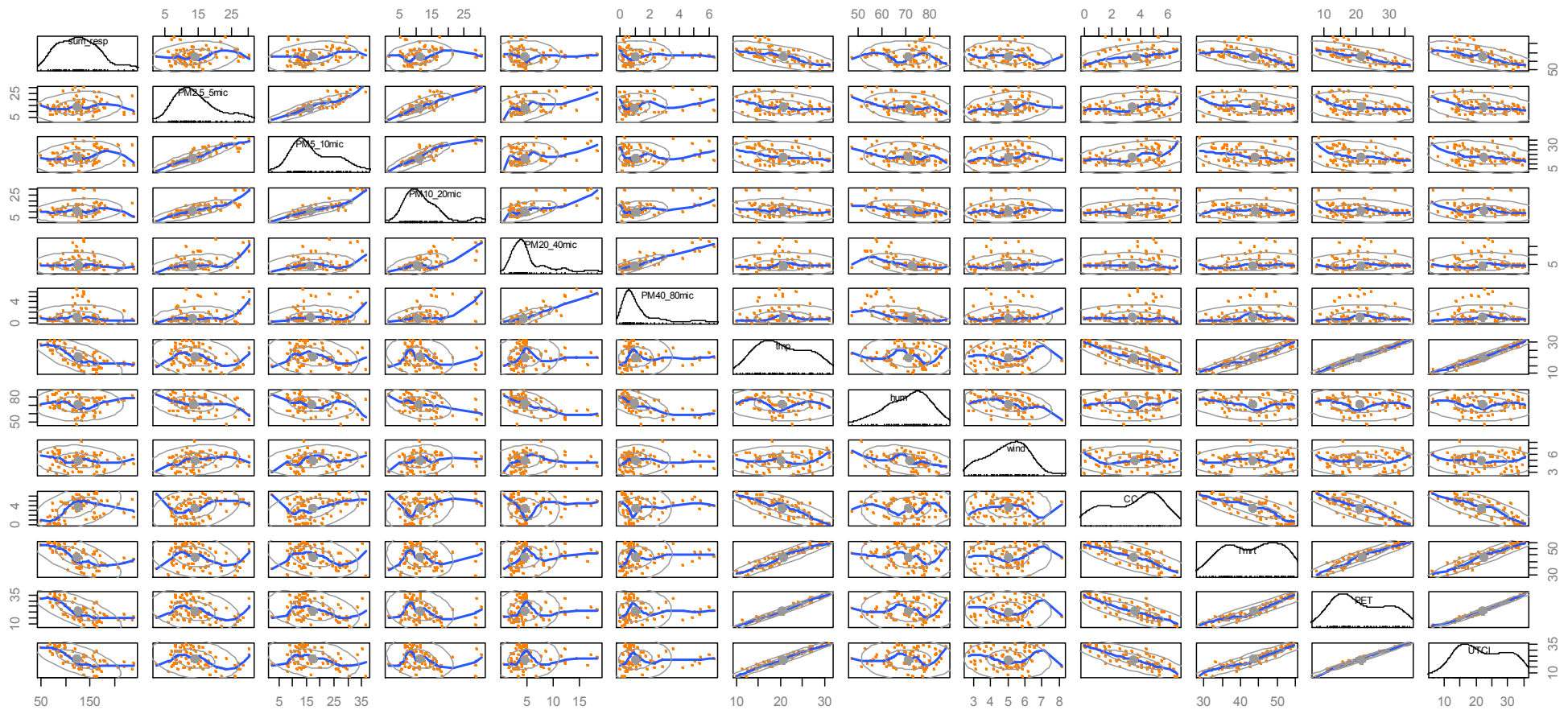
(γ)

Σχήμα 10-4 Χρονοσειρές των εισαγωγών με καρδιοαγγειακά προβλήματα: σύνολο ασθενών (α), άντρες (β) και γυναίκες (γ).

Πίνακας 10-4 Συντελεστής συσχέτισης (Spearman) μεταξύ των μεταβλητών των αναπνευστικών εισαγωγών, των (βιο)μετεωρολογικών παραμέτρων και της αέριας ρύπανσης

	Συνολικά Αναπνευστικά	άντρες	γυναίκες	PM _{2.5-5}	PM ₅₋₁₀	PM ₁₀₋₂₀	PM ₂₀₋₄₀	PM ₄₀₋₈₀	Θερμοκρασία	Σχετική υγρασία	Ταχύτητα ανέμου	Νέφωση	Tmrt	PET
άντρες	0.935 ^{***}													
γυναίκες	0.884 ^{***}	0.680 ^{***}												
PM _{2.5-5}	0.173	0.164	0.158											
PM ₅₋₁₀	0.200	0.211	0.154	0.936 ^{***}										
PM ₁₀₋₂₀	0.191	0.195	0.163	0.828 ^{***}	0.878 ^{***}									
PM ₂₀₋₄₀	-0.130	-0.175	-0.016	0.333 ^{**}	0.215	0.494 ^{***}								
PM ₄₀₋₈₀	-0.044	-0.047	0.007	0.172	0.058	0.266 [*]	0.706 ^{***}							
Θερμοκρασία	-0.736 ^{***}	-0.679 ^{***}	-0.647 ^{***}	-0.203	-0.226 [*]	-0.160	0.236 [*]	0.176						
Σχετική υγρασία	-0.027	-0.016	-0.066	-0.278 [*]	-0.151	-0.296 ^{**}	-0.530 ^{***}	-0.693 ^{***}	-0.164					
Ταχύτητα ανέμου	-0.133	-0.189	-0.036	0.310 ^{**}	0.267 [*]	0.211	0.207	0.132	0.135	-0.356 ^{**}				
Νέφωση	0.436 ^{***}	0.435 ^{***}	0.337 ^{**}	0.290 ^{**}	0.342 ^{**}	0.284 [*]	-0.167	-0.090	-0.800 ^{***}	0.124	-0.055			
Tmrt	-0.675 ^{***}	-0.626 ^{***}	-0.586 ^{***}	-0.179	-0.230 [*]	-0.128	0.349 ^{**}	0.222 [*]	0.947 ^{***}	-0.185	0.127	-0.789 ^{***}		
PET	-0.723 ^{***}	-0.657 ^{***}	-0.651 ^{***}	-0.244 [*]	-0.266 [*]	-0.184	0.221	0.157	0.987 ^{***}	-0.141	0.030	-0.805 ^{***}	0.956 ^{***}	
UTCI	-0.714 ^{***}	-0.649 ^{***}	-0.646 ^{***}	-0.272 [*]	-0.276 [*]	-0.195	0.187	0.121	0.976 ^{***}	-0.079	-0.027	-0.808 ^{***}	0.941 ^{***}	0.993 ^{***}

[†]p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001



Σχήμα 10-5 Διαγράμματα διασποράς για εξαρτημένη (αναπνευστικές εισαγωγές) και ανεξάρτητες μεταβλητές (κλιματολογικές-βιοκλιματολογικές-αέριες ρύπανσης) (η ομαλή γραμμή spline δηλώνει τη καμπυλότητα στο κάθε διάγραμμα)

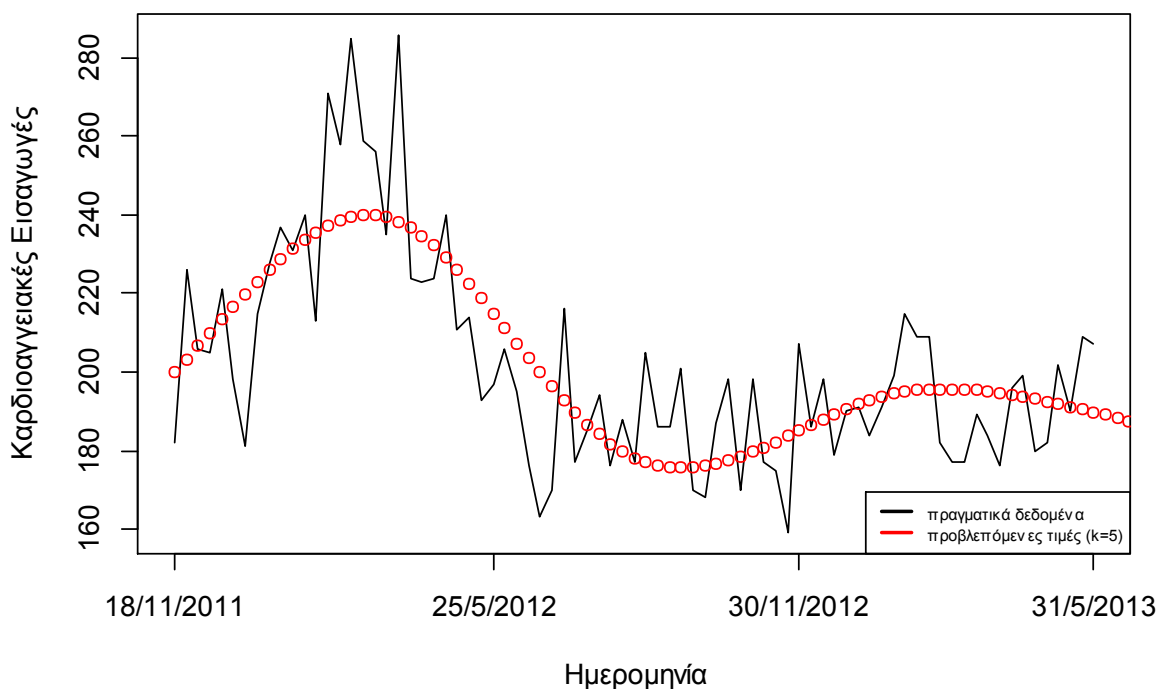
10.3 Μονομεταβλητή ανάλυση για τη συσχέτιση αέριας ρύπανσης και ιατρικών δεδομένων

Εφαρμόστηκε παλινδρόμηση στα επιδημιολογικά δεδομένα με τη μέθοδο cubic regression splines, με εφαρμογή του λογισμικού mgcv package. Το ποσοστό εξομάλυνσης που τελικώς εφαρμόστηκε καθορίστηκε από την ελαχιστοποίηση της μερικής αυτοσυσχέτισης των καταλοίπων (PACF) για κάθε τύπο εισαγωγής.

Αναφορικά με τις εισαγωγές λόγω των καρδιοαγγειακών προβλημάτων, ο βαθμός εξομάλυνσης k που ελαχιστοποιούσε το PACF βρέθηκε $k=5$ και για τις εισαγωγές των αναπνευστικών βρέθηκε $k=5$ επίσης (λόγω των λιγότερων δεδομένων σε σύγκριση με τη χρονοσειρά των ιατρικών και του καιρού). Στα Σχήμα 10-6, 10-7 και 10-8 απεικονίζονται οι υπολογισθείσες εξομαλυμένες τιμές.

10.3.1 Καρδιοαγγειακά δεδομένα

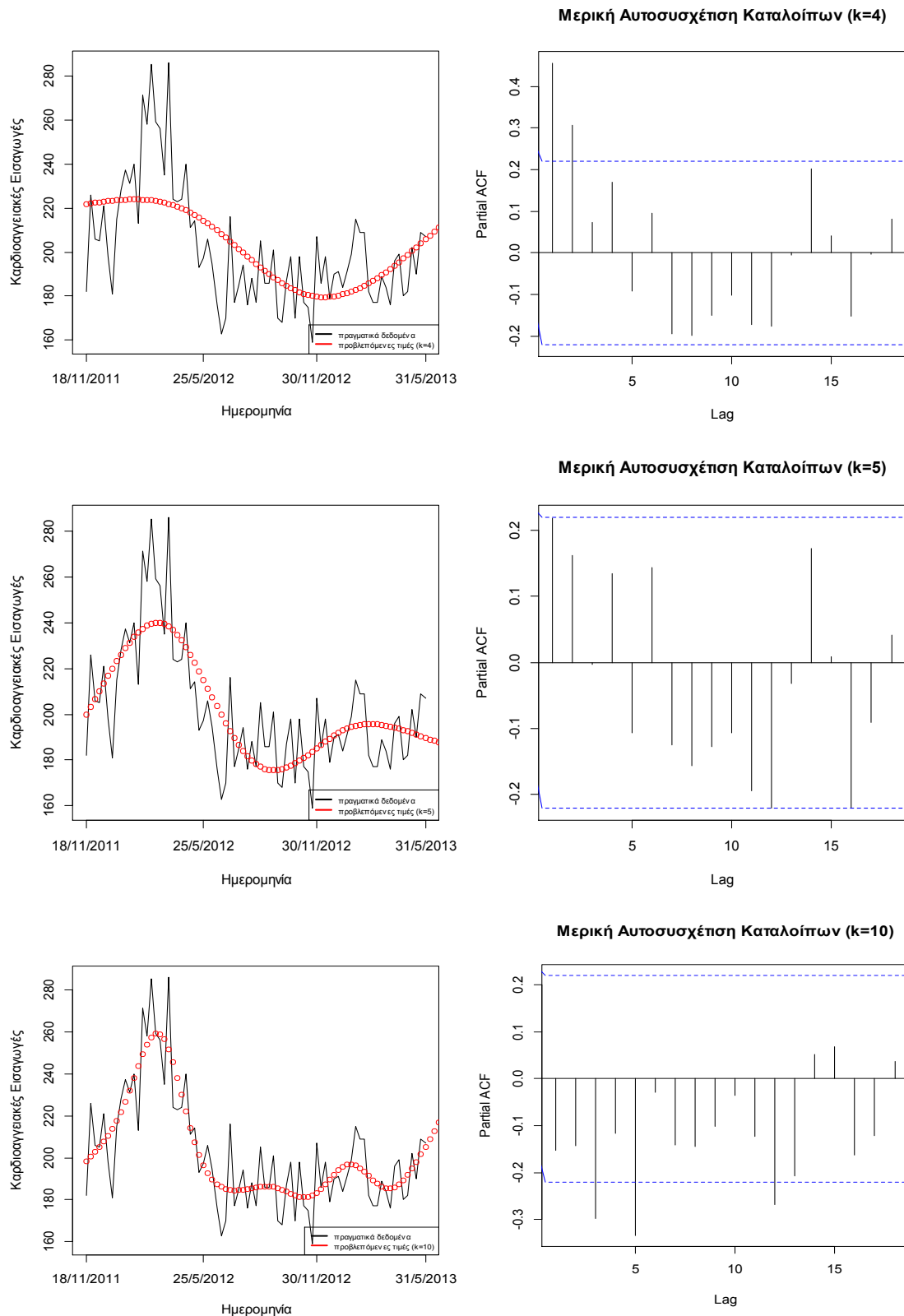
Συγκεκριμένα στο Σχήμα 10-6 εμφανίζονται οι ημερήσιες τιμές των καρδιοαγγειακών εισαγωγών κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, όπου παρατηρείται ισχυρή εποχιακή διακύμανση με υψηλότερο αριθμό ημερήσιων εισαγωγών κατά το χειμώνα του 2012.



Σχήμα 10-6 Χρονοσειρά των ημερήσιων καρδιοαγγειακών εισαγωγών στο Ηράκλειο Κρήτης από 18 Νοεμβρίου 2011 έως 31 Μαΐου 2013 με τις προβλεπόμενες τιμές των εισαγωγών που δίνει το μοντέλο της μονομεταβλητής ανάλυσης

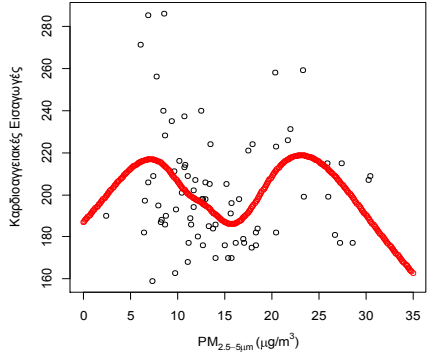
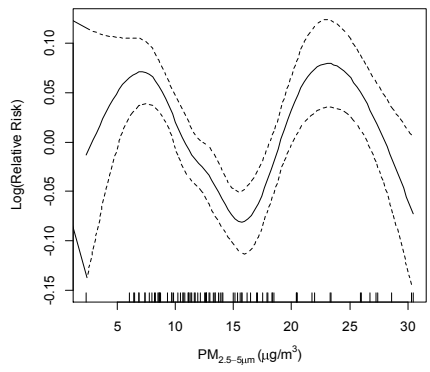
Οι εξομαλύνσεις των αριθμών καρδιοαγγειακών εισαγωγών για διαφορετικούς κόμβους (k) και τα αντίστοιχα υπόλοιπα (residuals) από την εφαρμογή της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF) (Σχήμα 10-7), όπου για $k=4$ υπάρχει υποεξομάλυνση και για $k=10$ υπερεξομάλυνση, ενώ επιλέγεται $k=5$ γιατί ελαχιστοποιείται το κριτήριο του

αθροίσματος από την εφαρμογή της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης (sum PACF) πριν αρχίσει να αυξάνεται και πάλι.

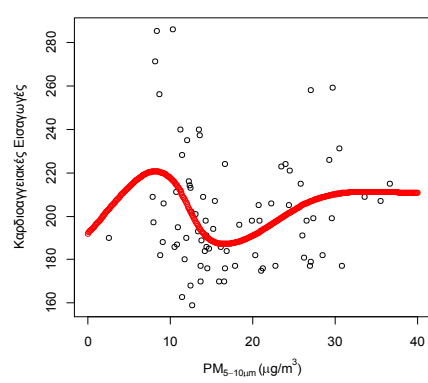
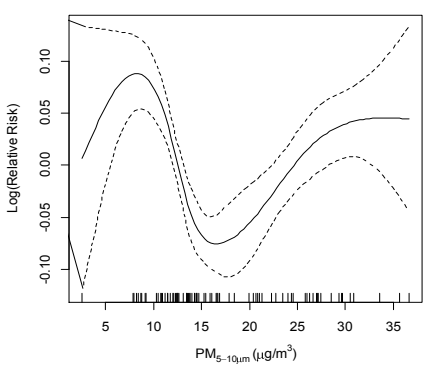


Σχήμα 10-7 Εξομαλύνσεις των καρδιοαγγειακών εισαγωγών για διαφορετικούς κόμβους (k) (αριστερή στήλη) και τα αντίστοιχα υπόλοιπα (residuals) από την εφαρμογή της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης (PACF) (δεξιά στήλη).

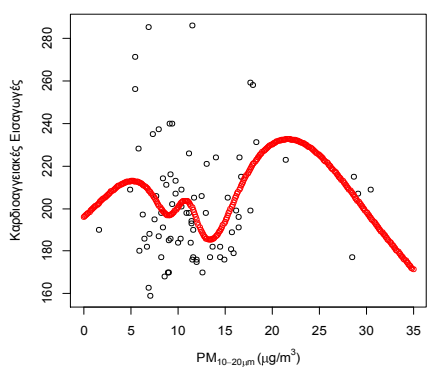
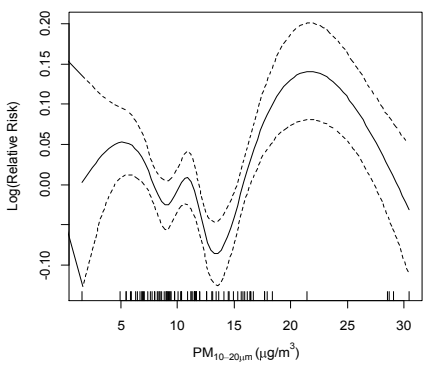
Στο Σχήμα 10-8 παρουσιάζονται οι συγκεντρώσεις της αέριας ρύπανσης κάθε τάξης μεγέθους σε συνάρτηση με τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές. Παρουσιάζεται το ποσοστό μείωσης ή αύξησης του αριθμού των καρδιοαγγειακών εισαγωγών σε συνάρτηση με έναστο μέγεθος των σωματιδίων (Σχήμα 10-8 αριστερή στήλη), οι εκτιμώμενες τιμές των εισαγωγών αυτών σε σχέση με την κάθε μεταβλητή αντίστοιχα όπως προκύπτει από την εφαρμογή του μοντέλου μονομεταβλητής ανάλυσης (Σχήμα 10-8 δεξιά στήλη)



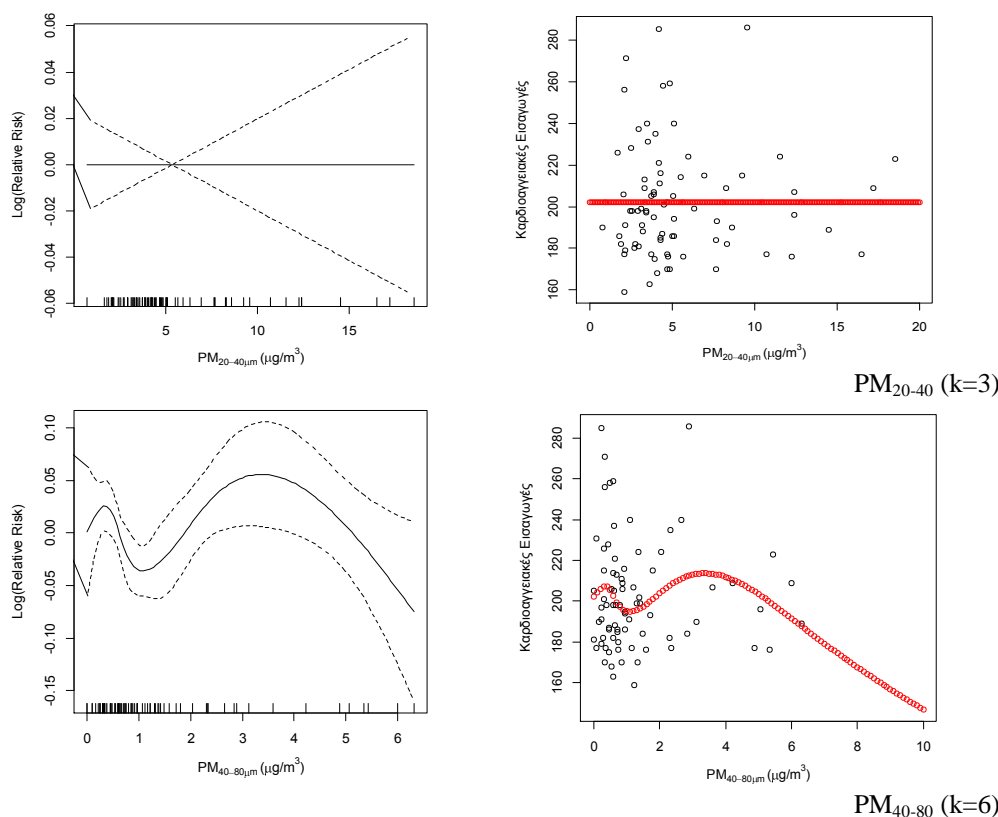
PM_{2.5-5} (k=7)



PM₅₋₁₀ (k=6)



PM₁₀₋₂₀ (k=7)



Σχήμα 10-8 Καμπύλες παλινδρόμησης των αριθμών καρδιαγγειακών εισαγωγών σε συνάρτηση με την κάθε μεταβλητή, όπου με διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζονται τα όρια εμπιστοσύνης (αριστερή στήλη). Εκτιμηθείσες τιμές με εξομάλυνση cubic splines (φαίνεται ο βαθμός εξομάλυνσης της κάθε μεταβλητής) (κόκκινη γραμμή) και πραγματικές τιμές (κουκκίδες) των καρδιαγγειακών εισαγωγών σε σχέση με την κάθε μεταβλητή (δεξιά στήλη).

Διορθώνοντας την εποχικότητα και τις διαχρονικές τάσεις προκύπτουν τα αποτελέσματα που περιέχονται στον Πίνακα 10-5 για τις συνολικές καρδιαγγειακές εισαγωγές, για το κάθε φύλο και εκάστη κατηγορία ηλικίας.

Πίνακας 10-5 Τιμές στατιστικών παραμέτρων μεταξύ της αέριας ρύπανσης για κάθε μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων και του αριθμού καρδιαγγειακών εισαγωγών για τη χρονικό διάστημα 18/11/2008-31/05/2013.

Συνολικά καρδιαγγειακά Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
PM _{2.5-5} µm	-0.002376	0.063352	0.997626	0.002374	0.9951268-1.000132
PM ₅₋₁₀ µm	-0.001092	0.308294	0.998909	0.001091	0.9968129- 1.001009
PM ₁₀₋₂₀ µm	0.0003009	0.834990	1.000301	0.003010	0.9974728- 1.003137
PM ₂₀₋₄₀ µm	0.001286	0.553407	1.001287	0.001287	0.9970369- 1.005555
PM ₄₀₋₈₀ µm	-0.0000923	0.986464	0.999907	0.000093	0.989303- 1.010626

Καρδιαγγειακά άντρες Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
PM _{2.5-5} µm	0.000399	0.813	1.000399	0.000399	0.9970913-1.003718
PM ₅₋₁₀ µm	0.0009727	0.493	1.000973	0.000973	0.9981917- 1.003762
PM ₁₀₋₂₀ µm	0.003196	0.0916	1.003202	0.003202	0.9994825- 1.006934
PM ₂₀₋₄₀ µm	0.002817	0.326	1.002821	0.002821	0.9972049- 1.008469
PM ₄₀₋₈₀ µm	0.000721	0.920	1.000721	0.000721	0.9866681- 1.014975

Καρδιοαγγειακά γυναίκες Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
PM _{2.5-5} μm	-0.006051	0.00202 **	0.993967	0.006033	0.9901555-0.997793
PM ₅₋₁₀ μm	-0.003799	0.02 *	0.996208	0.003792	0.9930236- 0.999403
PM ₁₀₋₂₀ μm	-0.003605	0.106	0.996402	0.003598	0.9920541- 1.000768
PM ₂₀₋₄₀ μm	-0.0007499	0.821	0.999250	0.000750	0.9927617- 1.005781
PM ₄₀₋₈₀ μm	-0.00116	0.889	0.998840	0.001160	0.9827602- 1.015183

Καρδιοαγγειακά ηλικία≤35 Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
PM _{2.5-5} μm	-0.009865	0.0115 *	0.990184	0.009816	0.9826353-0.997790
PM ₅₋₁₀ μm	-0.005749	0.0763.	0.994268	0.005732	0.9879691- 1.000607
PM ₁₀₋₂₀ μm	-0.005419	0.219	0.994596	0.005404	0.9860399- 1.003226
PM ₂₀₋₄₀ μm	-0.004378	0.506	0.995632	0.004368	0.9828633- 1.008566
PM ₄₀₋₈₀ μm	-0.01888	0.257	0.981296	0.018704	0.9497537- 1.013885

Καρδιοαγγειακά 36≤ ηλικία ≤64 Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
PM _{2.5-5} μm	-0.0004438	0.825	0.999556	0.000444	0.9956231-1.003505
PM ₅₋₁₀ μm	0.0001419	0.933	1.000142	0.001420	0.9968354- 1.003459
PM ₁₀₋₂₀ μm	0.002169	0.337	1.002172	0.002172	0.9977428- 1.00662
PM ₂₀₋₄₀ μm	0.004899	0.147	1.004911	0.004911	0.9982772- 1.01159
PM ₄₀₋₈₀ μm	0.008020	0.344	1.008052	0.008052	0.9914319- 1.024951

Καρδιοαγγειακά ≥65 Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
PM _{2.5-5} μm	-0.002761	0.134	0.997243	0.002757	0.9936492-1.000849
PM ₅₋₁₀ μm	-0.001259	0.414	0.998742	0.001258	0.9957331- 1.00176
PM ₁₀₋₂₀ μm	-0.0005674	0.786	0.999433	0.000567	0.9953495- 1.003533
PM ₂₀₋₄₀ μm	-0.002223	0.483	0.99778	0.002220	0.9916096- 1.003989
PM ₄₀₋₈₀ μm	-0.007446	0.347	0.992582	0.007418	0.977301- 1.008102

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Από τα αποτελέσματα επίδρασης της αέριας ρύπανσης διαπιστώνεται ότι τα καρδιοαγγειακά προβλήματα επηρεάζονται από τα σωματίδια μεγέθους μικρότερα από PM₁₀₋₂₀. Περιγράφονται οι επιδράσεις της κάθε μεταβλητής με >90% συσχέτιση. Επιπλέον, θα πρέπει να αναφερθεί ότι οι ασθενείς με ηλικία μεγαλύτερη των 36 ετών δεν επηρεάζονται από τα αιωρούμενα σωματίδια.

