ΠΜΣ ΒΙΟΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ

ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ

Δ Ι Π Λ Ω Μ Α Τ Ι Κ Η Ε Ρ Γ Α Σ Ι Α

ΖΑΦΕΙΡΑΤΟΥ ΣΟΦΙΑ

Διερεύνηση της γεωγραφικής διαφοροποίησης των επιδράσεων της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας.

ΑΘΗΝΑ, Οκτώβριος 2018

Η παρούσα διπλωματική εργασία εκπονήθηκε στο πλαίσιο των σπουδών για την απόκτηση του Μεταπτυχιακού Διπλώματος Ειδίκευσης στη

ΒΙΟΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ

που απονέμει η Ιατρική Σχολή και το Τμήμα Μαθηματικών του Εθνικού & Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών

Εγκρίθηκε την……. από την εξεταστική επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ	***ΒΑΘΜΙΔΑ***	***ΥΠΟΓΡΑΦΗ***
Κ. Κατσουγιάννη (Επιβλέπουσα)	**Καθηγήτρια**	
Ε. Σαμόλη	**Επίκουρη Καθηγήτρια**	
Κ. Δημακοπούλου	**Μεταδιδάκτορας**	

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή

Α. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Μετεωρολογικές συνθήκες και θνησιμότητα
   1.1. Κλίμα και κλιματική αλλαγή: αύξηση της θερμοκρασίας
   1.2. Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία
   1.3. Θερμοκρασία και θνησιμότητα

2. Ανάλυση δεδομένων
   2.1. Ανάλυση επιδημιολογικών χρονοσειρών
      2.1.1. Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλα
      2.1.2. Μοντέλα Poisson
      2.1.3. Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα
   2.2. Ανάλυση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων
      2.2.1. Πληθυσμιακά Μοντέλα Γενικευμένων Εξισώσεων Εκτίμησης (Generalised Estimating Equations (GEE))
   2.3. Μετα-ανάλυση και Μετα-παλινδρόμηση
      2.3.1. Μετα-ανάλυση
      2.3.2. Μετα-παλινδρόμηση
   2.4. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών

Β. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

1. Σκοπός εργασίας
2. Υλικό και Μέθοδοι
   2.1. Υλικό
      2.1.1. Περιγραφή πληθυσμού, περιόδου και περιοχής μελέτης
      2.1.2. Περιγραφή δεδομένων έκθεσης
      2.1.3. Περιγραφή δεδομένων έκβασης
      2.1.4. Περιγραφή χωρικών δεδομένων
   2.2. Μέθοδοι
      2.2.1. Εκτίμηση επιδράσεων υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα στην Αθήνα
      2.2.2. Εκτιμήσεις επιδράσεων υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα στους τομείς και στους δήμους της Αθήνας
      2.2.3. Μετα-ανάλυση και διερεύνηση χωρικής διαφοροποίησης των εκτιμώμενων επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στους τομείς και στους δήμους της Αθήνας.

3. Αποτελέσματα
   3.1. Περιγραφικά αποτελέσματα μετεωρολογικών δεδομένων
   3.2. Περιγραφικά αποτελέσματα δεδομένων θνησιμότητας
   3.3. Εκτίμηση επιδράσεων υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα
      3.3.1. Εκτιμήσεις επιδράσεων υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα στην Αθήνα
      3.3.2. Εκτιμήσεις επιδράσεων υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα στους τομείς της Αθήνας
      3.3.3. Εκτιμήσεις επιδράσεων υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα στους δήμους της Αθήνας
   3.4. Διερεύνηση της χωρικής διαφοροποίησης των εκτιμώμενων επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στους τομείς και στους δήμους της Αθήνας.
4. Συζήτηση

Περίληψη

Ελληνικά

Αγγλικά

Βιβλιογραφία

Παράρτημα

Α. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ

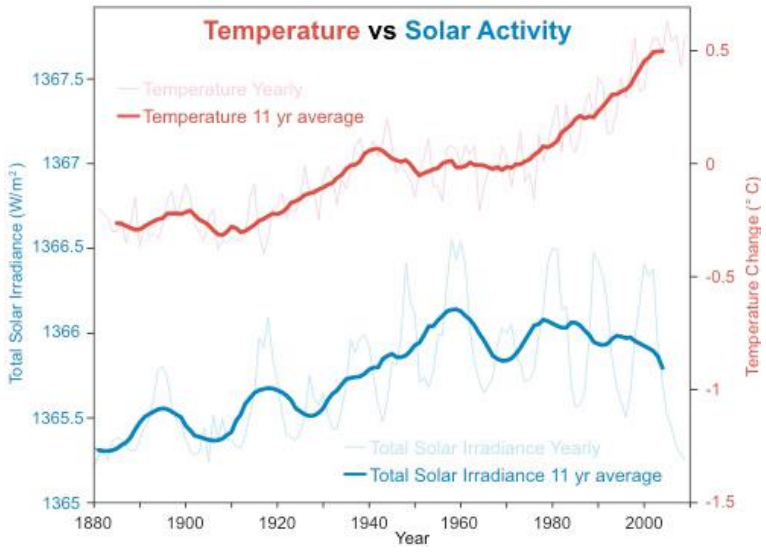
1. Θερμοκρασία και θνησιμότητα

1.1. Κλίμα και κλιματική αλλαγή: αύξηση της θερμοκρασίας

Το κλίμα της Γης μεταβάλλεται διαρκώς, με ποικίλους ρυθμούς από την απαρχή του κόσμου. Είναι σημαντικό να λάβουμε υπόψη την ταχύτητα αυτής της μεταβολής, τη λεγόμενη «χρονική κλίμακα» των αλλαγών, προκειμένου να κατανοήσουμε τις διαφορετικές επιδράσεις των φυσικών και ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στις τρέχουσες κλιματικές αλλαγές. Οι διακυμάνσεις αυτές ωστόσο μέχρι σήμερα υπήρξαν αργές. Καθώς η μέση θερμοκρασία ρυθμίζεται από την ισορροπία μεταξύ της εισερχόμενης και της εξερχόμενης ενέργειας, οποιοσδήποτε παράγοντας που προκαλεί μια αλλαγή στην ποσότητα της εισερχόμενης ή εξερχόμενης ενέργειας, και που συνάμα διατηρείται για μεγάλο χρονικό διάστημα (δεκαετίες ή περισσότερο), μπορεί να οδηγήσει σε κλιματική αλλαγή. Ορισμένοι από τους παράγοντες αυτούς θα μπορούσαν να είναι φυσικοί ή ενδογενείς στο κλιματικό σύστημα, όπως οι αλλαγές στην ηφαιστειακή δραστηριότητα, η ηλιακή παραγωγή ή η τροχιά της Γης γύρω από τον Ήλιο. Άλλες αιτίες είναι εξωγενείς στο κλιματικό σύστημα και αναφέρονται ως «παράγοντες κλιματικής επιδείνωσης». Η νέα κατάσταση στην οποία τίθεται το κλίμα μπορεί να είναι θερμότερη ή ψυχρότερη, ανάλογα με την αιτία της αλλαγής. Διαφορετικοί παράγοντες επενεργούν σε διαφορετικές χρονικές κλίμακες και δεν σχετίζονται όλοι οι παράγοντες που οδήγησαν σε αλλαγές στο κλίμα της Γης στο μακρινό παρελθόν με τη σύγχρονη κλιματική αλλαγή.

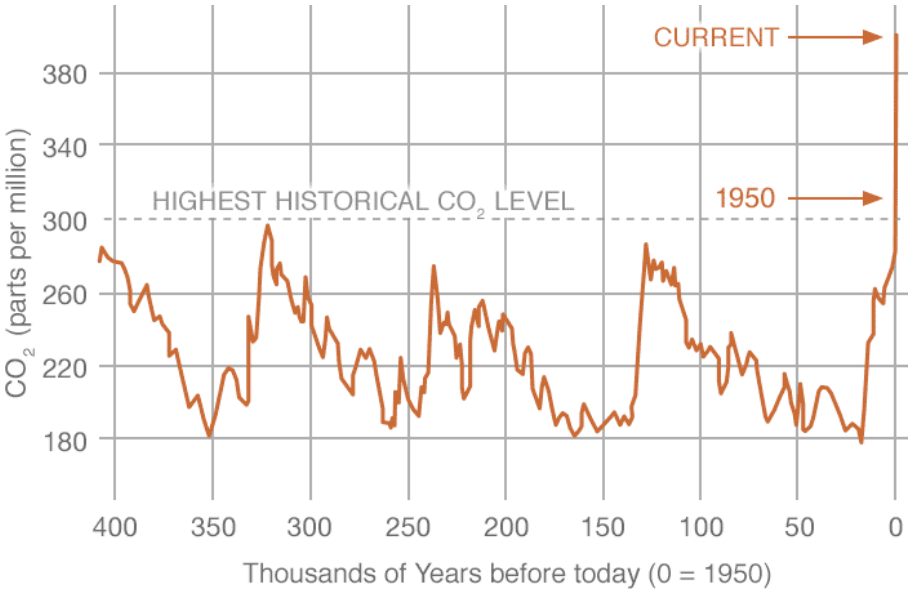
Οι δύο φυσικοί παράγοντες που σχετίζονται με τη χρονολογική κλίμακα της σύγχρονης κλιματικής αλλαγής είναι οι αλλαγές στην ηφαιστειακή δραστηριότητα και η ηλιακή ακτινοβολία. Οι παράγοντες αυτοί επηρεάζουν πρωτίστως την ποσότητα της εισερχόμενης ενέργειας, καθώς οι μεγάλες ηφαιστειακές εκρήξεις εκπέμπουν τεράστιες ποσότητες σκόνης και θειικών ενώσεων και έχουν ως αποτέλεσμα την ψύξη της ατμόσφαιρας. Οι επιδράσεις ωστόσο των ηφαιστειακών εκρήξεων είναι κυρίως βραχυπρόθεσμες στο κλίμα. Από την άλλη μεριά, οι μεταβολές στην ηλιακή ακτινοβολία έχουν συμβάλει στις κλιματικές τάσεις κατά τη διάρκεια των τελευταίων αιώνων. Η αυξημένη ηλιακή δραστηριότητα θεωρήθηκε υπεύθυνη για την άνοδο της παγκόσμιας θερμοκρασίας. Ωστόσο, συγκρίνοντας τα δεδομένα ηλιακής ακτινοβολίας με τα αντίστοιχα της παγκόσμιας θερμοκρασίας του παρακάτω διαγράμματος, παρατηρούνται διαφορετικές τάσεις, με την ηλιακή ακτινοβολία να εμφανίζει μια κάμψη μετά το 1975 ενώ η θερμοκρασία αυξάνεται συνεχώς (Εικόνα 1) (Sameworld.eu accessed on 25/04/2018).

Εικόνα 1:Ηλιακή ακτινοβολία και παγκόσμια θερμοκρασία από το 1880 και μετά

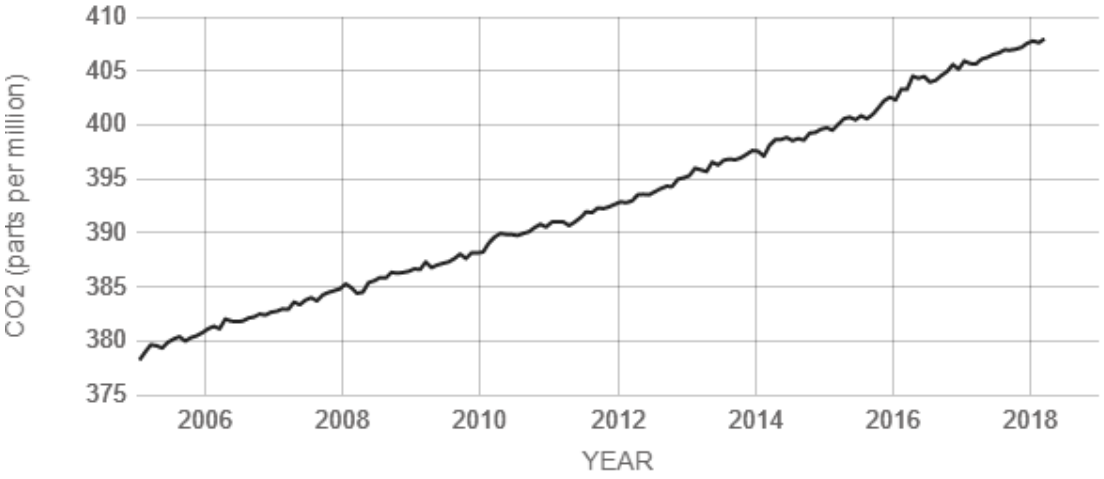


Σύμφωνα με τους επιστήμονες, οι αλλαγές στη θερμοκρασία δεν μπορούν να εξηγηθούν μόνο από τους φυσικούς παράγοντες. Χρησιμοποιώντας υπολογιστικά μοντέλα, αναπαράγουν τους διάφορους παράγοντες κλιματικής επιδείνωσης (φυσικούς και ανθρωπογενείς), αφού πρώτα εξασφαλίσουν ότι τα μοντέλα αυτά είναι σε θέση να αναπαραγάγουν τις αλλαγές θερμοκρασίας που παρατηρούνται στο πρόσφατο παρελθόν. Μόνο τα μοντέλα που περιλαμβάνουν ανθρωπογενείς παράγοντες είναι σε θέση να εξηγήσουν τις παρατηρούμενες αλλαγές των τελευταίων 50 ετών. Από την εποχή της βιομηχανικής επανάστασης, η επίδραση των αυξημένων επιπέδων των αερίων του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα, κυρίως του διοξειδίου του άνθρακα και του μεθανίου, είναι αυτή που πραγματικά ευθύνεται για την κλιματική αλλαγή (Παρίσι 2015). Στα παρακάτω διαγράμματα απεικονίζονται τα επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα διαχρονικά μέχρι το 1950 και τα τρέχοντα επίπεδα του ρύπου (Εικόνα 2) καθώς και τα μηνιαία επίπεδα από το 2005 έως σήμερα (Εικόνα 3):

Εικόνα 2: Επίπεδα διοξειδίου του άνθρακα διαχρονικά μέχρι το 1950 και τα τρέχοντα επίπεδα του ρύπου (https://climate.nasa.gov/evidence/)



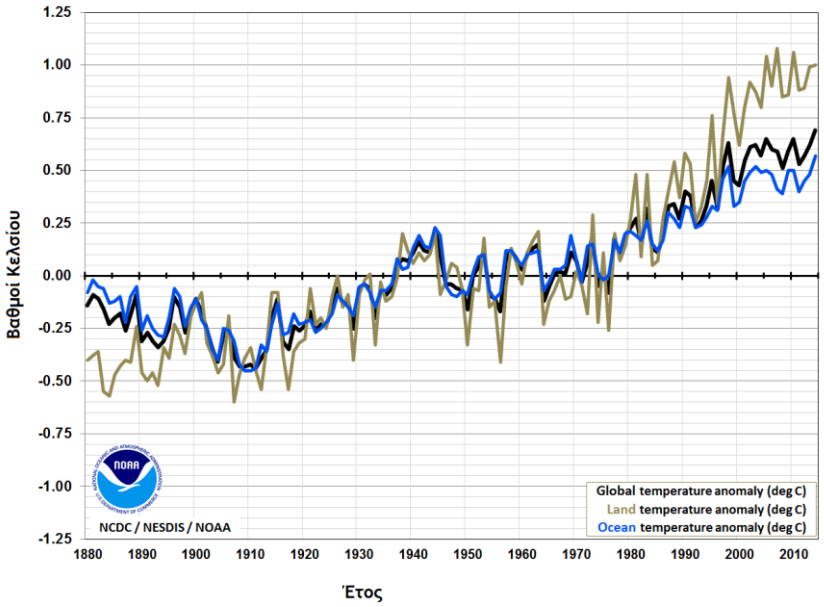
Εικόνα 3: Παγκόσμια μηνιαία επίπεδα CO2,2005-Σήμερα(https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/)



Αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας

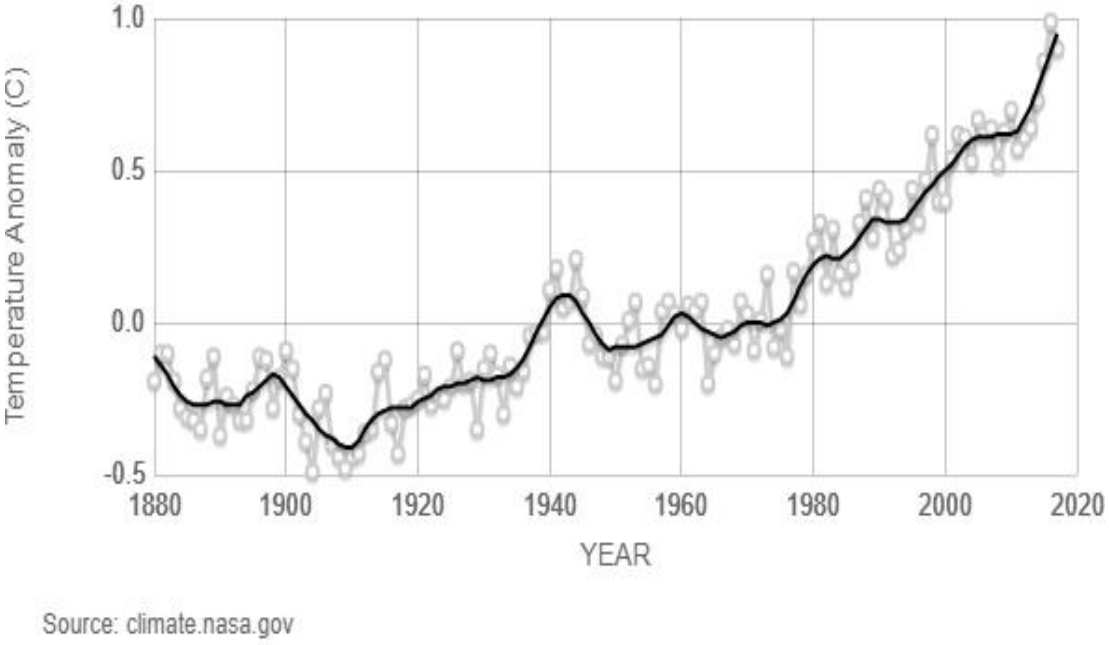
Το 2014 η μέση θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους και ωκεανών ήταν αυξημένη κατά 0.69°C σε σχέση με τον μέσο όρο του 20ου αιώνα. Καταγράφηκε μάλιστα ως η υψηλότερη θερμοκρασία από το 1880 (Παρίσι 2015).

Εικόνα 4: Ετήσια παγκόσμια θερμοκρασίας(εδάφους, ωκεανών και συνδυασμένη) από το 1880 έως το 2012



Κατά τη διάρκεια των τελευταίων 1.300 ετών, η μέση θερμοκρασία στο βόρειο ημισφαίριο παρουσιάζει διακύμανση κατά 0.5 ° C. Στην Ευρώπη, ωστόσο, η αύξηση της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη από την παγκόσμια αύξηση. Η ετήσια μέση θερμοκρασία στην περιοχή αυξήθηκε κατά 1,3 ° C μέχρι το 2009 σε σχέση με το μέσο όρο της περιόδου 1850-1899. Από τα τέλη του 19ου αιώνα η μέση θερμοκρασία επιφάνειας του πλανήτη έχει αυξηθεί κατά 1.1°C περίπου. Η αλλαγή αυτή έχει προκληθεί κατά κύριο λόγο από τις ανθρώπινες δραστηριότητες με αποτέλεσμα οι ακραίες υψηλές θερμοκρασίες - οι ζεστές μέρες, οι τροπικές νύχτες και τα κύματα καύσωνα – να έχουν γίνει πιο συχνές, ενώ οι ακραίες χαμηλές θερμοκρασίες - οι ψυχρές περίοδοι, οι ημέρες παγετού - να έχουν ελαττωθεί, ειδικότερα στην Ευρώπη.