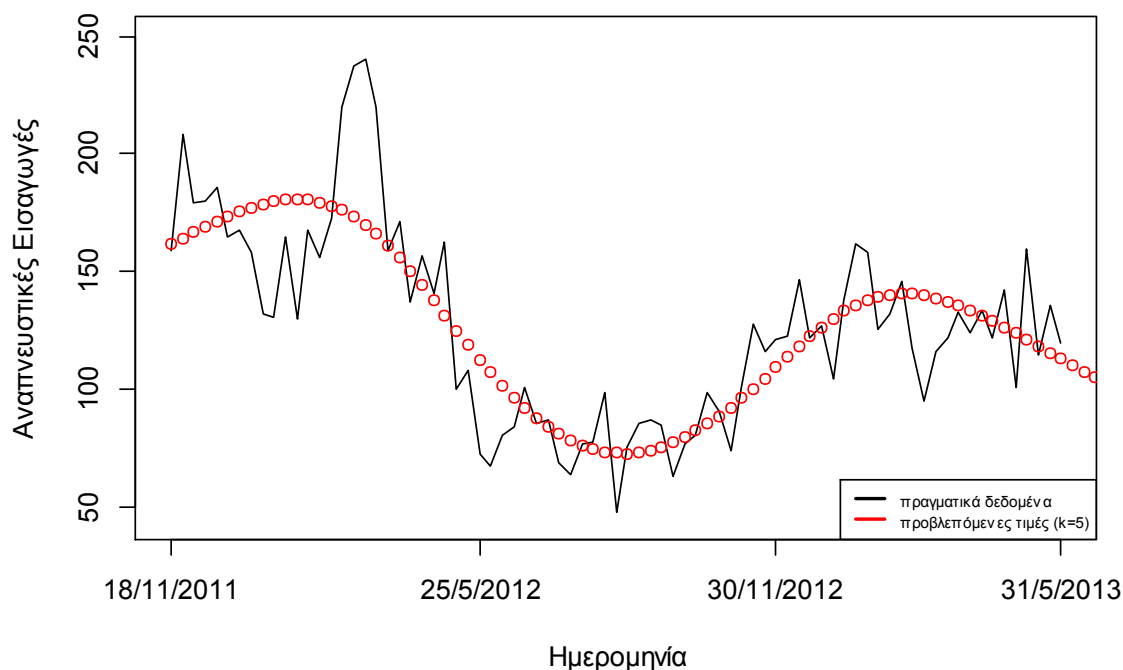
Οι συνολικές καρδιοαγγειακές εισαγωγές επηρεάζονται από τα PM_{2.5-5}, όπου μείωση κατά 10μg/m³ σχετίζεται με αύξηση των εισαγωγών κατά 2.4%. Οι εισαγωγές των αντρών με καρδιοαγγειακά προβλήματα φαίνεται να εμφανίζουν συσχέτιση με τα PM₁₀₋₂₀, δηλαδή αύξηση 10μg/m³ οδηγεί σε αύξηση κατά 3.2%. Από την άλλη, οι γυναίκες ασθενείς αυξάνονται κατά 6% με τη μείωση κατά 10μg/m³ των PM_{2.5-5}, ενώ αύξηση κατά 3.8% των εισαγωγών παρατηρείται με μείωση κατά 10μg/m³ των PM₅₋₁₀. Τέλος, οι ίδιες τάξεις (PM_{2.5-5}, PM₅₋₁₀) μεγέθους επηρεάζουν τους νέους αφού προκαλούν αύξηση αντίστοιχα 9.8% και 5.7%.

Στην περιοχή της Ρώμης, πρόσφατη μελέτη έδειξε ότι κατά τη διάρκεια των ημερών με μεταφορά σκόνης από την έρημο Σαχάρας καθώς μειώθηκαν οι συγκεντρώσεις των PM_{2.5} αυξήθηκαν (όχι σημαντικά) οι εισαγωγές λόγω προβλημάτων κυκλοφορικού συστήματος. Επιπρόσθετα, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει ισχυρότερη επίδραση για τα PM_{2.5-10}

παρά για τα $PM_{2.5}$ ή για τα PM_{10} με τη θνησιμότητα λόγω προβλημάτων στο κυκλοφορικό και αναπνευστικό σύστημα (Mallone et al., 2011). Τα ευρήματα αυτά παρουσιάζουν ομοιότητες με τα αποτελέσματα που αφορούν την καρδιαγγειακή θνησιμότητα στο Βανκούβερ, Καναδά (Villeneuve et al., 2003). Στην Κύπρο είχε διεξαχθεί 10-χρονη μελέτη που αφορούσε εισαγωγές λόγω καρδιολογικών προβλημάτων, οι οποίες βρέθηκαν αυξημένες κατά 10.4% κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης Σαχάρας (Middleton et al., 2008a). Επιπρόσθετα, οι (Schwartz et al., 1996) και οι (Kan et al., 2007) δεν κατάφεραν να βρουν σημαντικές συσχετίσεις μεταξύ των $PM_{2.5-10}$ και της καρδιαγγειακής και ισχαιμικής θνησιμότητας, αντίστοιχα.

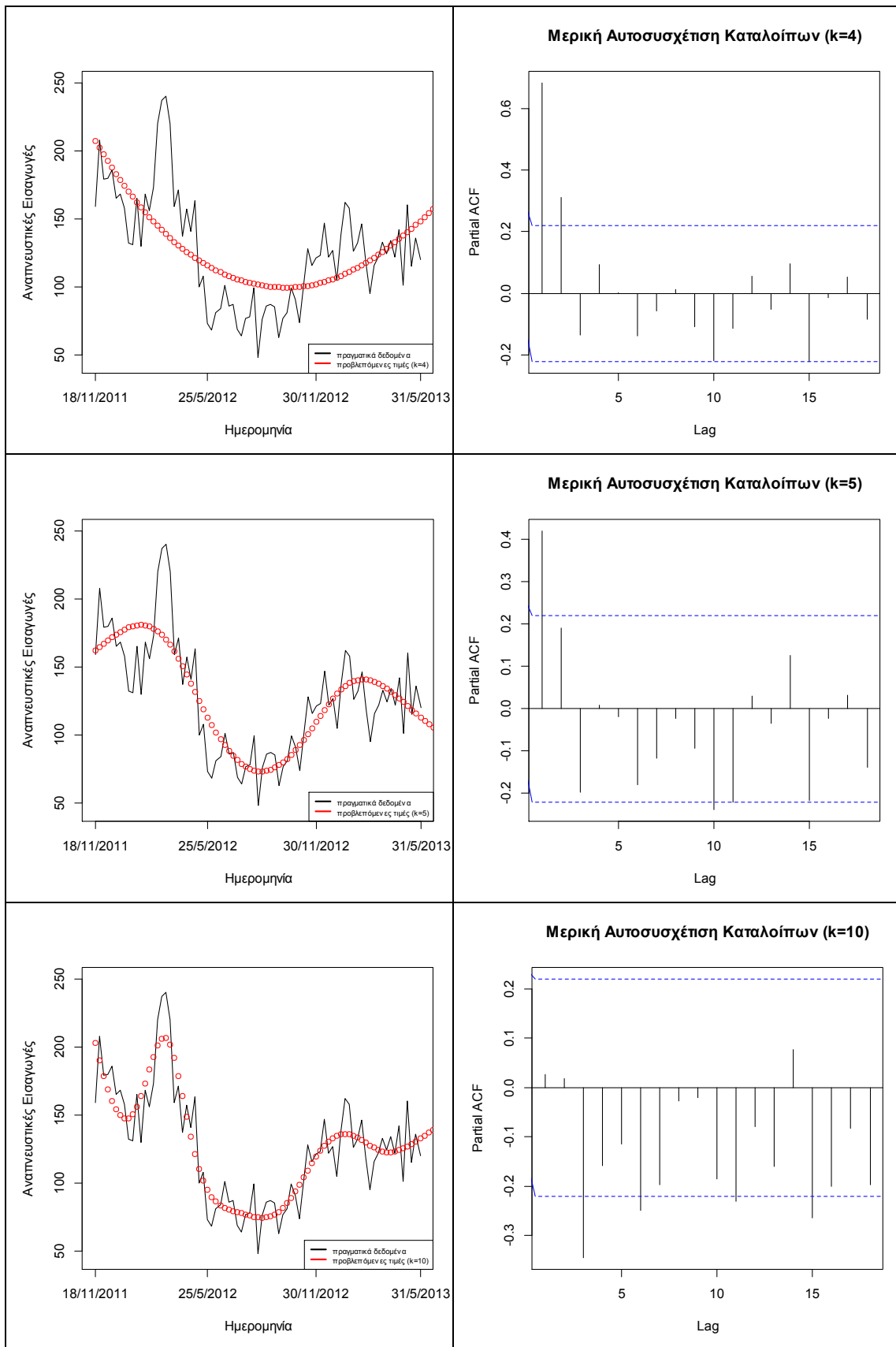
10.3.2 Αναπνευστικά δεδομένα

Όσον αφορά τα αναπνευστικά δεδομένα (Σχήμα 10-9) παρουσιάζονται οι μετρήσεις των εισαγωγών λόγω αναπνευστικών προβλημάτων κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης, εμφανίζοντας ισχυρή εποχική διακύμανση με υψηλότερο αριθμό ημερήσιων εισαγωγών κατά τη διάρκεια της άνοιξης του 2012 και του 2013, λόγω των εξάρσεων των αλλεργιών και επεισοδίων μεταφοράς σκόνης Σαχάρας (Κεφ.7).



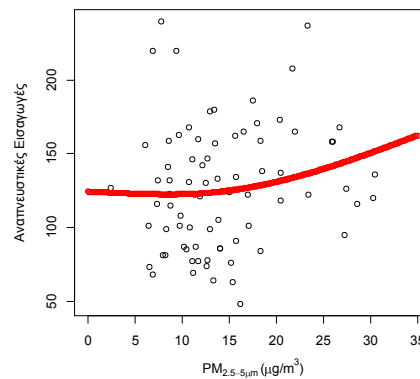
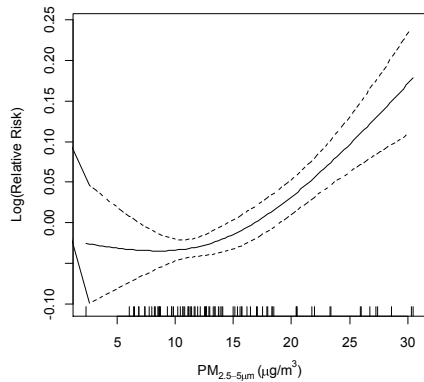
Σχήμα 10-9 Χρονοσειρά των ημερήσιων αναπνευστικών εισαγωγών στο Ηράκλειο Κρήτης από 18 Νοεμβρίου 2011 έως 31 Μαΐου 2013 με τις προβλεπόμενες τιμές των εισαγωγών που δίνει το μοντέλο της μονομεταβλητής ανάλυσης.

Στο Σχήμα 10-10 παρουσιάζονται οι εξομαλύνσεις των αναπνευστικών εισαγωγών για διαφορετικούς κόμβους (k) και τα αντίστοιχα υπόλοιπα από την εφαρμογή της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης, όπου για $k=4$ υπάρχει υποεξομάλυνση και για $k=10$ υπερεξομάλυνση, ενώ επιλέγεται $k=5$ γιατί ελαχιστοποιείται το κριτήριο αθροίσματος από την εφαρμογή της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης, χωρίς να ακολουθούν τάση τα υπόλοιπα και να βρίσκονται κατανεμημένα σε θετικά και αρνητικά.

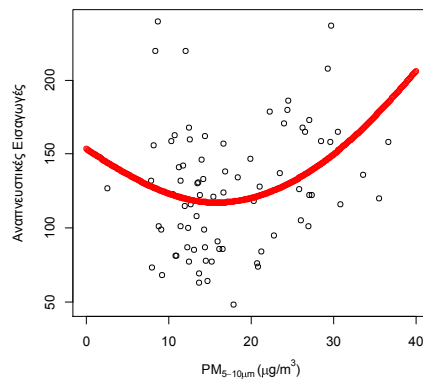
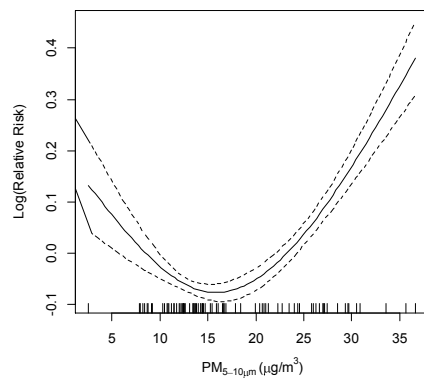


Σχήμα 10-10 Εξομαλύνσεις των αναπνευστικών εισαγωγών για διαφορετικούς κόμβους (k) (αριστερή στήλη) και τα αντίστοιχα υπόλοιπα από την εφαρμογή της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης (δεξιά στήλη)

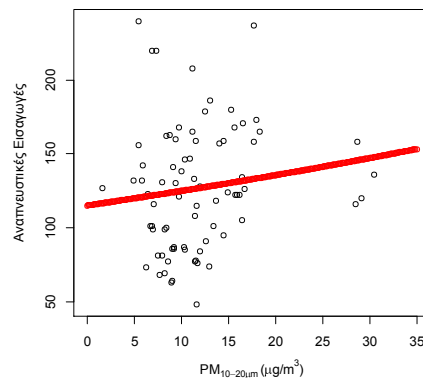
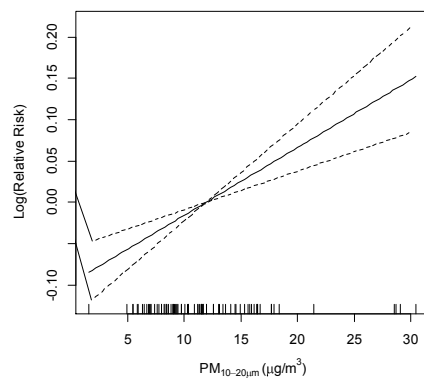
Στο Σχήμα 10-11 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της επίδρασης των διαφορετικών μεγεθών αιωρούμενων σωματιδίων στις εισαγωγές λόγω αναπνευστικών προβλημάτων. Παρουσιάζεται το ποσοστό μείωσης ή αύξησης των αναπνευστικών εισαγωγών σε συνάρτηση με την κάθε μεταβλητή (Σχήμα 10-11 αριστερή στήλη), οι εκτιμώμενες τιμές των εισαγωγών αυτών σε σχέση με την κάθε μεταβλητή αντίστοιχα όπως προκύπτει από την εφαρμογή του μοντέλου μονομεταβλητής ανάλυσης (Σχήμα 10-11 δεξιά στήλη), όπου με διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζονται τα όρια εμπιστοσύνης.



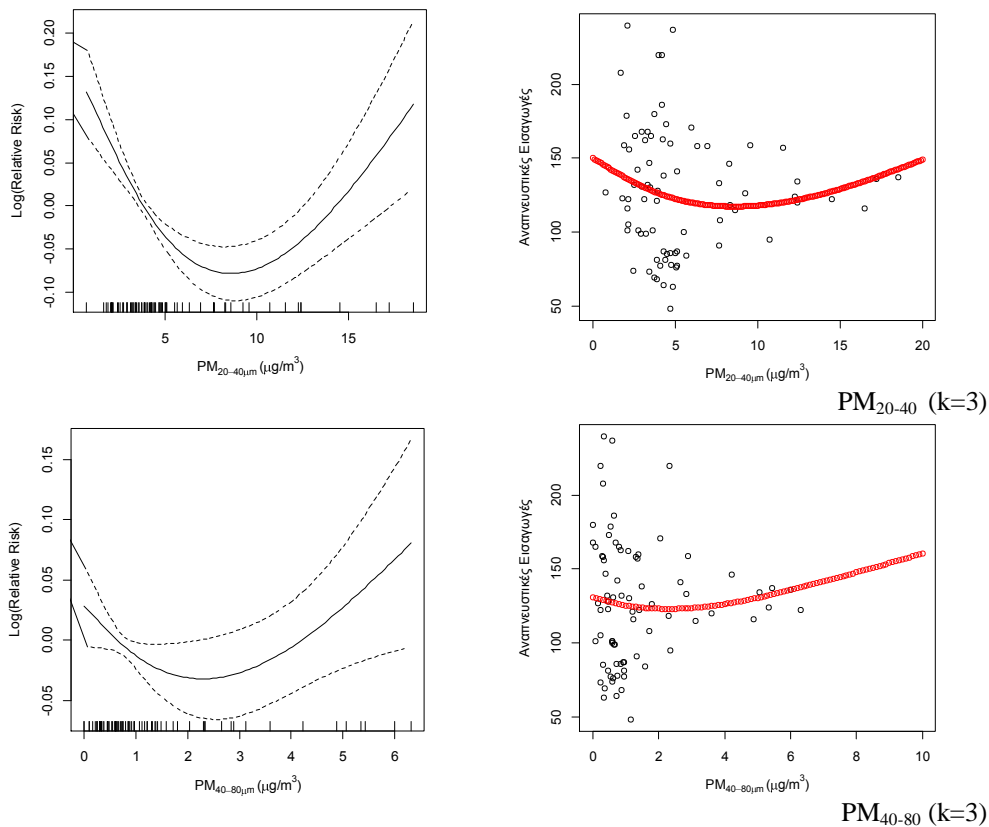
PM_{2.5-5} (k=3)



PM₅₋₁₀ (k=3)



PM₁₀₋₂₀ (k=3)



Σχήμα 10-11 Καμπύλες παλινδρόμησης των αναπνευστικών εισαγωγών σε συνάρτηση με την κάθε μεταβλητή, όπου με διακεκομμένες γραμμές παρουσιάζονται τα όρια εμπιστοσύνης (αριστερή στήλη). Εκτιμηθείσες τιμές με εξομάλυνση cubic splines (φαίνεται ο βαθμός εξομάλυνσης της κάθε μεταβλητής) (κόκκινη γραμμή) και πραγματικές τιμές (κουκκίδες) των αναπνευστικών εισαγωγών σε σχέση με την κάθε μεταβλητή (δεξιά στήλη).

Διορθώνοντας την ημέρα της εβδομάδας, τις εποχιακές διακυμάνσεις και τις χρονικές τάσεις προκύπτουν τα αποτελέσματα που περιέχονται στον Πίνακα 10-6 για τις συνολικές αναπνευστικές εισαγωγές, για κάθε φύλο.

Πίνακας 10-6 Τιμές στατιστικών παραμέτρων μεταξύ της αέριας ρύπανσης για κάθε μέγεθος αιωρούμενων σωματιδίων και του αριθμού αναπνευστικών εισαγωγών για τη χρονικό διάστημα 18/11/2008-31/05/2013.

Αναπνευστικά συνολικά Παράμετρος	β	p value	IRR	RR	95% CI
PM _{2.5-5} µm	0.005099	0.00121 **	1.005112	0.005112	1.002012-1.008221
PM ₅₋₁₀ µm	0.006308	1.74e-06 ***	1.006328	0.006328	1.003729-1.008934
PM ₁₀₋₂₀ µm	0.007182	5.58e-05 ***	1.007208	0.007208	1.003696-1.010733
PM ₂₀₋₄₀ µm	0.003435	0.21	1.003441	0.003441	0.9980681-1.008842
PM ₄₀₋₈₀ µm	0.014380	0.0327 *	1.014484	0.014484	1.001182- 1.027963

Αναπνευστικά άντρες Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
PM _{2.5-5} µm	0.004663	0.0171 *	1.004674	0.004674	1.000831-1.008532
PM ₅₋₁₀ µm	0.006579	5.73e-05 ***	1.006601	0.006601	1.00338-1.009832
PM ₁₀₋₂₀ µm	0.007264	0.00101 **	1.00729	0.007290	1.002939-1.01166
PM ₂₀₋₄₀ µm	0.002686	0.43	1.00269	0.002690	0.9960238-1.009401
PM ₄₀₋₈₀ µm	0.019585	0.0181 *	1.019778	0.019778	1.003348- 1.036478

Αναπνευστικά γυναίκες Παράμετροι	β	p value	IRR	RR	95% CI
PM _{2.5-5} μm	0.005907	0.0264 *	1.005924	0.005924	1.000691-1.011184
PM ₅₋₁₀ μm	0.005803	0.00938 **	1.00582	0.005820	1.001426-1.010233
PM ₁₀₋₂₀ μm	0.007031	0.0198 *	1.007055	0.007055	1.001116-1.01303
PM ₂₀₋₄₀ μm	0.004821	0.296	1.004833	0.004833	0.9957839-1.013964
PM ₄₀₋₈₀ μm	0.004475	0.699	1.004485	0.004485	0.9819925- 1.027492

†p<0.1, *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Διαπιστώνεται ότι τα αναπνευστικά συμπτώματα εμφανίζουν θετική συσχέτιση >95% με την αέρια ρύπανση όπως καταγράφεται στο Ηράκλειο κυρίως για τα μεγέθη PM_{2.5-20}. Οι συνολικές εισαγωγές αυξάνονται με αύξηση κατά 10μg/m³ των επιπέδων συγκέντρωσης των PM_{2.5-5}, PM₅₋₁₀ και PM₁₀₋₂₀ κατά 5.1%, 6.3% και 7.2%. Ενώ αύξηση κατά 1 μg/m³ των PM₄₀₋₈₀ οδηγεί σε αύξηση 1.4% των συνολικών εισαγωγών.

Οι άντρες φαίνονται να επηρεάζονται και αυτοί από τα μεγάλα μεγέθη των σωματιδίων (PM₄₀₋₈₀), αφού οι εισαγωγές τους αυξάνονται 2%. Όμως, τη μεγαλύτερη επίδραση παρουσιάζουν τα μικρότερα μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων, PM_{2.5-5}, PM₅₋₁₀ και PM₁₀₋₂₀ που αύξησή τους κατά 10μg/m³, αυξάνει παράλληλα τα περιστατικά κατά 4.7%, 6.6% και 7.3%, αντίστοιχα. Τα περιστατικά των γυναικών αυξάνονται κατά 5.9%, 5.8% και 7.1% με την αύξηση κατά 10μg/m³ των PM_{2.5-5}, PM₅₋₁₀ και PM₁₀₋₂₀, αντίστοιχα.

Επιδημιολογική μελέτη που έγινε στα Κανάρια νησιά, βρίσκεται σε συμφωνία με τα παραπάνω αποτελέσματα, αφού έδειξε ότι αύξηση κατά 10μg/m³ στα επίπεδα των PM₁₀ αυξάνει τη θνησιμότητα λόγω πνευμονικών ασθενειών κατά 4.9% (López-Villarubia et al., 2010). Ακόμα, είναι καλά τεκμηριωμένο ότι τα μικρότερα σωματίδια εμφανίζουν υψηλότερο κίνδυνο να προκαλέσουν ασθένειες του αναπνευστικού συστήματος σε σχέση με τα μεγαλύτερα (Peters et al., 1997). Ακόμα, οι συγκεντρώσεις των PM₁₀ και PM_{2.5} μπορούν να επιδεινώνουν τα συμπτώματα του αναπνευστικού και να μειώσουν τη λειτουργία των πνευμόνων στα παιδιά, ενώ είναι δυνατό να εξαλειφθούν τα συμπτώματα μετά από χρονική περίοδο που θα εξασθενήσει την επίδραση της αέριας ρύπανσης (π.χ. μετά από επεισόδιο μεταφοράς σκόνης) (Pan et al., 2006). Τέλος, πρόσφατη μελέτη στο Rio de Janeiro απέδειξε ότι αύξηση της συγκέντρωσης των PM₁₀ κατά 10μg/m³ προκαλεί αύξηση των εισαγωγών κατά 2% των παιδιών με προβλήματα στο αναπνευστικό, ενώ δεν εμφανίζεται συσχέτιση για τους ηλικιωμένους (>65ετών) (Sousa et al., 2012b).

10.4 Πολυμεταβλητή ανάλυση

Στη συνέχεια της ανάλυσης που πραγματοποιήθηκε, έγινε εφαρμογή του πολυπαραγοντικού μοντέλου με τη χρήση του προς τα πίσω περιορισμού (backward elimination), ελέγχοντας την επίδραση εκάστης μεταβλητής (μετεωρολογικής, βιομετεωρολογικής και αέριας ρύπανσης) στα ιατρικά δεδομένα, σύμφωνα με το AIC κριτήριο και τη μέγιστη τιμή του συντελεστή προσδιορισμού (R²) που δηλώνει πόσο καλά τα δεδομένα ταιριάζουν στο στατιστικό μοντέλο που εφαρμόστηκε. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζεται ο εκτιμητής (estimate) ως β, οι εκτιμώμενοι βαθμοί ελευθερίας ως edf (estimated degrees of freedom), η τιμή p (p value), ο συντελεστής προσδιορισμού (R²), η στατιστική σημαντικότητα (Deviance explained) καθώς και τα αποτελέσματα των ελέγχων των τριών κριτηρίων UBRE, AIC και PACF.