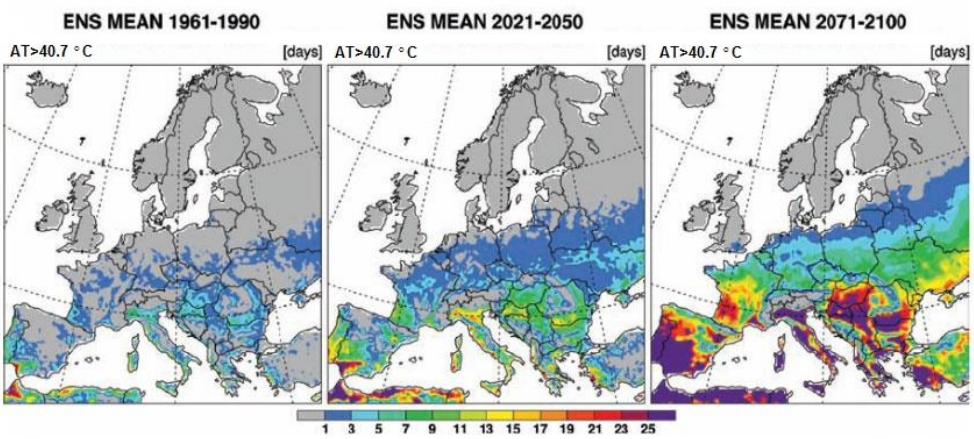
Εικόνα 5: Αλλαγή της παγκόσμιας θερμοκρασίας επιφανείας σε σχέση με τις μέσες θερμοκρασίες κατά τα έτη 1951-1980(https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/)



Η περισσότερη θέρμανση παγκοσμίως συνέβη τα τελευταία 35 χρόνια, με τα 16 από τα 17 θερμότερα καταγεγραμμένα έτη να έχουν καταγραφεί μετά το 2001. Το 2016, μάλιστα, όχι μόνο ήταν το θερμότερο έτος αλλά και στους 8 από τους 12 μήνες του έτους αυτού, από τον Ιανουάριο μέχρι το Σεπτέμβριο, με εξαίρεση τον Ιούνιο, καταγράφηκαν υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με τις αναμενόμενες για τους μήνες αυτούς. Στη Δυτική Ευρώπη, επίσης, παρατηρήθηκε διπλασιασμός της μέσης διάρκειας των καλοκαιρινών καυσώνων κατά την περίοδο 1850-2009 ενώ η συχνότητα των θερμών ημερών σχεδόν τριπλασιάστηκε. Η μέση ετήσια θερμοκρασία στην Ευρώπη αναμένεται να αυξηθεί κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα, με τη μεγαλύτερη αύξηση της θερμοκρασίας να αναμένεται στην Ανατολική και Βόρεια Ευρώπη το χειμώνα και στη Νότια Ευρώπη το καλοκαίρι. Σύμφωνα με τις προβλέψεις, οι περιοχές της Ευρώπης που αναμένεται να επηρεαστούν περισσότερο είναι η Ιβηρική Χερσόνησος, η Χερσόνησος των Απενίνων και η νοτιοανατολική Ευρώπη. Στη Νότια Ευρώπη προβλέπεται αύξηση έως και 7 ° C στη θερινή θερμοκρασία έως το 2080-2100 σε σύγκριση με το 1961-1990, ενώ η αντίστοιχη αύξηση στη Βόρεια Ευρώπη υπολογίζεται στους 5 ° C. Επιπρόσθετα, σε ολόκληρη την Ευρώπη, οι ακραίες υψηλές θερμοκρασίες, όπως οι καύσωνες, αναμένεται να γίνουν συχνότερες, εντονότερες και μεγαλύτερης διάρκειας κατά τη διάρκεια αυτού του αιώνα, ενώ ο αριθμός των ακραίων θερμοκρασιών κρύου και παγετού προβλέπεται να μειωθεί περαιτέρω. Τέλος, ο αριθμός ημερών με αισθητή θερμοκρασία άνω των 40,7 ° C θα διπλασιαστεί στα περισσότερα μέρη της νότιας

Ευρώπης (Εικόνα 6) (*The European Environment-State and Outlook 2010,Understanding Climate Change*).

Εικόνα 6: Προβλεπόμενος μέσος όρος θερινών ημερών στην Ευρώπη με αισθητή θερμοκρασία >40.7 ° C(The European Environment-State and Outlook 2010,Understanding Climate Change)



Ο περιορισμός της αύξησης της θερμοκρασίας στους 2°C, έχει αναγνωριστεί από το σύνολο της επιστημονικής κοινότητας, αλλά και από την Ευρωπαϊκή Ένωση, ως απαραίτητη προϋπόθεση για να αποφύγουμε τις χειρότερες επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής

Κατά τις τελευταίες δεκαετίες, η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει ποικίλες επιδράσεις στα ανθρώπινα και τα φυσικά συστήματα όλων των ηπείρων. Καθώς η παγκόσμια θερμοκρασία αυξάνεται, κατά τα επόμενα χρόνια αναμένονται κι άλλες βραχυπρόθεσμες επιπτώσεις. Η ταχύτητα της κλιματικής αλλαγής είναι υψηλότερη από ποτέ, δυσχεραίνοντας ακόμα περισσότερο την προσαρμογή των ειδών. Ο ρυθμός εξαφάνισης των ειδών ολοένα και αυξάνεται, γεγονός το οποίο οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στην υπερθέρμανση του πλανήτη. Όσο αφορά τον άνθρωπο και τις ανθρώπινες κοινωνίες, η κλιματική αλλαγή επιδρά είτε άμεσα (καύσωνες, ξηρασίες, καταιγίδες με αντίκτυπο στις συνθήκες διαβίωσης με πλημμύρες, δασικές πυρκαγιές, μείωση της γεωργικής σοδειάς και καταστροφή κατοικιών και υποδομών) είτε έμμεσα (αύξηση της μετανάστευσης και της τιμής των τροφίμων).

Οι μελλοντικές επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής θα διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με την περιοχή. Εξαιτίας διαφόρων παραγόντων, οι επιπτώσεις δεν θα κατανεμηθούν εξίσου ή ομοιόμορφα. Για παράδειγμα, κάποιες χαμηλές παράκτιες περιοχές και μικρά νησιά του Ειρηνικού θα υποστούν μεγαλύτερες συνέπειες από την άνοδο της στάθμης της θάλασσας. Ωστόσο, δεν είναι μόνο θέμα γεωγραφίας καθώς και οι κοινωνικές συνθήκες δρουν συνδυαστικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επιβαρύνουν κυρίως ευπαθείς κοινωνικές ομάδες αλλά και λαούς. Οι πλουσιότερες χώρες θα είναι λιγότερο ευάλωτες στις καταστροφές και ικανότερες να εκμεταλλευτούν πιθανά οφέλη, επειδή οι περιοχές αυτές είναι συνήθως λιγότερο πυκνοκατοικημένες και διαθέτουν περισσότερους πόρους για να επενδύσουν στην πρόληψη και την προσαρμογή. Αντίθετα, οι φτωχότερες χώρες θα πληγούν περισσότερο, δεδομένου ότι βασίζονται πιο άμεσα στην τοπική γεωργική παραγωγή και είναι επομένως πιο ευάλωτες στις συνέπειες της μεταβολής της θερμοκρασίας και των υδρολογικών κύκλων (sameword.eu).

Επιπτώσεις κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα

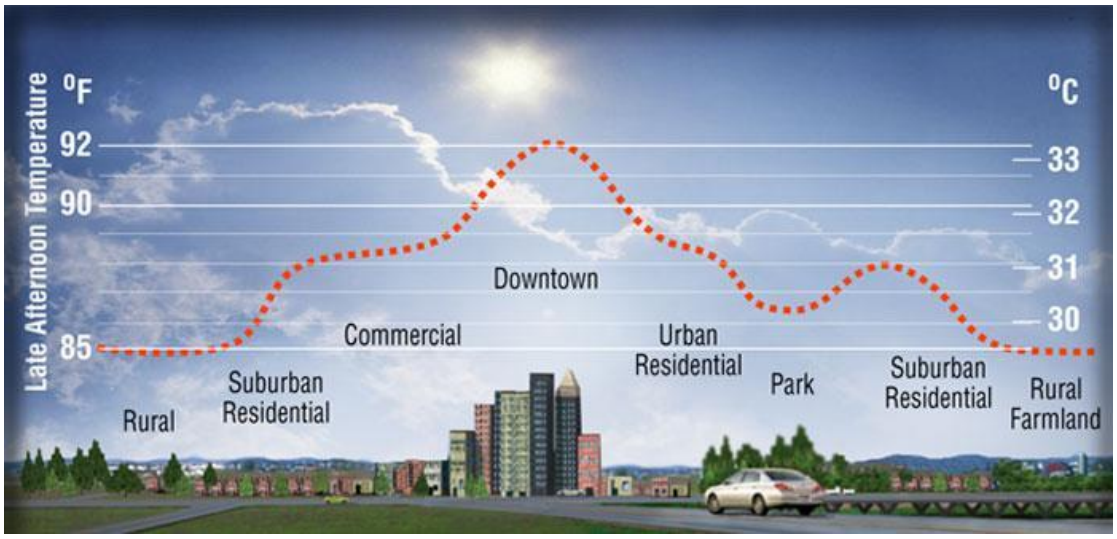
Ο πλούτος της Ελλάδας συνδέεται αναπόσπαστα με τις κλιματικές της συνθήκες. Τα ζεστά καλοκαίρια, σε συνδυασμό με τους ήπιους υγρούς χειμώνες, ευνοούν την ανάπτυξη της γεωργίας, η οποία αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της οικονομίας της χώρας μας. Κάτω από τις ίδιες κλιματικές συνθήκες, χιλιάδες εκτάρια δάσους καλύπτουν την χώρα και φιλοξενούν μια μεγάλη βιοποικιλότητα. Η υπερθέρμανση του πλανήτη, σύμφωνα με όσα προαναφέρθηκαν, αποτελεί σοβαρή απειλή για τον πλούτο της χώρας. Μελέτη του ΟΗΕ συγκαταλέγει την Ελλάδα, όπως και ολόκληρη τη Μεσόγειο, ανάμεσα στα 18 «καυτά» σημεία του πλανήτη, τα οποία θα αντιμετωπίσουν τα μεγαλύτερα προβλήματα εξαιτίας της εντεινόμενης αλλαγής του κλίματος.

Η έρευνα του WWF Ελλάς σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, με τίτλο «Το αύριο της Ελλάδας» επιχειρεί μια πρόβλεψη για τις κλιματικές συνθήκες στην Ελλάδα την περίοδο 2020-2050. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνας, η ήδη υπάρχουσα δυσφορία των κατοίκων στις πόλεις πρόκειται να ενταθεί. Οι κάτοικοι πόλεων όπως η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, η Λαμία και η Λάρισα θα υπόκεινται μέχρι και σε 20 περισσότερες ημέρες καύσωνα. Παράλληλα, σε Λαμία, Λάρισα, Βόλο, Θεσσαλονίκη και Αθήνα, η συνολική βροχόπτωση θα μειωθεί, αλλά αναμένεται να αυξηθούν κατά 10-20% οι ακραίες βροχοπτώσεις. Όπως φαίνεται ο κίνδυνος για πλημμυρικά επεισόδια αλλά και για εξάπλωση πυρκαγιών στα περιαστικά δάση είναι σημαντικά αυξημένος. Σημαντικά θα επηρεαστούν και οι τουριστικοί προορισμοί της χώρας μας. Από 5 ως και 15 περισσότερες θα είναι οι μέρες με καύσωνα στους υπό εξέταση τουριστικούς νομούς, ενώ θα αυξηθούν περαιτέρω και οι νύχτες όπου η θερμοκρασία δεν θα πέφτει κάτω από τους 20°C, κυρίως στις νησιωτικές περιοχές, όπως η Ρόδος και τα Χανιά. Οι δέκα μεγαλύτεροι αγροτικοί νομοί της χώρας θα δεχθούν επίσης μεγάλη πίεση από την κλιματική αλλαγή, με αποτέλεσμα να αυξηθούν οι μέρες καύσωνα, οι συνεχόμενες ημέρες χωρίς βροχή, να μειωθούν οι χειμερινές βροχοπτώσεις και συνεπώς να αυξηθεί κατά πολύ ο κίνδυνος πυρκαγιάς. Για παράδειγμα, στην Εύβοια αναμένονται περισσότερες από 25 επιπλέον ξηρές ημέρες σε σχέση με σήμερα, οι Σέρρες και η Λάρισα θα ζήσουν 20 περισσότερες μέρες καύσωνα, ενώ στο Ηράκλειο και την Πέλλα οι βροχοπτώσεις το χειμώνα θα μειωθούν κατά 15%. Παρουσιάζεται επίσης αυξημένος κίνδυνος για ερημοποίηση νέων εκτάσεων και μείωση στη διαθεσιμότητα νερού (WWF Greece, 2009).

Αστική θερμική νησίδα

Αστική θερμική νησίδα ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα πάνω από μια πυκνοδομημένη πόλη είναι μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του αέρα στις περιαστικές περιοχές. Το φαινόμενο παρατηρείται σχεδόν σε όλες τις πόλεις του κόσμου ανεξάρτητα από τις επιμέρους διαφοροποιήσεις που έχουν αυτές μεταξύ τους.

Εικόνα 7: Τυπική σχηματική απεικόνιση της θερμικής νησίδας (Πηγή: Heat Island Group (https://heatisland.lbl.gov/))



Το φαινόμενο αυτό οφείλεται κυρίως στην αλλαγή του κλίματος που προκαλείται από την αποθήκευση της ηλιακής ενέργειας στις αστικές επιφάνειες, όπως είναι τα κτίρια και οι δρόμοι. Μάλιστα, το φαινόμενο επηρεάζεται από την πυκνή δόμηση και το μέσο ύψος των κτιρίων καθώς και από τις αποστάσεις μεταξύ τους. Γενικότερα, ο τρόπος δόμησης των πόλεων μειώνει την ροή του αέρα στις πόλεις. Επίσης, τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις αστικές αυτές επιφάνειες, λόγω της χαμηλής αντανακλαστικότητάς τους στην ηλιακή ακτινοβολία, παρακρατούν τη θερμότητα την ημέρα και την αποδίδουν τη νύχτα, εμποδίζοντας τη φυσική ψύχρανση της ατμόσφαιρας. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, όπως η κυκλοφορία των οχημάτων και η θέρμανση/ψύξη των κτιρίων, συντελούν στην εμφάνιση της θερμικής νησίδας στις πόλεις. Λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, οι συγκεντρώσεις του διοξειδίου του άνθρακα πάνω από μια πόλη αυξάνονται με αποτέλεσμα να δημιουργείται μια μικρογραφία του φαινομένου του θερμοκηπίου. Τέλος, η έλλειψη πρασίνου και επιφανειών νερών από τις πόλεις επιδεινώνει το φαινόμενο, καθώς τα φυτά θα απορροφούσαν την ημέρα μεγάλο μέρος της ηλιακής ενέργειας και θα αντλούσαν νερό από τη γη, το οποίο θα απέδιδαν τη νύχτα από τα φύλλα στην ατμόσφαιρα ως υγρασία, με αποτέλεσμα να συμβάλλουν στη μείωση της έντασης της

θερμικής νησίδας. (Σχέδιο δράσης για την κλιματική αλλαγή (Δήμος Αθηναίων) και ecocity.gr)

Το φαινόμενο αυτό δρα προσθετικά με την αύξηση των θερμοκρασιών λόγω της κλιματικής αλλαγής. Η ένταση του φαινομένου καθορίζεται συνήθως από τη διαφορά μεταξύ της μέγιστης παρατηρούμενης θερμοκρασίας στο κέντρο μιας πόλης από την αντίστοιχη θερμοκρασία στην περιαστική περιοχή. Η ετήσια μέση θερμοκρασία του αέρα σε μία πόλη τουλάχιστον 1 εκατομμυρίου κατοίκων μπορεί να είναι 1-3°C υψηλότερη από τις περιαστικές περιοχές. Τη νύχτα η διαφορά αυτή μπορεί να φτάσει ακόμα και τους 12°C. Οι αυξημένες αυτές θερμοκρασίες, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, μπορούν να επηρεάσουν το περιβάλλον και την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Η πλειονότητα των επιδράσεων της θερμικής νησίδας είναι αρνητική. Αυτές οι επιπτώσεις περιλαμβάνουν:

- Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας:
  Το φαινόμενο αυξάνει τη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας, η οποία γενικά συμβαίνει τα ζεστά καλοκαιρινά απογεύματα, λόγω της αυξημένης αναγκαιότητας για ψύξη των κλειστών χώρων με τη χρήση των κλιματιστικών.

- Αυξημένες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων θερμοκηπίου:
  Εξαιτίας της αυξημένης ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας, γίνεται καύση ορυκτών καυσίμων από τις εταιρίες παραγωγής ενέργειας για την κάλυψη των αναγκών. Η καύση αυτή απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα αυξημένη ποσότητα ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως διοξείδιο του θείου (SO_2), οξείδια του αζώτου (NO_x) , σωματίδια (PM), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδράργυρος (Hg), και αερίων του θερμοκηπίου, με κύριο το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), που συμβάλλουν στην παγκόσμια κλιματική αλλαγή. Αυτοί οι ρύποι είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία και συμβάλλουν και σε σύνθετα προβλήματα ποιότητας του αέρα, όπως ο σχηματισμός όζοντος εδάφους (νέφος), λεπτών σωματιδίων και όξινης βροχής.

- Υποβιβασμός της ποιότητας ζωής και της ανθρώπινης υγείας και άνεσης:
  Οι υψηλές θερμοκρασίες, η μείωση των νυχτερινών χαμηλών θερμοκρασιών και τα αυξημένα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αναφέρθηκαν παραπάνω συμβάλλουν στη γενική δυσφορία, τις αναπνευστικές δυσκολίες, τις θερμικές κράμπες και εξάντληση, τη μη θανατηφόρα θερμοπληξία και τη θνησιμότητα που σχετίζεται με τη θερμότητα. Επίσης, οι ευπαθείς κοινωνικές ομάδες, όπως τα παιδιά και οι ηλικιωμένοι, βρίσκονται σε πρόσθετο κίνδυνο τις ημέρες που συμβαίνουν επεισόδια καύσωνα, λόγω του φαινομένου της θερμικής νησίδας.