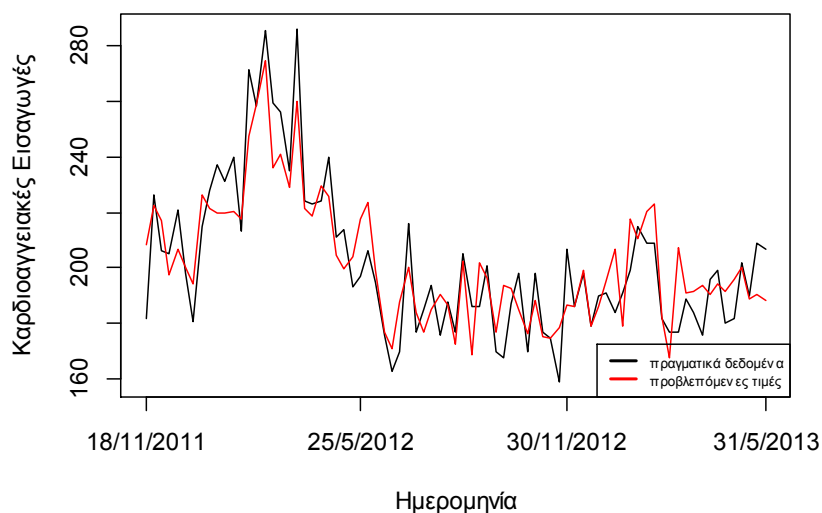
10.4.1 Καρδιαγγειακές εισαγωγές σε συνάρτηση με τον καιρό και την αέρια ρύπανση

Στον Πίνακα 10-7 φαίνονται οι μεταβλητές που επηρεάζουν τις εισαγωγές λόγω καρδιαγγειακών προβλημάτων (μαύρο χρώμα) και μάλιστα με συσχέτιση >90%. Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις καρδιαγγειακές εισαγωγές ερμηνεύει το 59.1% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα. Έτσι φαίνεται ότι η θερμοκρασία, η ταχύτητα του ανέμου, η T_{mrt} , ο δείκτης UTCI, αλλά και τα σωματίδια μεγέθους $2.5-5\mu\text{g}/\text{m}^3$, $5-10\mu\text{g}/\text{m}^3$, $10-20\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $20-40\mu\text{g}/\text{m}^3$ επηρεάζουν τις καρδιαγγειακές εισαγωγές (Πίνακας 10-7).

Πίνακας 10-7 Αποτελέσματα από την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιαγγειακές εισαγωγές σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Καρδιαγγειακά Συνολικά	β	edf	$\text{Pr}(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
s(Θερμοκρασία)		4.956		0.068184.					
s(Σχετική υγρασία)									
s(Ταχύτητα ανέμου)		5.295		0.014498*					
s(Νέφωση)		5.762		7.41e-11***					
s(T_{mrt})		4.930		0.002020**					
s(PET)					0.591	76.6%	0.7081	698.957	0.1293325
s(UTCI)		1.000		0.001875**					
s(PM _{2.5-5} μm)		2.465		5.46e-09***					
s(PM ₅₋₁₀ μm)		2.260		1.87e-06***					
s(PM ₁₀₋₂₀ μm)		1.000		0.002272**					
s(PM ₂₀₋₄₀ μm)		3.833		0.000416***					
s(PM ₄₀₋₈₀ μm)		1.968		0.137639					

Διαπιστώνεται ότι η θερμοκρασία δεν παρουσιάζει τη μέγιστη συσχέτιση με τις συνολικές εισαγωγές, σε σχέση με τις υπόλοιπες μεταβλητές, αλλά η συσχέτιση της εποχικότητας με τις εισαγωγές είναι αυξημένη και μάλιστα κατά τη διάρκεια του χειμώνα η αύξηση των εισαγωγών είναι περίπου 17%.



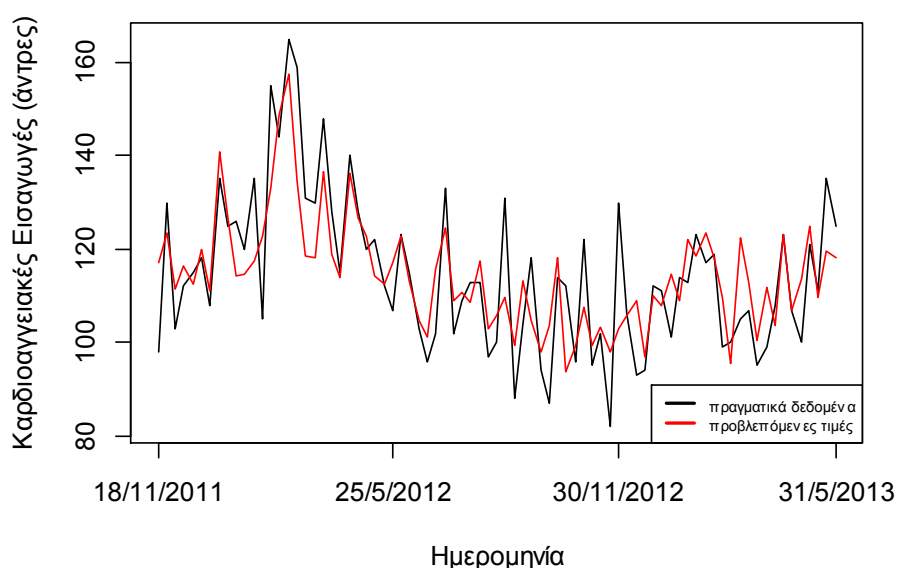
Σχήμα 10-12 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών με καρδιαγγειακά προβλήματα με την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης

Στον Πίνακα 10-8 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τους άντρες ασθενείς με καρδιοαγγειακά προβλήματα, όπου το ποσοστό της ερμηνευόμενης μεταβλητότητας στα δεδομένα είναι 44.5%. Η σχετική υγρασία, η νέφωση και ο δείκτης PET από τις βιομετεωρολογικές παραμέτρους επηρεάζουν τις εισαγωγές αυτές, ενώ τα αιωρούμενα σωματίδια που συσχετίζονται είναι μεγέθους 2.5-5μg/m³, 5-10μg/m³, 20-40μg/m³ και 40-80μg/m³.

Πίνακας 10-8 Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές αντρών σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Καρδιοαγγειακά άντρες	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
ς(Θερμοκρασία)									
ς(Σχετική υγρασία)		1.000		0.02846 *					
ς(Ταχύτητα ανέμου)		4.055		0.22335					
ς(Νέφωση)		1.736		0.00895 **					
ς(Tmrt)									
ς(PET)		5.587		1.18e-07 ***					
ς(UTCI)					0.445	61.1%	0.5458	641.212	-0.1016985
ς(PM2.5-5 μm)		1.000		0.00301 **					
ς(PM5-10 μm)		2.578		1.28e-05 ***					
ς(PM10-20 μm)									
ς(PM20-40 μm)		5.755		0.00318 **					
ς(PM40-80 μm)		1.798		0.08264.					

Η ταχύτητα του ανέμου δεν επηρεάζει τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές των αντρών, αφού θα μπορούσε να λεχθεί ότι δεν αποτελεί παράμετρο που συναντάται αυξημένη κατά τη διάρκεια μιας ορισμένης εποχής του χρόνου. Επιπλέον, τα σωματίδια μεγέθους 40-80μg/m³ δεν εμφανίζουν αυξημένη συσχέτιση πάνω από 95% όπως οι υπόλοιπες μεταβλητές.



Σχήμα 10-13 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών των αντρών με καρδιοαγγειακά προβλήματα με την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης

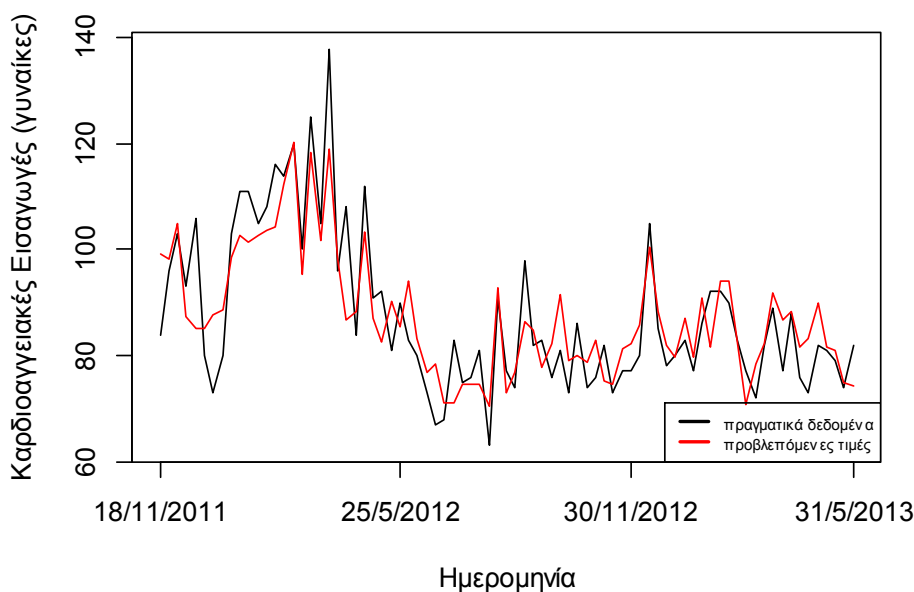
Οι γυναίκες ασθενείς με καρδιοαγγειακά προβλήματα επηρεάζονται από τη σχετική υγρασία, τη νέφωση, την T_{mrt} και το δείκτη UTCI. Όμως, σε αντίθεση με τους άντρες, οι

γυναίκες επηρεάζονται από τα μικρά μεγέθη των αιωρούμενων σωματιδίων που είναι τα $2.5-5\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $5-10\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Πίνακας 10-9). Το ποσοστό της ερμηνευόμενης μεταβλητότητας από την εφαρμογή του μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης στα δεδομένα εισαγωγών των γυναικών που εξηγείται ανέρχεται στα 62.2%.

Πίνακας 10-9 Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές γυναικών σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Καρδιοαγγειακά γυναικές	β	edf	$\text{Pr}(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
s(Θερμοκρασία)									
s(Σχετική υγρασία)		4.894		0.00190 **					
s(Ταχύτητα ανέμου)									
s(Νέφωση)		4.841		0.00100 **					
s(Tmrt)		4.629		0.04266 *					
s(PET)					0.622	73.4%	0.25993	597.1811	0.3122427
s(UTCI)		3.076		0.00147 **					
s(PM _{2.5-5} μm)		4.044		0.00192 **					
s(PM ₅₋₁₀ μm)		1.845		0.07715.					
s(PM ₁₀₋₂₀ μm)									
s(PM ₂₀₋₄₀ μm)									
s(PM ₄₀₋₈₀ μm)									

Οι γυναίκες φαίνεται να επηρεάζονται από την εποχικότητα, αφού αυξημένο ποσοστό εισαγωγών κατά 9.8% εμφανίζεται τη χειμερινή περίοδο.



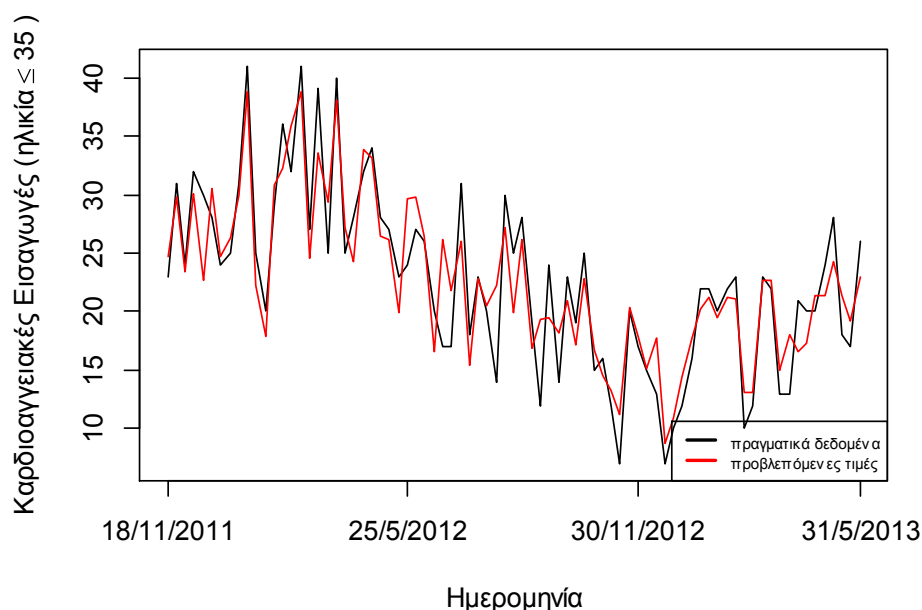
Σχήμα 10-14 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών γυναικών με καρδιοαγγειακά προβλήματα με την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης.

Από την εφαρμογή της πολυμεταβλητής ανάλυσης στους νέους, ερμηνεύεται το 67.8% της μεταβλητότητας των δεδομένων (Πίνακας 10-10). Επίσης η εφαρμογή έδειξε ότι επηρεάζονται από τη θερμοκρασία, την ταχύτητα ανέμου, την νέφωση, την T_{mrt} και το δείκτη PET. Όσον αφορά τα αιωρούμενα σωματίδια που επηρεάζουν τον αριθμό των καρδιοαγγειακών εισαγωγών των νέων είναι μεγέθους $2.5-5\mu\text{g}/\text{m}^3$, $5-10\mu\text{g}/\text{m}^3$, $10-20\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $40-80\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Πίνακας 10-10 Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές νέων σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Καρδιοαγγειακά ηλικία≤35	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
s(Θερμοκρασία)		5.099		0.000205***					
s(Σχετική υγρασία)				0.001677**					
s(Ταχύτητα ανέμου)	5.773			1.27e-09***					
s(Νέφωση)	1.000			0.047534*					
s(Tmrt)	2.630			6.20e-05***	0.678	81.3%	0.4087	498.7391	-0.1591181
s(PET)	6.000			0.122187					
s(UTCI)	1.000			7.91e-06***					
s(PM2.5-5 μm)	1.484			0.007645**					
s(PM5-10 μm)	2.689			0.010138*					
s(PM10-20 μm)	1.579			0.111100					
s(PM20-40 μm)	5.940			0.028101*					

Η εποχικότητα φαίνεται να επηρεάζει τους νέους αυξάνοντας το ποσοστό τους περίπου κατά 30% τη χειμερινή περίοδο. Θα πρέπει να τονιστεί ότι η τάξη αυτής της ηλικιακής ομάδας δεν περιλαμβάνει μεγάλο πλήθος καταγραφών, οπότε η ύπαρξη συσχέτισης με τα μεγάλα μεγέθους σωματίδια μπορεί να χαρακτηριστεί ως μη σημαντική.



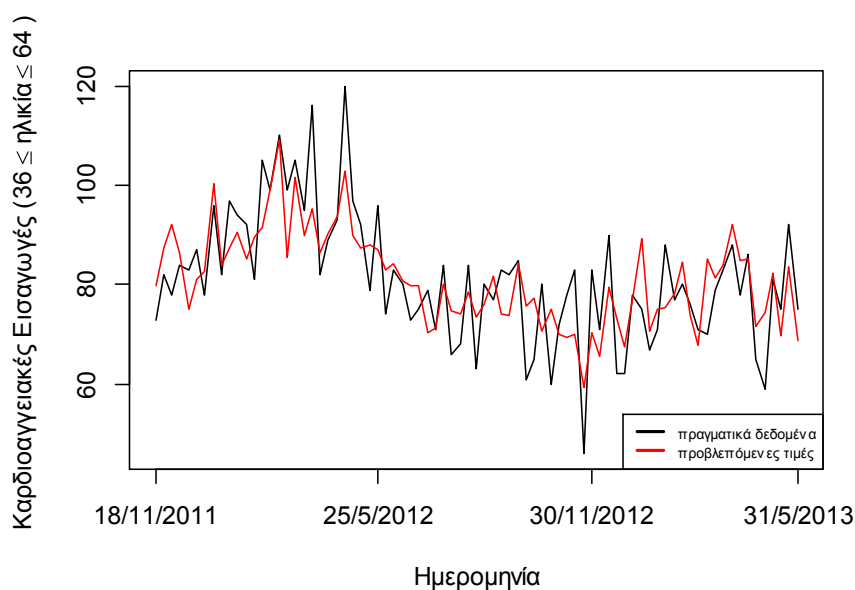
Σχήμα 10-15 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών νέων με καρδιοαγγειακά προβλήματα με την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης

Η εφαρμογή του μοντέλου της πολυμεταβλητής ανάλυσης για καρδιοαγγειακές εισαγωγές των ασθενών με ηλικίες από 36 έως 64 ετών ερμηνεύει το 48.3% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα (Πίνακας 10-11). Οι μετεωρολογικοί-βιομετεωρολογικοί παράγοντες που επηρεάζουν τις εισαγωγές αυτής της ηλικιακής κατηγορίας είναι η σχετική υγρασία, η νέφωση και ο δείκτης UTCI. Τα σωματίδια μικρού μεγέθους 2.5-5μg/m³ και 5-10μg/m³, αλλά και τα 20-40μg/m³ επηρεάζουν θετικά τον αριθμό των εισαγωγών τους (Πίνακας 10-11).

Πίνακας 10-11 Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλο πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές ασθενών ηλικίας 36 έως 64 σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Καρδιοαγγειακά 36≤ηλικία≤64	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
s(Θερμοκρασία)		1.504		0.443008					
s(Σχετική υγρασία)		3.444		0.002589**					
s(Ταχύτητα ανέμου)									
s(Νέφωση)		1.000		2.32e-09***					
s(Tmrt)		5.686		0.124310					
s(PET)					0.483	58.3%	0.3077	595.0482	-0.1666969
s(UTCI)		1.000		0.031334*					
s(PM2.5-5 μm)		1.000		0.023764*					
s(PM5-10 μm)		1.000		0.063981.					
s(PM10-20 μm)									
s(PM20-40 μm)		1.000		0.000298***					
s(PM40-80 μm)									

Από τα στοιχεία του Πίνακας 10-11 διαπιστώνεται ότι αυτή η ηλικιακή κατηγορία επηρεάζεται γραμμικά από τους περισσότερους παράγοντες, όπως από την νέφωση, τον UTCI, τα σωματίδια μεγέθους 2.5-5μg/m³, 5-10μg/m³ και τα 20-40μg/m³.



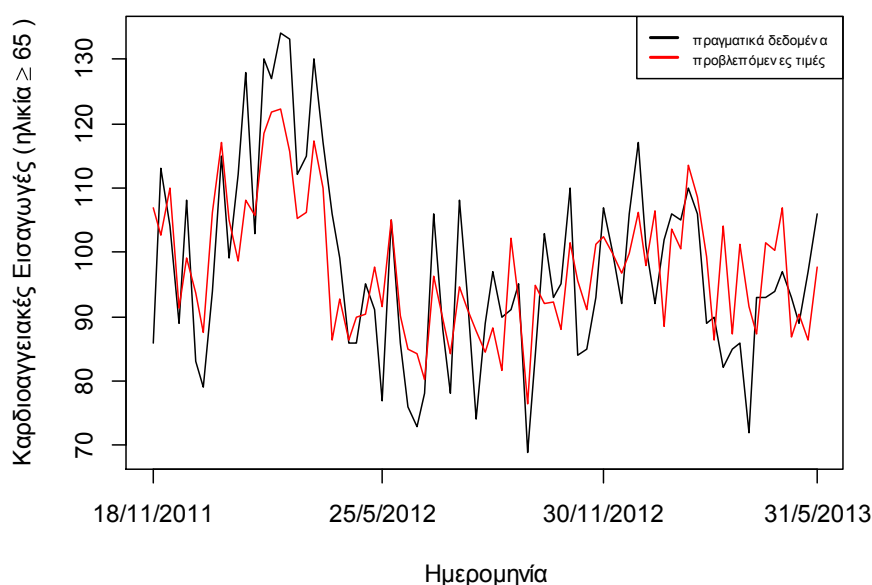
Σχήμα 10-16 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών ασθενών ηλικίας 36 έως 64 με καρδιοαγγειακά προβλήματα με την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης

Τέλος, η εφαρμογή πολυμεταβλητής ανάλυσης για τους ηλικιωμένους ερμηνεύει περίπου το 51.7% της μεταβλητότητας των δεδομένων (Πίνακας 10-12). Επιπρόσθετα, η θερμοκρασία αέρα, η ταχύτητα ανέμου, η νέφωση και ο δείκτης PET επηρεάζουν τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές των ηλικιωμένων. Επιπλέον, στο μοντέλο φαίνεται να συνεισφέρουν και τα σωματίδια μεγέθους 2.5-5μg/m³, 5-10μg/m³ και 40-80μg/m³.

Πίνακας 10-12 Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές ασθενών ηλικίας μεγαλύτερης των 65 ετών σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Καρδιοαγγειακά ηλικία≥65	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
s(Θερμοκρασία)		3.216		0.04748*					
s(Σχετική υγρασία)									
s(Ταχύτητα ανέμου)		1.935		0.09994.					
s(Νέφωση)		5.710		0.00175**					
s(Tmrt)									
s(PET)		1.000		0.00552**	0.517	56.4%	0.49615	624.4826	-0.1666969
s(UTCI)		1.000		0.17870					
s(PM2.5-5 μm)		2.665		2.07e-05***					
s(PM5-10 μm)		1.000		4.29e-05***					
s(PM10-20 μm)									
s(PM20-40 μm)									
s(PM40-80 μm)		3.050		0.06283.					

Οι ηλικιωμένοι φαίνεται να παρουσιάζουν γραμμική συσχέτιση με τους δείκτες PET και UTCI και τα σωματίδια μεγέθους 5-10μg/m³.



Σχήμα 10-17 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών ασθενών ηλικίας μεγαλύτερης των 65 ετών με καρδιοαγγειακά προβλήματα με την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης

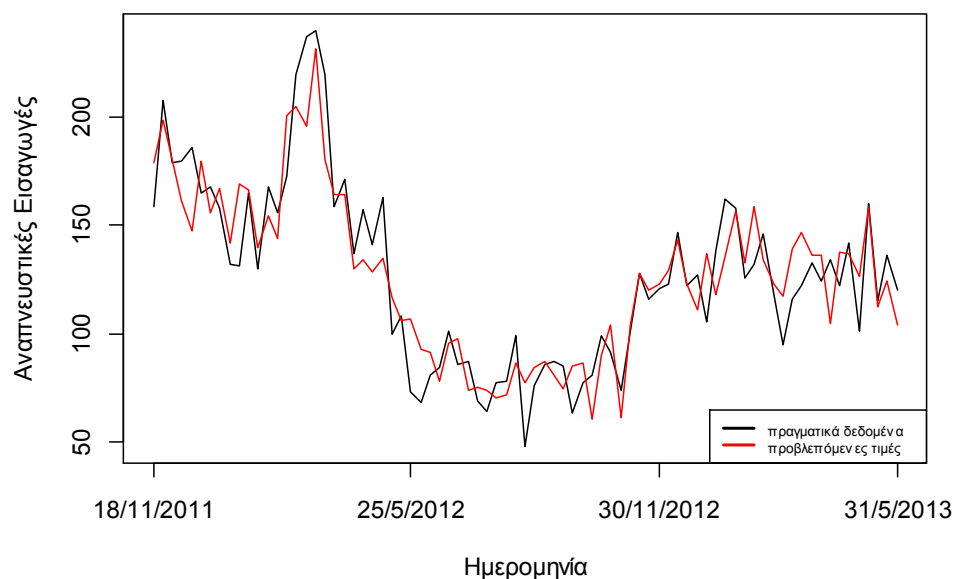
10.4.2 Αναπνευστικές εισαγωγές σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Στον Πίνακα 10-13 παρουσιάζονται οι μεταβλητές που επηρεάζουν τις συνολικές εισαγωγές λόγω αναπνευστικών προβλημάτων (έντονο μαύρο χρώμα) με συσχέτιση >99%. Η εφαρμογή του μοντέλου της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις αναπνευστικές εισαγωγές ερμηνεύει το 72.1% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα. Σε αντίθεση με τις καρδιοαγγειακές εισαγωγές, οι αναπνευστικές εισαγωγές σχετίζονται με περισσότερες μεταβλητές. Επομένως, η θερμοκρασία αέρα, η νέφωση, η T_{mrt} και οι δείκτες PET και UTCI, αλλά και τα σωματίδια μικρού μεγέθους 2.5-5μg/m³ και 5-10μg/m³ επηρεάζουν τις συνολικές αναπνευστικές εισαγωγές (Πίνακας 10-13). Αυτά είναι τα σωματίδια άλλωστε που εισέρχονται στο αναπνευστικό σύστημα, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία που έχει ήδη αναφερθεί.

Πίνακας 10-13 Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Αναπνευστικά Συνολικά	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
s(Θερμοκρασία)		3.979		5.77e-11 ***					
s(Σχετική υγρασία)		2.714		0.020651 *					
s(Ταχύτητα ανέμου)		1.000		0.073171.					
s(Νέφωση)		2.651		2.93e-13 ***					
s(Tmrt)		1.000		0.000161 ***					
s(PET)		4.855		8.12e-09 ***	0.721	82.6%	2.175	774.4492	-0.5315723
s(UTCI)		4.999		2.41e-06 ***					
s(PM2.5-5 μm)		3.865		0.000102 ***					
s(PM5-10 μm)		1.727		7.79e-08 ***					
s(PM10-20 μm)		2.961		0.001076 **					
s(PM20-40 μm)									
s(PM40-80 μm)									

Από τα αποτελέσματα της εφαρμογής μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης παρατηρούμε ότι με μικρότερη συσχέτιση επηρεάζουν και οι υπόλοιπες μεταβλητές, ενώ θα πρέπει να τονιστεί ότι η εποχικότητα επηρεάζει τις εισαγωγές των ατόμων με αναπνευστικά προβλήματα, με το κρύο να προκαλεί αύξηση κατά 12.6%.



Σχήμα 10-18 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών με αναπνευστικά προβλήματα με την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης.

Ο αριθμός των εισαγωγών των αντρών με αναπνευστικά προβλήματα επηρεάζεται από τη θερμοκρασία αέρα, την ταχύτητα ανέμου, την νέφωση, την T_{mrt} , τους δείκτες PET και UTCI (Πίνακας 10-14). Παράλληλα, τα σωματίδια μεγέθους $2.5-5\mu\text{g}/\text{m}^3$, $5-10\mu\text{g}/\text{m}^3$, $20-40\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $40-80\mu\text{g}/\text{m}^3$ αυξάνουν το συνολικό αριθμό των εισαγωγών αντρών λόγω αναπνευστικών προβλημάτων. Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης εξηγεί το 68,7% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα.