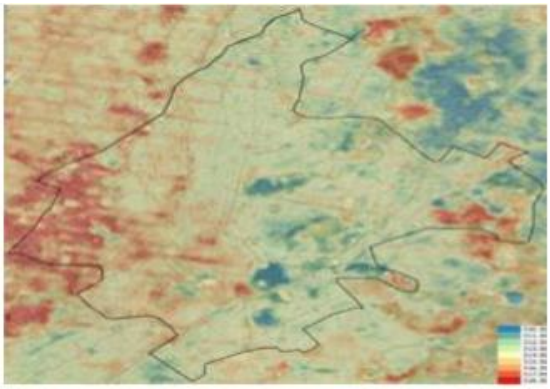
- Βλάβη της ποιότητας του νερού:
  Οι υψηλές θερμοκρασίες επιφανείας οδοστρώματος και οροφής μπορούν να θερμάνουν την απορροή των βρόχινων υδάτων. Ως αποτέλεσμα αυτού, αυξάνεται η θερμοκρασία του νερού που απελευθερώνεται σε ρέματα, ποτάμια και λίμνες. Καθώς

η θερμοκρασία του νερού επηρεάζει όλες τις πτυχές της υδρόβιας ζωής και ιδιαίτερα τον μεταβολισμό και την αναπαραγωγή πολλών υδρόβιων ειδών, οι συνέπειες για την υδρόβια ζωή μπορεί να είναι ακόμα και θανατηφόρες. (United States Environmental Protection Agency, www.epa.gov)

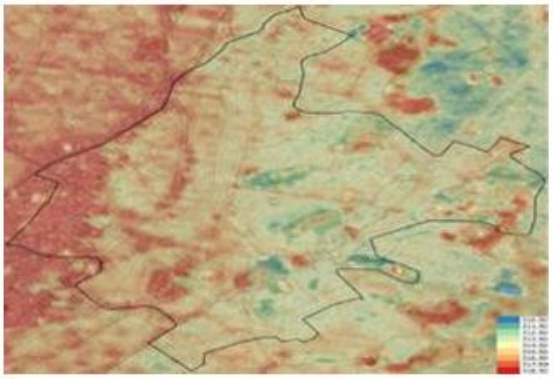
Θερμοκρασία στην Αθήνα

Πιο συγκεκριμένα, η αύξηση της θερμοκρασίας και τα ακραία καιρικά φαινόμενα αποτελούν ορατούς κινδύνους για την Αθήνα όπως και για όλες τις σύγχρονες πόλεις. Μελετώντας κλιματικά δεδομένα από τους σταθμούς του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών, η μέση ετήσια θερμοκρασία του αέρα στην Αθήνα παρουσιάζει συνολική αυξητική τάση της τάξεως του 0,5°C για την περίοδο 1900-2008. Ωστόσο, κατά τη θερινή περίοδο, η αύξηση στη μέση θερμοκρασία αγγίζει τον 1°C ανά δεκαετία. Αντίστοιχα, η μέση μέγιστη και η μέση ελάχιστη (νυκτερινή) θερμοκρασία το καλοκαίρι είναι αυξημένες κατά 3,2°C (1976-2008) και 3,3°C (1984-2008), αντίστοιχα. Η διαφορά μεταξύ της ημέρας και της νύχτας, ιδιαίτερα στο ρυθμό αύξησης, πιθανότατα οφείλεται στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, κατά το οποίο οι πυκνοδομημένες περιοχές μίας πόλης έχουν θερμοκρασιακή διαφορά από τις περιαστικές περιοχές. Παρόμοια τάση εμφανίζει και η εμφάνιση καυσώνων, δηλαδή οι περιπτώσεις που η θερμοκρασία ξεπερνά τους 37°C για τρεις συνεχόμενες μέρες τουλάχιστον. Μάλιστα, οι καύσωνες τείνουν να γίνονται συχνότεροι και με μεγαλύτερη ένταση. Κατά μέσο όρο περίπου 32 ημέρες, σε ετήσια βάση, η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ξεπέρασε τους 35°C στην Αθήνα την περίοδο 2005-2014. Οι υψηλές αυτές θερμοκρασίες λειτουργούν προσθετικά στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Η μέγιστη ένταση του φαινομένου αυτού έχει βρεθεί να φτάνει ακόμα και τους 10°C (κέντρο της Αθήνας σε σχέση με τα νότια προάστια). Στους παρακάτω χάρτες (Εικόνα 8) απεικονίζονται οι θερμές περιοχές της πόλης καθώς και οι χώροι πρασίνου, και η εξέλιξή τους με την πάροδο του χρόνου. Οι θερμοκρασίες αντιστοιχούν σε επιφανειακές θερμοκρασίες και το όριο πάνω από το οποίο εντοπίζεται ένα θερμό σημείοείναι οι 44°C.

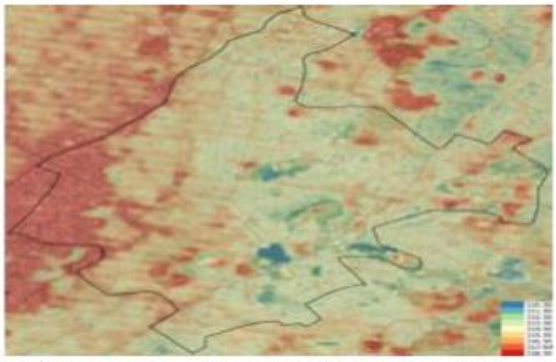
Εικόνα 8: Θερμές περιοχές της Αθήνας και οι περιοχές πρασίνου διαχρονικά (Σχέδιο Δράσης Δήμου Αθηναίων για την Κλιματική Αλλαγή)



Θερμές περιοχές το έτος 1992 (Cartalis et al, 2016)



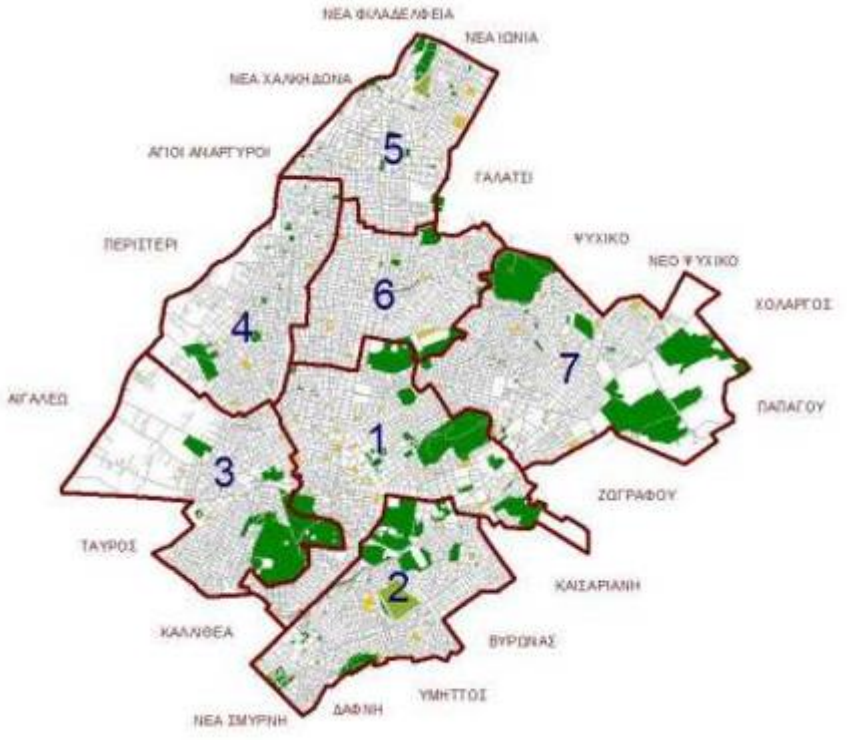
Θερμές περιοχές το έτος 2004 (Cartalis et al, 2016)



Θερμές περιοχές το έτος 2010 (Cartalis et al, 2016)

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες εντοπίζονται στα δυτικά όρια του Δήμου Αθηναίων, τα οποία χαρακτηρίζονται από παντελή έλλειψη πρασίνου, όπως φαίνεται παρακάτω (Εικόνα 9).

Εικόνα 9: Περιοχές πρασίνου εντός των διοικητικών ορίων του Δήμου Αθηναίων 2017 (Δ/νση Πρασίνου, Δήμου Αθηναίων -Σχέδιο δράσης για την κλιματική αλλαγή-Δήμος Αθηναίων)

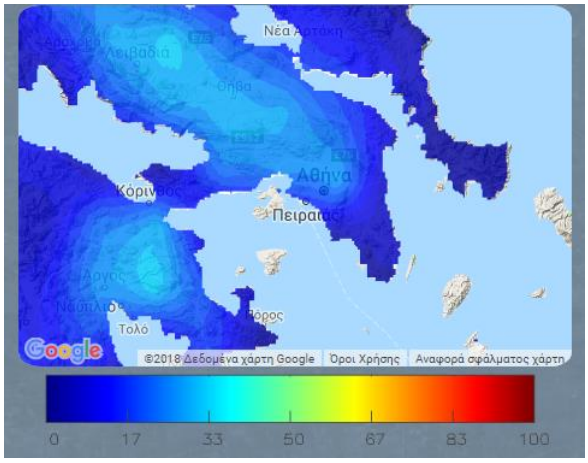


Για την αντιμετώπιση του φαινομένου χρειάζεται να γίνει μεταβολή του θερμικού ισοζυγίου μειώνοντας τα θερμικά κέρδη στις πόλεις (απορροφούμενη ηλιακή ακτινοβολία και ανθρωπογενής θερμότητα) και από την άλλη αυξάνοντας τις θερμικές απώλειες (απώλειες θερμότητας λόγω εξατμισοδιαπνοής). Βασική προϋπόθεση αποτελεί ο περιορισμός του αντίκτυπου των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στις αστικές περιοχές. Η χρήση ψυχρών υλικών, ανοιχτών χρωμάτων που παγιδεύουν λιγότερη θερμότητα, η σκίαση των κτιρίων και των κοινοχρήστων χώρων (ιδιαίτερα των δρόμων) και η τοποθέτηση πρασίνου μπορούν να δράσουν θετικά στη μείωση της έντασης του φαινομένου της αστικής νησίδας. Η αύξηση των σημείων πρασίνου στις πόλεις μπορεί να πραγματοποιηθεί με την τοποθέτηση βλάστησης σε κοινόχρηστους χώρους ή στις σκεπές των κτιρίων. Τα φυτά απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα και μειώνουν επίσης τη θερμότητα των γύρω περιοχών. (https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/urban-heat-island/)

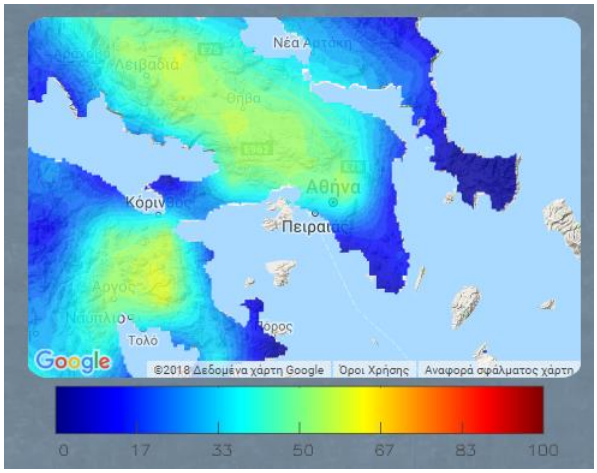
Με βάση κλιματικά μοντέλα που εφαρμόστηκαν για την περιοχή της Αθήνας, προκύπτει ότι για την περίοδο 2021-2050 η μέση μέγιστη θερμοκρασία το καλοκαίρι αναμένεται να αυξηθεί κατά 2°C, ενώ για την περίοδο 2071-2100 η αύξηση αυτή θα φτάσει τους 4°C (Ζερεφός και συν. 2011). Ταυτόχρονα με την αύξηση της μέσης θερμοκρασίας, προβλέπεται αύξηση των ακραίων υψηλών θερμοκρασιών. Αντίστοιχη μελέτη της WWF Ελλάς και του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (WWF Greece, 2009) δείχνει ότι στο άμεσο μέλλον (2021-2050) η Αθήνα προβλέπεται να βιώνει έως και 15 περισσότερες ημέρες ετησίως (σε σχέση με την περίοδο 1961-1990) που η μέγιστη θερμοκρασία θα ξεπερνά τους 35°C και έως και ένα μήνα περισσότερο το χρόνο με νυκτερινές θερμοκρασίες μεγαλύτερες από 20°C . Τέλος, τις προσεχείς δεκαετίες προβλέπεται μείωση του συνολικού ποσού βροχόπτωσης στην Αθήνα, με ταυτόχρονη αύξηση της συχνότητας εμφάνισης ακραίων βροχοπτώσεων. (Σχέδιο Δράσης Δήμου Αθηναίων για την κλιματική αλλαγή, 2017)

Στις εικόνες που φαίνονται παρακάτω (Εικόνες 10-18) απεικονίζονται τα αποτελέσματα κλιματικών μοντέλων για την περιοχή της Αθήνας, που εφαρμόστηκαν στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος TREASURE (http://treasure.climpacts.gr/index.php/map-plots).

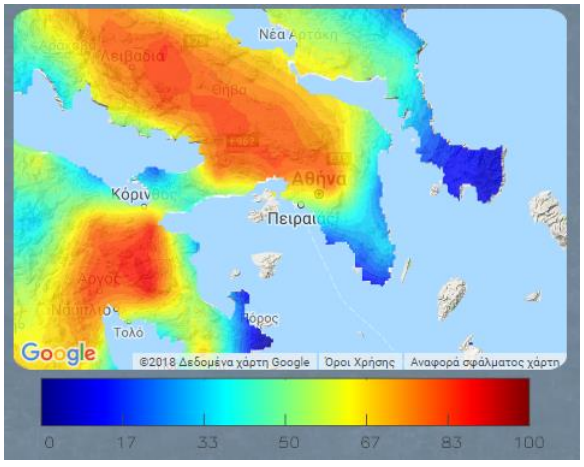
Εικόνα 10: Αριθμός ημερών με μέγιστη θερμοκρασία >35° C: 1971-2000



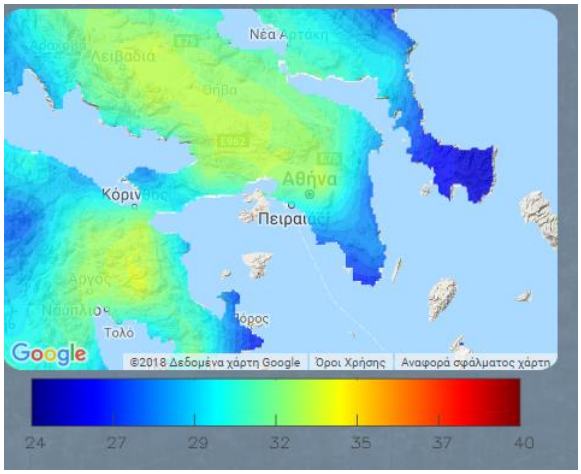
Εικόνα 11: Αριθμός ημερών με μέγιστη θερμοκρασία >35° C: 2001-2050



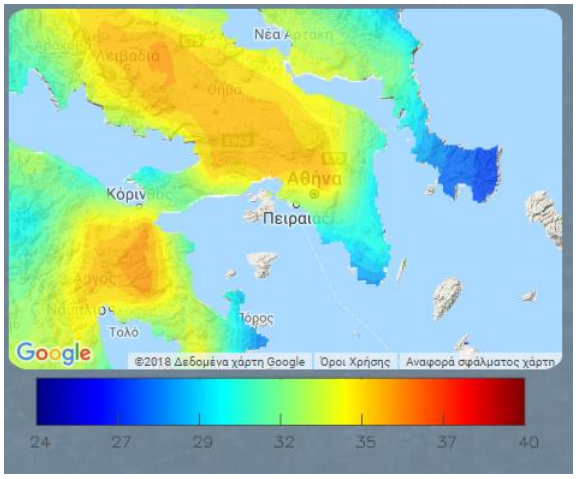
Εικόνα 12: Αριθμός ημερών με μέγιστη θερμοκρασία >35° C: 2071-2100



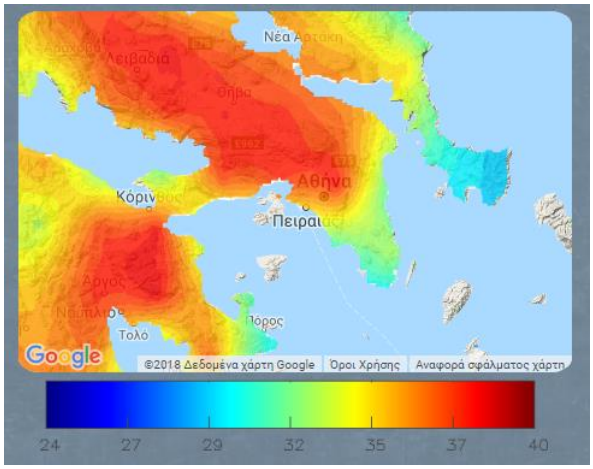
Εικόνα 13: Μέση καλοκαιρινή μέγιστη θερμοκρασία: 1971-2000



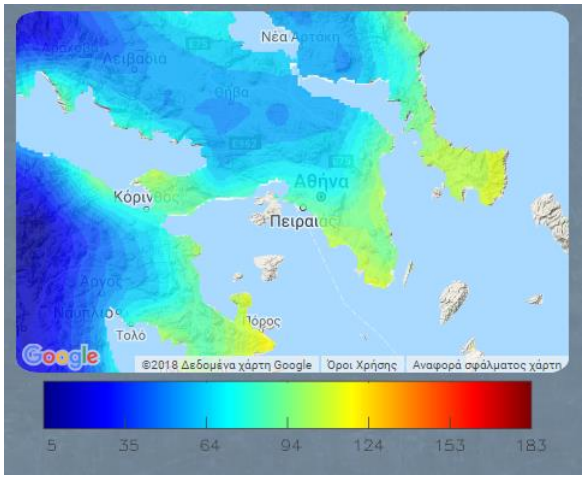
Εικόνα 14: Μέση καλοκαιρινή μέγιστη θερμοκρασία: 2021-2050



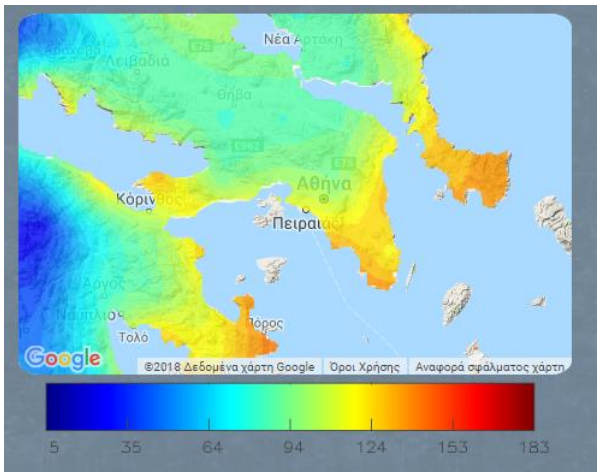
Εικόνα 15: Μέση καλοκαιρινή μέγιστη θερμοκρασία: 2071-2100



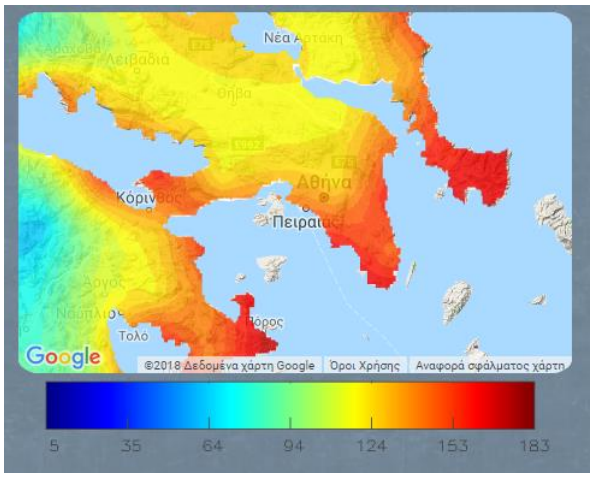
Εικόνα 16: Αριθμός τροπικών νυχτών με ελάχιστη θερμοκρασία <20° C: 1971-2000



Εικόνα 17: Αριθμός τροπικών νυχτών με ελάχιστη θερμοκρασία <20° C: 2021-2050



Εικόνα 18: Αριθμός τροπικών νυχτών με ελάχιστη θερμοκρασία <20° C: 2071-2100



1.2. Οι επιδράσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (ΠΟΥ), οι κίνδυνοι για την υγεία που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή μπορεί να είναι σημαντικοί και διαφορετικοί ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή και συχνά μη αναστρέψιμοι. Η κατανομή ασθενειών που προέρχονται από ξενιστές, τρόφιμα και νερά αναμένεται να αλλάξει λόγω των υψηλών θερμοκρασιών. Επιπρόσθετα, η αλλαγή του κλίματος είναι πιθανό να αυξήσει την ανθρώπινη έκθεση σε μολυσματικούς παράγοντες που σχετίζονται με τη γεωργία. Η αναμενόμενη αύξηση των ημερών καύσωνα, σε συνδυασμό με την ατμοσφαιρική ρύπανση και την μείωση των βροχοπτώσεων στις περισσότερες αστικές περιοχές ενδέχεται να οδηγήσει σε εμφάνιση περισσότερων καρδιακών επεισοδίων, αλλεργιών, άσθματος κτλ. Η ανάγκη για βελτίωση των συνθηκών στις πόλεις και η λήψη μέτρων για την προστασία των ευάλωτων -κυρίως- πληθυσμών καθίσταται άμεση και υψηλής προτεραιότητας.

Οι περισσότερες μελέτες αφορούν τις επιπτώσεις των ακραίων θερμοκρασιών (είτε υψηλών είτε χαμηλών) στη θνησιμότητα, γεγονός σπάνιο στο γενικό πληθυσμό, με μικρό ποσοστό να μελετά σχέσεις με νοσηρότητα. Αυτό μπορεί να οφείλεται στη διαθεσιμότητα των δεδομένων θνησιμότητας καθώς μπορούν να καταγραφούν άμεσα και εύκολα. Δε συμβαίνει το ίδιο με τα δεδομένα νοσηρότητας, καθώς τις περισσότερες φορές που τα άτομα παρουσιάζουν κάποιο πρόβλημα υγείας λόγω ακραίων θερμοκρασιών δεν επισκέπτονται κάποιο νοσοκομείο ή ιατρικό κέντρο ώστε να γίνει καταγραφή τέτοιων δεδομένων. Ωστόσο, περιορισμένος αριθμός μελετών ασχολείται με δείκτες νοσηρότητας όπως ο αριθμός των εισαγωγών στα νοσοκομεία ή οι επισκέψεις στα επείγοντα περιστατικά των νοσοκομείων (Michelozzi et al. 2009, Astrom et al. 2011, Astrom et al. 2013, Van Loenhout et al.2018, Monteiro et al.) , ή άλλους δείκτες νοσηρότητας όπως συμπτώματα και δυσφορία (Josseran et al. 2009, Fink et al. 2017). Η δυσκολία μελέτης τέτοιων πρώιμων συμπτωμάτων και εκβάσεων δυσχεραίνει τη λήψη και την αξιολόγηση των καταλλήλων μέτρων πρόληψης τις ημέρες με ακραίες συνθήκες θερμοκρασίας.

1.3. Θερμοκρασία και θνησιμότητα

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχει μελετηθεί εκτενώς η σχέση της θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα. Η θνησιμότητα στις διάφορες περιοχές και στα διαφορετικά κλίματα εμφανίζει μια περιοδική τάση, με μέγιστο το χειμώνα αλλά και βραχέα μέγιστα το καλοκαίρι όταν παρατηρούνται εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες και καύσωνες. Η τάση αυτή αποτυπώνεται στα παρακάτω διαγράμματα (Εικόνες 19-20).

Εικόνα 19: Μέσος ημερήσιος αριθμός θανάτων ανά μήνα για την περίοδο 1984-1988 στην Αθήνα.(Katsouyanni et al., 1993)

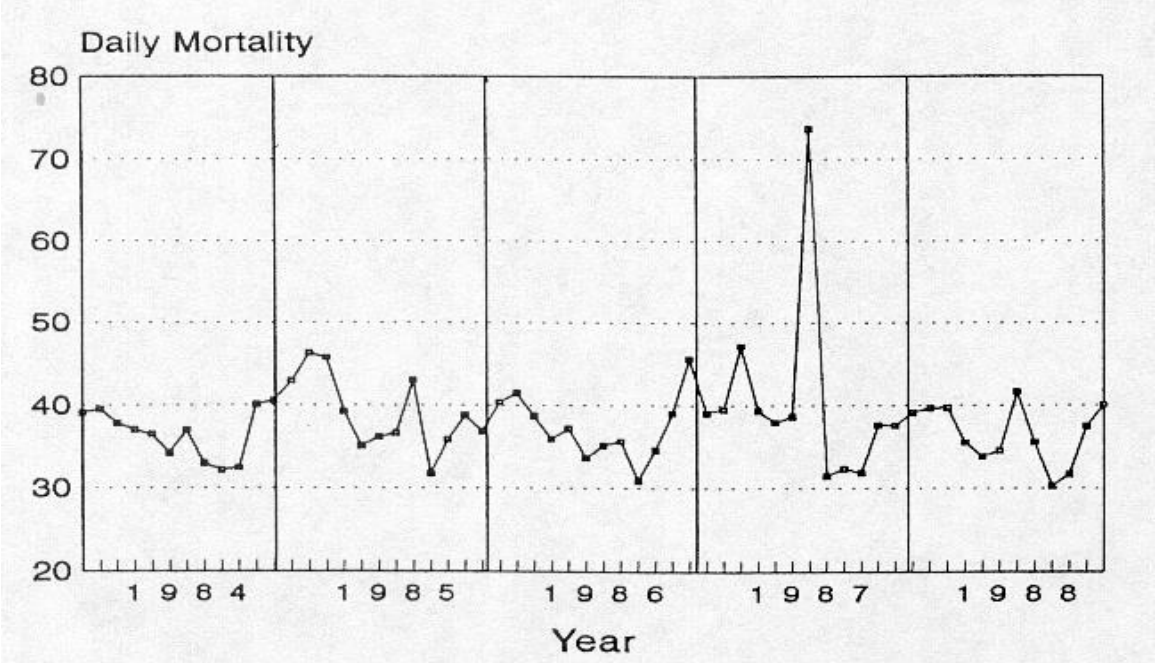
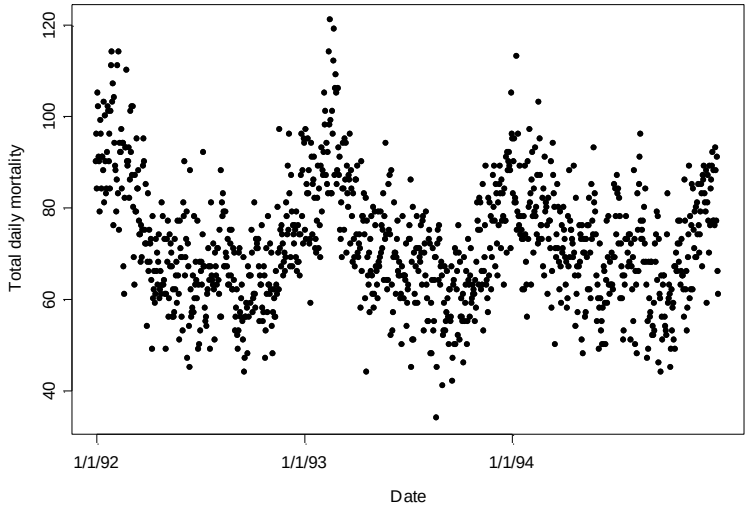


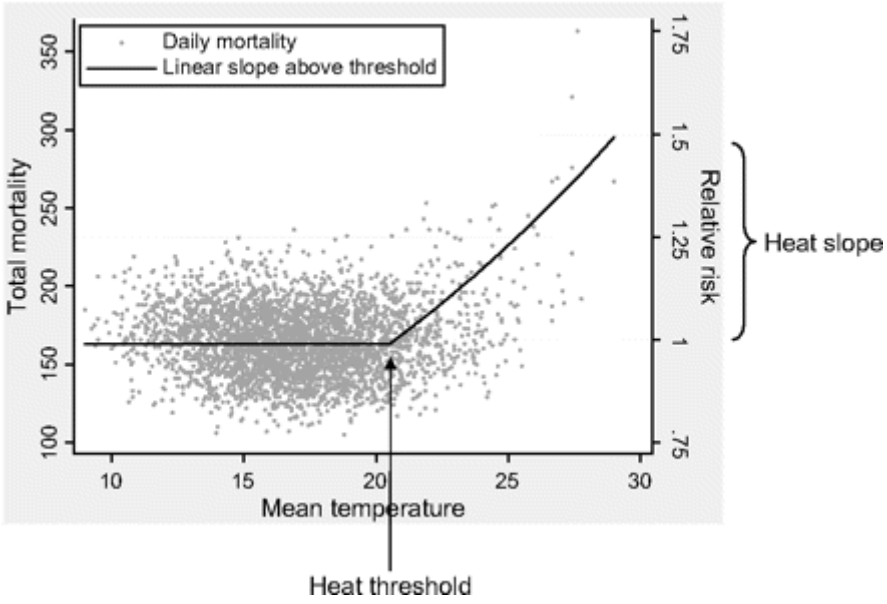
FIGURE 1 *Mean daily mortality in Athens by month, 1984–1988*

Εικόνα 20: Ημερήσιος αριθμός θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες για την περίοδο 1992-1994 στην Αθήνα

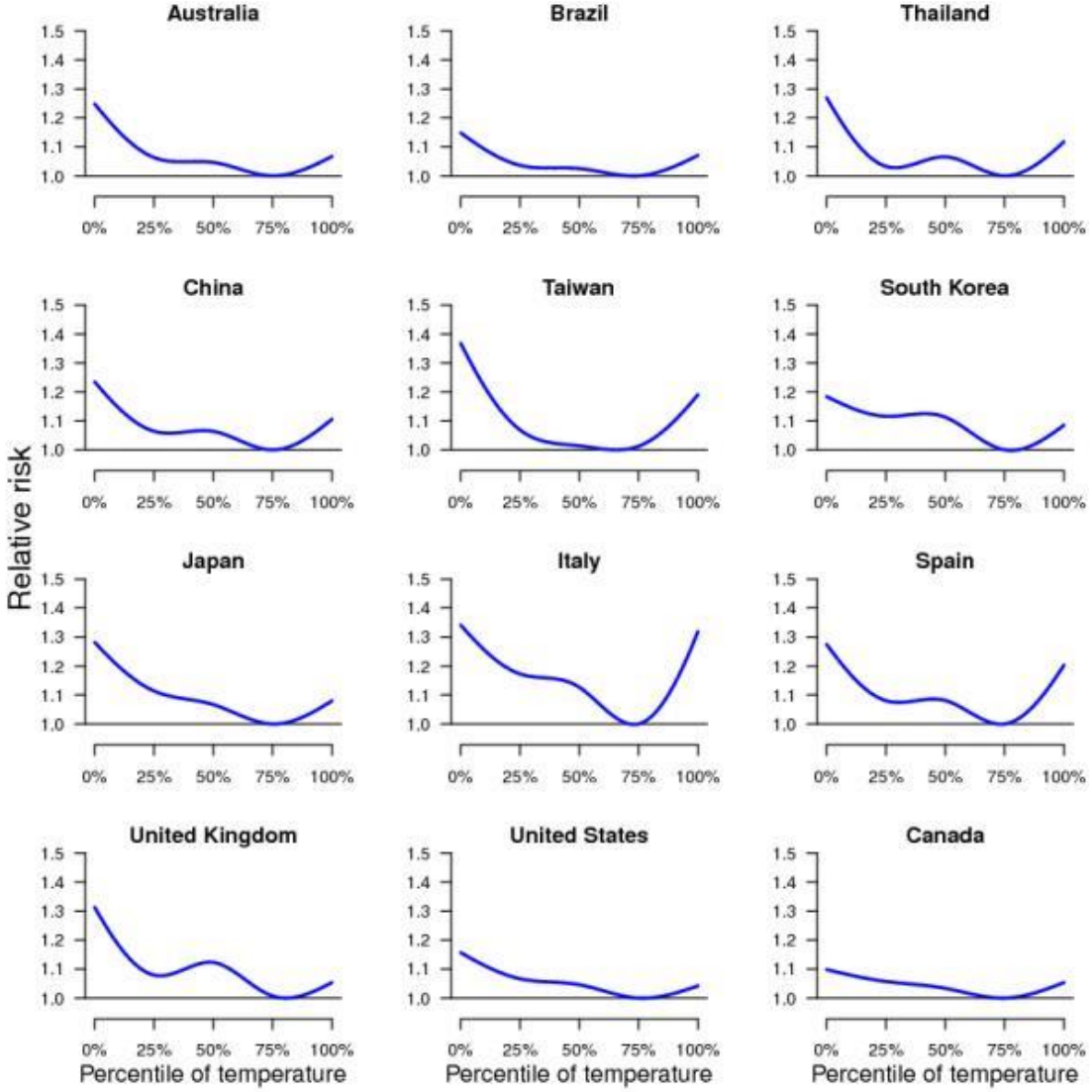


Η σχέση ημερήσιας θερμοκρασίας και θνησιμότητας είναι μία σχέση συνήθως σχήματος U ή V. Υπάρχει, λοιπόν, μία θερμοκρασία η οποία αντιστοιχεί στην ελάχιστη θνησιμότητα (σημείο καμπής-turning point). Για θερμοκρασίες υψηλότερες και χαμηλότερες από το σημείο καμπής, η θνησιμότητα αυξάνει (Εικόνες 21-23).

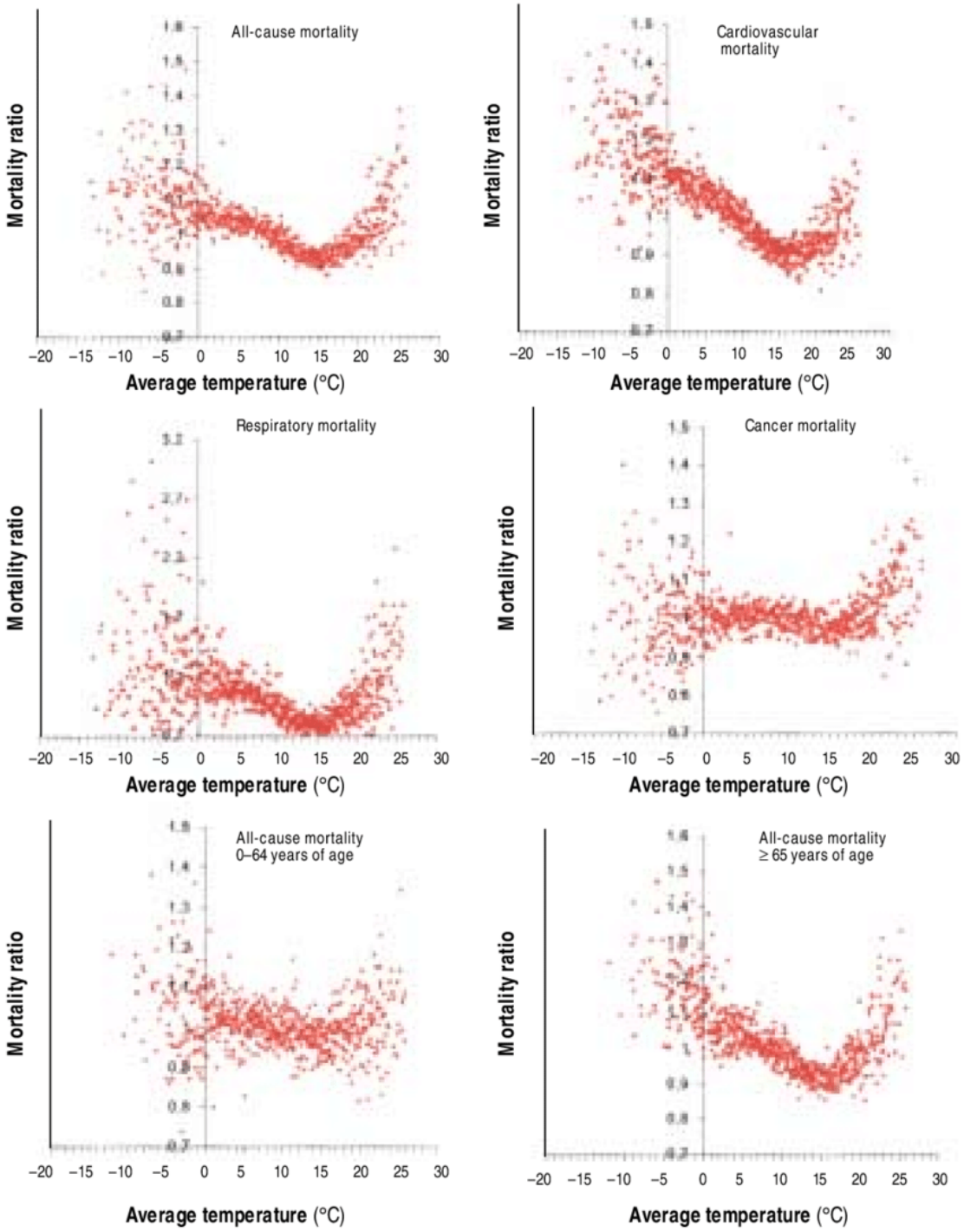
Εικόνα 21: Σχέση ημερήσιας θνησιμότητας και μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας κατά την καλοκαιρινή περίοδο στο Λονδίνο, 1976-2003. (Hajat and Kosatky 2010)



Εικόνα 22: Σχέση μεταξύ θερμοκρασίας (υστέρηση 0-21 ημέρες) σε 12 χώρες/περιοχές.(Guo et al. 2014)



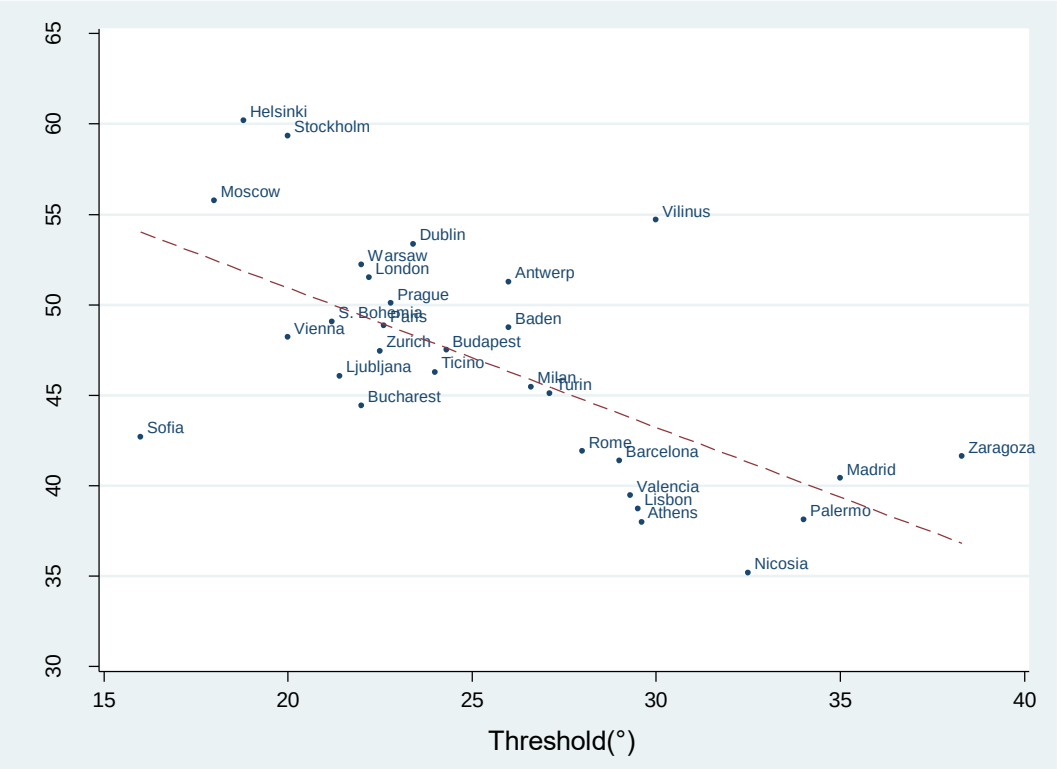
Εικόνα 23: Σχέση μέσης θερμοκρασίας και θνησιμότητας (mortality ratio = παρατηρούμενος αριθμός θανάτων τη μέρα i ÷ μέσος αριθμός θανάτων σε όλη τη διάρκεια της περιόδου μελέτης).(Huynen et al. 2001)



Η θερμοκρασία ελάχιστης θνησιμότητας ποικίλει σε κάθε περιοχή ανάλογα τις κλιματικές συνθήκες που επικρατούν. Περιοχές με θερμότερα κλίματα έχουν υψηλότερες τιμές θερμοκρασίας ελάχιστης θνησιμότητας, πράγμα το οποίο μπορεί να αποδοθεί σε προσαρμογή του πληθυσμού στις κλιματικές συνθήκες. Στο παρακάτω διάγραμμα (Εικόνα 24) απεικονίζονται τα σημεία ελάχιστης θνησιμότητας όπως

έχουν υπολογισθεί από διάφορες μελέτες, χωρίς απαραίτητα να χρησιμοποιείται ο ίδιος δείκτης έκθεσης για την θερμοκρασία, σε σχέση με το γεωγραφικό πλάτος της περιοχής μελέτης.