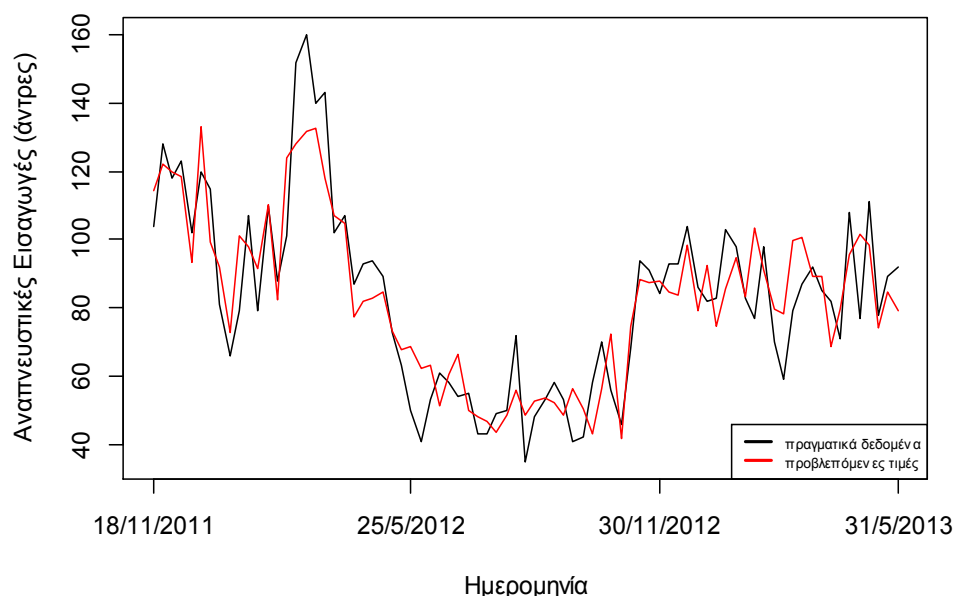
Ειδικότερα, ο αριθμός εισαγωγών αντρών λόγω αναπνευστικών προβλημάτων επηρεάζεται σε ποσοστό πάνω από 99% από την νέφωση, την T_{mrt} , τους δείκτες PET και

UTCI. Παράλληλα, τα σωματίδια μεγέθους 2.5-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ και 5-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ αυξάνουν το συνολικό αριθμό των αναπνευστικών εισαγωγών αντρών, όπως ακριβώς και τις συνολικές εισαγωγές. Η εφαρμογή του μοντέλου της πολυμεταβλητής ανάλυσης ερμηνεύει το 70.9% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα.

Πίνακας 10-14 Αποτελέσματα εφαρμογής μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές αντρών σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Αναπνευστικά άντρες	β	edf	Pr(> z)	p-value	R ²	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
s(Θερμοκρασία)		3.592		0.004704**					
s(Σχετική υγρασία)		1.000		0.008811**					
s(Ταχύτητα ανέμου)		1.000		0.134896					
s(Νέφωση)		1.000		0.000101***					
s(Tmrt)		2.527		8.12e-05***					
s(PET)		4.903		6.48e-08***	0.709	80.3%	1.4054	679.7564	-0.7153143
s(UTCI)		5.000		4.98e-09***					
s(PM2.5-5 μm)		3.276		0.000565***					
s(PM5-10 μm)		2.000		3.89e-10***					
s(PM10-20 μm)									
s(PM20-40 μm)									
s(PM40-80 μm)									

Βέβαια, από τα στοιχεία του Πίνακα 10-14 διαπιστώνεται ότι σημαντικοί όροι της εφαρμογής πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις αναπνευστικές εισαγωγές αντρών είναι η θερμοκρασία και η σχετική υγρασία, η σχέση της οποίας με τις εισαγωγές αντρών είναι γραμμική.



Σχήμα 10-19 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών αντρών με αναπνευστικά προβλήματα με την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης.

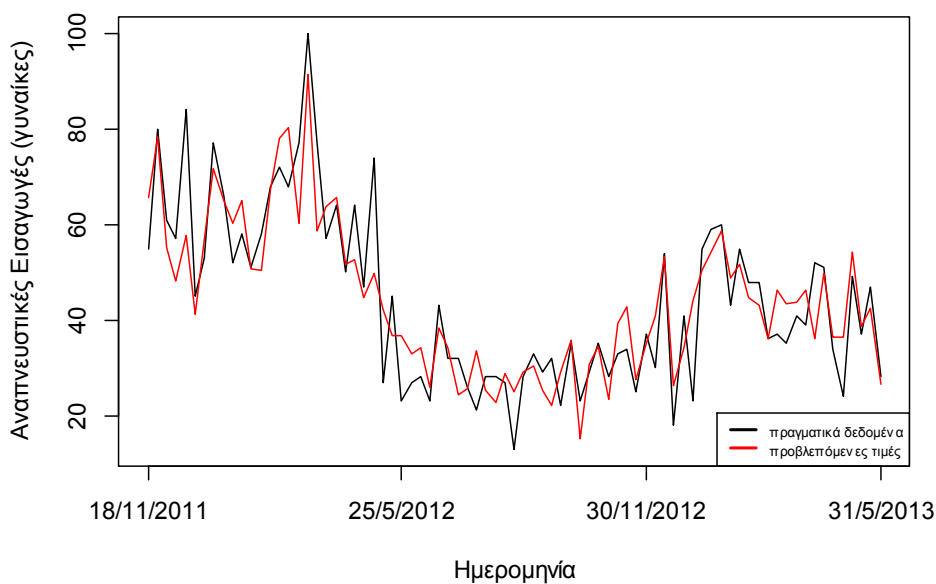
Τέλος, οι γυναίκες ασθενείς με αναπνευστικά προβλήματα επηρεάζονται με συσχέτιση πάνω από 95% από πολλούς μετεωρολογικούς-βιομετεωρολογικούς παράγοντες, όπως η θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα ανέμου, η νέφωση, οι δείκτες PET και UTCI. Όμως και σε αυτή την κατηγορία των εισαγωγών λόγω αναπνευστικών

προβλημάτων, μόνο τα μικρότερα μεγέθη αιωρούμενων σωματιδίων προκαλούν αύξηση στις εισαγωγές, δηλαδή τα $2.5-5\mu\text{g}/\text{m}^3$, $5-10\mu\text{g}/\text{m}^3$ και $10-20\mu\text{g}/\text{m}^3$. Οι εισαγωγές των γυναικών επηρεάζονται από την εποχικότητα, δηλαδή τη χειμερινή περίοδο υπάρχει αύξηση των εισαγωγών κατά 22.2%. Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης ερμηνεύει το 63.9% της μεταβλητότητας που υπάρχει στα δεδομένα.

Πίνακας 10-15 Αποτελέματα εφαρμογής μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης που αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές γυναικών σε συνάρτηση του καιρού και της αέριας ρύπανσης

Αναπνευστικά γυναίκες	β	edf	$\text{Pr}(> z)$	p-value	R^2	Deviance explained	UBRE	AIC	PACF
s(Θερμοκρασία)		4.000		3.20e-12 ***					
s(Σχετική υγρασία)		2.747		0.023293 *					
s(Ταχύτητα ανέμου)		2.655		0.025438 *					
s(Νέφωση)		1.000		3.04e-16 ***					
s(Tmrt)		3.623		0.119372					
s(PET)		4.991		4.94e-09 ***					
s(UTCI)		4.825		0.000310 ***	0.639	76.6%	1.4687	633.5866	-0.3412455
s(PM2.5-5 μm)		1.000		0.018408 *					
s(PM5-10 μm)		1.648		0.001613 **					
s(PM10-20 μm)		3.000		0.000718 ***					
s(PM20-40 μm)									
s(PM40-80 μm)									

Η νέφωση και τα αιωρούμενα σωματίδια με μέγεθος $2.5-5\mu\text{g}/\text{m}^3$ διαπιστώνεται ότι σχετίζονται γραμμικά με τις εισαγωγές των γυναικών, λόγω αναπνευστικών προβλημάτων.



Σχήμα 10-20 Προβλεπόμενες (κόκκινο) και παρατηρηθείσες (μαύρο) τιμές εισαγωγών γυναικών με αναπνευστικά προβλήματα με την εφαρμογή μοντέλου πολυμεταβλητής ανάλυσης.

11 Συμπεράσματα

- Η αξιολόγηση των βιοκλιματικών συνθηκών στη νήσο Κρήτη διενεργήθηκε με βάση την ανάλυση των ανθρωπίνων θερμικών δεικτών PET και UTCI. Ο δείκτης PET είναι ένας καθολικός δείκτης και είναι ανεξάρτητος από την ένδυση και τη μεταβολική δραστηριότητα, ενώ ο δείκτης UTCI είναι πολύ ευαίσθητος στις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα, στην ηλιακή ακτινοβολία, στην υγρασία και ιδιαίτερα στην ταχύτητα του ανέμου. Εκτός αυτού, η ακρίβεια των υπολογισμών PET και UTCI εξαρτώνται από την ακρίβεια και τις αβεβαιότητες των χρησιμοποιούμενων μετεωρολογικών παραμέτρων.
- Ο εκτιμώμενος δείκτης UTCI εμφανίζει την κατηγορία της θερμικής άνεσης με υψηλότερες συχνότητες κατά τη διάρκεια του έτους σε σύγκριση με την αντίστοιχη κατηγορία του δείκτη PET, γεγονός το οποίο ισχύει για όλους τους εξεταζόμενους σταθμούς. Ιδιαίτερα, κατά τη διάρκεια των ψυχρών μηνών, η τάξη αυτή του UTCI κυριαρχεί σε πολλές περιπτώσεις υπερβαίνοντας το 90% της συχνότητας, έναντι του PET. Η θερμική αυτή κατηγορία της θερμικής άνεσης φθάνει περίπου το 38%. Ένα άλλο εύρημα είναι ότι οι τιμές του UTCI της ακραίας / της πολύ ισχυρής / της ισχυρής ψυχρής καταπόνησης και της πολύ ισχυρής θερμικής καταπόνησης απουσιάζουν από την πλειονότητα των εξετασθέντων σταθμών με τις εξαιρέσεις των σταθμών της Παλαιχωράς και του Τυμπακίου (νότιοι παράκτιοι σταθμοί) παρουσιάζοντας αυξανόμενες και μειούμενες τάσεις ισχυρής θερμικής καταπόνησης, αντίστοιχα. Λαμβάνοντας υπόψη τα διαγράμματα διασποράς του UTCI έναντι του PET, βρέθηκε ότι η διασπορά αυξάνεται μειώνοντας το δείκτη UTCI. Αυτό εξηγείται λόγω της σταθερής μόνωσης από την ένδυση για τον δείκτη PET κάτω από κρύες συνθήκες έναντι του δείκτη UTCI που είναι εξαρτώμενος από τη μόνωση της ένδυσης και τον άνεμο.
- Η ανάλυση έδειξε ότι κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου, η ένταση της θερμικής καταπόνησης μειώνεται σε αστικές περιοχές στις βόρειες ακτές της Κρήτης, λόγω των επιπτώσεων ψύξης των μελτεμιών, που απουσιάζουν στις νότιες ακτές. Τα μελέμια παρεμποδίζονται από τις οροσειρές κατά μήκος του νησιού με αποτέλεσμα οι νότιες παράκτιες περιοχές να βιώνουν μεγαλύτερες χρονικές περιόδους με ακραία / ισχυρή θερμική καταπόνηση για το δείκτη PET. Ωστόσο, οι νότιοι άνεμοι (που σχετίζονται με τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης της Σαχάρας την άνοιξη / καλοκαίρι) επιδεινώνουν τις βιοκλιματικές συνθήκες στις βόρειες παράκτιες αστικές περιοχές (όπως το Ηράκλειο), λόγω της ανάπτυξης των ζεστών και ξηρών Föhn ανέμων που κατέρχονται από την οροσειρά του Ψηλορείτη. Από την άλλη πλευρά, οι βιοκλιματικές συνθήκες στις ορεινές περιοχές υποδεικνύουν ότι η εκτιμώμενη ακραία θερμική καταπόνηση του PET παρουσιάζει χαμηλές συχνότητες εμφάνισης από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο έναντι μέτρων συχνότητων της ακραίας καταπόνησης ψύχους που εμφανίζεται από τον Οκτώβριο μέχρι τον Απρίλιο.
- Στην περιοχή της Νήσου Κρήτης, η χρονοσειρά του ετησίου αριθμού των ημερών με μέσες ημερήσιες ακραίες τιμές των PET και UTCI δεν παρουσιάζει σαφείς είτε αυξανόμενες είτε μειούμενες τάσεις κατά τη διάρκεια των 30 χρόνων της περιόδου μελέτης (1975-2004). Αξίζει να παρατηρήσουμε ότι οι εξετασθέντες άνθρωποι θερμικοί δείκτες βασίζονται στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρωπίνου σώματος και όχι

σε μεμονωμένες κλιματικές παραμέτρους. Κατά συνέπεια, η παρατηρούμενη υπερθέρμανση του πλανήτη, που αποδίδεται στις αυξητικές τάσεις της θερμοκρασίας αέρα, δεν έχει κανένα σημαντικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη φυσιολογία στην περιοχή της νήσου Κρήτης ως τώρα. Αυτό είναι πολύ πιθανό να οφείλεται σε κάποιο είδος «αποζημίωσης» μεταξύ των κλιματολογικών παραμέτρων που περιλαμβάνονται στον υπολογισμό των PET και UTCI, όπως η θερμοκρασία αέρα, η σχετική υγρασία, η ταχύτητα ανέμου, και η νέφωση. Επιπλέον λόγω των συνεργιστικών επιδράσεων όλων αυτών των παραμέτρων στη θερμική αντίληψη.

- Η ανάλυση των δεδομένων που αφορούν τη μελέτη των ανέμων Föhn, που πνέουν στο νησί της Κρήτης, έδειξε ότι προκαλούν αύξηση της τάξης των 10°C στη θερμοκρασία αέρα και μείωση κατά 30% της σχετικής υγρασίας εντός περίπου 3 ωρών. Κατά τη διάρκεια αυτών των επεισοδίων, είναι πολύ πιθανό να συμβεί επιδείνωση των βιοκλιματικών συνθηκών που δρουν συνεργιστικά με την κακή ποιότητα του αέρα εξαιτίας του αυξημένου φορτίου σκόνης. Αποτέλεσμα της περιγραφείσης συνέργειας είναι η αύξηση των εισαγωγών στα νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών προβλημάτων στην πόλη του Ηρακλείου.
- Τα επεισόδια μεταφοράς σκόνης της Σαχάρας, που συμβαίνουν κυρίως στη μέση και στα τέλη της άνοιξης, είναι πολύ πιθανό να συνδέονται με Föhn ανέμους, επιδεινώνοντας τις βιο-μετεωρολογικές συνθήκες (θερμικό στρες) στο Ηράκλειο. Αυτό οδηγεί σε αύξηση του αριθμού των ασθενών με πνευμονικά προβλήματα. Η απότομη αύξηση του PET την άνοιξη οξύνει τα αναπνευστικά προβλήματα, επειδή ασθενείς αναγκάζονται να εισπνεύσουν για ένα σύντομο χρονικό διάστημα περισσότερο θερμό αέρα (οξυγόνο), εφόσον είναι πλέον χαμηλής πυκνότητας, ώστε να προσαρμόσουν τις ανάγκες τους. Τέλος, αυτή η διαδικασία προκαλεί βρογχόσπασμα.
- Κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου (Ιούλιος και Αύγουστος) υπάρχει αυξημένη ισχυρή / ακραία θερμική καταπόνηση και ο συνολικός αριθμός των αναπνευστικών εισαγωγών είναι μειωμένος. Οι μετεωρολογικές συνθήκες που εμφανίζονται κυρίως κατά την ψυχρή περίοδο του έτους ευθύνονται για την επιδείνωση των αναπνευστικών προβλημάτων.
- Η ανάλυση (GLM με κατανομή Poisson) δείχνει ότι οι χαμηλότερες τάξεις του δείκτη PET (ισχυρή και ακραία ψυχρή καταπόνηση) συνιστούν σημαντικό σχετικό κίνδυνο (Relative Risk, RR) αναπνευστικών ασθενειών σε άνδρες και γυναίκες. Από την άλλη πλευρά, ο σχετικός κίνδυνος των αναπνευστικών προβλημάτων ελαχιστοποιείται σε υψηλότερες κατηγορίες PET (ισχυρή και ακραία θερμική καταπόνηση). Αντίθετα, στην υψηλότερη κατηγορία του δείκτη UTCI (πολύ ισχυρή θερμική καταπόνηση: $38^{\circ}\text{C} < \text{UTCI} < 46^{\circ}\text{C}$) υπάρχει υψηλός σχετικός κίνδυνος τόσο για τους άνδρες όσο και για τις γυναίκες.
- Οι τιμές του δείκτη UTCI της ακραίας / πολύ ισχυρής / ισχυρής ψυχρής καταπόνησης και της πολύ ισχυρής θερμικής καταπόνησης απουσιάζουν, ενώ η εκτιμώμενη θερμική άνεση του UTCI παρουσιάζει υψηλότερες συχνότητες κατά τη διάρκεια του έτους σε σύγκριση με την αντίστοιχη κατηγορία του δείκτη PET. Σε τοπικά κλίματα και ιδιαίτερα σε εύκρατα κλίματα χωρίς ακραίες θερμοκρασίες, όπως στο Ηράκλειο της Κρήτης, ο θερμικός δείκτης PET ερμηνεύει καλύτερα τις ανθρώπινες βιομετεωρολογικές συνθήκες από το δείκτη UTCI, ο οποίος είναι πιο κατάλληλος σε συνοπτικά κλίματα.
- Οι μετεωρολογικές συνθήκες που εμφανίζονται κυρίως κατά την ψυχρή περίοδο του έτους είναι πιο ευνοϊκές για την επιδείνωση των καρδιαγγειακών και αναπνευστικών

εισαγωγών. Αντίθετα, τύποι καιρού χαρακτηριζόμενοι από υψηλή θερμοκρασία αέρα, υψηλή απόλυτη υγρασία, υψηλή ολική ηλιακή ακτινοβολία και ηλιοφάνεια, που εμφανίζονται κυρίως κατά τη θερμή περίοδο του έτους, σχετίζονται με μείωση των εισαγωγών. Αντιθέτως, οι τύποι καιρού που επηρεάζουν περισσότερο τις καρδιαγγειακές και αναπνευστικές παθήσεις, είναι αυτοί που εμφανίζονται κατά τη χειμερινή περίοδο.

- Οι μεγαλύτερες συγκεντρώσεις όλων των τάξεων του συνόλου των σωματιδίων με ή και χωρίς επεισόδια μεταφοράς σκόνης της Σαχάρας εμφανίζονται στην πόλη του Ηρακλείου. Οι αναλύσεις από το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο δείχνουν ότι έχει βρεθεί ρουτίλιο (TiO_2) σε δείγματα κατά τη διάρκεια επεισοδίων μεταφοράς σκόνης Σαχάρας αποδεικνύοντας ότι η διασυνοριακή μεταφορά της σκόνης είναι δυνατό να προκαλέσει επιδείνωση στην υγεία των κατοίκων του νησιού.
- Τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή μονομεταβλητής ανάλυσης σε συνάρτηση με τις καρδιαγγειακές εισαγωγές στα δύο μεγάλα νοσοκομεία της πόλης του Ηρακλείου είναι ότι οι εισαγωγές επηρεάζονται κυρίως από τη θερμοκρασία αέρα και το βιοκλιματικό δείκτη PET. Συγκεκριμένα πτώση κατά $1^\circ C$ της θερμοκρασίας και του PET μπορεί να προκαλέσει αντίστοιχα αύξηση κατά 1.2% για το σύνολο του πληθυσμού και κατά 0.6% για τους άντρες. Από την άλλη οι γυναίκες επηρεάζονται λιγότερο με μείωση κατά $1^\circ C$ της θερμοκρασίας και του δείκτη PET και το ποσοστό αύξησης στις εισαγωγές τους είναι 0.8% και 0.5%, αντίστοιχα. Οι ηλικιωμένοι φαίνεται να επηρεάζονται από περισσότερες μεταβλητές του καιρού, αφού εκτός από την πτώση κατά $1^\circ C$ της θερμοκρασίας και του PET, που αυξάνουν τα περιστατικά τους κατά 0.9% και 0.4% και η πτώση κατά $1^\circ C$ της T_{mrt} και του δείκτη UTCI οδηγούν σε αύξηση (0.4% και 0.3%, αντίστοιχα). Σημαντικός παράγοντας είναι επιπλέον και η σχετική υγρασία, η αύξηση της οποίας κατά 10% οδηγεί σε αύξηση των εισαγωγών των ηλικιωμένων κατά 1.2%. Επιπλέον, η εφαρμογή της μονομεταβλητής ανάλυσης πραγματοποιήθηκε και για χρονικές υστερήσεις των καρδιαγγειακών εισαγωγών. Εμφανίζεται αύξηση των ποσοστών τους με μεγαλύτερη αυτή στους νέους ηλικίας ≤ 35 ετών, οι οποίες αυξάνονται σε ποσοστό 1.8% μετά από 4 ημέρες πτώσης της θερμοκρασίας κατά $1^\circ C$. Οι ηλικιωμένοι ηλικίας ≥ 65 ετών παρουσιάζουν αύξηση των εισαγωγών τους κατά 1.5% με αύξηση κατά 10% της σχετικής υγρασίας μετά από χρονική υστέρηση 2 ημερών.
- Η εφαρμογή μονομεταβλητής ανάλυσης για τις αναπνευστικές εισαγωγές έδειξε ότι επηρεάζονται επιπλέον σημαντικά από την παράμετρο της νέφωσης, η οποία δηλώνει και την πτώση της θερμοκρασίας. Αύξηση της νέφωσης κατά 50% είναι δυνατό να προξενήσει αύξηση των συνολικών εισαγωγών κατά 5.4% και των αντρών κατά 5.2%. Οι γυναίκες από την άλλη παρουσιάζουν αύξηση στις εισαγωγές τους λόγω μείωσης της θερμοκρασίας, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση 1.5% των περιστατικών με $1^\circ C$ μείωσή της. Η χρονική υστέρηση για τα αναπνευστικά περιστατικά έδειξε ότι η θερμοκρασία αέρα είναι δυνατό να επηρεάζει σημαντικά ύστερα από 3 ημέρες το σύνολο του πληθυσμού κατά 2.8%, τους άντρες κατά 2.2% και τις γυναίκες κατά 4%.
- Η εφαρμογή του μοντέλου της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις καρδιαγγειακές εισαγωγές εξηγεί μεγαλύτερο ποσοστό της μεταβλητότητας των δεδομένων, όταν υπεισέλθουν οι αντίστοιχες χρονικές υστερήσεις σε εκάστη μεταβλητή. Ωστόσο το ποσοστό της ερμηνεύμενης μεταβλητότητας (R^2) δεν αυξάνει, συγκρινόμενο με τις εισαγωγές λόγω αναπνευστικών προβλημάτων ή σε σχέση με την επίδραση της

ρύπανσης τόσο στα καρδιαγγειακά όσο και στα αναπνευστικά δεδομένα. Ειδικότερα, το χαμηλότερο ποσοστό που παρατηρείται είναι 4.6% στους ασθενείς μικρής ηλικίας (≤ 35 ετών), ενώ το υψηλότερο στους ηλικιωμένους ηλικίας ≥ 65 ετών και είναι 10.4%. Οι μεταβλητές που είναι στατιστικά σημαντικές (≥ 99) και συνυπάρχουν είναι τη θερμοκρασία αέρα και με τη χρονική υστερήσή των 4 ημερών και τη T_{mrt} , που εμφανίζονται σε κάθε ανάλυση για κάθε υποκατηγορία ασθενών. Η σχετική υγρασία και η χρονική υστέρηση των 2 ημερών είναι επίσης μια μεταβλητή που υπεισέρχεται στο μοντέλο που αφορά τους άντρες, τις γυναίκες, τους νέους και τους ηλικιωμένους ασθενείς.

- Το μοντέλο της πολυμεταβλητής ανάλυσης για τις αναπνευστικές εισαγωγές ερμηνεύει μεγαλύτερο ποσοστό της μεταβλητότητας των δεδομένων, όταν υπεισέλθουν οι αντίστοιχες χρονικές υστερήσεις σε κάθε μεταβλητή. Το ποσοστό κυμαίνεται από 13.8% για τα δεδομένα των αναπνευστικών εισαγωγών των γυναικών, έως 21.5% για το σύνολο των εισαγωγών. Στην εφαρμογή των μαθηματικών προτύπων συνεισέφεραν σημαντικά ($\geq 99\%$) οι μεταβλητές της θερμοκρασίας αέρα και με τη χρονική υστέρηση των 3 ημερών, της ταχύτητας του ανέμου, της T_{mrt} και με τη χρονική υστέρηση των 3 ημερών και της χρονικής υστέρησης του δείκτη PET με τη χρονική υστέρηση των 7 ημερών. Επιπρόσθετα, όσον αφορά το μοντέλο για τις συνολικές εισαγωγές και για τις γυναίκες συμπεριελήφθη η νέφωση. Ο δείκτης PET υπεισέρχεται σημαντικά στο πολυμεταβλητό μοντέλο των εισαγωγών αντρών και των γυναικών.
- Έγινε προσπάθεια συσχέτισης της αέριας ρύπανσης που καταγράφηκε από τους παθητικούς δειγματολήπτες στο Ηράκλειο και διαχωρίστηκαν οι ρύποι με βάση το μέγεθος της αεροδυναμικής τους διαμέτρου. Η γενική εικόνα δείχνει ότι οι εισαγωγές των καρδιαγγειακών φαίνεται να μην επηρεάζονται ουσιαστικά από τα αιωρούμενα σωματίδια. Στην περίπτωση των γυναικών και των νέων ηλικίας ≤ 35 ετών, θα πρέπει να σημειωθεί ότι αύξηση των σωματιδίων $PM_{2.5-5}$ κατά $10\mu g/m^3$ οδηγεί στην μείωση των εισαγωγών κατά 6% και 9.8%, αντίστοιχα. Οι αέριοι ρύποι για να επιδράσουν στο καρδιαγγειακό σύστημα θα πρέπει να είναι μεγέθους $\leq 2.5\mu m$. Αντιθέτως, τα αναπνευστικά περιστατικά εμφανίζουν μεγαλύτερη θετική συσχέτιση με τα σωματίδια μεγέθους 2.5-20 μm . Μάλιστα, τα σωματίδια PM_{5-10} παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη επίδραση στο ανώτερο και κατώτερο αναπνευστικό σύστημα, αφού αύξησή τους κατά $10\mu g/m^3$ αυξάνει παράλληλα τα συνολικά περιστατικά κατά 6.3%, τα περιστατικά των αντρών κατά 6.6% και των γυναικών κατά 5.8%.
- Στην εφαρμογή πολυμεταβλητής ανάλυσης για την αέρια ρύπανση επιτεύχθη πολύ καλή ερμηνεία της μεταβλητότητας των καρδιαγγειακών εισαγωγών, που κυμαινόταν από 44.5% για τους άντρες έως και 67.8% για τους νέους ηλικίας ≤ 35 ετών. Στην εφαρμογή του μοντέλου συνεισέφεραν σημαντικά οι μεταβλητές της θερμοκρασίας αέρα, της νέφωσης, του PET και των σωματιδίων $PM_{2.5-5}$, PM_{10-20} και PM_{20-40} .
- Πρόθεσή της εργασίας αυτής ήταν να διερευνηθεί η επίδραση της μελλοντικής κλιματικής αλλαγής στις εισαγωγές στα νοσοκομεία χρησιμοποιώντας προβλεπόμενες προσομοιώσεις των μετεωρολογικών παραμέτρων με τα κλιματικά μοντέλα. Για το εγγύς μέλλον (2021-2050) φαίνεται ότι μεγαλύτερη επίδραση στους ασθενείς με καρδιαγγειακά προβλήματα έχει η θερμοκρασία αέρα και ο δείκτης PET. Συγκεκριμένα, οι εισαγωγές που αφορούν άντρες μικρής ηλικίας (≤ 35 ετών) θα μειωθούν επιπλέον κατά 2.3% και 1.6% αντίστοιχα, με αύξηση κατά $1.3^\circ C$ της θερμοκρασίας και $1.6^\circ C$ του

PET. Για το απώτερο μέλλον η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3.1°C ενδέχεται να οδηγήσει σε μείωση των περιστατικών των νέων (≤ 35 ετών) κατά 5.6%, ενώ στους άντρες κατά 3.8%.