Εικόνα 24: Εκτιμώμενα σημεία καμπής της σχέσης θερμοκρασίας-θνησιμότητας, όπως έχουν δημοσιευτεί σε διάφορες μελέτες*



Επιβεβαιώνεται από το διάγραμμα ότι περιοχές σε χαμηλότερα γεωγραφικά πλάτη, δηλαδή με θερμότερα κλίματα, έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες ελάχιστης θνησιμότητας.

* *Studies from which the estimates were taken are: Martinez et al. 2018; Astrom et al. 2018; Martinez et al. 2018; Carmona et al. 2017; Goslin et al. 2017;Waldhoer et al. 2017; Rabczenko et al. 2016; Heaviside et al. 2016; Linares et al. 2016; Astrom et al. 2015; Roldan et al. 2015; Rocklov et al. 2014; Shaposhnikov et al. 2014; Urban et al. 2014; Leone et al. 2013; Baccini et al. 2011; Klenk et al. 2010; Schifano et al. 2009, Hertel et al. 2009; McMichael et al. 2008; Baccini et al. 2008; Ishigami et al. 2008; Linares et al. 2008; Rocklov et al. 2008; Cerutti et al. 2006; Hajat et al. 2006; Vigotti et al. 2006; Stafoggia et al. 2006; Hajat et al. 2005; Dessai et al. 2003; Diaz et al. 2002; Keatinge et al. 2000*

2. Ανάλυση Δεδομένων

2.1. Ανάλυση επιδημιολογικών χρονοσειρών

Ως χρονοσειρά ορίζεται ένα σύνολο παρατηρήσεων οι οποίες μετρούνται σε συγκεκριμένες χρονικές στιγμές, που συνήθως ισαπέχουν μεταξύ τους. Οι παρατηρήσεις αυτές είναι εξαρτημένες μεταξύ τους, γεγονός που πρέπει να λαμβάνεται υπόψη κατά την ανάλυση των δεδομένων. Λόγω της εξάρτησης αυτής, η αλληλουχία των δεδομένων είναι πολύ σημαντική καθώς αλλαγή στην αλληλουχία ενδέχεται να έχει αντίκτυπο στη σημασία τους.
(https://onlinecourses.science.psu.edu/stat510)

Οι χρονοσειρές χρησιμοποιούνται συχνά όταν το αντικείμενο ενδιαφέροντος μιας μελέτης είναι ο αριθμός συμβάντων που συμβαίνουν σε ένα χρονικό διάστημα, όπως ο ημερήσιος αριθμός θανάτων. Οι χρονοσειρές ελέγχουν τις βραχυπρόθεσμες επιδράσεις μιας έκθεσης. Σημαντικά χαρακτηριστικά που πρέπει να εξετασθούν για τη σχέση έκθεσης/έκβασης αποτελούν:

1. Περιοδικότητα (seasonality):

   Ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο που πιθανώς να σχετίζεται με τις εποχές, τα τρίμηνα του έτους, τους μήνες, την ημέρα της εβδομάδας κοκ χαρακτηρίζεται ως περιοδικότητα-εποχικότητα. Συγκεκριμένα, οι χρονοσειρές δεδομένων θνησιμότητας, όπως και θερμοκρασίας, παρουσιάζουν ετήσιους κύκλους. Η περιοδικότητα των δεδομένων είναι ο κυριότερος συγχυτικός παράγοντας στην ανάλυση χρονοσειρών. Αν δε ληφθεί υπόψη κατά την ανάλυση, η σχέση έκθεσης/έκβασης που θα προκύψει μπορεί να είναι αποτέλεσμα συγχυτικών παραγόντων, όπως η ρύπανση, και να μην είναι αιτιολογική. Ένας απλός τρόπος για να ελέγξουμε την περιοδικότητα είναι η εισαγωγή κατηγορικών μεταβλητών στο μοντέλο για το μήνα ή το έτος ή ακόμα και ενός όρου αλληλεπίδρασης αυτών. Επίσης, θα μπορούσε να εισαχθεί στο μοντέλο κάποιο άθροισμα τριγωνομετρικών συναρτήσεων αυξανόμενης συχνότητας ή να γίνει χρήση μη παραμετρικών συναρτήσεων εξομάλυνσης που να ακολουθούν τις εποχιακές τάσεις.

2. Διαχρονικές τάσεις:

   Όταν οι τιμές των μετρήσεων, κατά μέσο όρο, τείνουν να αυξάνουν ή να μειώνονται με το πέρασμα του χρόνου δημιουργούνται μακροχρόνιες τάσεις. Οι τάσεις αυτές μπορεί να είναι γραμμικές για μικρά χρονικά διαστήματα και να μπορούν να προσεγγιστούν από γραμμικές σχέσεις. Κατά την ανάλυση, θα πρέπει να γίνεται έλεγχος των διαχρονικών τάσεων ώστε ο έλεγχος για αιτιολογικές σχέσεις μεταξύ έκθεσης/έκβασης να αποκλείει τις τάσεις αυτές. Για τον έλεγχο των τάσεων πολλές φορές εισάγονται στο μοντέλα ψευδομεταβλητές για κάθε έτος και γραμμικές ή

τετραγωνικές συναρτήσεις του χρόνου παρατήρησης. Ο χρόνος παρατήρησης ορίζεται ως μία μεταβλητή που παίρνει τιμές από το 1 ως τον αριθμό των ημερών της χρονοσειράς που εξετάζεται. Όσο περισσότερα έτη έχουμε προς μελέτη, τόσο αυξάνεται και η ανάγκη μη-γραμμικού ελέγχου των τάσεων αυτών.

3. Συγχυτικοί παράγοντες:

- Παράγοντες που εξαρτώνται από το χρόνο και μπορεί να σχετίζονται με την υπό μελέτη έκβαση: πχ μετεωρολογικοί παράγοντες (π.χ. υγρασία, διεύθυνση του ανέμου), ρύπανση κ.α.

- Ημέρα της εβδομάδας: κατηγορική μεταβλητή με τιμές από 1-7 ή 0-6 (έχει παρατηρηθεί ότι τις Δευτέρες παρουσιάζεται αύξηση των δεικτών υγείας (π.χ. αυξημένος αριθμός θανάτων και νοσοκομειακών εισαγωγών), σε αντίθεση με τα Σαββατοκύριακα).

- Ημέρα επίσημης αργίας ή σημαντικού συμβάντος: Δίτιμη κατηγορική μεταβλητή με τιμή 1 για τις ημερομηνίες επίσημων αργιών ή σημαντικού συμβάντος (πχ 25^{η} Μαρτίου, καύσωνας, απεργία, καλοκαιρινές διακοπές κ.α) και 0 για τις υπόλοιπες ημέρες.

- Ημέρα επιδημίας γρίπης: Δίτιμη κατηγορική μεταβλητή με τιμή 1 για τις ημέρες που υπάρχει επιδημία γρίπης (λόγω ενημέρωσης από ΚΕΕΛΠΝΟ ή αν παρατηρείται ακραίος αριθμός εισαγωγών στα νοσοκομεία από γρίπη ή αν παρατηρείται ακραίος αριθμός θανάτων από αναπνευστικές αιτίες) και 0 για τις υπόλοιπες ημέρες.

4. Αυτοσυσχέτιση:

Καθώς οι παρατηρήσεις είναι διαδοχικές στο χρόνο, προκύπτουν συσχετίσεις μεταξύ των παρατηρήσεων. Όσο πιο κοντά είναι οι παρατηρήσεις τόσο μεγαλύτερη η συσχέτιση. Η συνάρτηση της αυτοσυσχέτισης είναι $\rho(\kappa) = \gamma(\kappa)/\gamma(0)$, όπου $\gamma(0)$ είναι η διακύμανση της σειράς Y_t και $\gamma(\kappa) = Cov\ [Y_t, Y_{t-\kappa}]$. Η ύπαρξη αυτοσυσχέτισης αντανακλά σε σφάλμα στο τυπικό σφάλμα των εκτιμήσεων και όχι στο μέγεθος τους. Αν υπάρχει θετική αυτοσυσχέτιση τότε το Διάστημα εμπιστοσύνης των εκτιμήσεων είναι ευρύτερο από αυτό που υπολογίζεται και με αυτόν τον τρόπο εισάγεται σφάλμα από την υποεκτίμηση του τυπικού σφάλματος. Η συμπερασματολογία μπορεί κάλλιστα να επηρεαστεί από αυτό και να προκύψουν λανθασμένα συμπεράσματα ως προς τη στατιστική σημαντικότητα μιας μεταβλητής.

2.1.1 Γενικευμένα γραμμικά μοντέλα

Τα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλααποτελούν γενίκευση των απλών γραμμικών μοντέλων και αποτελούνται από 3 βασικά μέρη (Agresti, 2007):

1. Το τυχαίο μέρος: ορίζει την εξαρτημένη μεταβλητή $Y=(Y_1,Y_2,\ldots,Y_n)$ και υποθέτει γι' αυτή μια κατανομή. Για δίτιμα δεδομένα (επιτυχία/αποτυχία) κατάλληλη κατανομή είναι η κατανομή Bernouli, ενώ αν η εξαρτημένη μεταβλητή αφορά αριθμό επιτυχιών η Διωνυμική κατανομή. Σε άλλες περιπτώσεις, οι παρατηρήσεις αφορούν αριθμό συμβάντων, δηλαδή ακέραιο και θετικό αριθμό, συνεπώς η κατανομή των παρατηρήσεων αυτών θα μπορούσε να είναι Poisson ή Αρνητική Διωνυμική. Για συνεχή δεδομένα, πιθανή κατανομή είναι η κανονική κατανομή που σε συνδυασμό με την ανεξαρτησία των παρατηρήσεων οδηγεί στο απλό γραμμικό μοντέλο.

2. Το συστηματικό μέρος: προσδιορίζει τις επεξηγηματικές μεταβλητές που θα εισαχθούν στο μοντέλο γραμμικά, στο δεξί μέρος της ισότητας που ορίζεται από το μοντέλο: $a+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\ldots+\beta_px_p$, όπου $x_1,..x_p$ οι επεξηγηματικές μεταβλητές.

3. Η συνδετική συνάρτηση: συνδέει το τυχαίο και το συστηματικό μέρος. Πλέον, ο γραμμικός συνδυασμός των επεξηγηματικών μεταβλητών σχετίζεται με μία συνάρτηση της αναμενόμενης τιμής της εξαρτημένης μεταβλητής, και όχι με την αναμενόμενη τιμή όπως συμβαίνει στα απλά γραμμικά μοντέλα.

Μοντέλο: $g[E(Yi)]= : a+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\ldots+\beta_px_p$

2.1.2. Μοντέλα Poisson

Για την μοντελοποίηση δεδομένων που αφορούν αριθμό συμβάντων (διακριτός και θετικός αριθμός) χρησιμοποιείται πολύ συχνά η κατανομή Poisson(μ). Αν Y ο αριθμός συμβάντων, τότε η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας είναι

$$f(y) = \frac{e^{-\mu}\mu^{y}}{y!},\ y = 0,1,2,...,$$

όπου μ ο αναμενόμενος αριθμών συμβάντων. Επίσης E(Y)=Var(Y)=μ, το οποίο σημαίνει πως η διακύμανση αυξάνει ανάλογα με την αναμενόμενη μέση τιμή.

Η επίδραση επεξηγηματικών μεταβλητών στην μεταβλητή έκβασης Y, δηλαδή στον αριθμό συμβάντων, μοντελοποιείται μέσω του αναμενόμενου αριθμού συμβάντων, μ. Πολλές φορές ο αναμενόμενος αριθμός γεγονότων περιγράφεται και ως ρυθμός (αναμενόμενος αριθμός συμβάντων ανά μονάδα μέτρησης).

Ο αριθμός ημερησίων θανάτων αποτελεί σύνολο σπάνιων γεγονότων, τουλάχιστον συγκριτικά με τον πληθυσμό από τον οποίο προέρχονται, και συνήθως δεχόμαστε ότι προέρχονται από μία στοχαστική διαδικασία Poisson. Επιπλέον, ο αριθμός ημερήσιων θανάτων είναι θετικός, ακέραιος και συνήθως παρουσιάζει κύρτωση στην κατανομή των δεδομένων, γεγονός που ενισχύει την καταλληλότητα της προσέγγισης Poisson για την ανάλυση τέτοιων δεδομένων.

Το μοντέλο Poisson αποτελεί ένα γενικευμένο γραμμικό μοντέλο με συνδετική συνάρτηση το λογάριθμο της αναμενόμενης τιμής συμβάντων:

$$\ln(\mu_i)=\ln[E(Y_i)]= \sum_{j=1}^{p} \beta_j\ X_{ij}$$

Συχνό φαινόμενο στα μοντέλα Poisson αποτελεί το φαινόμενο της υπερδιασποράς. Αυτό σημαίνει πως η διασπορά των παρατηρήσεων είναι μεγαλύτερη από αυτή που υποθέτει το μοντέλο, δηλαδή όσο και η αναμενόμενη τιμή. Ένας συχνός τρόπος ώστε να ληφθεί η υπερδιασπορά υπόψη κατά την ανάλυση είναι η εκτίμηση της ημι-πιθανοφάνειας, που αποτελεί τη βάση μεθόδων που οδηγούν σε «σταθερές» εκτιμήσεις, όπως για παράδειγμα η μέθοδος των γενικευμένων εξισώσεων εκτίμησης. (Duncan 2009, https://onlinecourses.science.psu.edu/stat504)

Το μοντέλο εξάρτησης κατά Poisson είναι ένα πολλαπλασιαστικό μοντέλο. Μεταβολή κατά c μονάδες της μεταβλητής X_j σχετίζεται με $e^{\beta_j c}$ μεταβολή στην αναμενόμενη τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής, διατηρώντας σταθερές τις τιμές των υπόλοιπων μεταβλητών. Έστω ότι οι τιμές της μεταβλητής X_p διαφέρουν κατά c μονάδες τις δύο χρονικές στιγμές t_1 και t_2. Για τις δύο αυτές χρονικές στιγμές ισχύει:

$$\ln[E(Y_{t1})]= \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j\ X_{ij} +\ \beta_p\ X_{t1p}$$

$$\ln[E(Y_{t2})]= \sum_{j=1}^{p-1} \beta_j\ X_{ij} +\ \beta_p\ (X_{t1p} + c)$$

Αφαιρώντας τις δύο σχέσεις έχουμε:

$\ln[E(Y_{t2})]- \ln[E(Y_{t1})]= (\sum_{j=1}^{p-1} \beta_j \ X_{ij} + \ \beta_p \ (X_{t1p} + c)) - \ (\sum_{j=1}^{p-1} \beta_j \ X_{ij} + \ \beta_p \ X_{t1p}) =>$

$\ln[E(Y_{t2})]- \ln[E(Y_{t1})]= \beta_p \ (X_{t1p} + c) - \beta_p \ X_{t1p} =>$

$\ln[E(Y_{t2})]- \ln[E(Y_{t1})]= \beta_p \ X_{t1p} + c\beta_p \ - \beta_p \ X_{t1p} = c\beta_p \ =>$

$\ln[E(Y_{t2})/E(Y_{t1})]= c\beta_p =>$

$E(Y_{t2})/E(Y_{t1}) = e^{c\beta_p}$

(Dobson και Barnett 2008, Agresti,2007 , Σαμόλη 2005)

Εκτίμηση ημι-πιθανοφάνειας

Η εκτίμηση ημι-πιθανοφάνειας επιτρέπει τον υπολογισμό σχέσεων και εκτιμήσεων χωρίς τη γνώση της κατανομής του σφάλματος της εξαρτημένης μεταβλητής Y, αλλά υποθέτοντας μόνο μια σχέση μεταξύ της αναμενόμενης τιμής της Y και της μεταβλητότητάς της Var(Y). Επιτρέπει αποκλίσεις από τις συνήθεις υποθέσεις, όπως για παράδειγμα η υπερ-διασπορά που μπορεί να έχει προκληθεί από εξαρτημένες παρατηρήσεις ή από μη μετρήσιμους παράγοντες. Η μέθοδος της ημι-πιθανοφάνειας χρησιμοποιεί την ίδια συνάρτηση για τη μεταβλητότητα πολλαπλασιασμένη ωστόσο με μία σταθερά φ (συντελεστής υπερδιασποράς), η οποία εκτιμάται από τα ίδια τα δεδομένα. Η εκτίμηση ημι-πιθανοφάνειας για διάφορες κατανομές, συμπεριλαμβανομένης της κατανομής Poisson, είναι ανάλογη με την εκτίμηση ελάχιστων τετραγώνων για την κανονική κατανομή. Οι εκτιμήσεις των συντελεστών του μοντέλου δεν επηρεάζονται από την μέθοδο της ημι-πιθανοφάνειας και είναι ταυτόσημες με τις εκτιμήσεις που θα προέκυπταν με τη μέθοδο των ελαχίστων τετραγώνων. Αυτό που αλλάζει είναι ο πίνακας διακύμανσης-συνδιακύμανσης των εκτιμώμενων συντελεστών και γίνεται από $V(\beta)=(X^TWX)^{-1}$, $V(\beta)=\varphi(X^TWX)^{-1}$.

Οι McCullagh και Neider (1989) προτείνουν ο υπολογισμός του συντελεστή υπερ-διασποράς να γίνεται με τα κατάλοιπα του Pearson, σύμφωνα με τον τύπο

$$\hat{\varphi} = \frac{X^2}{N-p}$$

όπου

$X^2=\sum_i^n \frac{y_i-\hat{y}_i}{\hat{y}_i}$,

y_i οι παρατηρούμενες τιμές της εξαρτημένης μεταβλητής,

$\hat{y}_i$ οι αναμενόμενες τιμές που προέκυψαν από το μοντέλο,

N ο αριθμός των παρατηρήσεων και

p ο αριθμός των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν. (Agresti 2007, Σαμόλη 2005, https://onlinecourses.science.psu.edu/stat504)

2.1.3. Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα

Τα Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλααποτελούν επέκταση των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων στα οποία η εξαρτημένη μεταβλητή «συνδέεται» μέσω της συνδετικής συνάρτησης με απροσδιόριστες παραμετρικές ή/και μη παραμετρικές συναρτήσεις εξομάλυνσης των επεξηγηματικών μεταβλητών. Είναι μια πιο ευέλικτη στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για την περιγραφή μη γραμμικών επιδράσεων των επεξηγηματικών μεταβλητών, τόσο ως προς την επιλογή της συνδετικής συνάρτησης όσο και στην κατανομή του σφάλματος. Ο γραμμικός ερμηνευτής (linear predictor) των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων είναι γραμμική συνάρτηση των παραμέτρων του μοντέλου, ενώ ο προσθετικός ερμηνευτής (additive predictor) των γενικευμένων αθροιστικών μοντέλων δεν είναι τόσο περιορισμένος. Αυτή τους η ιδιότητα είναι πολύ χρήσιμη για τον έλεγχο της εποχικότητας των χρονοσειρών (Σαμόλη 2005).

Η μορφή των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων είναι:

$$g[E(y_i)]= X_i\beta+f_1(x_{1i}) +f_2(x_{2i}) + f_3(x_{3i}) +f_4(x_{4i}) +\cdots$$

όπου

g η γνωστή συνδετική συνάρτηση,
y_i οι ανεξάρτητες παρατηρήσεις από μια κατανομή της εκθετικής οικογένειας,
f_i οι απροσδιόριστες συναρτήσεις εξομάλυνσης (splines), οι οποίες αποτελούν τον προσθετικό ερμηνευτή (additive predictor) και
$X_i\beta$ το παραμετρικό κομμάτι

Επίσης, όπως και στα Γενικευμένα Γραμμικά Μοντέλαμπορεί να ισχύει ότι $Var(Yi)=\varphi V[E(yi)]$, δηλαδή η διασπορά να είναι μια συνάρτηση της αναμενόμενης τιμής των παρατηρήσεων Y_i (Denoeux 2016, Wood 2012).

Συναρτήσεις εξομάλυνσης

Ο βασικός σκοπός των συναρτήσεων εξομάλυνσης είναι να περιγράψουν μη γραμμικές σχέσεις και να αποτυπώσουν τάσεις που υπάρχουν στα δεδομένα και ενδέχεται να επιδράσουν συγχυτικά στη μελετούμενη σχέση. Η εξομάλυνση των δεδομένων μπορεί να γίνει με παραμετρικές ή μη-παραμετρικές μεθόδους.

Στην κατηγορία των παραμετρικών εντάσσεται η πολυωνυμική εξάρτηση κ-βαθμού. Η εξάρτηση αυτή εξομαλύνει τα δεδομένα ομοιόμορφα σε όλο το εύρος των τιμών τους. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή δεν είναι η καταλληλότερη για την περιγραφή τοπικών διακυμάνσεων. Αυξάνοντας τον βαθμό του πολυωνύμου, ωστόσο, μπορούμε να αυξήσουμε την ικανότητα αποτύπωσης των διακυμάνσεων. Αυτό όμως δεν αλλάζει την ομοιογενή αποτύπωση τους. Αυξάνοντας το βαθμό τους πολυωνύμου αυξάνονται και οι βαθμοί ελευθερίας του μοντέλου, επομένως θα πρέπει να διατηρείται μια ισορροπία μεταξύ βαθμού εξομάλυνσης και βαθμών ελευθερίας. Συχνά χρησιμοποιούνται πολυώνυμα διαφορετικών βαθμών ανά διαστήματα, τα οποία ορίζονται από διάφορα σημεία, τους κόμβους.

Ευρέως διαδεδομένες συναρτήσεις εξομάλυνσης που χρησιμοποιούνται συχνά είναι τα πολυώνυμα παρεμβολής $3^{ου}$ βαθμού (cubic splines), τα οποία είναι τμηματικά κυβικά πολυώνυμα Si(x) που συνδέονται στους κόμβους, όπου η πρώτη και η δεύτερη παράγωγος είναι συνεχής. Τα πολυώνυμα παρεμβολής είναι παραμετρικές συναρτήσεις της μορφής:

$$S(x) = \begin{cases} S_1(x),\ x_1 \le x < x_2 \\ S_2(x),\ x_2 \le x < x_3 \\ \\ \\ S_{n-1}(x),\ x_{n-1} \le x < x_n \end{cases}$$

Η S(x) παρεμβάλλεται σε όλα τα σημεία $x_1, x_2, \ldots, x_n$ είναι συνεχής στο διάστημα $[x_1, x_n]$ και η S'(x), S''(x) είναι συνεχής στο διάστημα (x_1, x_n). Σχηματίζεται έτσι ένα σύστημα 4n-2 εξισώσεων με 4n άγνωστες παραμέτρους. Οι δύο τελευταίες εξισώσεις προκύπτουν από παραδοχές που κάνουμε για τα άκρα του διαστήματος $[x_1, x_n]$ και ανάλογα με αυτές προκύπτουν διαφορετικές οικογένειες πολυωνύμων παρεμβολής. Μία από αυτές είναι η οικογένεια των “φυσικών” πολυωνύμων παρεμβολής {natural splines) προκύπτει θέτοντας $S''(x_1) = S''(x_n) = 0$, με συνέπεια η γραμμή έξω από το διάστημα $[x_1, x_n]$ να είναι ευθεία.

Τα φυσικά πολυώνυμα είναι λιγότερο ευέλικτα στα άκρα του διαστήματος (x_1,x_n) όμως οι εκτιμώμενες τιμές που προκύπτουν από τα συνήθη πολυώνυμα παρεμβολής παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση στα άκρα και αυτό μάλλον αποτελεί πλεονέκτημα για τα φυσικά πολυώνυμα παρεμβολής. Τα κυριότερα προβλήματα με τα παραμετρικά πολυώνυμα παρεμβολής είναι η επιλογή του αριθμού και της θέσης των κόμβων, όπως και επίσης η επιλογή των συναρτήσεων βάσης.

Μια ειδικότερη κατηγορία των πολυωνύμων παρεμβολής είναι τα πολυώνυμα παρεμβολής με περιορισμό (penalized regression splines), που αποτελούν ημι-παραμετρικές συναρτήσεις εξομάλυνσης. Όταν δε γνωρίζουμε την ακριβή μορφή της συνάρτησης εξομάλυνσης που θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε, ορίζουμε ως συναρτήσεις βάσης ένα σύνολο συναρτήσεων με συγκεκριμένες ιδιότητες και γνωστές παραμέτρους $\{b_j(x): j=l,...,m\}$. Έτσι, κάθε συνάρτηση εξομάλυνσης μπορεί να γραφεί ως άθροισμα κάποιων συναρτήσεων βάσης. Το πρόβλημα που επιλύουν τα πολυώνυμα παρεμβολής με περιορισμό είναι η επιλογή της θέσης των κόμβων των πολυωνύμων παρεμβολής (S N Wood, N H Augustin 2002). Με τη χρήση πολυωνύμων παρεμβολής με περιορισμό μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μεγάλος αριθμός κόμβων, αλλά αποφεύγεται η εκτίμηση των μοντέλων με πολλές διακυμάνσεις με την εφαρμογή ενός περιορισμού (penalty) στη διαδικασία εκτίμησης του μοντέλου. Λόγω του μεγάλου αριθμού κόμβων το μοντέλο δεν επηρεάζεται από την ακριβή θέση τους και με τη χρήση του περιορισμού(penalty) αποφεύγεται ο κίνδυνος υπερ-εκτίμησης (over-fitting), στον οποίο θα μπορούσε να οδηγήσει η επιλογή πολλών κόμβων. Επιπλέον, και ο μεγάλος αριθμός συναρτήσεων βάσης θα μπορούσε να οδηγήσει σε υπερ-εκτίμηση, πρόβλημα το οποίο επίσης λύνεται με την επιβολή ενός περιορισμού κατά τη διαδικασία εκτίμησης του μοντέλου, ώστε να εξασφαλιστεί η εξομάλυνση του εκτιμώμενου μοντέλου. Η χρήση μικρού αριθμού συναρτήσεων βάσης, αντίθετα, δεν θα μπορούσε να προσεγγίσει την πραγματική σχέση που θέλουμε να αποτυπώσουμε.

Τέλος, οι μη παραμετρικές μέθοδοι είναι καταλληλότερες για την αποτύπωση τοπικών διακυμάνσεων. Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι συναρτήσεις εξομάλυνσης (smoothing splines). Ανάμεσα στις συναρτήσεις εξομάλυνσης με συνεχή τη $2^η$ παράγωγο, επιλέγεται αυτή που ελαχιστοποιεί το άθροισμα τετραγώνων των καταλοίπων με περιορισμό (Wood 2012):

$$\sum_{i=1}^{n}(y_i - f(x_i))^2 + \lambda \int [f''(x)]^2 dx$$

όπου λ η παράμετρος εξομάλυνσης. Μεγάλες τιμές της παραμέτρου εξομάλυνσης οδηγούν σε πιο ομαλές καμπύλες, ενώ μικρότερες τιμές σε περισσότερο κυματοειδείς καμπύλες. Η επιλογή της τιμής της παραμέτρου είναι μείζονος σημασίας καθώς είναι εκείνη που καθορίζει τους βαθμούς ελευθερίας.

Ο αριθμός των κόμβων είναι ο αριθμός των τιμών της μεταβλητής x και η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την αποφυγή επιλογής της θέσης των κόμβων(Πεντελή 2006, Σαμόλη 2005) .

2.2 Ανάλυση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων

2.2.1. Πληθυσμιακά Μοντέλα Γενικευμένων Εξισώσεων Εκτίμησης (Generalized Estimating Equations (GEE))

Υπάρχουν τρία είδη μεθόδων που αποτελούν επέκταση των Γενικευμένων Γραμμικών μοντέλων για ανάλυση επαναλαμβανόμενων μετρήσεων (Davis 2002):

1. Περιθώρια (marginal) μοντέλα (ή πληθυσμιακά (population-average))
2. Μοντέλα τυχαίων επιδράσεων
3. Μεταβατικά μοντέλα(transition)

Στην παρούσα διπλωματική θα ασχοληθούμε με τα περιθώρια μοντέλα, και συγκεκριμένα με την μεθοδολογία των Γενικευμένων εξισώσεων εκτίμησης, προσέγγιση που προτάθηκε από τους Liang και Zeger το 1986.

Έστω Y_{ij} η τιμή της μεταβλητής ενδιαφέροντος (εξαρτημένης μεταβλητής) τη χρονική στιγμή i για τη μονάδα παρατήρησης j. Προφανώς, οι παρατηρήσεις που αντιστοιχούν στη μονάδα παρατήρησης j είναι συσχετισμένες μεταξύ τους. Στα περιθώρια μοντέλα, η περιθώρια αναμενόμενη τιμή $E(Y_{ij})=\mu_{ij}$ μοντελοποιείται ως συνάρτηση των επεξηγηματικών μεταβλητών. Ως περιθώρια αναμενόμενη τιμή ορίζεται τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής που κατά μέσο όρο έχουν οι μονάδες παρατήρησης που μοιράζονται κοινά χαρακτηριστικά, δηλαδή ίδιες τιμές στις επεξηγηματικές μεταβλητές. Οι συσχετίσεις των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων μοντελοποιούνται ξεχωριστά από τον περιθώριο μέσο και τη διακύμανση των παρατηρήσεων.

Οι βασικές υποθέσεις των μοντέλων αυτών είναι:

- η περιθώρια αναμενόμενη τιμή $E(Y_{ij})=\mu_{ij}$ σχετίζεται με τις επεξηγηματικές μεταβλητές μέσω μιας γνωστής συνδετικής συνάρτησης g:
  $g(\mu_{ij})= x_{ij}\beta$, όπου x_{ij} το διάνυσμα των p επεξηγηματικών μεταβλητών τη χρονική στιγμή i για τη μονάδα παρατήρησης j και β το $p\times 1$ διάνυσμα των αντίστοιχων συντελεστών. Η συνδετική συνάρτηση που χρησιμοποιείται συνήθως για αριθμό γεγονότων, όπως στην παρούσα εργασία, είναι η λογαριθμική συνάρτηση.

- η περιθώρια διακύμανση των παρατηρήσεων συνδέεται με την περιθώρια αναμενόμενη τιμή μέσω μιας συνάρτησης $Var(Y_{ij})=\varphi V(\mu_{ij})$, όπου V η γνωστή συνάρτηση διακύμανσης και φ μια γνωστή, πιθανώς, παράμετρος που λαμβάνει υπόψη την υπερδιασπορά (παράμετρος υπερδιασποράς).

- η συσχέτιση των παρατηρήσεων της ίδιας μονάδας παρατήρησης δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές είναι συνάρτηση των αντίστοιχων μέσων τιμών τις δύο αυτές χρονικές στιγμές και ενός διανύσματος αγνώστων παραμέτρων α.

Η ερμηνεία των συντελεστών ενός περιθώριου μοντέλου είναι ίδια με την ερμηνεία των συντελεστών παλινδρόμησης των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων για συγχρονικά δεδομένα. Τα περιθώρια μοντέλα αναφέρονται και ως πληθυσμιακά καθώς οι παράμετροί τους αναπαριστούν την επίδραση του συνδυασμού κάποιων επεξηγηματικών μεταβλητών σε πληθυσμιακό, και όχι σε ατομικό, επίπεδο. Είναι κατάλληλα, συνεπώς, όταν η συμπερασματολογία αφορά τη συμπεριφορά του πληθυσμού κατά μέσο όρο, κάτω από ορισμένες μεταβολές στις επεξηγηματικές μεταβλητές.

Η μεθοδολογία των Γενικευμένων εξισώσεων εκτίμησης, που προτάθηκε από τους Liang και Zeger το 1986, είναι μια ημι-παραμετρική προσέγγιση κατά την οποία οι εξισώσεις εκτίμησης δεν προϋποθέτουν τον εξολοκλήρου ορισμό της από κοινού κατανομής των παρατηρήσεων της ίδιας μονάδας παρατήρησης. Αντίθετα, καθορίζεται μόνο η πιθανοφάνεια των περιθώριων κατανομών και ένας πίνακας συσχετίσεων, ο working correlation matrix, για τις συσχετισμένες μετρήσεις των μονάδων παρατήρησης. Η συγκεκριμένη μεθοδολογία καταλήγει σε συνεπείς και ασυμπτωτικά κανονικές λύσεις. Στηρίζεται στην ανεξαρτησία των μονάδων παρατήρησης για την συνεπή εκτίμηση της διακύμανσης των συντελεστών του μοντέλου, ακόμα και αν η συσχέτιση των παρατηρήσεων που έχει υποτεθεί δεν είναι σωστή.

Για δεδομένα επαναλαμβανόμενων συμβάντων, τα οποία και θα χρησιμοποιήσουμε, χρησιμοποιείται η λογαριθμική συνδετική συνάρτηση για την σύνδεση της περιθώριας αναμενόμενης μέσης τιμής με το γραμμικό συνδυασμό των επεξηγηματικών μεταβλητών. Αρχικά, θεωρούμε το μοντέλο

$$\log[E(Y_{ij})]=\log(\mu_{ij})= \mathbf{x_{ij}}'\boldsymbol{\beta}$$

όπου Y_{ij} η τιμή της μεταβλητής ενδιαφέροντος (εξαρτημένης μεταβλητής) τη χρονική στιγμή i για τη μονάδα παρατήρησης j, $\mathbf{x_{ij}}'=(x_{ij1},\ldots,x_{ijp})'$ το $p\times 1$ διάνυσμα των αντίστοιχων τιμών των επεξηγηματικών μεταβλητών και $\boldsymbol{\beta}$ το $p\times 1$ διάνυσμα των άγνωστων παραμέτρων.

Στη συνέχεια, περιγράφουμε τη διακύμανση των παρατηρήσεων Y_{ij}, ως συνάρτηση του μ_{ij}, $Var(Y_{ij})=\varphi V(\mu_{ij})$. Συγκεκριμένα, αν η εξαρτημένη μεταβλητή είναι αριθμός συμβάντων $V(\mu_{ij})= \mu_{ij}$ και $\varphi=1$. Ορίζουμε, επίσης, τον πίνακα συσχετίσεων $R_i(\alpha)$ διαστάσεων $t_i \times t_i$ για κάθε $y_i =(y_{i1},...,y_{iti})$. Το (j,j΄) στοιχείο του $R_i(\alpha)$ η συσχέτιση των y_{ij} και $y_{ij'}$, την οποία είτε τη γνωρίζουμε, είτε την έχουμε υποθέσει είτε την έχουμε εκτιμήσει. Ο πίνακας μπορεί να εξαρτάται από ένα διάνυσμα α από άγνωστες παραμέτρους, ίδιες για όλες τις μονάδες παρατήρησης. Έτσι, για κάθε μονάδα παρατήρησης ο πίνακας συσχετίσεων θεωρείται γνωστός, εκτός από το διάνυσμα α το οποίο και θα πρέπει να εκτιμήσουμε από τα δεδομένα. Συνήθως, ο πίνακας συσχετίσεων που χρησιμοποιείται είναι κοινός για όλες τις μονάδες παρατήρησης και προσεγγίζει κατά μέσο όρο την εξάρτηση των επαναλαμβανόμενων μετρήσεων όλων των μονάδων.

Υπάρχουν αρκετές επιλογές για τον πίνακα συσχετίσεων, καθώς οι συσχετίσεις των παρατηρήσεων που θα υποθέσουμε θα πρέπει να συνάδουν με τις πραγματικές συσχετίσεις, καθώς και να λαμβάνεται υπόψη ο αριθμός των παρατηρήσεων ώστε να πάρουμε αποτελεσματικούς εκτιμητές των συντελεστών του μοντέλου. Για μετρήσεις οι οποίες λαμβάνονται επαναλαμβανόμενα στο χρόνο, επιλέγεται συχνά το μοντέλο αυτό-παλινδρόμησης πρώτης τάξης (First-order Autoregressive model (AR-1)). Τα στοιχεία του πίνακα συσχετίσεων είναι $R_{jj'}=a^{|j-j'|}$. Οι συσχετίσεις μειώνονται όσο αυξάνει η απόσταση των χρονικών στιγμών που καταγράφηκαν τα δεδομένα και η συσχέτιση παρατηρήσεων που ισαπέχουν είναι ίδια.

Εν συνεχεία, θα πρέπει να γίνει η εκτίμηση του διανύσματος β και του πίνακα διακύμανσης-συνδιακύμανσης των στοιχείων του. Για την μονάδα παρατήρησης i, έστω Ai ο $t_i \times t_i$ διαγώνιος πίνακας με $V(\mu_{ij})$ το j-οστό διαγώνιο στοιχείο. Έστω επίσης ο πίνακας συσχετίσεων Ri(α), διαστάσεων $t_i \times t_i$, για την i-οστή μονάδα παρατήρησης. Ο πίνακας συνδιακύμανσης των παρατηρήσεων για το $y_i =(y_{i1},...,y_{iti})'$ είναι

$$V_i(\alpha)=\varphi A_i^{1/2} R_i(\alpha) A_i^{1/2}. \quad \text{(Σχέση 1)}$$

Ο εκτιμητής του β προκύπτει από τις γενικευμένες εξισώσεις εκτίμησης είναι η λύση της $U(\beta)= \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\partial \mu_i}{\partial \beta}\right)' [V_i(\hat{\alpha})]^{-1} (y_i - \mu_i) = 0_p$

όπου $\hat{\alpha}$ ο συνεπής εκτιμητής του α και 0_p το p×1 διάνυσμα (0,…,0)΄. Καθώς η παραπάνω εξίσωση εξαρτάται από τις άγνωστες παραμέτρους β,α και φ, οι Liang και Zeger (1986) πρότειναν την αντικατάσταση του φ και του α από συνεπείς εκτιμητές $\hat{\varphi}(\beta)$ και $\hat{\alpha}(\beta,\varphi)$, με χρήση των συναρτήσεων των τυποποιημένων καταλοίπων του Pearson:

$$r_{ij=\frac{y_{ij}-\widehat{\mu_{ij}}}{\sqrt{[V_i]_{jj}}}}$$ (Σχέση 2)

Η διαδικασία επίλυσης έχει ως εξής:

1. Για δεδομένες εκτιμήσεις του Ri(α) και της παραμέτρου φ, υπολογίζεται μια νέα εκτίμηση του β με την επαναλαμβανόμενη χρήση της μεθόδου ελαχίστων τετραγώνων.
2. Για τις εκτιμήσεις αυτές υπολογίζονται τα τυποποιημένα κατάλοιπα του Pearson, από τη σχέση 2.
3. Γίνεται εκ νέου εκτίμηση του α και του φ με τη χρήση των καταλοίπων.
4. Τα παραπάνω βήματα επαναλαμβάνονται μέχρι να επέλθει σύγκλιση.