- Εν τέλει, εφαρμογή του μοντέλου της κλιματικής αλλαγής για το εγγύς μοντέλο όσον αφορά τις αναπνευστικές εισαγωγές κατέδειξε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1.3°C μπορεί να προκαλέσει επιπλέον μείωση των συνολικών εισαγωγών κατά 3.1%, των αντρών κατά 2.6%, ενώ των γυναικών κατά 4.1%. Οι εισαγωγές που αφορούν τις γυναίκες φαίνεται να επηρεάζονται με αύξηση 1.6°C του δείκτη PET, ενώ μπορεί να προξενήσει επιπλέον μείωση κατά 3% περίπου. Για το μακρινό μέλλον (2071-2100) η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 3.1°C είναι πιθανό να έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των συνολικών εισαγωγών λόγω αναπνευστικών προβλημάτων κατά 7.5%, των αντρών κατά 6.3% και των γυναικών κατά 10%. Βέβαια και η αύξηση του PET κατά 3.9°C μπορεί να προκαλέσει επιπλέον μείωση των παραπάνω εισαγωγών κατά 5%, 5% και 7%, αντίστοιχα.

Βιβλιογραφία

- Abreu-Harbich, L., Labaki, L., Matzarakis, A., 2014. Thermal bioclimate in idealized urban street canyons in Campinas, Brazil. *Theoretical and Applied Climatology* 115, 333-340.
- Abushaban, L., Al-Hay, A., Uthaman, B., Salama, A., Selvan, J., 2004. Impact of the Gulf war on congenital heart diseases in Kuwait. *Int J Cardiol* 93, 157-162.
- Adamson, I.Y., Prieditis, H., Vincent, R., 1999. Pulmonary toxicity of an atmospheric particulate sample is due to the soluble fraction. *Toxicol Appl Pharmacol* 157, 43-50.
- Alarie, Y., Ulrich, C.E., Busey, W.M., Krumm, A.A., MacFarland, H.N., 1972. Long-term continuous exposure to sulfur dioxide in cynomolgus monkeys. *Arch Environ Health* 24, 115-128.
- Alastuey, A., Querol, X., Castillo, S., Escudero, M., Avila, A., Cuevas, E., Torres, C., Romero, P.-M., Exposito, F., García, O., Pedro Díaz, J., Dingenen, R.V., Putaud, J.P., 2005. Characterisation of TSP and PM_{2.5} at Izaña and Sta. Cruz de Tenerife (Canary Islands, Spain) during a Saharan Dust Episode (July 2002). *Atmospheric Environment* 39, 4715-4728.
- Allaby, M., 2007. *Encyclopedia of weather and climate*, Facts on File.
- Alonso-Pérez, S., Cuevas, E., Querol, X., 2011. Objective identification of synoptic meteorological patterns favouring African dust intrusions into the marine boundary layer of the subtropical eastern north Atlantic region. *Meteorology and Atmospheric Physics* 113, 109-124.
- Amarillo, A.C., Carreras, H.A., 2012. The effect of airborne particles and weather conditions on pediatric respiratory infections in Cordoba, Argentine. *Environmental Pollution* 170, 217-221.
- Amdur, M.O., 1974. 1974 Cummings Memorial Lecture. The long road from Donora. *Am Ind Hyg Assoc J* 35, 589-597.
- Amelung, B., Blazejczyk, K., Matzarakis, A., 2007. *Climate Change and Tourism: Assessment and Coping Strategies*. Maastricht - Warsaw - Freiburg.
- Analitis, A., Katsouyanni, K., Biggeri, A., Baccini, M., Forsberg, B., Bisanti, L., Kirchmayer, U., Ballester, F., Cadum, E., Goodman, P.G., Hojs, A., Sunyer, J., Tiittanen, P., Michelozzi, P., 2008. Effects of Cold Weather on Mortality: Results From 15 European Cities Within the PHEWE Project. *Am J Epidemiol* 168, 1397-1408.
- Anderson, H.R., Atkinson, R.W., 2001. Association between ambient particles and daily admissions for cardiovascular diseases. . Systematic review, Report to the department of health.
- Antoine, D., Nobileau, D., 2006. Recent increase of Saharan dust transport over the Mediterranean Sea, as revealed from ocean color satellite (SeaWiFS) observations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111, D12214.
- Arazny, A., 2006. Variability of the predicted insulation index of clothing in the Norwegian Arctic for the period 1971–2000. *Polish Polar Research* 27, 341-357.
- Arimoto, R., 2001. Eolian dust and climate: relationships to sources, tropospheric chemistry, transport and deposition. *Earth-Science Reviews* 54, 29-42.
- Arimoto, R., Ray, B.J., Lewis, N.F., Tomza, U., Duce, R.A., 1997. Mass-particle size distributions of atmospheric dust and the dry deposition of dust to the remote ocean. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 102, 15867-15874.
- ASHRAE, 1989. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- ASHRAE, 1992. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- ASHRAE, 2005. *Improving the Quality of Life, Handbook*.

- Bücher, A., 1989. Fallout of Saharan dust in the northern Mediterranean Sea, In: Palaeoclimatology and Palaeometeorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport, Eds. M. Leinen and M. Sarnthein. NATO ASI Series, C 282, 565-584.
- Bücher, A., J., Dubief, C., Lucas, R., 1983. Retombées estivales de poussières sahariennes sur l'Europe, Rev. Geol. Dyn. Geogr. Phys. 24, 153 – 165.
- Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., Anderson, H.R., Bisanti, L., D'Ippoliti, D., Danova, J., Forsberg, B., Medina, S., Paldy, A., Rabczenko, D., Schindler, C., Michelozzi, P., 2008. Heat effects on mortality in 15 European cities. *Epidemiology* 19, 711-719.
- Bakowska, M., 2010. Influence of air circulation and geographical factors on daily rhythm of biothermal conditions. . Proceedings of the 7th conference on biometeorology 20, 479-484.
- Balis, D.S., Amiridis, V., Zerefos, C., Kazantzidis, A., Kazadzis, S., Bais, A.F., Meleti, C., Gerasopoulos, E., Papayannis, A., Matthias, V., Dier, H., Andreae, M.O., 2004. Study of the effect of different type of aerosols on UV-B radiation from measurements during EARLINET. *Atmos. Chem. Phys.* 4, 307-321.
- Bar-Ziv, J., Goldberg, G.M., 1974. Simple Siliceous Pneumoconiosis in Negev Bedouins. *Archives of Environmental Health: An International Journal* 29, 121-126.
- Barkan, J., Alpert, P., 2008. Synoptic patterns associated with dusty and non-dusty seasons in the Sahara. *Theoretical and Applied Climatology* 94, 153-162.
- Beer, S.I., Kannai, Y.I., Waron, M.J., 1991. Acute exacerbation of bronchial asthma in children associated with afternoon weather changes. *Am Rev Respir Dis* 144, 31-35.
- Beigelman, A., Bacharier, L.B., 2013. The role of early life viral bronchiolitis in the inception of asthma. *Curr Opin Allergy Clin Immunol* 13, 211-216.
- Belding, H., Hatch, T., 1995. Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain. . *Heat Pip Air Condit* 27, 129–136.
- Bell, M.L., Levy, J.K., Lin, Z., 2008a. The effect of sandstorms and air pollution on cause-specific hospital admissions in Taipei, Taiwan. *Occup Environ Med* 65, 104-111.
- Bell, T.L., Rosenfeld, D., Kim, K.-M., Yoo, J.-M., Lee, M.-I., Hahnenberger, M., 2008b. Midweek increase in U.S. summer rain and storm heights suggests air pollution invigorates rainstorms. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 113, D02209.
- Bentz, D.P., Stutzman, P.E., 1994. SEM Analysis and Computer Modeling of Hydration of Portland Cement Particles. *Petrography of Cementitious Materials*, 60-69.
- Bergametti, G., Gomes, L., Coudé-Gaussen, G., Rognon, P., Le Coustumer, M.-N., 1989. African dust observed over Canary Islands: Source-regions identification and transport pattern for some summer situations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 94, 14855-14864.
- Berglund, L.G., Gagge, A.P., 1979. Thermal comfort and radiant heat. Proceedings of the 3rd National Passive Solar Conference of The American Section of The International Solar Energy Society, Inc.
- Besancenot, J.P., 1978. Le bioclimat humain de Rio. In: Suchel J.B., E. Altes, J.P. Besancenot, and P. Maheras Eds., *Recherches de Climatologie en Milieu Tropical et Mediterranean* . Cahier No. 6 du Centre de Recherches de Climatologie, Universite de Dijon, Dijon.
- Błażejczyk, K., 2011. Assessment of Regional Bioclimatic Contrasts in Poland, *Miscellanea Geographica - Regional Studies on Development*, p. 79.
- Błażejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H., Tinz, B., 2012. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *Int J Biometeorol* 56, 515-535.
- Błażejczyk, K., Jendritzky, G., Brode, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., Psikuta, A., Kampmann, B., 2013. An Introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *Geographia Polonica* 86, 5-10.
- Blennow, K., Persson, P., 1998. Modelling local-scale frost variations using mobile temperature measurements with a GIS. . *Agricultural and Forest Meteorology* 89, 59-71.

- Bleta, A., Nastos, P.T., Matzarakis, A., 2013a. Assessment of bioclimatic conditions in Crete Island, Greece Regional Environmental Change.
- Bleta, A.G., Nastos, P., T., Agouridakis, P., Notas, G., Kampanis, N.A., 2014a. Human thermal bioclimatic conditions associated with respiratory diseases in Crete Island, Greece. EMS Conference, Prague.
- Bleta, A.G., Nastos, P.T., 2013. Human thermal bioclimatic conditions associated with acute cardiovascular syndromes in Crete Island, Greece. EGU Conference 2013, Vienna.
- Bleta, A.G., Nastos, P.T., Agouridakis, P., Notas, G., Kampanis, N.A., 2013b. Weather patterns associated with respiratory and cardiovascular hospital admissions in Heraklion, Crete Island, Greece, . EMS2013 Conference, Reading.
- Bleta, A.G., Nastos, P.T., Agouridakis, P., Notas, G., Kampanis, N.A., 2014b. Weather impacts on human's health in a Mediterranean coastal city. COMECAP proceedings.
- Bleta, A.G., Nastos, P.T., Kaminski, U., Dietze, V., 2014c. Assessment of ground based particulate matter measurements at two Mediterranean places during Saharan dust events. COMECAP proceedings 1, 143-148.
- Bligh, J., 1985. Regulation of body temperature in man and other mammals, in A Shitzer and R Eberhart, Heat Transfer in Medicine and Biology – Analysis and Applications. New York Plenum Press.
- Boari, B., Salmi, R., Gallerani, M., Malagoni, A.M., Manfredini, F., Manfredini, R., 2007. Acute myocardial infarction: Circadian, weekly, and seasonal patterns of occurrence. Biological Rhythm Research 38, 155-167.
- Bouyer, J., Vinet, J., Delpech, P., Carré, S., 2007. Thermal comfort assessment in semi-outdoor environments: Application to comfort study in stadia. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 95, 963-976.
- Brevard, N., 2012. The Donora Smog Disaster and the Clean Air Act of 1970.
- Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I.r., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., Havenith, G., 2012a. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). Int J Biometeorol 56, 481-494.
- Bröde, P., Krüger, E., Rossi, F., Fiala, D., 2012b. Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil. Int J Biometeorol 56, 471-480.
- Burkart, K., Endlicher, W., 2010. The effect of temperature and thermal atmospheric conditions on mortality in Bangladesh. Proceedings of the 7th conference on biometeorology 20, 261-266.
- Burkart, K., Schneider, A., Breitner, S., Khan, M.H., Kramer, A., Endlicher, W., 2011. The effect of atmospheric thermal conditions and urban thermal pollution on all-cause and cardiovascular mortality in Bangladesh. Environ Pollut 159, 2035-2043.
- Burton, I., Ebi, K.L., McGregor, G., 2009. Biometeorology for Adaptation to Climate Variability and Change. . Springer-Verlag, Wien, 284.
- Burton, I., Edholm, 1955. Man in a cold environment. London (Arnold), 273-275.
- Cahna, N., Almeida, S.M., Freitas, M., Trancoso, M., Sousa, A., Mouro, F., Wolterbeek, H.T., 2014. Particulate matter analysis in indoor environments of urban and rural primary schools using passive sampling methodology, . Atmospheric Environment 83, 21-34.
- Cardenas, M., Vallejo, M., Romano-Riquer, P., Ruiz-Velasco, S., Ferreira-Vidal, A.D., Hermosillo, A.G., 2008. Personal exposure to PM2.5 air pollution and heart rate variability in subjects with positive or negative head-up tilt test. Environ Res 108, 1-6.
- Cecchi, L., D'Amato, G., Ayres, J.G., Galan, C., Forastiere, F., Forsberg, B., Gerritsen, J., Nunes, C., Behrendt, H., Akdis, C., Dahl, R., Annesi-Maesano, I., 2010. Projections of the effects of climate change on allergic asthma: the contribution of aerobiology. Allergy 65, 1073-1081.

- Cecchi, L., Morabito, M., Paola Domeneghetti, M., Crisci, A., Onorari, M., Orlandini, S., 2006. Long distance transport of ragweed pollen as a potential cause of allergy in central Italy. *Ann Allergy Asthma Immunol* 96, 86-91.
- Chan, C.C., Chuang, K.J., Chen, W.J., Chang, W.T., Lee, C.T., Peng, C.M., 2008. Increasing cardiopulmonary emergency visits by long-range transported Asian dust storms in Taiwan. *Environ Res* 106, 393-400.
- Chato, J., 1985. Measurement of thermal properties of biological materials, in A Shitzer and R Eberhart, *Heat Transfer in Medicine and Biology – Analysis and Applications*. . New York Plenum Press.
- Chavarria, J.F., 2001. Short report: Asthma admissions and weather conditions in Costa Rica. *Arch Dis Child* 84, 514-515.
- Chen, L., Mengersen, K., Tong, S., 2007. Spatiotemporal relationship between particle air pollution and respiratory emergency hospital admissions in Brisbane, Australia. *Sci Total Environ* 373, 57-67.
- Cheng, T.J., Hwang, J.S., Wang, P.Y., Tsai, C.F., Chen, C.Y., Lin, S.H., Chan, C.C., 2003. Effects of concentrated ambient particles on heart rate and blood pressure in pulmonary hypertensive rats. *Environ Health Perspect* 111, 147-150.
- Chirag, D., Ramachandraiah, A., 2010. The significance of Physiological Equivalent Temperature (PET) in outdoor thermal comfort studies. . *International Journal of Engineering Science and Technology* 2, 2825-2828.
- Choi, S.H., Lee, S.W., Hong, Y.S., Kim, S.J., Kim, N.H., 2007. Effects of atmospheric temperature and humidity on outbreak of diseases. *Emergency Medicine Australasia* 19, 501-508.
- Cleveland, W.S., Devlin, S.J., Grosse, E., 1988. Regression by local fitting: Methods, properties, and computational algorithms. *Journal of Econometrics* 37, 87-114.
- Conway, D.S., Buggins, P., Hughes, E., Lip, G.Y., 2004. Relationship of interleukin-6 and C-reactive protein to the prothrombotic state in chronic atrial fibrillation. *J Am Coll Cardiol* 43, 2075-2082.
- Cornélissen, G., Halberg, F., Breus, T., Syutkina, E.V., Baevsky, R., Weydahl, A., Watanabe, Y., Otsuka, K., Siegelova, J., Fiser, B., Bakken, E.E., 2002. Non-photoc solar associations of heart rate variability and myocardial infarction. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 64, 707-720.
- Coutes, J., 1909. *A History of the University of Glasgow*.
- Crawford, V.L.S., Mccann, M., Stout, R.W., 2003. Changes in seasonal deaths from myocardial infarction.
- Čulić, V., 2006. Seasonal distribution of acute myocardial infarction: A need for a broader perspective. *Int J Cardiol* 109, 265-266.
- Curriero, F.C., Heiner, K.S., Samet, J.M., Zeger, S.L., Strug, L., Patz, J.A., 2002. Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States. *Am J Epidemiol* 155, 80-87.
- Cziczo, D.J., Froyd, K.D., Gallavardin, S.J., Moehler, O., Benz, S., Saathoff, H., Murphy, D.M., 2009. Deactivation of ice nuclei due to atmospherically relevant surface coatings. *Environmental Research Letters* 4, 044013.
- D'ippoliti, D., Forastiere, F., Ancona, C., Agabiti, N., Fusco, D., Michelozzi, P., Perucci, C.A., 2003. Air pollution and myocardial infarction in Rome: a case-crossover analysis. *Epidemiology* 14, 528-535.
- D'Almeida, G.A., 1986. Desert aerosol characteristics and effects on climate, In: *Palaeoclimatology and Palaemeteorology: Modern and Past Patterns of Global Atmospheric Transport*, Eds. M. Leinen and M. Sarnthein. *NATO ASI Series, C* 282, 311-338.
- Danet, S., Richard, F., Montaye, M., Beauchant, S., Lemaire, B., Graux, C., Cottel, D., Marecaux, N., Amouyel, P., 1999. Unhealthy effects of atmospheric temperature and pressure on the occurrence of myocardial infarction and coronary deaths. A 10-year survey:

the Lille-World Health Organization MONICA project (Monitoring trends and determinants in cardiovascular disease). *Circulation* 100, E1-7.

Danielides, V., Nousia, C.S., Patrikakos, G., Bartzokas, A., Lolis, C.J., Milionis, H.J., Skevas, A., 2002. Effect of meteorological parameters on acute laryngitis in adults. *Acta Otolaryngol* 122, 655-660.

Dawson-Hughes, B., Dallal, G.E., Krall, E.A., Harris, S., Sokoll, L.J., Falconer, G., 1991. Effect of vitamin D supplementation on wintertime and overall bone loss in healthy postmenopausal women. *Ann Intern Med* 115, 505-512.

de Longueville, F., Ozer, P., Doumbia, S., Henry, S., 2013. Desert dust impacts on human health: an alarming worldwide reality and a need for studies in West Africa. *Int J Biometeorol* 57, 1-19.

de Pablo, F., Tomás, C., Rivas Soriano, L., Diego, L., 2009. Winter circulation weather types and hospital admissions for cardiovascular, respiratory and digestive diseases in Salamanca, Spain. *International Journal of Climatology* 29, 1692-1703.

Dentener, F.J., Carmichael, G.R., Zhang, Y., Lelieveld, J., Crutzen, P.J., 1996. Role of mineral aerosol as a reactive surface in the global troposphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 101, 22869-22889.

Dilaveris, P., Synetos, A., Giannopoulos, G., Gialafos, E., Pantazis, A., Stefanadis, C., 2006. CLimate Impacts on Myocardial infarction deaths in the Athens Territory: the CLIMATE study. *Heart* 92, 1747-1751.

Dockery, D.W., 2001. Epidemiologic evidence of cardiovascular effects of particulate air pollution. *Environ Health Perspect* 109 Suppl 4, 483-486.

Dockery, D.W., Pope, C.A., Xu, X., Spengler, J.D., Ware, J.H., Fay, M.E., Ferris, B.G., Speizer, F.E., 1993. An Association between Air Pollution and Mortality in Six U.S. Cities. *New England Journal of Medicine* 329, 1753-1759.

Donaldson, K., Brown, D.M., Mitchell, C., Dineva, M., Beswick, P.H., Gilmour, P., MacNee, W., 1997. Free radical activity of PM10: iron-mediated generation of hydroxyl radicals. *Environ Health Perspect* 105 Suppl 5, 1285-1289.

Donaldson, K., MacNee, W., 1998. The mechanism of lung injury caused by PM10. *Environmental Science and Technology* 10, 21-32.

Draxler, R.R., Hess, G.D., 1998. An overview of the HYSPLIT_4 modeling system of trajectories, dispersion, and deposition. *Aust. Meteor. Mag.* 47, 295-308.

Dubowsky, S.D., Suh, H., Schwartz, J., Coull, B.A., Gold, D.R., 2006. Diabetes, obesity, and hypertension may enhance associations between air pollution and markers of systemic inflammation. *Environ Health Perspect* 114, 992-998.

Dunnigan, M.G., Harland, W.A., Fyfe, T., 1970. SEASONAL INCIDENCE AND MORTALITY OF ISCH?MIC HEART-DISEASE. *The Lancet* 296, 793-797.

Ebi, K.L., Exuzides, K.A., Lau, E., Kelsh, M., Barnston, A., 2004. Weather changes associated with hospitalizations for cardiovascular diseases and stroke in California, 1983-1998. *Int J Biometeorol* 49, 48-58.

Eccles, R., 2002a. Acute cooling of the body surface and the common cold. *Rhinology* 40, 109-114.

Eccles, R., 2002b. An explanation for the seasonality of acute upper respiratory tract viral infections. *Acta Otolaryngol* 122, 183-191.

Egger, J., Hoinka, K.P., 1992. Fronts and orography. *Meteorology and Atmospheric Physics* 48, 3-36.

Ehrenberg, C.G., 1871. Übersicht der seit 1847 forgesetzten Untersuchungen über das von der Atmosphäre unsichtbar getragene reiche organische Leben. *Abh. Akad. Wiss., Berlin.*

Encyclopedia, M., 2006. *Encyclopedia of Environmental Ethics and Philosophy*, Vol 1: Abbey to Istrael. Macmillan Reference USA.

- Enquesselassie, F., Dobson, A.J., Alexander, H.M., Steele, P.L., 1993. Seasons, temperature and coronary disease. *Int J Epidemiol* 22, 632-636.
- EPA, U., 2014. U.S. Environmental Protection Agency Office of Air Quality Planning and Standards Outreach and Information Division Research Triangle Park, NC.
- Epstein, Y., Moran, D.S., 2006. Thermal comfort and the heat stress indices. *Ind Health* 44, 388-398.
- Erbas, B., Hyndman, R.J., 2005. Sensitivity of the estimated air pollution-respiratory admissions relationship to statistical model choice. *Int J Environ Health Res* 15, 437-448.
- Escudero, M., Castillo, S., Querol, X., Avila, A., Alarcón, M., Viana, M.M., Alastuey, A., Cuevas, E., Rodríguez, S., 2005. Wet and dry African dust episodes over eastern Spain. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 110, D18S08.
- Estrella, N., Menzel, A., Kramer, U., Behrendt, H., 2006. Integration of flowering dates in phenology and pollen counts in aerobiology: analysis of their spatial and temporal coherence in Germany (1992-1999). *Int J Biometeorol* 51, 49-59.
- EurowinterGroup, 1997. Cold exposure and winter mortality from ischaemic heart disease, cerebrovascular disease, respiratory disease, and all causes in warm and cold regions of Europe. The Eurowinter Group. *Lancet* 349, 1341-1346.
- Exner, T., 2009. Longitudinale Modellierung pneumologischer Erkrankungen in Abhängigkeit von meteorologischen Einflussfaktoren (Pilotregion Bayern). Bachelor Thesis, Ludwig Maximilian University, Munich.
- Fairlie, D.T., Jacob, D.J., Park, R.J., 2007. The impact of transpacific transport of mineral dust in the United States. *Atmospheric Environment* 41, 1251-1266.
- Fanger, P.O., 1972. Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering. McGraw-Hill, New York.
- Fanger, P.O., 1973. Assessment of man's thermal comfort in practice. *British Journal of Industrial Medicine* 30, 313-324.
- Fernandez, A., Wendt, J.O., Wolski, N., Hein, K.R., Wang, S., Witten, M.L., 2003. Inhalation health effects of fine particles from the co-combustion of coal and refuse derived fuel. *Chemosphere* 51, 1129-1137.
- Fiala, D., Havenith, G., Brode, P., Kampmann, B., Jendritzky, G., 2012. UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *Int J Biometeorol* 56, 429-441.
- Fiala, D., Lomas, K., Stohrer, M., 2001a. Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions. *Int J Biometeorol* 45, 143-159.
- Flewitt, P.E.J., Wild, R.K., 1994. Physical Methods for Materials Characterisation. IOP Publishing: Bristol.
- Flocas, H.A., Assimakopoulos, V.D., Helmis, C.G., 2006. An experimental study of aerosol distribution over a Mediterranean urban area. *Science of The Total Environment* 367, 872-887.
- Folinsbee, L.J., Bedi, J.F., Horvath, S.M., 1985. Pulmonary response to threshold levels of sulfur dioxide (1.0 ppm) and ozone (0.3 ppm). *J Appl Physiol* (1985) 58, 1783-1787.
- Fotiadi, A., Hatzianastassiou, N., Drakakis, E., Matsoukas, C., Pavlakis, K.G., Hatzidimitriou, D., Gerasopoulos, E., Mihalopoulos, N., Vardavas, I., 2006. Aerosol physical and optical properties in the Eastern Mediterranean Basin, Crete, from Aerosol Robotic Network data. *Atmos. Chem. Phys.* 6, 5399-5413.
- Franzén, L.G., Mattsson, J.O., Mårtensson, U., Nihlén, T., Rapp, A., 1994. Yellow snow over the Alps and subarctic from dust storm in Africa, March 1991. *Ambio* 23, 233-235.
- Friedman, G.D., Tekawa, I., Grimm, R.H., Manolio, T., Shannon, S.G., Sidney, S., 1990. The leucocyte count: correlates and relationship to coronary risk factors: the CARDIA study. *Int J Epidemiol* 19, 889-893.

- Gaffin, D.M., 2007. Foehn Winds That Produced Large Temperature Differences near the Southern Appalachian Mountains. *Weather and Forecasting* 22, 145-159.
- Gagge, A.P., 1973. Rational Temperature Indices of Man's Thermal Environment and Their Use with a 2-node Model of His Temperature Regulation. *Federal Proceedings* 32, 1572-1582.
- Gagge, A.P., Fobelets, A.P., Berglund, P.E., 1986. A standard predictive index of human response to the thermal environment. *ASHRAE* 92, 709-731.
- Gagge, A.P., Nishi, Y., 1976. Physical indices of the thermal environment. *ASHRAE Transactions* 18, 47-51.
- Gameiro da Silva, M.C., 2013. Spreadsheets for the Calculation of Thermal Comfort Indices PMV and PPD.
- Ganor, E., Mamane, Y., 1982. Transport of Saharan dust across the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* (1967) 16, 581-587.
- Garland, F.C., Garland, C.F., Gorham, E.D., Young, J.F., 1990. Geographic variation in breast cancer mortality in the United States: a hypothesis involving exposure to solar radiation. *Prev Med* 19, 614-622.
- Garrison, V.H., Foreman, W.T., Genualdi, S., Griffin, D.W., Kellogg, C.A., Majewski, M.S., Mohammed, A., Ramsabhag, A., Shinn, E.A., Simonich, S.L., Smith, G.W., 2006. Saharan dust - a carrier of persistent organic pollutants, metals and microbes to the Caribbean? *Revista de Biología Tropical* 54, 9-21.
- Gassó, S., Grassian, V.H., Miller, R.L., 2010. Interactions between Mineral Dust, Climate, and Ocean Ecosystems. *Elements* 6, 247-252.
- Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Babasakalis, P., Vrekousis, M., Putaud, J., Mihalopoulos, N., 2006a. Origin and variability of particulate matter (PM₁₀) mass concentrations over the Eastern Mediterranean. *Atmos. Environ.* 40, 4679-4690.
- Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Babasakalis, P., Vrekoussis, M., Putaud, J.P., Mihalopoulos, N., 2006b. Origin and variability of particulate matter (PM₁₀) mass concentrations over the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* 40, 4679-4690.
- Givoni, B., 1974. Biometeorological indices. *Progress in Biometeorology* 1.
- Gobbi, G.P., Barnaba, F., Ammannato, L., 2007. Estimating the impact of Saharan dust on the year 2001 PM₁₀ record of Rome, Italy. *Atmospheric Environment* 41, 261-275.
- Godelitsas, A., Nastos, P., Mertzimekis, T.J., Toli, K., Simon, R., Göttlicher, J., 2011. A microscopic and Synchrotron-based characterization of urban particulate matter (PM₁₀-PM_{2.5} and PM_{2.5}) from Athens atmosphere, Greece. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms* 269, 3077-3081.
- Gold, D.R., Litonjua, A., Schwartz, J., Lovett, E., Larson, A., Nearing, B., Allen, G., Verrier, M., Cherry, R., Verrier, R., 2000. Ambient pollution and heart rate variability. *Circulation* 101, 1267-1273.
- Golden, J.S., Hartz, D., Brazel, A., Luber, G., Phelan, P., 2008. A biometeorology study of climate and heat-related morbidity in Phoenix from 2001 to 2006. *Int J Biometeorol* 52, 471-480.
- Goncalves, F.L., Carvalho, L.M., Conde, F.C., Latorre, M.R., Saldiva, P.H., Braga, A.L., 2005. The effects of air pollution and meteorological parameters on respiratory morbidity during the summer in Sao Paulo City. *Environ Int* 31, 343-349.
- Gosling, S.N., McGregor, G.R., Lowe, J.A., 2009. Climate change and heat-related mortality in six cities Part 2: climate model evaluation and projected impacts from changes in the mean and variability of temperature with climate change. *Int J Biometeorol* 53, 31-51.
- Gosling, S.N., McGregor, G.R., Paldy, A., 2007. Climate change and heat-related mortality in six cities part 1: model construction and validation. *Int J Biometeorol* 51, 525-540.
- Goudie, A.S., Middleton, N.J., 2001. Saharan dust storms: nature and consequences. *Earth-Science Reviews* 56, 179-204.
- Goudie, A.S., Middleton, N.J., 2006. *Desert Dust in the Global System*. Springer.

- Grant, W.B., 2002. An estimate of premature cancer mortality in the U.S. due to inadequate doses of solar ultraviolet-B radiation. *Cancer* 94, 1867-1875.
- Gratziou, C., Rovina, N., Lignos, M., Vogiatzis, I., Roussos, C., 2001. Exhaled Nitric oxide in seasonal Allergic Rhinitis: Influence of pollen season and therapy. *Clinical & Experimental Allergy* 31, 409-416.
- Griffin, D., Garrison, V., Herman, J., Shinn, E., 2001. African desert dust in the Caribbean atmosphere: Microbiology and public health. *Aerobiologia* 17, 203-213.
- Griffin, D.W., 2007. Atmospheric Movement of Microorganisms in Clouds of Desert Dust and Implications for Human Health. *Clinical Microbiology Reviews* 20, 459-477.
- Grigorieva, E., Matzarakis, A., 2011. Physiologically equivalent temperature as a factor for tourism in extreme climate regions in the Russian Far East: preliminary results," *European Journal of Tourism, Hospitality and Recreation*, vol. 3, pp. 127–142, 2011. *European Journal of Tourism, Hospitality and Recreation* 3, 127-142.
- Grigoropoulos, K.N., Nastos, P.T., Ferentinos, G., 2009. Spatial distribution of PM1 and PM10 during Saharan dust episodes in Athens, Greece. *Adv. Sci. Res.* 3, 59-62.
- Grobéty, B., Gieré, R., Dietze, V., Stille, P., 2010. Airborne Particles in the Urban Environment. *Elements* 6, 229-234.
- Guerzoni, S., Chester, R., 1996. *The Impact of the Desert Dust across the Mediterranean*. . Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA 389.
- Guerzoni, S., Landuzzi, W., Lenaz, R., Quarantotto, G., Cesari, G., Rampazzo, G., Molinaroli, E., 1992. Mineral atmospheric particulate from south to north western Mediterranean: seasonal variations and characteristics, in *EROS 2000 3rd Workshop, Texel, Water Pollut. Res. Rep. 28*, edited by J. M. Martin and H. Bart, pp. 483 – 494, 1992. *EROS 2000 3rd Workshop, Water Pollut. Res. Rep. 28*, edited by J. M. Martin and H. Bart., 483-494.
- Guisan, A., Thomas, T.C., Edwards, T.C., Hastie, T.J., 2002. Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: setting the scene *Ecological Modelling* 157, 89-100.
- Gulyás, Á., Matzarakis, A., 2007. Selected examples of bioclimatic analysis applying the physiologically equivalent temperature in Hungary. *Acta Climatol Chorol Univ Szegediensis* 40-41, 37-46.
- Gulyás, Á., Unger, J., Matzarakis, A., 2006. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modelling and measurements. *Building and Environment* 41, 1713-1722.
- Hajat, S., Haines, A., Goubet, S.A., Atkinson, R.W., Anderson, H.R., 1999. Association of air pollution with daily GP consultations for asthma and other lower respiratory conditions in London. *Thorax* 54, 597-605.
- Halberg, F., Cornelissen, G., Otsuka, K., Fiser, B., Mitsutake, G., Wendt, H.W., Johnson, P., Gigolashvili, M., Breus, T., Sonkowsky, R., Chibisov, S.M., Katinas, G., Siegelova, J., Dusek, J., Singh, R.B., Berri, B.L., Schwartzkopff, O., 2005. Incidence of sudden cardiac death, myocardial infarction and far- and near-transyears. *Biomed Pharmacother* 59 Suppl 1, S239-261.
- Hammer, N., 1985. Ein Energiebilanzmodell des Menschen. Die Energiebilanz in einem Schneebiwak. *Teil A&B, Wetter und Leben* 37.
- Hämmerle, M., Gál, T., Unger, J., Matzarakis, A., 2011. Comparison of models calculating the sky view factor used for urban climate investigations. *Theoretical and Applied Climatology* 105, 521-527.
- Hanes, L.S., Issa, E., Proud, D., Togias, A., 2006. Stronger nasal responsiveness to cold air in individuals with rhinitis and asthma, compared with rhinitis alone. *Clin Exp Allergy* 36, 26-31.
- Hanna, J.M., 1999. Climate, altitude, and blood pressure. *Hum Biol* 71, 553-582.

Harris, E., Sinha, B., Foley, S., Crowley, J.N., Borrmann, S., Hoppe, P., 2012. Sulfur isotope fractionation during heterogeneous oxidation of SO₂ on mineral dust. *Atmos. Chem. Phys.* 12, 4867-4884.

Harrison, R.M., Yin, J., 2000. Particulate matter in the atmosphere: which particle properties are important for its effects on health? *Sci Total Environ* 249, 85-101.

Hartikainen, P., Soininen, H., Reinikainen, K.J., Sirvio, J., Soikkeli, R., Riekkinen, P.J., 1991. Neurotransmitter markers in the cerebrospinal fluid of normal subjects. Effects of aging and other confounding factors. *J Neural Transm Gen Sect* 84, 103-117.

Hastie, T., Tibshirani, R., 1986. Generalized Additive Models. 297-310.

Hastie, T.J., Tibshirani, R.J., 1990. Generalized additive models. London: Chapman & Hall.

Havenith, G., 2001. Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *J Appl Physiol* (1985) 90, 1943-1954.

Hawkins, H.F., 1954. The Weather And Circulation of July 1954. *American Meteorological Society* 82, 209-217.

Hazell, C., Burr, M., Collins, P., Karani, G., 1999. Investigation of the possible link between exposure to air pollution and changes in blood coagulation parameters. *Environ Int* 25, 9-16.

Hensel, H., 1981. Thermoreception and temperature regulation.

Herrmann, J., Matzarakis, A., 2012. Mean radiant temperature in idealised urban canyons--examples from Freiburg, Germany. *Int J Biometeorol* 56, 199-203.

Hinds, W.C., 1999. *Aerosol Technology. Properties, Behavior and Measurement of Airborne Particles* Second edition. John Wiley & Sons Inc.

Hobbs, Sinha, B., Yokelson, 2000. Evolution of gases and particles from a savanna fire in South Africa. *Geophysical Research: Atmospheres* 108, 1984–2012.

Hoek, G., Brunekreef, B., 1995. Effect of photochemical air pollution on acute respiratory symptoms in children. *Am J Respir Crit Care Med* 151, 27-32.

Hofmann, F., Otto, M., Kuhn, U., Ober, S., Schlechtriemen, U., Vögel, R., 2011. A New Method for in Situ Measurement of Bt-Maize Pollen Deposition on Host-Plant Leaves. *Insects* 2, 12-21.

Holdaway, I.M., Mason, B.H., Gibbs, E.E., Rajasoorya, C., Hopkins, K.D., 1991. Seasonal changes in serum melatonin in women with previous breast cancer. *Br J Cancer* 64, 149-153.

Honjo, T., 2009. Thermal Comfort in Outdoor Environment. *Global Environmental Research* 13 13, 43-47.

Hoppe, P., 1999. The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol* 43, 71-75.

Höppe, P., 1984. Die Energiebilanz des Menschen. *Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Uni München* 59.

Höppe, P., 1988. Comfort requirements in indoor climate. *Energy Build* 11, 249–257.

Höppe, P., 1999. The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *Int J Biometeorol* 43, 71-75.

Höppe, P.R., 1993. Heat balance modelling. *Experientia* 49, 741-746.

Höppe, P.R., Seidl, H.A.J., 1991. Problems in the assessment of the bioclimate for vacationists at the seaside. *Int J Biometeorol* 35, 107-110.

Horan, J.T., Francis, C.W., Falsey, A.R., Kolassa, J., Smith, B.H., Hall, W.J., 2001. Prothrombotic changes in hemostatic parameters and C-reactive protein in the elderly with winter acute respiratory tract infections. *Thromb Haemost* 85, 245-249.

Houghten, F.C., Yaglou, C.P., 1923. Determining lines of Equal comfort. *ASH&VE Transactions* 28, 361-384.

Houghton J.T., Filho L.G.M., Callander B.A, Harris N., Kattenberg A., Maskell K., 1996. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 1995 The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom.

Hu, W., Mengersen, K., McMichael, A., Tong, S., 2008. Temperature, air pollution and total mortality during summers in Sydney, 1994-2004. *Int J Biometeorol* 52, 689-696.

Hwang, R.-L., Lin, T.-P., Matzarakis, A., 2011. Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment* 46, 863-870.

Hyrkäs, H., Jaakkola, M.S., Ikäheimo, T.M., Hugg, T.T., Jaakkola, J.J.K., 2014. Asthma and allergic rhinitis increase respiratory symptoms in cold weather among young adults. *Respiratory Medicine* 108, 63-70.

Idzikowska, D., 2010. Differences in bioclimatic conditions in four European cities: Budapest, Paris, Rome and Warsaw. . *Proceedings of the 7th conference on biometeorology* 20, 201-2016.

INNOVA, 2002. AirTech Instruments. Booklet, 1-25.

IPCC, 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing.* In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.*

ISO, 1982. *Methods of indicating conformity with standards for third-party certification systems.*

ISO, 2005. *IEC 27001:2005.*

Jehn, M., Appel, L.J., Sacks, F.M., Miller, E.R., 3rd, 2002. The effect of ambient temperature and barometric pressure on ambulatory blood pressure variability. *Am J Hypertens* 15, 941-945.

Jendritzky, G., de Dear, R., Havenith, G., 2012. UTCI—Why another thermal index? *Int J Biometeorol* 56, 421-428.

Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., 2009. *Towards a Universal Thermal Climate Index UTCI for assessing the thermal environment of the human being. . Final Report COST Action 730.*

Jendritzky, G., Havenith, G., Weihs, P., Batchvarova, E., DeDear, R., 2008. *The Universal Thermal Climate Index UTCI—Goal and state of COST action 730 and ISB commission 6. . Proceedings 18th international congress biometeorology ICB 2008, September 22–26, 2008, Tokyo.*

Jendritzky, G., Menz, G., Schmidt-Kessen, W., Schirmer, H., 1990. *Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen.* Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.

Jerrett, M., Burnett, R.T., Ma, R., Pope, C.A., 3rd, Krewski, D., Newbold, K.B., Thurston, G., Shi, Y., Finkelstein, N., Calle, E.E., Thun, M.J., 2005. Spatial analysis of air pollution and mortality in Los Angeles. *Epidemiology* 16, 727-736.

Jickells, T.D., An, Z.S., Andersen, K.K., Baker, A.R., Bergametti, G., Brooks, N., Cao, J.J., Boyd, P.W., Duce, R.A., Hunter, K.A., Kawahata, H., Kubilay, N., laRoche, J., Liss, P.S., Mahowald, N., Prospero, J.M., Ridgwell, A.J., Tegen, I., Torres, R., 2005. Global iron connections between desert dust, ocean biogeochemistry, and climate. *Science* 308, 67-71.

Johnston, N.W., Johnston, S.L., Duncan, J.M., Greene, J.M., Keadze, T., Keith, P.K., Roy, M., Wasserman, S., Sears, M.R., 2005. The September epidemic of asthma exacerbations in children: a search for etiology. *J Allergy Clin Immunol* 115, 132-138.

Jolliffe, I.T., 1986. *Principal Component Analysis, Principal Component Analysis.* Springer New York, pp. 1-7.

Joussaume, S., 1990. Three-dimensional simulations of the atmospheric cycle of desert dust particles using a general circulation model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 95, 1909-1941.

Kaaden, N., Massling, A., Schladitz, A., MÜLLER, T., Kandler, K., SchÜTZ, L., Weinzierl, B., Petzold, A., Tesche, M., Leinert, S., Deutscher, C., Ebert, M., Weinbruch, S., Wiedensohler, A., 2009. State of mixing, shape factor, number size distribution, and hygroscopic growth of the Saharan anthropogenic and mineral dust aerosol at Tinfou, Morocco. *Tellus B* 61, 51-63.

Kalivitis, N., Gerasopoulos, E., Vrekoussis, M., Kouvarakis, G., Kubilay, N., Hatzianastassiou, N., Vardavas, I., Mihalopoulos, N., 2007. Dust transport over the eastern Mediterranean derived from Total Ozone Mapping Spectrometer, Aerosol Robotic Network, and surface measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 112, D03202.

Kalkstein, L.S., Tan, G., Skindlov, J.A., 1987. An Evaluation of Three Clustering Procedures for Use in Synoptic Climatological Classification. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 26, 717-730.

Kallos, G., Nickovic, S., Jovic, D., Kakaliagou, O., Papadopoulos, A., Misirlis, N., Boukas, L., Mimikou, N., Sakellaridis, G., Papageorgiou, J., Anadranistakis, E., Manousakis, M., 1997. The Regional Weather Forecasting System SKIRON and its capability for forecasting dust uptake and transport. . Proceedings of the WMO conference on dust storms, 6 November 1997, Damascus, Syria.

Kallos, G., Papadopoulos, A., Katsafados, P., Nickovic, S., 2006. Transatlantic Saharan dust transport: Model simulation and results. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 111, D09204.

Kaminski, U., Fricker, M., Dietze, V., 2013. The PM2.5 Fine Particle Background Network of the German Meteorological Service-First Results. *Meteorologische Zeitschrift* 22, 187-194.

Kan, H., London, S., Chen, G., Zhang, Y., Song, G., Zhao, N., 2007. Differentiating the effects of fine and coarse particles on daily mortality in Shanghai, China. *Environ Int* 33, 376-384.

Kappos, A.D., Bruckmann, P., Eikmann, T., Englert, N., Heinrich, U., Hoppe, P., Koch, E., Krause, G.H., Kreyling, W.G., Rauchfuss, K., Rombout, P., Schulz-Klemp, V., Thiel, W.R., Wichmann, H.E., 2004. Health effects of particles in ambient air. *Int J Hyg Environ Health* 207, 399-407.

Karanasiou, A., Moreno, N., Moreno, T., Viana, M., de Leeuw, F., Querol, X., 2012. Health effects from Sahara dust episodes in Europe: Literature review and research gaps. *Environ Int* 47, 107-114.

Kaskaoutis, D., Nastos, P., Kosmopoulos, P., Kambezidis, H., 2010. The combined use of satellite data, air-mass trajectories and model applications for monitoring dust transport over Athens, Greece. *Int. J. Remote Sens.* 31, 5089-5109.

Kaskaoutis, D.G., Kambezidis, H.D., Nastos, P.T., Kosmopoulos, P.G., 2008. Study on an intense dust storm over Greece. *Atmospheric Environment* 42, 6884-6896.

Kassomenos, P.A., Gryparis, A., Katsouyanni, K., 2007. On the association between daily mortality and air mass types in Athens, Greece during winter and summer. *Int J Biometeorol* 51, 315-322.

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Samoli, E., Gryparis, A., Le Tertre, A., Monopoli, Y., Rossi, G., Zmirou, D., Ballester, F., Boumghar, A., Anderson, H.R., Wojtyniak, B., Paldy, A., Braunstein, R., Pekkanen, J., Schindler, C., Schwartz, J., 2001. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology* 12, 521-531.

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S., Rossi, G., Wojtyniak, B., Sunyer, J., Bacharova, L., Schouten, J.P., Ponka, A., Anderson, H.R., 1997. Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Air Pollution and Health: a European Approach. Bmj* 314, 1658-1663.

Katzschner, L., Thorsson, S., 2009. Microclimatic Investigations as Tool for Urban Design. The seventh International Conference on Urban Climate 29 June - 3 July 2009, Yokohama, Japan.

- Kawamoto, K., Hayasaka, T., Nakajima, T., Streets, D., Woo, J.-H., 2004. Examining the aerosol indirect effect over China using an SO₂ emission inventory. *Atmospheric Research* 72, 353-363.
- Kellogg, C.A., Griffin, D.W., 2006. Aerobiology and the global transport of desert dust. *Trends in Ecology & Evolution* 21, 638-644.
- Ketterer, C., Matzarakis, A., 2014. Human-biometeorological assessment of the urban heat island in a city with complex topography – The case of Stuttgart, Germany. *Urban Climate*.
- Kiefert, L., McTainsh, G.H., Nickling, W.G., 1996. Sedimentological Characteristics of Saharan and Australian Dusts, in: Guerzoni, S., Chester, R. (Eds.), *The Impact of Desert Dust Across the Mediterranean*. Springer Netherlands, pp. 183-190.
- Kim, B.-G., Park, S.-U., 2001. Transport and evolution of a winter-time Yellow sand observed in Korea. *Atmospheric Environment* 35, 3191-3201.
- Klein, H., Nickovic, S., Haunold, W., Bundke, U., Nillius, B., Ebert, M., Weinbruch, S., Schuetz, L., Levin, Z., Barrie, L.A., Bingemer, H., 2010. Saharan dust and ice nuclei over Central Europe. *Atmospheric chemistry and physics* 10, 10211-10221.
- Kloner, R.A., Das, S., Poole, W.K., Perrit, R., Muller, J., Cannon, C.P., Braunwald, E., 2001. Seasonal variation of myocardial infarct size. *Am J Cardiol* 88, 1021-1024.
- Koçak, M., Mihalopoulos, N., Kubilay, N., 2007. Contributions of natural sources to high and events in the eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* 41, 3806-3818.
- Koçak, M., Theodosi, C., Zampas, P., Séguret, M.J.M., Herut, B., Kallos, G., Mihalopoulos, N., Kubilay, N., Nimmo, M., 2012. Influence of mineral dust transport on the chemical composition and physical properties of the Eastern Mediterranean aerosol. *Atmospheric Environment* 57, 266-277.
- Koenig, J.Q., Pierson, W.E., Frank, R., 1980. Acute effects of inhaled SO₂ plus NaCl droplet aerosol on pulmonary function in asthmatic adolescents. *Environ Res* 22, 145-153.
- Kohler, F., Mölter, L., Schultz, E., Dietze, V., Schütz, S., Helm, H., 2007. Passive Sampler Sigma-2 as an Inlet for an Optical Aerosol Spectrometer. *European Aerosol Conference, Salzburg, 9-14 September*.
- Koren, H.S., 1995. Associations between criteria air pollutants and asthma. *Environ Health Perspect* 103 Suppl 6, 235-242.
- Koskela, H.O., 2007. Cold air-provoked respiratory symptoms: the mechanisms and management. *Int J Circumpolar Health* 66, 91-100.
- Koulouri, E., Saarikoski, S., Theodosi, C., Markaki, Z., Gerasopoulos, E., Kouvarakis, G., Mäkelä, T., Hillamo, R., Mihalopoulos, N., 2008. Chemical composition and sources of fine and coarse aerosol particles in the Eastern Mediterranean. *Atmospheric Environment* 42, 6542-6550.
- Kresno, S., Harrison, G.G., Sutrisna, B., Reingold, A., 1994. Acute respiratory illnesses in children under five years in Indramayu, west Java, Indonesia: a rapid ethnographic assessment. *Med Anthropol* 15, 425-434.
- Kriszbacher, I., Bodis, J., Csoboth, I., Boncz, I., 2009. The occurrence of acute myocardial infarction in relation to weather conditions. *Int J Cardiol* 135, 136-138.
- Kriszbacher, I., Boncz, I., Koppán, M., Bódis, J., 2008. Seasonal variations in the occurrence of acute myocardial infarction in Hungary between 2000 and 2004. *Int J Cardiol* 129, 251-254.
- Kulle, T.J., Sauder, L.R., Shanty, F., Kerr, H.D., Farrell, B.P., Miller, W.R., Milman, J.H., 1984. Sulfur dioxide and ammonium sulfate effects on pulmonary function and bronchial reactivity in human subjects. *Am Ind Hyg Assoc J* 45, 156-161.
- Kumar, A., Sarin, M.M., Srinivas, B., 2010. Aerosol iron solubility over Bay of Bengal: Role of anthropogenic sources and chemical processing. *Marine Chemistry* 121, 167-175.
- Kunert, A., 2010. Modeling of UTCI index in various types of landscape. *Proceedings of the 7th conference on biometeorology* 20, 302-307.

- Kunes, J., Tremblay, J., Bellavance, F., Hamet, P., 1991. Influence of environmental temperature on the blood pressure of hypertensive patients in Montreal. *Am J Hypertens* 4, 422-426.
- Kunzli, N., Jerrett, M., Mack, W.J., Beckerman, B., LaBree, L., Gilliland, F., Thomas, D., Peters, J., Hodis, H.N., 2005. Ambient air pollution and atherosclerosis in Los Angeles. *Environ Health Perspect* 113, 201-206.
- Kuttler, W., 2000. Stadtklima. Handbuch der Umweltveränderungen und Ökotoxologie, Band 1B: Atmosphäre (Hrsg.) Guderian R, Springer, New York, 420-470.
- Kveton, V., 1991. Weather fronts and acute myocardial infarction. *Int J Biometeorol* 35, 10-17.
- Kysely, J., Kriz, B., 2008. Decreased impacts of the 2003 heat waves on mortality in the Czech Republic: an improved response? *Int J Biometeorol* 52, 733-745.
- Laaidi, M., Laaidi, K., Besancenot, J.P., 2006. Temperature-related mortality in France, a comparison between regions with different climates from the perspective of global warming. *Int J Biometeorol* 51, 145-153.
- Ladji, R., Yassaa, N., Balducci, C., Cecinato, A., 2010. Organic components of Algerian desert dusts. *Chemosphere* 81, 925-931.
- Lazaridis, M., Eleftheriadis, K., Smolik, J., Colbeck, I., Kallos, G., Drossinos, Y., Zdimal, V., Vecera, Z., Mihalopoulos, N., Mikuska, P., Bryant, C., Housiadas, C., Spyridaki, A., Astitha, M., Havranek, V., 2006. Dynamics of fine particles and photo-oxidants in the Eastern Mediterranean (SUB-AERO). *Atmospheric Environment* 40, 6214-6228.
- Leppämäki, S., Partonen, T., Vakkuri, O., Lönnqvist, J., Partinen, M., Laudon, M., 2003. Effect of controlled-release melatonin on sleep quality, mood, and quality of life in subjects with seasonal or weather-associated changes in mood and behaviour. *European Neuropsychopharmacology* 13, 137-145.
- Levin, Z., Ganor, E., Gladstein, V., 1996. The Effects of Desert Particles Coated with Sulfate on Rain Formation in the Eastern Mediterranean. *Journal of Applied Meteorology* 35, 1511-1523.
- Liang, W.M., Liu, W.P., Chou, S.Y., Kuo, H.W., 2008. Ambient temperature and emergency room admissions for acute coronary syndrome in Taiwan. *Int J Biometeorol* 52, 223-229.
- Liang, W.M., Wei, H.Y., Kuo, H.W., 2009. Association between daily mortality from respiratory and cardiovascular diseases and air pollution in Taiwan. *Environ Res* 109, 51-58.
- Lin, T.-P., 2009. Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment* 44, 2017-2026.
- Lin, T.-P., Matzarakis, A., Hwang, R.-L., 2010. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment* 45, 213-221.
- Linak, E., Schlag, S., Kishi, A., 2002. Chemical Economics Handbook: Titanium Dioxide. Marketing Research Report, Menlo Park, CA, SRI International.
- Linares, C., Tobias, A., Diaz, J., 2010. Is there new scientific evidence to justify reconsideration of the current WHO guidelines for particulate matter during dust intrusions? *Sci Total Environ* 408, 2283-2284.
- Lindner, K., 2011. Assessment of sensible climate in Warsaw using UTCI. . *Prace i Studia Geograficzne WGSR UW* 47, 285-291.
- Lippmann, M., 1998. The 1997 US EPA standards for particulate matter and ozone
- Littmann, T., 1991. Recent African dust deposition in West Germany, sediment characteristics and climatological aspects. *Loess: geomorphological processes and hazards*, . *Catena Supplement* 20, 57-73.
- López-Villarubia, E., Ballester, F., Iñiguez, C., Peral, N., 2010. Air pollution and mortality in the Canary Islands: a time-series analysis. *Environmental Health* 9.
- Lowry, W., 1969. *Weather and life. An introduction to Biometeorology* Academic Press.

MacNee, W., Donaldson, K., 2003. Mechanism of lung injury caused by PM10 and ultrafine particles with special reference to COPD. *Eur Respir J Suppl* 40, 47s-51s.

Maitre A., Bonnetterre V., Huillard L., Sabatier P., 2006. Gaudemaris de Réggis (2006) Impact of urban atmospheric pollution on coronary disease, . *European Heart Journal*, 2275-2284.

Makinen, T.M., Hassi, J., 2009. Health problems in cold work. *Ind Health* 47, 207-220.

Mallone, S., Stafoggia, M., Faustini, A., Gobbi, G., Marconi, A., F., F., 2011. Saharan dust and associations between particulate matter and daily mortality in Rome, Italy. *Environ Health Perspect* 119, 1409-14014.

Maninns, P.C., Sawford, B.L., 1979. A model of katabatic wind. *J. Atmos. Res.* 36, 619-630.

Manly, B.F.J., 1986. *Multivariate Statistical Methods: A Primer*. Chapman & Hall: London.

Mann, J.K., Tager, I.B., Lurmann, F., Segal, M., Quesenberry, C.P., Jr., Lugg, M.M., Shan, J., Van Den Eeden, S.K., 2002. Air pollution and hospital admissions for ischemic heart disease in persons with congestive heart failure or arrhythmia. *Environ Health Perspect* 110, 1247-1252.

Masmoudi, S., Marouz, S., 2004. Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings. The case of hot arid regions. . *Energy and Buildings* 36, 710-719.

Master, A.M., Dack, S., Jaffe, H.L., 1937. Factors and events associated with onset of coronary artery thrombosis. *Journal of the American Medical Association* 109, 546-549.

Mather, T., Pyle, D., Oppenheimer, C., 2003. *Tropospheric volcanic aerosol*. Geophysical Monograph, 189-212.

Matushek, O., Matzarakis, A., 2010. Estimation of sky view factor in complex environment as a tool for applied climatological studies. *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology*. *Ber. Meteorol. Inst. Univ. Freiburg* 20, 535-540.

Matzarakis, A., De Rocco, M., Najjar, G., 2009. Thermal bioclimate in Strasbourg - the 2003 heat wave. *Theoretical and Applied Climatology* 98, 209-220.

Matzarakis, A., Endler, C., 2010. Climate change and thermal bioclimate in cities: impacts and options for adaptation in Freiburg, Germany. *Int J Biometeorol* 54, 479-483.

Matzarakis, A., Endler, C., Nastos, P.T., 2014. Quantification of Climate-Tourism potential for Athens, Greece – Recent and Future climate simulations. *Global NEST* 16, 43-51.

Matzarakis, A., Mayer, H., 1991. The extreme heat wave in Athens in July 1987 from the point of view of human biometeorology. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere* 25, 203-211.

Matzarakis, A., Mayer, H., 2003. Human-biometeorological Assessment of Urban Structures. *Proceedings vol.2 Fifth International Conference on Urban Climate*, 1-5 Sept, 2003, Łódź, Poland.

Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M., 1999a. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol* 43, 76-84.

Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M.G., 1999b. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol* 43, 76-84.

Matzarakis, A., Mayer, H., Iziomon, M.G., 1999c. Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *Int J Biometeorol* 43, 76-84.

Matzarakis, A., Nastos, P., 2011. Human-biometeorological assessment of heat waves in Athens. *Theoretical and Applied Climatology* 105, 99-106.

Matzarakis, A., Rutz, F., 2005. Application of RayMan for Tourism and Climate Investigations, . *Annalen der Meteorologie* 41 2, 631-636.

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2006. Modelling Radiation fluxes in easy and complex environments – Application of the RayMan model. *Int J Biometeorol*.

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments--application of the RayMan model. *Int J Biometeorol* 51, 323-334.

Matzarakis, A., Rutz, F., Mayer, H., 2010. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model. *Int J Biometeorol* 54, 131-139.

Mayer, H., 1993. Urban bioclimatology. *Experientia* 49, 957-963.

Mayer, H., Höppe, P., 1987. Thermal comfort of man in different urban environments. *Theoretical and Applied Climatology* 38, 43-49.

Mazon, J., Pino, D., Barriendos, M., 2014. Rapid and sudden advection of warm and dry air in the Mediterranean Basin. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 14, 235-246.

McCarthy, M., 2001. Dust clouds implicated in spread of infection. *The Lancet* 358, 478.

McConnell, R., Berhane, K., Gilliland, F., London, S.J., Islam, T., Gauderman, W.J., Avol, E., Margolis, H.G., Peters, J.M., 2002. Asthma in exercising children exposed to ozone: a cohort study. *Lancet* 359, 386-391.

McCullagh, P., Nelder, J.A., 1989. *Generalized linear models* (Second edition). London: Chapman & Hall.

McFiggans, G., Artaxo, P., Baltensperger, U., Coe, H., Facchini, M.C., Feingold, G., Fuzzi, S., Gysel, M., Laaksonen, A., Lohmann, U., Mentel, T.F., Murphy, D.M., O'Dowd, C.D., Snider, J.R., Weingartner, E., 2006. The effect of physical and chemical aerosol properties on warm cloud droplet activation. *Atmos. Chem. Phys.* 6, 2593-2649.

McIntyre, 1981. *Indoor climate*. London Applied Science.

McMichael, A.J., Woodruff, R.E., Hales, S., 2006. Climate change and human health: present and future risks. *The Lancet* 367, 859-869.

Medina-Ramon, M., Schwartz, J., 2007. Temperature, temperature extremes, and mortality: a study of acclimatisation and effect modification in 50 US cities. *Occup Environ Med* 64, 827-833.

Meloni, D., di Sarra, A., Biavati, G., DeLuisi, J.J., Monteleone, F., Pace, G., Piacentino, S., Sferlazzo, D.M., 2007. Seasonal behavior of Saharan dust events at the Mediterranean island of Lampedusa in the period 1999–2005. *Atmospheric Environment* 41, 3041-3056.

Mercer, J.B., 2003. Cold—an underrated risk factor for health. *Environ Res* 92, 8-13.

Mercer, J.B., Osterud, B., Tveita, T., 1999. The effect of short-term cold exposure on risk factors for cardiovascular disease. *Thromb Res* 95, 93-104.

Metaxas, D.A., Bartzokas, A., 1994. Pressure covariability over the Atlantic, Europe and N. Africa. application: Centers of action for temperature, winter precipitation and summer winds in Athens, Greece. *Theoretical and Applied Climatology* 49, 9-18.

Meyer, J., Schalock, R., Genaidy, H., 1991. Aggression in psychiatric hospitalized geriatric patients. *International Journal of Geriatric Psychiatry* 6, 589-592.

Michaelides, S., Evripidou, P., Kallos, G., 1999. Monitoring and predicting Saharan Desert dust events in the eastern Mediterranean. *Weather* 54, 359-365.

Middleton, N., Panayotis, Y., Kleanthous, S., Kolokotroni, O., Schwartz, J., Dockery, D.W., 2008a. A 10 - years time - series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: the effect of short term changes in air pollution and dust storms. *Environmental Health* 7, 39.

Middleton, N., Yiallourous, P., Kleanthous, S., Kolokotroni, O., Schwartz, J., Dockery, D.W., Demokritou, P., Koutrakis, P., 2008b. A 10-year time-series analysis of respiratory and cardiovascular morbidity in Nicosia, Cyprus: the effect of short-term changes in air pollution and dust storms. *Environ Health* 7, 39.

Mihalopoulos, N., Stephanou, E., Kanakidou, M., Pilitsidis, S., Bousquet, P., 1997. Tropospheric aerosol ionic composition above the Eastern Mediterranean area. *Tellus* 49B, 314-326.

Mill., Lempfert., 1903. Great dust fall of February 1903. *Annalen der Hydrographie*, 57-91.

Mireku, N., Wang, Y., Ager, J., Reddy, R.C., Baptist, A.P., 2009. Changes in weather and the effects on pediatric asthma exacerbations. *Annals of Allergy, Asthma & Immunology* 103, 220-224.

Misailidou, M., Pitsavos, C., Panagiotakos, D.B., Chrysohoou, C., Stefanadis, C., 2006. Short-term effects of atmospheric temperature and humidity on morbidity from acute coronary syndromes in free of air pollution rural Greece. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 13, 846-848.

Mitchell, J.M., Dzerdyevskii, B., Flohn, H., Hofmeyr, W.L., H., L.H., Rao, K.N., Wallen, C.C., 1966. Climatic change. Tech note 79. WMO No 195. TP-100 Geneva, 79.

Mitsakou, C., Kallos, G., Papantoniou, N., Spyrou, C., Solomos, S., Astitha, M., Housiadas, C., 2008. Saharan dust levels in Greece and received inhalation doses. *Atmos. Chem. Phys.* 8, 7181-7192.

Modesti, P.A., Morabito, M., Bertolozzi, I., Masetti, L., Panci, G., Lumachi, C., Giglio, A., Bilo, G., Caldara, G., Lonati, L., Orlandini, S., Maracchi, G., Mancina, G., Gensini, G.F., Parati, G., 2006. Weather-related changes in 24-hour blood pressure profile: effects of age and implications for hypertension management. *Hypertension* 47, 155-161.

Molinarioli, E., Guerzoni, S., Rampazzo, G., 1993. Contribution of Saharan dust to the Central Mediterranean Basin. In: *Processes Controlling the Composition of Chtic Sediments*. *Geol. Soc. Am.*, SP284., 303-312.

Monteil, M.A., 2008. Saharan dust clouds and human health in the English-speaking Caribbean: what we know and don't know. *Environ Geochem Health* 30, 339-343.

Morabito, M., Crisci, A., Grifoni, D., Orlandini, S., Cecchi, L., Bacci, L., Modesti, P.A., Gensini, G.F., Maracchi, G., 2006. Winter air-mass-based synoptic climatological approach and hospital admissions for myocardial infarction in Florence, Italy. *Environ Res* 102, 52-60.

Morabito, M., Crisci, A., Moriondo, M., Profili, F., Francesconi, P., Trombi, G., Bindi, M., Gensini, G.F., Orlandini, S., 2012. Air temperature-related human health outcomes: current impact and estimations of future risks in Central Italy. *Sci Total Environ* 441, 28-40.

Morales, C., 1986. The airborne transport of Saharan dust: A review. *Climatic Change* 9, 219-241.

Moreno, T., Querol, X., Castillo, S., Alastuey, A., Cuevas, E., Herrmann, L., Mounkaila, M., Elvira, J., Gibbons, W., 2006. Geochemical variations in aeolian mineral particles from the Sahara-Sahel Dust Corridor. *Chemosphere* 65, 261-270.

Mossman, B.T., Borm, P.J., Castranova, V., Costa, D.L., Donaldson, K., Kleeberger, S.R., 2007. Mechanisms of action of inhaled fibers, particles and nanoparticles in lung and cardiovascular diseases. *Part Fibre Toxicol* 4, 4.

Mouret, M., Bascoul, A., Escadeillas, G., 1999. Microstructural features of concrete in relation to initial temperature—SEM and ESEM characterization. *Cement and Concrete Research* 29, 369-375.

Mouret, M., Ringot, E., Bascoul, A., 2001. Image analysis: a tool for the characterisation of hydration of cement in concrete – metrological aspects of magnification on measurement. *Cement and Concrete Composites* 23, 201-206.

Moustris, K.P., Douros, K., Nastos, P.T., Larissi, I.K., Anthracopoulos, M.B., Paliatsos, A.G., Priftis, K.N., 2012. Seven-days-ahead forecasting of childhood asthma admissions using artificial neural networks in Athens, Greece. *Int J Environ Health Res* 22, 93-104.

Nastos, P., 2008. Weather, Ambient Air Pollution and Bronchial Asthma in Athens, Greece, in: Thomson, M., Garcia-Herrera, R., Beniston, M. (Eds.), *Seasonal Forecasts, Climatic Change and Human Health*. Springer Netherlands, pp. 173-188.

Nastos, P., Bleta, A., 2012. The development of Fohn winds due to Saharan dust outbreaks in Crete Island, Greece. *MedCLIVAR 2012 Conference, Madrid, 26-28 Sept 2012*, 76.

Nastos, P., Matzarakis, A., 2006. Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece. *Int J Biometeorol* 50, 358-369.

Nastos, P., Matzarakis, A., 2012. The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece. *Theoretical and Applied Climatology* 108, 591-599.

Nastos, P., Philandras, C., Repapis, C., 2002. Application of canonical analysis to air temperature and precipitation regimes over Greece. *Fresen Environ Bull* 11, 488-493.

- Nastos, P.T., 2012. Meteorological Patterns Associated with Intense Saharan Dust Outbreaks over Greece in Winter. . *Advances in Meteorology*.
- Nastos, P.T., Bleta, A., Notas, G., Kampanis, N.A., 2012. Saharan dust outbreaks associated with incidence of respiratory diseases in Crete Island, Greece. EMS2012-116 (9) Conference, Lodz, Poland.
- Nastos, P.T., Bleta, A.G., Matsangouras, I.T., 2013a. The Development of Fohn winds due to Saharan dust outbreaks and the associated human thermal bioclimatic conditions in Crete island, Greece Proceedings of the 13th International Conference on Environmental Science and Technology Athens, Greece, 5-7 September 2013.
- Nastos, P.T., Giaouzaki, K.N., Kampanis, N.A., Matzarakis, A., 2013b. Acute coronary syndromes related to bio-climate in a Mediterranean area. The case of Ierapetra, Crete Island, Greece. . *Int J Environ Health Res* 23, 76-90.
- Nastos, P.T., Kampanis, N.A., Giaouzaki, K.N., Matzarakis, A., 2011. Environmental impacts on human health during a Saharan dust episode at Crete Island, Greece. *Meteorologische Zeitschrift* 20, 517-529.
- Nastos, P.T., Larissi, I.K., Grigoropoulos, K.N., Antoniou, A., Paliatsos, A.G., 2013c. Indoor and outdoor particulate matter variability in Athens, Greece. *Indoor and Built Environment* 22, 586-592.
- Nastos, P.T., Matzarakis, A., 2008. Human-Biometeorological Effects on Sleep Disturbances in Athens, Greece: A Preliminary Evaluation. *Indoor and Built Environment* 17, 535-542.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Anthracopoulos, M.B., Roma, E.S., Priftis, K.N., 2010. Outdoor particulate matter and childhood asthma admissions in Athens, Greece: a time-series study. . *Environmental Health* 9.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Panagiotopoulou-Gartagani, P., Zachariadi-Xypolita, A., Kotsonis, K., Saxoni-Papageorgiou, P., Priftis, K.N., 2006. The effect of weather types on the frequency of childhood asthma admissions in Athens, Greece. *Fresenius Environmental Bulletin*.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Papadopoulos, M., Bakoula, C., Priftis, K.N., 2008a. The effect of weather variability on pediatric asthma admissions in Athens, Greece. *J Asthma* 45, 59-65.
- Nastos, P.T., Paliatsos, A.G., Priftis, K.N., 2008b. Do the maxima of air pollutants coincide with the incidence of childhood asthma exacerbations in Athens, Greece? *Global NEST* 10, 453-460.
- Németh, A., 2011. Changing Thermal Bioclimate in some Hungarian Cities. *Acta Climatologica et Chorologica* 44-45, 93-101.
- Nemmar, A., Hoet, P.H., Vanquickenborne, B., Dinsdale, D., Thomeer, M., Hoylaerts, M.F., Vanbilloen, H., Mortelmans, L., Nemery, B., 2002. Passage of inhaled particles into the blood circulation in humans. *Circulation* 105, 411-414.
- Nemmar, A., Melghit, K., Al-Salam, S., Zia, S., Dhanasekaran, S., Attoub, S., Al-Amri, I., Ali, B.H., 2011. Acute respiratory and systemic toxicity of pulmonary exposure to rutile Fe-doped TiO₂ nanorods. *Toxicology* 279, 167-175.
- New, M., Hulme, M., Jones, P., 1999. Representing Twentieth-Century Space–Time Climate Variability. Part I: Development of a 1961–90 Mean Monthly Terrestrial Climatology. *Journal of Climate* 12, 829-856.
- New, M., Hulme, M., Jones, P., 2000. Representing Twentieth-Century Space–Time Climate Variability. Part II: Development of 1901–96 Monthly Grids of Terrestrial Surface Climate. *Journal of Climate* 13, 2217-2238.
- Nicholls, N., Skinner, C., Loughnan, M., Tapper, N., 2008. A simple heat alert system for Melbourne, Australia. *Int J Biometeorol* 52, 375-384.
- Nickling, W.G., Gillies, J.A., 1993. Dust emission and transport in Mali, West Africa. *Sedimentology* 40, 859-868.

- Nickovic, S., Kallos, G., Papadopoulos, A., Kakaliagou, O., 2001. A model for prediction of desert dust cycle in the atmosphere. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 106, 18113-18129.
- Nihlen, T., Mattsson, J.O., Rapp, A., Gagaoudaki, C., Kornaros, G., Papageorgiou, J., 1995. Monitoring of Saharan dust fallout on Crete and its contribution to soil formation. *Tellus B* 47, 365-374.
- Nikolopoulou, M., Lykoudis, S., 2006. Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment* 41, 1455-1470.
- NIOSH, 1986. Criteria for a Recommended Standard: Occupational Exposure to Hot Environments (Revised Criteria 1986).
- Nishi, Y., Gagge, A.P., 1971. Humid operative temperature. A biophysical index of thermal sensation and discomfort. *Journal de Physiologie* 63, 365-368.
- Norbert, E., 2004. Fine particles and human health—a review of epidemiological studies. *Toxicol Lett* 149, 235-242.
- Norra, S., Hundt, B., Stüben, D., Cen, K., Liu, C., Dietze, V., Schultz, E., 2007. Size, morphological and chemical characterization of aerosols polluting the Beijing atmosphere in January/February 2005, in: Morrison, G., Rauch, S. (Eds.), *Highway and Urban Environment*. Springer Netherlands, pp. 167-180.
- Novák, M., 2011. UTCI – Pierwsze testy w Republice Czeskiej (UTCI – First test in the Czech Republic). *Prace i Studia Geograficzne* 47, 319-325.
- Oberdorster, G., Gelein, R.M., Ferin, J., Weiss, B., 1995. Association of particulate air pollution and acute mortality: involvement of ultrafine particles? *Inhal Toxicol* 7, 111-124.
- Ogunsote, O.O., Prucnal-Ogunsote, P., 2002. Comfort Limits for the Effective Temperature Index in the Tropics: A Nigerian Case Study. *Architectural Science Review* 45, 125-132.
- Olesen, B.W., 2002. Radiant Floor Heating in Theory and Practice. *ASHRAE* 44, 19-24.
- Olgyay, V., Olgyay, A., 1963. *Design with Climate: Bioclimatic Approach to Architectural Regionalism*.
- Oliver, J.E., 2005. *Encyclopedia of world climatology*. Springer.
- Ostro, B., Lipsett, M., Mann, J., Braxton-Owens, H., White, M., 2001. Air pollution and exacerbation of asthma in African-American children in Los Angeles. *Epidemiology* 12, 200-208.
- Ozer, P., Laghdaf, M., Lemine, S., Gassani, J., 2007. Estimation of air quality degradation due to Saharan dust at Nouakchott, Mauritania, from horizontal visibility data. *Water, Air, and Soil Pollution* 178, 79-87.
- Page, L.A., Hajat, S., Kovats, R.S., 2007. Relationship between daily suicide counts and temperature in England and Wales. *Br J Psychiatry* 191, 106-112.
- Palmieri, S., Durante, G., Siani, A.M., Casale, G.R., 2008. Atmospheric stagnation episodes and hospital admissions. *Public Health* 122, 1128-1130.
- Pan, X., Liu, Y., Kim, D., Zhang, Y., Wang, S., 2006. Effects of the particulate matter from the dust storm on the respiratory health of children in Inner Mongolia of China. *Epidemiology* 17:S202–S203, Conference Title: ISEE/ISEA 2006. *Epidemiology* 17:S202–S203, Conference Title: ISEE/ISEA 2006, Paris, France.
- Panagiotakos, D.B., Chrysohoou, C., Pitsavos, C., Nastos, P., Anadiotis, A., Tentolouris, C., Stefanadis, C., Toutouzias, P., Paliatsos, A., 2004. Climatological variations in daily hospital admissions for acute coronary syndromes. *Int J Cardiol* 94, 229-233.
- Papadimas, C.D., Hatzianastassiou, N., Matsoukas, C., Kanakidou, M., Mihalopoulos, N., Vardavas, I., 2012. The direct effect of aerosols on solar radiation over the broader Mediterranean basin. *Atmos. Chem. Phys.* 12, 7165-7185.
- Papadimas, C.D., Hatzianastassiou, N., Mihalopoulos, N., Querol, X., Vardavas, I., 2008. Spatial and temporal variability in aerosol properties over the Mediterranean basin based on

6-year (2000–2006) MODIS data. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 113, D11205.

Papayannis, A., Balis, D., Amiridis, V., Chourdakis, G., Tsaknakis, G., Zerefos, C., Castanho, A.D.A., Nickovic, S., Kazadzis, S., Grabowski, J., 2005. Measurements of Saharan dust aerosols over the Eastern Mediterranean using elastic backscatter-Raman lidar, spectrophotometric and satellite observations in the frame of the EARLINET project. *Atmos. Chem. Phys.* 5, 2065-2079.

Park, J.W., Lim, Y.H., Kyung, S.Y., An, C.H., Lee, S.P., Jeong, S.H., Ju, Y.S., 2005. Effects of ambient particulate matter on peak expiratory flow rates and respiratory symptoms of asthmatics during Asian dust periods in Korea. *Respirology* 10, 470-476.

Park, S.H., Song, C.B., Kim, M.C., Kwon, S.B., Lee, K.W., 2004. Study on Size Distribution of Total Aerosol and Water-Soluble Ions During an Asian Dust Storm Event at Jeju Island, Korea. *Environmental Monitoring and Assessment* 93, 157-183.

Parsons, K.C., 1993. *Human thermal environments*. London: Taylor & Francis.

Peck, D.F., 1990. Climatic variables and admissions for mania: a reanalysis. *J Affect Disord* 20, 249-250.

Pell, J.P., Cobbe, S.M., 1999. Seasonal variations in coronary heart disease. *Qjm* 92, 689-696.

Perez, L., Tobias, A., Querol, X., Kunzli, N., Pey, J., Alastuey, A., Viana, M., Valero, N., Gonzalez-Cabre, M., Sunyer, J., 2008. Coarse particles from Saharan dust and daily mortality. *Epidemiology* 19, 800-807.

Perez, L., Tobias, A., Querol, X., Pey, J., Alastuey, A., Diaz, J., Sunyer, J., 2012. Saharan dust, particulate matter and cause-specific mortality: a case-crossover study in Barcelona (Spain). *Environ Int* 48, 150-155.

Perrino, C., Canepari, S., Pappalardo, S., Marconi, E., 2010. Time-resolved measurements of water-soluble ions and elements in atmospheric particulate matter for the characterization of local and long-range transport events. *Chemosphere* 80, 1291-1300.

Petaloti, C., Triantafyllou, A., Kouimtzis, T., Samara, C., 2006. Trace elements in atmospheric particulate matter over a coal burning power production area of western Macedonia, Greece. *Chemosphere* 65, 2233-2243.

Peters, A., 2006. Commentary: inflamed about ultrafine particles? *Int J Epidemiol* 35, 1355-1356.

Peters, A., Dockery, D., Muller, J., Mittleman, M., 2001a. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. *Circulation* 103, 2810-2815.

Peters, A., Dockery, D.W., Muller, J.E., Mittleman, M.A., 2001b. Increased particulate air pollution and the triggering of myocardial infarction. *Circulation* 103, 2810-2815.

Peters, A., Wichmann, H., Tuch, T., Heinrich, J., Heyder, J., 1997. Respiratory effects are associated with the number of ultrafine particles. *Am J Respir Crit Care Med* 4, 1376-1383.

Petzold, A., Stein, C., Nyeki, S., Gysel, M., Weingartner, E., Baltensperger, U., Giebl, H., Hittenberger, R., Döpelheuer, A., Vrchoťický, S., Puxbaum, H., Johnson, M., Hurley, C.D., Marsh, R., Wilson, C.W., 2003. Properties of jet engine combustion particles during the PartEmis experiment: Microphysics and Chemistry. *Geophysical Research Letters* 30, 1719.

Pey, J., Alastuey, A., Querol, X., Rodríguez, S., 2010. Monitoring of sources and atmospheric processes controlling air quality in an urban Mediterranean environment. *Atmospheric Environment* 44, 4879-4890.

Pey, J., Querol, X., Alastuey, A., Forastiere, F., Stafoggia, M., 2013. African dust outbreaks over the Mediterranean Basin during 2001–2011: PM10 concentrations, phenomenology and trends, and its relation with synoptic and mesoscale meteorology. *Atmos. Chem. Phys.* 13, 1395-1410.

Polymenakou, P.N., Mandalakis, M., Stephanou, E.G., Tselepidis, A., 2008. Particle size distribution of airborne microorganisms and pathogens during an Intense African dust event in the eastern Mediterranean. *Environ Health Perspect* 116, 292-296.

- Pope, C.A., 3rd, Burnett, R.T., Thurston, G.D., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Godleski, J.J., 2004. Cardiovascular mortality and long-term exposure to particulate air pollution: epidemiological evidence of general pathophysiological pathways of disease. *Circulation* 109, 71-77.
- Pope, C.A., 3rd, Muhlestein, J.B., May, H.T., Renlund, D.G., Anderson, J.L., Horne, B.D., 2006. Ischemic heart disease events triggered by short-term exposure to fine particulate air pollution. *Circulation* 114, 2443-2448.
- Pope, C.A., 3rd, Verrier, R.L., Lovett, E.G., Larson, A.C., Raizenne, M.E., Kanner, R.E., Schwartz, J., Villegas, G.M., Gold, D.R., Dockery, D.W., 1999. Heart rate variability associated with particulate air pollution. *Am Heart J* 138, 890-899.
- Priftis, K.N., Paliatsos, A.G., Panagiotopoulou-Gartagani, P., Tapratzi-Potamianou, P., Zachariadi-Xypolita, A., Nicolaidou, P., Saxoni-Papageorgiou, P., 2006. Association of weather conditions with childhood admissions for wheezy bronchitis or asthma in Athens. *Respiration* 73, 783-790.
- Prospero, J.M., Blades, E., Naidu, R., Mathison, G., Thani, H., Lavoie, M.C., 2008. Relationship between African dust carried in the Atlantic trade winds and surges in pediatric asthma attendances in the Caribbean. *Int J Biometeorol* 52, 823-832.
- Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., Gill, T.E., 2002. ENVIRONMENTAL CHARACTERIZATION OF GLOBAL SOURCES OF ATMOSPHERIC SOIL DUST IDENTIFIED WITH THE NIMBUS 7 TOTAL OZONE MAPPING SPECTROMETER (TOMS) ABSORBING AEROSOL PRODUCT. *Reviews of Geophysics* 40, 1002.
- Prospero, J.M., Glaccum, R.A., Nees, R.T., 1981. Atmospheric transport of soil dust from Africa to South America. *Nature* 289, 570-572.
- Pruppacher, H., Klett, J., 1997. *Microphysics of Clouds and Precipitation*, 2nd edn. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands, 309-360.
- Querol, X., Alastuey, A., Puigercus, J.A., Mantilla, E., Miro, J.V., Lopez-Soler, A., Plana, F., Artiñano, B., 1998. Seasonal evolution of suspended particles around a large coal-fired power station: particulate levels and sources. *Atmospheric Environment* 32, 1963-1978.
- Rappaport, S.M., 1994. Interpreting Levels of Exposures to Chemical Agents. In *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology*, Third Edition, Volume 3, Part A, in: Harris, R.L., Cralley, L.J., Cralley, L.V. (Eds.). John Wiley and Sons, New York, 349-403.
- Reiff, J., Forbes, G.S., Spielsma, F.T.M., Reynders, J.J., 1986. African Dust Reaching Northwestern Europe: A Case Study to Verify Trajectory Calculations. *Journal of Climate and Applied Meteorology* 25, 1543-1567.
- Reinsch, C.H., 1967. Smoothing by Spline Functions. *Numerische Mathematik* 10, 177-183.
- Remoundaki, E., Bourliva, A., Kokkalis, P., Mamouri, R.E., Papayannis, A., Grigoratos, T., Samara, C., Tsezos, M., 2011. PM10 composition during an intense Saharan dust transport event over Athens (Greece). *Sci Total Environ* 409, 4361-4372.
- Revich, B., Shaposhnikov, D., 2008. Temperature-induced excess mortality in Moscow, Russia. *Int J Biometeorol* 52, 367-374.
- Rich, D.Q., Mittleman, M.A., Link, M.S., Schwartz, J., Luttmann-Gibson, H., Catalano, P.J., Speizer, F.E., Gold, D.R., Dockery, D.W., 2006. Increased risk of paroxysmal atrial fibrillation episodes associated with acute increases in ambient air pollution. *Environ Health Perspect* 114, 120-123.
- Richman, M.B., 1986. Rotation of principal components. *Journal of Climatology* 6, 293-335.
- Rizzo, G., Beccali, M., Nucara, A., Cutler, J.C., 2004. Thermal Comfort. *Encyclopedia of Energy*. New York. Elsevier 55-64. *Encyclopedia of Energy*. New York. Elsevier.
- Rodrigues, B., Pinto, I., 1982. Considerations on the interrelation between some meteorological conditions and the development of acute myocardial infarction in Bombay (a preliminary communication). *Journal of Postgraduate Medicine* 28, 78-83.

- Rodríguez, S., Alastuey, A., Alonso-Pérez, S., Querol, X., Cuevas, E., Abreu-Afonso, J., Viana, M., Pérez, N., Pandolfi, M., de la Rosa, J., 2011. Transport of desert dust mixed with North African industrial pollutants in the subtropical Saharan Air Layer. *Atmos. Chem. Phys.* 11, 6663-6685.
- Rodríguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., Kakaliagou, O., 2001. Saharan dust contribution to PM10 and TSP levels in southeastern and eastern Spain. *Atmos Environ* 35, 33-47.
- Rodríguez, S., Querol, X., Alastuey, A., Kallos, G., Kakaliagou, O., 2001. Saharan dust contributions to PM10 and TSP levels in Southern and Eastern Spain. *Atmospheric Environment* 35, 2433-2447.
- Rogers, W.J., Bowlby, L.J., Chandra, N.C., French, W.J., Gore, J.M., Lambrew, C.T., Rubison, R.M., Tiefenbrunn, A.J., Weaver, W.D., 1994. Treatment of myocardial infarction in the United States (1990 to 1993). Observations from the National Registry of Myocardial Infarction. *Circulation* 90, 2103-2114.
- Rooney, C., McMichael, A.J., Kovats, R.S., Coleman, M.P., 1998. Excess mortality in England and Wales, and in Greater London, during the 1995 heatwave. *J Epidemiol Community Health* 52, 482-486.
- Rosahn, P.D., 1937. Incidence of coronary thrombosis in relation to climate. *Journal of the American Medical Association* 109, 1294-1294.
- Rose, G., 1966. Cold weather and ischaemic heart disease. *Br J Prev Soc Med* 20, 97-100.
- Ross, R., 1999. Atherosclerosis--an inflammatory disease. *N Engl J Med* 340, 115-126.
- Rossi, O.V., Kinnula, V.L., Huhti, E., 1991. Emergency room visits for acute attacks of asthma: characterization of patients and visits. *Respiration* 58, 21-25.
- Rubasinghege, G., Elzey, S., Baltrusaitis, J., Jayaweera, P.M., Grassian, V.H., 2010. Reactions on Atmospheric Dust Particles: Surface Photochemistry and Size-Dependent Nanoscale Redox Chemistry. *The Journal of Physical Chemistry Letters* 1, 1729-1737.
- Samoli, E., Kougea, E., Kassomenos, P., Analitis, A., Katsouyanni, K., 2011a. Does the presence of desert dust modify the effect of PM10 on mortality in Athens, Greece? *Sci Total Environ* 409, 2049-2054.
- Samoli, E., Nastos, P.T., Paliatatos, A.G., Katsouyanni, K., Priftis, K.N., 2011b. Acute effects of air pollution on pediatric asthma exacerbation: evidence of association and effect modification. *Environ Res* 111, 418-424.
- Sayes, C.M., Wahi, R., Kurian, P.A., Liu, Y., West, J.L., Ausman, K.D., Warheit, D.B., Colvin, V.L., 2006. Correlating Nanoscale Titania Structure with Toxicity: A Cytotoxicity and Inflammatory Response Study with Human Dermal Fibroblasts and Human Lung Epithelial Cells. *Toxicological Sciences* 92, 174-185.
- Schachter, E.N., Witek, T.J., Jr., Beck, G.J., Hosein, H.B., Colice, G., Leaderer, B.P., Cain, W., 1984. Airway effects of low concentrations of sulfur dioxide: dose-response characteristics. *Arch Environ Health* 39, 34-42.
- Schleicher, N., Kramar, U., Dietze, V., Kaminski, U., Norra, S., 2012. Geochemical characterization of single atmospheric particles from the Eyjafjallajökull volcano eruption event collected at ground-based sampling sites in Germany. *Atmospheric Environment* 48, 113-121.
- Schneider, A., Panagiotakos, D., Picciotto, S., Katsouyanni, K., Lowel, H., Jacquemin, B., Lanki, T., Stafoggia, M., Bellander, T., Koenig, W., Peters, A., 2008a. Air temperature and inflammatory responses in myocardial infarction survivors. *Epidemiology* 19, 391-400.
- Schneider, A., Schuh, A., Maetzel, F.K., Ruckerl, R., Breitner, S., Peters, A., 2008b. Weather-induced ischemia and arrhythmia in patients undergoing cardiac rehabilitation: another difference between men and women. *Int J Biometeorol* 52, 535-547.
- Schutz, L., Jaenicke, R., Pietrek, H., 1981. Saharan dust transport over the North Atlantic Ocean. *Geological Society of America Special Papers* 186, 87-100.

- Schwartz, J., 1994. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis. *Environ Res* 64, 36-52.
- Schwartz, J., Douglas, W.D., Lucas, M., 1996. Neas Is Daily Mortality Associated Specifically with Fine Particles? *Air & Waste Management Association* 46, 927-939.
- Schwartz, J., Litonjua, A., Suh, H., Verrier, M., Zanobetti, A., Syring, M., Nearing, B., Verrier, R., Stone, P., MacCallum, G., Speizer, F.E., Gold, D.R., 2005. Traffic related pollution and heart rate variability in a panel of elderly subjects. *Thorax* 60, 455-461.
- Schwartz, J., Samet, J.M., Patz, J.A., 2004. Hospital admissions for heart disease: the effects of temperature and humidity. *Epidemiology* 15, 755-761.
- Schwartz, J., Slater, D., Larson, T.V., Pierson, W.E., Koenig, J.Q., 1993. Particulate air pollution and hospital emergency room visits for asthma in Seattle. *Am Rev Respir Dis* 147, 826-831.
- Scragg, R., Jackson, R., Holdaway, I.M., Lim, T., Beaglehole, R., 1990. Myocardial infarction is inversely associated with plasma 25-hydroxyvitamin D3 levels: a community-based study. *Int J Epidemiol* 19, 559-563.
- Seinfeld, H.J., Pandis, N.S., 1998. *Atmospheric chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Changes*. John Wiley & Sons, New York.
- Shakoor, A., 2011. Investigating biophysics and bioclimate effect on the health of tourists in Yazd Province using tourism climate index (TCI). *International Journal of Physical Sciences* 6, 6607-6622.
- Sharma, S., 1995. *Applied Multivariate Techniques*. J. Wiley, New York.
- Sheppard, D., Wong, W.S., Uehara, C.F., Nadel, J.A., Boushey, H.A., 1980. Lower threshold and greater bronchomotor responsiveness of asthmatic subjects to sulfur dioxide. *Am Rev Respir Dis* 122, 873-878.
- Shima, M., Adachi, M., 2000. Effect of outdoor and indoor nitrogen dioxide on respiratory symptoms in schoolchildren. *Int J Epidemiol* 29, 862-870.
- Shinn, E.A., Griffin, D.W., Seba, D.B., 2003. Atmospheric transport of mold spores in clouds of desert dust. *Arch Environ Health* 58, 498-504.
- Simon, H.B., 1993. Hyperthermia. *N Engl J Med* 329, 483-487.
- Sousa, S.I., Pires, J.C., Martins, E.M., Fortes, J.D., Alvim-Ferraz, M.C., Martins, F.G., 2012a. Short-term effects of air pollution on respiratory morbidity at Rio de Janeiro--PART I: Air pollution assessment. *Environ Int* 44, 18-25.
- Sousa, S.I.V., Pires, J.C.M., Martins, E.M., Fortes, J.D.N., Alvim-Ferraz, M.C.M., Martins, F.G., 2012b. Short-term effects of air pollution on respiratory morbidity at Rio de Janeiro — Part II: Health assessment. *Environ Int* 43, 1-5.
- Speirs, J.C., McGowan, H.A., Steinhoff, D.F., Bromwich, D.H., 2013. Regional climate variability driven by foehn winds in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *International Journal of Climatology* 33, 945-958.
- Sprague, C., Munson, D., 1974. A composite ensemble method for estimating thermal insulating values of clothing. *ASHRAE Transactions* 80.
- Stacy, R.W., Seal, E., Jr., House, D.E., Green, J., Roger, L.J., Raggio, L., 1983. A survey of effects of gaseous and aerosol pollutants on pulmonary function of normal males. *Arch Environ Health* 38, 104-115.
- Steadman, R.G., 1979. The Assessment of Sultriness. Part II: Effects of Wind, Extra Radiation and Barometric Pressure on Apparent Temperature. *Applied Meteorology* 18, 874-885.
- Steadman, R.G., 1984. A universal expression of apparent temperature. *Applied Meteorology* 23, 1674-1687.
- Stefanadis, C.I., 2007. Environment and the heart. *Hellenic J Cardiol* 48, 317-318.
- Stuut, J.-B., Smalley, I., O'Hara-Dhand, K., 2009. Aeolian dust in Europe: African sources and European deposits. *Quaternary International* 198, 234-245.
- Suh, H.H., Spengler, J.D., Koutrakis, P., 1992. Personal exposures to acid aerosols and ammonia. *Environmental Science & Technology* 26, 2507-2517.

- Svensson, M., Thorsson, S., Lindqvist, S., 2003a. A geographical information system model for creating bioclimatic maps—examples from a high, mid-latitude city. *Int J Biometeorol* 47, 102-112.
- Svensson, M., Thorsson, S., Lindqvist, S., 2003b. A geographical information system model for creating bioclimatic maps—examples from a high, mid-latitude city. *Int J Biometeorol* 47:102–112. *Int J Biometeorol* 47, 102-112.
- Taffé, P., 1997. A qualitative response model of thermal comfort. *Building and Environment* 32, 115-121.
- Tan, J., Zheng, Y., Song, G., Kalkstein, L.S., Kalkstein, A.J., Tang, X., 2007. Heat wave impacts on mortality in Shanghai, 1998 and 2003. *Int J Biometeorol* 51, 193-200.
- Taub, L., 2003. *Ancient Meteorology*. Routledge.
- Terjung, W.H., 1968. Some maps of isanomalies in energy balance climatology. *Archives for Meteorology Geophysics and Bioclimatology* 16, 279-315.
- Thom, 1959. The Discomfort Index. *Weather wise* 12, 57-60.
- Thorsheim, P., 2006. *Inventing Pollution*. Ohio University Press, Athens, USA.
- Thorsson, S., Honjo, T., Lindberg, F., Eliasson, I., Lim, E.-M., 2007. Thermal Comfort and Outdoor Activity in Japanese Urban Public Places. *Environment and Behavior* 39, 660-684.
- Tobías, A., Caylà, J.A., Pey, J., Alastuey, A., Querol, X., 2011. Are Saharan dust intrusions increasing the risk of meningococcal meningitis? *International Journal of Infectious Diseases* 15, e503.
- Tran, D., Buchanan, R.T., Cullen, A., Searl, A.D., Jones, K.D., 2000. Inhalation of poorly soluble particles II Influence of particle surface area on inflammation and clearance. *Inhal Toxicol* 12, 101-115.
- Trasande, L., Thurston, G.D., 2005. The role of air pollution in asthma and other pediatric morbidities. *J Allergy Clin Immunol* 115, 689-699.
- Troen, I., Petersen, E., 1989. *European wind atlas*. National Laboratory, Roskilde, 656.
- Tsabouri S., Bleta A.G., Nastos P.T., K.N., P., 2014. Ambient Environmental risk factors for childhood wheezing illness. *Frontiers in Bioscience* (in press).
- Urban, A., Kyselý, J., 2014. Comparison of UTCI with Other Thermal Indices in the Assessment of Heat and Cold Effects on Cardiovascular Mortality in the Czech Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 11, 952-967.
- US EPA, 2002. Latest findings on National Air Quality: 2001 status and trends. Research Triangle Park (NC): Office of Air Quality Planning and Standards. . Report no. EPA 454/K-02-001.
- Utell, M., Samet, J.M., 1996. *Airborne particle-sand respiratory disease: clinical and pathogenetic considerations in particles in our air*. Harvard University Press.
- Valavanidis, A., Salika, A., Theodoropoulou, A., 2000. Generation of hydroxyl radicals by urban suspended particulate air matter. The role of iron ions. *Atmospheric Environment* 34, 2379-2386.
- Vale, B., Vale, R., 2000. *The New Autonomous House Thames and Hudson*, London., 80-82.
- Vander, A.J., J.H., S., Luciano, D.S., 1975. *Human physiology: The mechanisms of body function*.
- Vaneckova, P., Beggs, P.J., de Dear, R.J., McCracken, K.W., 2008. Effect of temperature on mortality during the six warmer months in Sydney, Australia, between 1993 and 2004. *Environ Res* 108, 361-369.
- Vasconcelos, J., Freire, E., Almendra, R., Silva, G.L., Santana, P., 2013. The impact of winter cold weather on acute myocardial infarctions in Portugal. *Environ Pollut* 183, 14-18.
- VDI, 1998. Part I: Environmental meteorology, Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning at regional level. Part I: Climate. Beuth, Berlin, 39.

- VDI, 2011. Measurement of Particulate Precipitations - Microscopic differentiation and size fractionated determination of particle deposition on adhesive collection plates - Sigma-2 sampler.
- VDI, 2013. Ambient air measurements - Sampling of atmospheric particles > 2.5 μ m on an acceptor surface using the Sigma-2 passive sampler. VDI guideline 2119. Part 4, Beuth Verlag, Düsseldorf.
- Viana, M., Querol, X., Alastuey, A., Cuevas, E., Rodríguez, S., 2002. Influence of African dust on the levels of atmospheric particulates in the Canary Islands air quality network. *Atmospheric Environment* 36, 5861-5875.
- Viegas, M., Barrero, P.R., Maffey, A.F., Mistchenko, A.S., 2004. Respiratory viruses seasonality in children under five years of age in Buenos Aires, Argentina: a five-year analysis. *J Infect* 49, 222-228.
- Villeneuve, P., Burnett, R., Shi, Y., Krewski, D., Goldberg, M., Hertzman, C., 2003. A time series study of air pollution, socioeconomic status, and mortality in Vancouver, Canada. *Journal of Exposure Analysis and Environmental* 13, 427-435.
- Villeneuve, P.J., Leech, J., Bourque, D., 2005. Frequency of emergency room visits for childhood asthma in Ottawa, Canada: the role of weather. *Int J Biometeorol* 50, 48-56.
- von Klot, S., Zanobetti, A., Schwartz, J., 2012. Influenza epidemics, seasonality, and the effects of cold weather on cardiac mortality. *Environ Health* 11, 74.
- Wagner, J., Leith, D., 2001. Passive Aerosol Sampler. Part I: Principle of Operation. *Aerosol Science and Technology* 34, 186-192.
- Wakonigg, H., 1990. The north foehn in the south-eastern Alpine border zone. *Mitt. Oesterr. Geol. Ges.* 132, 27-55.
- Wanka, E.R., Bayerstadler, A., Heumann, C., Nowak, D., Jorres, R.A., Fischer, R., 2014. Weather and air pollutants have an impact on patients with respiratory diseases and breathing difficulties in Munich, Germany. *Int J Biometeorol* 58, 249-262.
- Watt, I.M., 1997. *The Principles and Practice of Electron Microscopy*. Cambridge University.
- Weihs, P., Staiger, H., Tinz, B., Batchvarova, E., Rieder, H., Vuilleumier, L., Maturilli, M., Jendritzky, G., 2012. The uncertainty of UTCI due to uncertainties in the determination of radiation fluxes derived from measured and observed meteorological data. *Int J Biometeorol* 56, 537-555.
- Weiland, S.K., Husing, A., Strachan, D.P., Rzehak, P., Pearce, N., 2004. Climate and the prevalence of symptoms of asthma, allergic rhinitis, and atopic eczema in children. *Occup Environ Med* 61, 609-615.
- Weinbacher, M., Martina, B., Bart, T., Drewe, J., Gasser, P., Gyr, K., 1996. Blood Pressure and Atmospheric Pressure. *Annals of the New York Academy of Sciences* 783, 335-336.
- Wellenius, G.A., Bateson, T.F., Mittleman, M.A., Schwartz, J., 2005. Particulate air pollution and the rate of hospitalization for congestive heart failure among medicare beneficiaries in Pittsburgh, Pennsylvania. *Am J Epidemiol* 161, 1030-1036.
- Wendelin, G., 1646. *Pluvia pupurea bruxellensis*. Stuntz and Free, 1911.
- Westphal, D.L., Toon, O.B., Carlson, T.N., 1987. A two-dimensional numerical investigation of the dynamics and microphysics of Saharan dust storms. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* 92, 3027-3049.
- Westphal, D.L., Toon, O.B., Carlson, T.N., 1988. A Case Study of Mobilization and Transport of Saharan Dust. *Journal of the Atmospheric Sciences* 45, 2145-2175.
- WHO, W.H.O., 2010.
- Wilson, R., Spengler, J.D., 1996. *Particles in Our Air: Concentrations and Health Effects*. Harvard University Press, Boston, MA.
- Wind, S., Van Sickle, D., Wright, A.L., 2004. Health, place and childhood asthma in southwest Alaska. *Soc Sci Med* 58, 75-88.
- WMO, 1954. *Meteorological Monographs, Recent studies in Bioclimatology*. Series Boston.

- WMO, 2004. *Mitigating Risk and Coping with Uncertainty*. Geneva.
- Wood, S.N., 2006. *Generalized Additive Models: an introduction with R*. Chapman and Hall/CRC.
- Woodhouse, P.R., Khaw, K.T., Plummer, M., Foley, A., Meade, T.W., 1994. Seasonal variations of plasma fibrinogen and factor VII activity in the elderly: winter infections and death from cardiovascular disease. *Lancet* 343, 435-439.
- Yip, F.Y., Flanders, W.D., Wolkin, A., Engelthaler, D., Humble, W., Neri, A., Lewis, L., Backer, L., Rubin, C., 2008. The impact of excess heat events in Maricopa County, Arizona: 2000--2005. *Int J Biometeorol* 52, 765-772.
- Zanis, P., Kapsomenakis, I., Philandras, C., Douvis, K., Nikolakis, D., Kanellopoulou, E., Zerefos, C., Repapis, C., 2009. Analysis of an ensemble of present day and future regional climate simulations for Greece. *International Journal of Climatology* 29, 1614-1633.
- Zanobetti, A., Schwartz, J., 2005. The effect of particulate air pollution on emergency admissions for myocardial infarction: a multicity case-crossover analysis. *Environ Health Perspect* 113, 978-982.
- Zauli, D., Tiberio, D., Grassi, A., Ballardini, G., 2006. Ragweed pollen travels long distance. *Ann Allergy Asthma Immunol* 97, 122-123.
- Zhu, S., Butler, T., Sander, R., Ma, J., Lawrence, M.G., 2010. Impact of dust on tropospheric chemistry over polluted regions: a case study of the Beijing megacity. *Atmos. Chem. Phys.* 10, 3855-3873.
- Zipes, D.P., 1999. Warning: the short days of winter may be hazardous to your health. *Circulation* 100, 1590-1592.
- Zmeureanu, R., Doramjian, A., 1992. Thermally acceptable temperature drifts can reduce the energy consumption for cooling in office buildings. *Building and Environment* 27, 469-481.
- Zweiman, B., Rothenberg, M.E., 2004. Air pollution effects on childhood asthma. *Journal of Allergy and Clinical Immunology* 113, 185-186.
- Γεντεκάκης Ιωάννης Β., 1999. Ατμοσφαιρική Ρύπανση, Επιπτώσεις, Έλεγχος και Εναλλακτικές τεχνολογίες. Εκδόσεις Τζιόλα, Θεσσαλονίκη.
- Ζαμπάκας, Ι.Δ., 1981. Γενική Κλιματολογία. Εκδόσεις Αθηνά Α.Ε.
- Ζάνης, Π., 2008. Σημειώσεις για την Ρύπανση και Χημεία της Ατμόσφαιρας, Θεσσαλονίκη.
- Καματάκη, Ε., 2009. Μεγάλης κλίμακας μεταφορά σωματιδιακής ρύπανσης στη Θεσσαλονίκη. Διπλωματική εργασία, Α.Π.Θ. τμήμα Φυσικής, Θεσσαλονίκη.
- Κολοβού, Ε., 2007. Βιοκλιματική ανάσα για την Αθήνα.
- Κουϊμτζής, Θ., Φυτιάνος, Κ., Σαμαρά, Κ.Κ., 2004. Έλεγχος ρύπανσης περιβάλλοντος. Θεσσαλονίκη: University Studio Press, 385.
- Λαζαρίδης, Μ., 2005. Ατμοσφαιρική ρύπανση με στοιχεία μετεωρολογίας. Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Τζιόλα.
- Λαζαρίδης, Μ., 2008. Ποιότητα αέρα σε εσωτερικούς χώρους. Εκδόσεις Τζιόλα. Εκδόσεις Τζιόλα.
- Ματζαράκης, Α., 1995. Ανθρωπο-βιομετεωρολογική εκτίμηση του κλίματος της Ελλάδος. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.
- Ματζαράκης, Α., Μπαλαφούτης, Χ., Mayer, H., 1998. Δημιουργία βιοκλιματικών και κλιματικών χαρτών για τον ελλαδικό χώρο. Πρακτικά 4ου Πανελληνίου Συνεδρίου Μετεωρολογίας – Κλιματολογίας – Φυσικής της Ατμόσφαιρας, Αθήνα 22-25 Σεπτεμβρίου 1998 3, 477-482.
- Μελάς Δημήτριος, 1997. Διασπορά Αερίων Ρύπων. Τμήμα Φυσικής, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, 52.
- Παπαδόπουλος, Α., 2006. Θερμική Άνεση στα Κτίρια. Νέα πρότυπα και βελτίωση θερμικής άνεσης στα Κτίρια.
- Φλόκας, Α., 1997. Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη, Θεσσαλονίκη, 465.

Φυτρολάκης, Ν., 1978. Συμβολή της στη γεωλογική έρευνα της Κρήτης. Δελτίο Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρείας 13, 101-115.

Φυτρολάκης, Ν., 1980. Η γεωλογική δομή της Κρήτης. Διατριβή επί υφηγεσία, Ε.Μ.Π.

Χρονοπούλου-Σερέλη, Α., Φλόκας, Α., 2010. Μαθήματα Γεωργικής Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας. Εκδόσεις Ζήτη.

Βιβλιογραφική αναφορά από ηλεκτρονικές σελίδες στο διαδίκτυο

Ανακτήθηκε 6 Μαΐου 2011 από http://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_Society_Index

Ανακτήθηκε 6 Μαΐου 2011 από <http://imgur.com/a/4CMgv>

Ανακτήθηκε 20 Μαΐου 2011 από <http://www.bbc.com/>

Ανακτήθηκε 28 Ιουλίου 2011 από <http://www.trinitymirror.com/>

Ανακτήθηκε 3 Ιουλίου 2011 από <http://smogimpacts.weebly.com/2013-harbin-smog.html>

Ανακτήθηκε 6 Οκτωβρίου 2011 από <http://www.cawcr.gov.au>

Ανακτήθηκε 2 Φεβρουαρίου 2012 από <http://lap.physics.auth.gr>

Ανακτήθηκε 17 Απριλίου 2012 από <http://www.lemie.gr>

Ανακτήθηκε 22 Ιανουαρίου 2012 από <http://www.opsi.gov.uk/>

Ανακτήθηκε 28 Αυγούστου 2012 από <http://www.eurometeo.com/english/docs>

Ανακτήθηκε 9 Ιουνίου 2012 από <http://www.nws.noaa.gov>

Ανακτήθηκε 3 Νοεμβρίου 2012 από <http://openarchives.gr>

Ανακτήθηκε 18 Μαρτίου 2012 από http://en.wikipedia.org/wiki/Sustainable_Society_Index

Ανακτήθηκε 21 Ιουλίου 2011 από www.nasa.gov