Η εκτίμηση του πίνακα διακύμανσης-συνδιακύμανσης του β, δίνεται από τον τύπο

$$\widehat{Var}(\hat{\beta}) = {M_0}^{-1} M_1 {M_0}^{-1}$$ (Σχέση 3)

Όπου $M_0=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial\widehat{\mu_i}}{\partial\beta}\right)' {V_i}^{-1}\left(\frac{\partial\widehat{\mu_i}}{\partial\beta}\right)$ με Vi=Vi(α)

και $M_1=\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial\widehat{\mu_i}}{\partial\beta}\right)' {V_i}^{-1}(y_i-\widehat{\mu_i})(y_i-\widehat{\mu_i})'{V_i}^{-1}\left(\frac{\partial\widehat{\mu_i}}{\partial\beta}\right)$.

Ο παραπάνω εκτιμητής ορίστηκε το 1986 από τον Royall και είναι γνωστός ως «σταθερός εκτιμητής» (robust estimator) ή «information sandwitch» εκτιμητής. Ο εκτιμητής αυτός είναι συνεπής εκτιμητής της $Var(\hat{\beta})$ ακόμα και αν ο πίνακας Ri(α) δεν είναι ο σωστός πίνακας συσχετίσεων των y_i. Έτσι, χρήσιμο χαρακτηριστικό της μεθόδου γενικευμένων εξισώσεων εκτίμησης είναι πως για μεγάλα δείγματα η εκτίμηση των παραμέτρων του διανύσματος β και των συνδιακυμάνσεων αυτών εξαρτάται μόνο από την σωστή μοντελοποίηση του μέσου μ_{ij}: $g(\mu_{ij})=x_{ij}'\beta$

2.3. Μετα-ανάλυση και μετα-παλινδρόμηση

2.3.1. Μετα-ανάλυση

Ως μετα-ανάλυση ορίζεται "η ποσοτική προσέγγιση για την συστηματική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων προηγούμενης έρευνας, με στόχο να φτάσει σε συμπεράσματα για το σύνολο της έρευνας" (Petitti (2000)). Είναι απαραίτητη στη σύνθεση μεμονωμένων αποτελεσμάτων και στον έλεγχο πιθανής ετερογένειας των αποτελεσμάτων αυτών (Witte et al. 1994). Στόχος της μετα-ανάλυσης είναι η εκτίμηση ενός συγκεντρωτικού αποτελέσματος για τη σχέση μεταξύ μιας έκθεσης και μιας έκβασης υγείας, καθώς και η διερεύνηση της ετερογένειας των επιμέρους αποτελεσμάτων των εργασιών ή αναλύσεων που συντίθενται.

Ο πιο διαδεδομένος τύπος μετα-ανάλυσης είναι αυτός της αναδρομικής μετα-ανάλυσης, κατά τον οποίο γίνεται συστηματική ανασκόπηση δημοσιευμένων μελετών και ακολουθεί η σύνθεση αυτών. Ωστόσο, υπάρχει και ο τύπος της προοπτικής-προγραμματισμένης μετα-ανάλυσης. Η προοπτική μετα-ανάλυση μπορεί να είναι μια μετα-ανάλυση ερευνών που εντοπίστηκαν, αξιολογήθηκαν και αποφασίστηκε να μετα-αναλυθούν πριν γίνουν γνωστά τα επιμέρους αποτελέσματα οποιασδήποτε έρευνας είτε να αποτελεί μέρος ενός κοινού πρωτοκόλλου πολυκεντρικής έρευνας που να αναφέρει ότι τα επιμέρους αποτελέσματα από κάθε κέντρο θα μετα-αναλυθούν για τον υπολογισμό ενός συγκεντρωτικού αποτελέσματος.

Βασικό πλεονέκτημα της προοπτικής μετα-ανάλυσης αποτελεί ο ερευνητικός σχεδιασμός των επιμέρους αναλύσεων ή μελετών που πρόκειται να μετα-αναλυθούν, ο κοινός ορισμός της έκθεσης και της μελετώμενης έκβασης, η χρήση ίδιων στατιστικών μεθόδων στις επιμέρους αναλύσεις και ο έλεγχος για τους ίδιους συγχυτικούς παράγοντες. (Higgins and Green 2011)

Ο συγκεντρωτικός εκτιμητής της επίδρασης ενός παράγοντα σε μια μετα-ανάλυση, θα μπορούσε να είναι ο μέσος όρος των επιδράσεων που έχουν υπολογιστεί από τις πρωτογενείς μελέτες. Ωστόσο, στην περίπτωση αυτή, μικρές και μεγάλες έρευνες θα συμμετείχαν ισότιμα στον προσδιορισμό της συνολικής εκτίμησης, γεγονός που δεν είναι επιστημονικώς ορθό. Συνεπώς, καταλληλότερη προσέγγιση θα ήταν ο υπολογισμός ενός σταθμισμένου μέσου όρου των επιμέρους επιδράσεων, ώστε να λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος της κάθε μελέτης.

Δύο διαδεδομένες μέθοδοι στην ανάλυση χρονοσειρών είναι η μετα-ανάλυση σταθερών επιδράσεων (fixed effects meta-analysis) και η μετα-ανάλυση τυχαίων επιδράσεων (random effects meta-analysis). Η επιλογή της μεθόδου έγκειται στην ύπαρξη ή όχι ετερογένειας. Ο συνθετικός εκτιμώμενος δείκτης $\hat{\beta}$ προκύπτει από τη σχέση:

$$\hat{\beta} = \sum_i w_i \hat{\beta}_i \Big/ \sum_i w_i$$

όπου β_c είναι οι εκτιμούμενοι ατομικοί συντελεστές εξάρτησης των i επιμέρους μελετών και w_i τα βάρη για την αντίστοιχη μελέτη.

Τα βάρη για τα μοντέλα σταθερών επιδράσεων υπολογίζονται ως εξής:

$$w_i = 1/\mathrm{Var}(\hat{\beta}_i)$$

Αντίστοιχα, για τα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων η σχέση είναι:

$$w_i = 1/[\mathrm{Var}(\hat{\beta}_i) + \hat{\tau}^2]$$

όπου $\hat{\tau}^2$ η διακύμανση μεταξύ των επιμέρους μελετών (between-study variance). Το $\hat{\tau}^2$ είναι ο εκτιμητής των Der Simonian and Laird και δίνεται από τον τύπο:

$$\hat{\tau}^2 = \max\{0, \frac{Q-(n-1)}{\sum_i w_i - \sum_i w_i^2 / \sum_i w_i}\}$$

όπου Q το στατιστικό του Cochrane που αναφέρεται στη συνέχεια.

Το αντίστοιχο 95% Διάστημα εμπιστοσύνης των Der Simonian and Laird για τον συνθετικό εκτιμητή $\hat{\beta}$ είναι:

$$(\hat{\beta} - 1.96 \frac{1}{\sqrt{\sum w_i}}, \hat{\beta} + 1.96 \frac{1}{\sqrt{\sum w_i}})$$

Η διαφορά αυτή στον υπολογισμό των βαρών εξηγείται καθώς τα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων χρησιμοποιούνται όταν υπάρχουν ενδείξεις για ετερογένεια μεταξύ των επιμέρους εκτιμώμενων επιδράσεων, η οποία θα πρέπει να ληφθεί υπόψη κατά την μετα-ανάλυση. Αν η ετερογένεια δεν προκύψει στατιστικά σημαντική, τότε η τιμή του συνθετικού εκτιμώμενου δείκτη είναι ίδια με αυτήν που προκύπτει από τη μέθοδος των σταθερών επιδράσεων, καθώς η τιμή του $\hat{\tau}$ προσεγγίζει το 0.

Η ύπαρξη ετερογένειας ελέγχεται με το στατιστικό έλεγχο Cohranes Q:

$$Q = \sum_c \frac{(\hat{\beta}_c - \hat{\beta})^2}{var(\hat{\beta}_c)}$$

Το στατιστικό Q ακολουθεί X^2 κατανομή με n-1 βαθμούς ελευθερίας (df), όπου n ο αριθμός των μελετών . Μέτρο για την ετερογένεια αποτελεί η ποσότητα I^2 (Higgins & Thompson 2002):

$$I^2 = [Q\text{-}df/Q] \times 100\%$$

2.3.2. Μετα-παλινδρόμηση

Σε περίπτωση που η ετερογένεια των επιμέρους συντελεστών εξάρτησης είναι στατιστικά σημαντική, προτείνεται η διερεύνηση των πηγών της ετερογένειας, που αποτελεί και βασικό σκοπό της διενέργειας μιας μετα-ανάλυσης. Οι πηγές αυτές μπορεί να ερμηνεύουν ολόκληρη την παρατηρηθείσα ετερογένεια ή κάποιο μέρος αυτής. Στις επιδημιολογικές έρευνες που μελετούν την σχέση θερμοκρασίας και θνησιμότητας, πιθανοί παράγοντες που εξηγούν την ετερογένεια των εκτιμώμενων δεικτών εξάρτησης μεταξύ διαφορετικών περιοχών είναι χαρακτηριστικά που αφορούν κλιματικά, γεωχωρικά ή πληθυσμιακά χαρακτηριστικά (Thomson 1999).

Έστω, κάτω από την υπόθεση ενός μοντέλου τυχαίων επιδράσεων, ότι ο δείκτης εξάρτησης της μελέτης i, β_i, ακολουθεί κανονική κατανομή με μέση τιμή αX_i και διακύμανση $var(\beta_i)+ \tau^2$ (https://www.stata-journal.com):

$$\beta_i \sim N(\alpha X_i , var(\beta_i)+ \tau^2)$$

όπου X_i το 1×k διάνυσμα συμμεταβλητών της μελέτης i, α το k×1 διάνυσμα των συντελεστών παλινδρόμησης, $var(\beta_i)$ η διακύμανση του δείκτη εξάρτησης της μελέτης i και τ^2 η μεταβλητότητα μεταξύ των μελετών, η οποία θα εκτιμηθεί από τα δεδομένα.

Η εκτίμηση του α προκύπτει από μια σταθμισμένη παλινδρόμηση ελαχίστων τετραγώνων (weighted least squares regression) , με βάρη $w_i =1/[Var(\hat{\beta}_i)+ \hat{\tau}^2]$, μέσω του τύπου:

$$\hat{\alpha}=(X'VX)^{-1}X'V\ \beta_i$$

όπου $V=diag(w_1,..,w_n)$.

Για την εκτίμηση του $\hat{\tau}^2$, μία από τις προτεινόμενες στη βιβλιογραφία μεθόδους είναι η μέθοδος του moments, που αποτελεί γενίκευση της μεθόδου Der Simonian και Laird. Η εκτίμηση προκύπτει από τον τύπο *(*DuMouchel and Harris 1983*)*:

$$\hat{\tau}^2 = \frac{Q_{res}-(n+k)}{\sum_i \{1/Var(\beta_i)(1-h_i)\}}$$

όπου $Q_{res} = \sum_i \left(\frac{\beta_i-\alpha_2-\alpha_1 X_i}{Var(\beta_i)}\right)^2$, h_i το ι-οστό διαγώνιο στοιχείο του πίνακα $X(X'\ V_0^{-1}\ X)^{-}1XV_0^{-1}$ με $V_0 = diag(Var(\beta_1), \dots, Var(\beta_n))$ και k ο αριθμός των εκτιμώμενων συντελεστών παλινδρόμησης (Δημακοπούλου 2016, Σαμόλη2005).

2.4. Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.)

Τα Γ.Σ.Π. είναι οργανωμένα σύνολα πληροφοριών σε ένα λογισμικό που λειτουργούν ως ένα δυναμικό εργαλείο συλλογής, αποθήκευσης, διαχείρισης, ανάκτησης, μετασχηματισμού και απεικόνισης κάθε μορφής δεδομένων που σχετίζονται άμεσα ή έμμεσα με χωρικές πληροφορίες (Burrough and McDonell 2000) . Τα δεδομένα οργανώνονται σε επίπεδα πληροφορίας (layers), τα οποία μπορούν να παρομοιαστούν με διαφανείς σελίδες, οι οποίες μπορούν να τοποθετηθούν η μία πάνω στην άλλη ώστε να είναι εμφανές το σύνολο των πληροφοριών όλων των επιπέδων. Τα επίπεδα πληροφορίας χωρίζονται σε σημειακά, γραμμικά, επιφανειακά και τέλος ψηφιδωτά. Τα επίπεδα συνδέονται μεταξύ τους μέσω γεωγραφικών συντεταγμένων, σε δύο διαστάσεις (γεωγραφικό μήκος και πλάτος), ή ακόμα και σε τρεις διαστάσεις (συν το ύψος).

Τα δεδομένα των Γ.Σ.Π. διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες: τα διανυσματικά (vectors) και τα ψηφιδωτά (raster). Τα ψηφιδωτά δεδομένα αναπαριστούν τις γεωγραφικές οντότητες ως πλέγμα ψηφίδων (pixels), στα οποία είναι αποθηκευμένη μία τιμή που μπορεί να αφορά μετρήσεις, κωδικούς ή αριθμούς. Τα διανυσματικά δεδομένα αναπαριστούν τις γεωγραφικές οντότητες με τρεις βασικούς τύπους γεωμετρίας:

- σημεία
- γραμμές (ευθείες, τεθλασμένες ή οποιασδήποτε μορφής)
- επιφάνειες-πολύγωνα (συνεχείς είτε ασυνεχείς επιφάνειες)

Οι συντεταγμένες των διανυσματικών δεδομένων προσδιορίζουν το σχήμα και τη θέση τους. Η χρήση τους ενδείκνυνται για διακριτά δεδομένα (διοικητικά όρια, δρόμοι, κτίρια, ποτάμια, λίμνες, κ.λπ.) και συνοδεύονται και από περιγραφική πληροφορία, εκτός από τη χωρική πληροφορία που υφίσταται για αυτά.

Τα Γ.Σ.Π. αποτελούν ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο για τη δημόσια υγεία καθώς παρέχουν τη δυνατότητα να τοποθετήσουν πληροφορίες σχετικές με εκβάσεις υγείας στο χώρο, να αποτυπώσουν την χωρική τους κατανομή και πιθανώς να συνδέσουν την παρατηρηθείσα κατανομή με προγνωστικούς, περιβαλλοντικούς ή άλλου είδους παράγοντες μέσω χωρικών συσχετίσεων που θα μπορούσαν να ερμηνεύσουν την υποκείμενη κατανομή.

Από τις σημαντικότερες γεωγραφικές εφαρμογές των Γ.Σ.Π. είναι η μέτρηση γεωγραφικών στοιχείων. Η μέτρηση μπορεί να αφορά απόσταση, μήκη, εμβαδά κ.α. Υπάρχουν εξειδικευμένες εντολές, ανάλογα και το λογισμικό που χρησιμοποιείται, οι οποίες υπολογίζουν μήκη και εμβαδά σε προκαθορισμένο προβολικό σύστημα και μονάδες μέτρησης. Για παράδειγμα, τα διοικητικά όρια των δήμων αποτελούν πολυγωνικά δεδομένα, μέσα στα οποία μπορεί να γίνει ο υπολογισμός του συνολικού μήκους των δρόμων, την κάλυψη γης από κτίρια και το συνολικό εμβαδόν των

περιοχών πρασίνου κάθε δήμου. Επιπλέον, δύο ή περισσότερες γεωγραφικές οντότητες μπορούν να ενωθούν. Έτσι, για παράδειγμα, μπορεί να γίνει ομαδοποίηση και συνένωση δήμων σε ευρύτερες πολυγωνικές οντότητες (Ευελπίδου Ν., Αντωνίου Β).

Β. Ειδικό Μέρος

1. Σκοπός εργασίας

Η κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα από τα φλέγοντα ζητήματα που απασχολούν τα κράτη παγκοσμίως τα τελευταία χρόνια. Είναι πλέον δεδομένη μία παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας και οι προσπάθειες για προστασία από τα επικείμενα κλιματικά φαινόμενα ολοένα και εντείνονται. Στο πλαίσιο του προγράμματος TREASURE, που μελέτησε τη συσχέτιση της θνησιμότητας με τις υψηλές θερμοκρασίες στην Αθήνα, παρατηρήθηκε αύξηση κατά 5,2% στην ολική θνησιμότητα ανά 1^{o}C αύξηση στη μέση θερμοκρασία (μέσος όρος 3 ημερών) πάνω από τους 27,3^{o} C, κατά τη χρονική περίοδο 2000-2012. Μερικές κατηγορίες πληθυσμού, ωστόσο, θεωρούνται πιο ευάλωτες στις συνέπειες της κλιματικής αλλαγής, λόγω κάποιων ατομικών αλλά και περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών της κατοικίας τους. Σκοπός της παρούσας εργασίας αποτελεί η εκτίμηση των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα στην περιοχή της Αθήνας και η διερεύνηση πιθανών διαφοροποιήσεων στην σχέση θερμοκρασίας και θνησιμότητας σε υπο-περιοχές της περιοχής μελέτης, προκειμένου να υπάρξει κατάλληλος σχεδιασμός στοχευμένων μέτρων πρόληψης και προστασίας του πληθυσμού από επερχόμενους καύσωνες.

2. Υλικό και μέθοδος

Στο παρόν κεφάλαιο περιγράφεται ο πληθυσμός και η περιοχή μελέτης του προγράμματος TREASURE, η έκθεση στις κλιματικές συνθήκες καθώς και ο ορισμός των υπό μελέτη εκβάσεων υγείας. Επίσης, παρουσιάζεται ο τρόπος συλλογής των σχετικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν για τη χωρική διερεύνηση των κλιματικών επιπτώσεων. Στη συνέχεια, αναπτύσσεται η μεθοδολογία για την εκτίμηση των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στην υγεία καθώς και για τη διερεύνηση της χωρικής διαφοροποίησής τους στις περιοχές που χωρίστηκε η περιοχή μελέτης.

2.1 Υλικό

2.1.1. Περιγραφή πληθυσμού, περιόδου και περιοχής μελέτης

Στα πλαίσια του προγράμματος TREASURE, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας που περιλάμβαναν την ημερήσια θνησιμότητα και ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα για τα έτη 2000-2012. Καθώς το κύριο αντικείμενο του προγράμματος ήταν η εκτίμηση των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα, η ανάλυση περιορίστηκε μόνο στην καλοκαιρινή περίοδο, δηλαδή από τον Απρίλιο έως και το Σεπτέμβριο του κάθε έτους.

- Περιοχή μελέτης:

Για τη διερεύνηση της χωρικής μεταβλητότητας των επιπτώσεων των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα μέσα σε μία αστική περιοχή, η ευρύτερη περιοχή της Αθήνα χωρίστηκε σε 6 τομείς, με βάση γεωγραφικά και κλιματικά κριτήρια, με τη συνεργασία του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών. Οι έξι τομείς ήταν οι εξής: κεντρικός, δυτικός, ανατολικός, βόρειος, νότιος και τομέας Πειραιά.

Στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής, αρχικά τα δεδομένα θνησιμότητας συλλέχθηκαν σε επίπεδο δήμων (42 δήμοι). Ο Πίνακας 1 παρουσιάζει τους δήμους που συμπεριλήφθηκαν στην ανάλυση ανάλογα με το τομέα που ανήκουν.

Πίνακας 1: Δήμοι της ευρύτερης περιοχής της πρωτευούσης, ομαδοποιημένοι κατά τομέα.

Κεντρικός τομέας	ΔΗΜΟΣ ΑΘΗΝΑΙΩΝ
Βόρειος τομέας	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗΣ ΔΗΜΟΣ ΑΜΑΡΟΥΣΙΟΥ ΔΗΜΟΣ ΒΡΙΛΗΣΣΙΩΝ ΔΗΜΟΣ ΓΑΛΑΤΣΙΟΥ ΔΗΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΔΗΜΟΣ ΚΗΦΙΣΙΑΣ ΔΗΜΟΣ ΛΥΚΟΒΡΥΣΗΣ - ΠΕΥΚΗΣ ΔΗΜΟΣ ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΕΩΣ ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΛΗΝΗΣ ΔΗΜΟΣ ΠΑΠΑΓΟΥ - ΧΟΛΑΡΓΟΥ ΔΗΜΟΣ ΠΕΝΤΕΛΗΣ ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΟΘΕΗΣ - ΨΥΧΙΚΟΥ ΔΗΜΟΣ ΧΑΛΑΝΔΡΙΟΥ ΔΗΜΟΣ ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ
Νότιος τομέας	ΔΗΜΟΣ ΝΕΑΣ ΣΜΥΡΝΗΣ ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΑΙΟΥ ΦΑΛΗΡΟΥ ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΛΙΘΕΑΣ ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΟΥ ΔΗΜΗΤΡΙΟΥ ΔΗΜΟΣ ΑΛΙΜΟΥ ΔΗΜΟΣ ΒΑΡΗΣ - ΒΟΥΛΑΣ - ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ ΔΗΜΟΣ ΓΛΥΦΑΔΑΣ ΔΗΜΟΣ ΕΛΛΗΝΙΚΟΥ - ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗΣ
Τομέας Πειραιά	ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ ΔΗΜΟΣ ΚΕΡΑΤΣΙΝΙΟΥ - ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑΣ ΔΗΜΟΣ ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΥ ΔΗΜΟΣ ΜΟΣΧΑΤΟΥ - ΤΑΥΡΟΥ ΔΗΜΟΣ ΝΙΚΑΙΑΣ - ΑΓΙΟΥ ΙΩΑΝΝΗ ΡΕΝΤΗ ΔΗΜΟΣ ΠΕΙΡΑΙΩΣ ΔΗΜΟΣ ΠΕΡΑΜΑΤΟΣ
Δυτικός τομέας	ΔΗΜΟΣ ΠΕΡΙΣΤΕΡΙΟΥ ΔΗΜΟΣ ΠΕΤΡΟΥΠΟΛΕΩΣ ΔΗΜΟΣ ΦΙΛΑΔΕΛΦΕΙΑΣ - ΧΑΛΚΗΔΟΝΟΣ ΔΗΜΟΣ ΧΑΪΔΑΡΙΟΥ ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΩΝ ΑΝΑΡΓΥΡΩΝ - ΚΑΜΑΤΕΡΟΥ ΔΗΜΟΣ ΑΙΓΑΛΕΩ ΔΗΜΟΣ ΙΛΙΟΥ
Ανατολικός τομέας	ΔΗΜΟΣ ΒΥΡΩΝΟΣ ΔΗΜΟΣ ΔΑΦΝΗΣ - ΥΜΗΤΤΟΥ ΔΗΜΟΣ ΖΩΓΡΑΦΟΥ ΔΗΜΟΣ ΗΛΙΟΥΠΟΛΕΩΣ ΔΗΜΟΣ ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗΣ

2.1.2. Περιγραφή δεδομένων έκθεσης

Τα μετεωρολογικά δεδομένα περιλάμβαναν τις ημερήσιες σειρές θερμοκρασίας (°C), σχετικής υγρασίας (%), ταχύτητας ανέμου (μέτρα/δευτερόλεπτο) και διεύθυνσης ανέμου (μοίρες). Τα δεδομένα αυτά παραχωρήθηκαν από το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών και περιλάμβαναν μετρήσεις του σταθμού μέτρησης του Θησείου για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας.

Τα μετεωρολογικά δεδομένα για τους 6 τομείς της Αθήνας προήλθαν από τη βάση δεδομένων E-OBS(Haylock et al., 2008). Η συγκεκριμένη βάση δεδομένων αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του προγράμματος ENSAMBLES και αποτελεί ένα σύνολο δεδομένων υψηλής ανάλυσης, με ανάλυση περίπου 25 χιλιομέτρων, τα οποία προέρχονται από μετρήσεων σταθμών σε όλη την Ευρώπη. Τα δεδομένα αφορούσαν μόνο τη μέση ημερήσια και μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία αέρα. Μετεωρολογικά δεδομένα για τους δήμους δεν ήταν διαθέσιμα και ως εκ τούτου χρησιμοποιήθηκαν τα ημερήσια δεδομένα του Θησείου.

Αντικείμενο ενδιαφέροντος του ερευνητικού προγράμματος και της παρούσας εργασίας αποτελούν οι βραχυπρόθεσμες επιδράσεις της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα, οι οποίες συμβαίνουν σε μικρό χρονικό διάστημα από την έκθεση. Μάλιστα, σημαντική επίδραση στη θνησιμότητα έχει η θερμοκρασία των προηγούμενων ημερών (έως και 3 ημέρες πριν) και όχι τόσο της ίδιας ημέρας. Για το λόγο αυτό, κύρια μεταβλητή έκθεσης ήταν η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (°C) και συγκεκριμένα ο μέσος όρος της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας της ίδιας ημέρας και των τριών προηγούμενων ημερών (χρονοϋστέρηση 3 ημερών).

2.1.3. Περιγραφή δεδομένων έκβασης

Τα δεδομένα θνησιμότητας αφορούσαν τους θανάτους από όλες τις φυσικές (ICD-9: 1–799;ICD-10: group A–R), τις καρδιαγγειακές (ICD-9: 390–459; ICD-10: group I) και τις αναπνευστικές αιτίες (ICD-9: 460–519; ICD-10: group J), ανά ηλικιακή ομάδα (0-64, 65-75,75+ και όλες οι ηλικιακές ομάδες). Τα δεδομένα προέρχονται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.).

2.1.4. Περιγραφή χωρικών δεδομένων

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήσαμε για τη χωρική διερεύνηση των επιπτώσεων των υψηλών θερμοκρασιών αφορούν:

- το ποσοστό κάλυψης γης από κτίρια (πηγή ΕΛ.ΣΤΑΤ.),
- το μήκος των δρόμων σε μέτρα (πηγή ΕΛ.ΣΤΑΤ.),

- το ποσοστό αστικού πρασίνου ανά τετραγωνικό μέτρο (πηγή: urban atlas 2012),
- την πυκνότητα πληθυσμού ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο και
- τη συνολική έκταση της περιοχής σε τετραγωνικά χιλιόμετρα (πηγή ΕΛ.ΣΤΑΤ.),

σε επίπεδο τομέων και δήμων.

Ως επιφάνεια αστικού πρασίνου ορίζεται οποιαδήποτε επιφάνεια πρασίνου, με εξαίρεση τους ιδιωτικούς κήπους, κτίρια που περιλαμβάνουν πάρκα όπως μουσεία, φυσική βλάστηση ή γεωργικές περιοχές οι οποίες περικλείονται από κτίρια και δεν διαχειρίζονται ως αστικές περιοχές.

Οι μεταβλητές που χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση και ήταν σε επίπεδο δήμων και τομέων εξήχθησαν με τη χρήση του λογισμικού ArcGIS (έκδοση 10.2.2), της εταιρείας ESRI.

2.2 Μέθοδοι

2.2.1 Εκτίμηση επιδράσεων υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα

Για την εκτίμηση των επιπτώσεων των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα χρονοσειρών. Αρχικά, διερευνήθηκε η σχέση θερμοκρασίας και θνησιμότητας και υπολογίστηκε η θερμοκρασία που αντιστοιχεί στην ελάχιστη θνησιμότητα από φυσικές αιτίες (σημείο καμπής-turning point), πάνω από την οποία η ημερήσια θνησιμότητα αρχίζει και αυξάνει. Δεν υπολογίστηκαν τα σημεία καμπής για τις σχέσεις της θερμοκρασίας και της θνησιμότητας από συγκεκριμένες αιτίες. Η μελέτη της σχέσης και η εύρεση των σημείων καμπής έγιναν συνολικά για την περιοχή της Αθήνας αλλά και για κάθε έναν τομέα ξεχωριστά. Για την ανάλυση στους τομείς χρησιμοποιήθηκαν τα μετεωρολογικά δεδομένα της βάσης E-OBS ενώ για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας τα δεδομένα του σταθμού μέτρησης του Θησείου, και συγκεκριμένα οι σειρές μέγιστης θερμοκρασίας. Για τη μελέτη της σχέσης θερμοκρασίας-θνησιμότητας εφαρμόστηκαν Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα, με χρήση πολυωνύμων παρεμβολής $3^{ου}$ βαθμού για τη μεταβλητή της μέγιστης θερμοκρασίας, καθώς η σχέση δεν είναι γραμμική. Η χρήση των συναρτήσεων εξομάλυνσης για την περιγραφή της σχέσης συνέβαλε στη διερεύνηση της θέσης των σημείων καμπής. Ως ανεξάρτητες μεταβλητές στα μοντέλα εισήχθησαν οι εξής:

- η χρονοϋστέρηση 3 ημερών της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας
- η χρονοϋστέρηση μιας ημέρας του ποσοστού σχετικής υγρασίας (μόνο για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας)
- ο μήνας, ως κατηγορική μεταβλητή
- η ημέρα της εβδομάδας, ως κατηγορική μεταβλητή
- ημέρα παρατήρησης (ο αύξων αριθμός της ημέρας για το σύνολο της περιόδου και το τετράγωνου αυτού)

Στη συνέχεια, για την εκτίμηση των σημείων καμπής χρησιμοποιήθηκε η μεθοδολογία του Muggeo (2003). Σύμφωνα με αυτή, δίνονται αρχικές τιμές στο εύρος των θερμοκρασιών που προκύπτουν από τα διαγράμματα της σχέσης θερμοκρασίας-θνησιμότητας από το παραπάνω μοντέλο (Γράφημα 1 παραρτήματος). Εν συνεχεία, επιλέγεται το βέλτιστο σημείο καμπής με την μέγιστη πιθανοφάνεια. Η εκτίμηση των σημείων καμπής έγιναν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου R(R-Studio Version).

Στη συνέχεια, εκτιμήθηκε η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στην ημερήσια θνησιμότητα εισάγοντας στο GEE μοντέλο τη θερμοκρασία ως κατά τμήματα γραμμική συνάρτηση αντί της χρήσης του πολυωνύμου παρεμβολής. Συγκεκριμένα:

$$\log E[Yij] \sim \beta_1 T_+ + \beta_2 T_- + \beta_3 \,\text{rel.hum} + \Sigma\beta i \,\text{dow} + \Sigma\beta_i \,\text{month} + f(\text{time})$$

όπου Y_{ij} ο ημερήσιος αριθμός θανάτων την ημέρα i του έτους j, T_+ και T_- οι διαφορές της χρονοϋστέρησης των 3 ημερών της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω και κάτω από το σημείο καμπής, rel.hum η χρονοϋστέρηση μιας ημέρας του % σχετικής υγρασίας, dow η ψευδομεταβλητή που αντιστοιχεί στη μέρα της εβδομάδας, month η ψευδομεταβλητή που αντιστοιχεί στο μήνα, time μια συνεχής μεταβλητή με τιμές από 1-2973 που αντιστοιχούν στην ημέρα παρατήρησης και f μια παραβολική συνάρτηση αυτής. Οι όροι που αφορούν το χρόνο εισήχθησαν στο μοντέλο για τον έλεγχο της εποχικότητας και των μακροχρόνιων τάσεων.

Ο ημερήσιος αριθμός θανάτων που χρησιμοποιήθηκε ως εξαρτημένη μεταβλητή αφορούσε:
τους θανάτους από όλες τις φυσικές αιτίες, για όλες τις ηλικιακές ομάδες
τους θανάτους από όλες τις φυσικές αιτίες, για άτομα 0-64 ετών
τους θανάτους από όλες τις φυσικές αιτίες, για άτομα 65-74 ετών
τους θανάτους από όλες τις φυσικές αιτίες, για άτομα πάνω από 75 ετών
τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες, για όλες τις ηλικιακές ομάδες
τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες, για άτομα 0-64 ετών
τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες, για άτομα 65-74 ετών
τους θανάτους από καρδιαγγειακές αιτίες, για άτομα πάνω από 75 ετών
τους θανάτους από αναπνευστικά αίτια, για όλες τις ηλικιακές ομάδες
τους θανάτους από αναπνευστικά αίτια, για άτομα 0-64 ετών
τους θανάτους από αναπνευστικά αίτια, για άτομα 65-74 ετών
τους θανάτους από αναπνευστικά αίτια, για άτομα πάνω από 75 ετών

Τα παραπάνω μοντέλα εφαρμόστηκαν:

- για τη συνολική περιοχή της Αθήνας με τη θερμοκρασία από το σταθμό του Θησείου
- για τους έξι τομείς ξεχωριστά με τη θερμοκρασία από τα δεδομένα της βάσης E-OBS και το σημείο καμπής που προέκυψε με βάση τη σειρά αυτή (χωρίς τη χρονοϋστέρηση μιας ημέρας του ποσοστού σχετικής υγρασίας καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα από τα μοντέλα)
- για τους έξι τομείς ξεχωριστά με τη θερμοκρασία του σταθμού μέτρησης του Θησείου και το σημείο καμπής που προέκυψε με βάση τη σειρά αυτή
- για τους έξι τομείς ξεχωριστά με τη θερμοκρασία του σταθμού μέτρησης του Θησείου και το σημείο καμπής που προέκυψε με βάση τη σειρά αυτή (χωρίς τη χρονοϋστέρηση μιας ημέρας του ποσοστού σχετικής υγρασίας)
- για τους 42 δήμους ξεχωριστά με τη θερμοκρασία του σταθμού μέτρησης του Θησείου και το σημείο καμπής που προέκυψε με βάση τη σειρά αυτή

- για τους 42 δήμους ξεχωριστά με τη θερμοκρασία του σταθμού μέτρησης του Θησείου και το σημείο καμπής που προέκυψε με βάση τη σειρά αυτή (χωρίς τη χρονοϋστέρηση μιας ημέρας του ποσοστού σχετικής υγρασίας)

Για την εκτίμηση των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα χρησιμοποιήθηκε και ερμηνεύτηκε ο εκτιμώμενος συντελεστής της θετικής διαφοράς της χρονοϋστέρησης 3 ημερών της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας από το εκτιμώμενο σημείο καμπής. Η ερμηνεία αφορούσε την ποσοστιαία μεταβολή στην ημερήσια θνησιμότητα που συνδέεται με αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C πάνω από το σημείο καμπής.

2.2.2 Διερεύνηση της χωρικής διαφοροποίησης των εκτιμώμενων επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στους τομείς και στους δήμους της Αθήνας

Οι εκτιμώμενοι συντελεστές της θετικής διαφοράς της χρονοϋστέρησης 3 ημερών της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας από το εκτιμώμενο σημείο καμπής των 6 τομέων και των 42 δήμων, όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με τη θερμοκρασία του σταθμού του Θησείου, μετα-αναλύθηκαν με μοντέλα τυχαίων επιδράσεων ώστε να διερευνηθεί η ύπαρξη ετερογένειας μεταξύ των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών. Χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό μέτρο I^2 και το p-value από τον έλεγχο Cohrane's Q. Στις περιπτώσεις που βρέθηκε στατιστικά σημαντική ετερογένεια, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας 5%, έγιναν μετα-παλινδρομήσεις με τις χωρικές μεταβλητές καθώς και με μετεωρολογικές μεταβλητές, με σκοπό την εξήγηση της υπάρχουσας ετερογένειας. Ως εξαρτημένη μεταβλητή στα μοντέλα εισήχθη ο εκτιμώμενος συντελεστής από τα μοντέλα GEE που εφαρμόστηκαν για τους 6 τομείς ή για τους 42 δήμους και ως ανεξάρτητες μεταβλητές οι μετεωρολογικές και χωρικές μεταβλητές, η κάθε μία ξεχωριστά. Όσες από τις επεξηγηματικές μεταβλητές είχαν συντελεστή στατιστικά διάφορο του 0 (σε ε.σ.σ. 5%) θεωρήθηκε πως εξηγούν, τουλάχιστον κατά ένα μέρος, την παρατηρούμενη ετερογένεια. Η ετερογένεια που παραμένει, μετά τον έλεγχο των πιθανών τροποποιητών της επίδρασης, συνοψίζεται και πάλι στο μέτρο I^2 που πλέον προκύπτει ύστερα από την εφαρμογή των μοντέλων εξάρτησης.

Οι αναλύσεις της σχέσης θνησιμότητας-θερμοκρασίας, οι μετα-αναλύσεις και οι μετα-παλινδρομήσεις έγιναν με τη χρήση του στατιστικού πακέτου STATA (STATA Version 13).

3. Αποτελέσματα

3.1. Περιγραφικά αποτελέσματα μετεωρολογικών δεδομένων

Παρακάτω συνοψίζονται τα περιγραφικά μέτρα για τα μετεωρολογικά δεδομένα και συγκεκριμένα για τα δεδομένα θερμοκρασίας όπως προέκυψαν από την βάση E-OBS για τους 6 τομείς ξεχωριστά αλλά και για τα δεδομένα από το σταθμό μέτρησης του Θησείου.

Θερμοκρασία από το σταθμό μέτρησης του Θησείου:

Η μέση τιμή (τυπική απόκλιση) της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας στην Αθήνα για όλη την περίοδο της μελέτης ήταν 29.1°C (5.8), ενώ η αντίστοιχη μέση τιμή(τυπική απόκλιση) για την μέση ημερήσια θερμοκρασία ήταν 24.5°C (5.3). Η μέγιστη θερμοκρασία κυμαινόταν από 8.94°C έως 43.8°C ενώ η μέση θερμοκρασία από 8.17 °C έως 36.5°C. Οι χαμηλότερες τιμές θερμοκρασίας, όπως είναι αναμενόμενο, σημειώθηκαν το μήνα Απρίλιο ενώ οι υψηλότερες το μήνα Ιούλιο.

Έχουν υπολογισθεί, ανά μήνα, τα περιγραφικά για τη μέση ημερήσια θερμοκρασία, την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία και τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, για τη συνολική περίοδο μελέτης. Η μοναδική ελλείπουσα τιμή εντοπίστηκε στην ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία της 31/05/2010 . Την ίδια ημέρα η μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι -3.19 και γι αυτό η ημέρα αυτή εξαιρέθηκε από τα παρακάτω περιγραφικά (πίνακες 1,2,3).

Πίνακας 2: Περιγραφικά μέτρα για τη μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) ανά μήνα της θερινής περιόδου, των μετρήσεων του σταθμού του Θησείου

Μήνας	Ελάχιστη τιμή	25ο τεταρτημόριο	Μέση τιμή	75ο τεταρτημόριο	Μέγιστη τιμή
Απρίλιος	8.17	14.69	16.28	18.05	24.53
Μάιος	13.63	19.69	21.50	23.53	28.51
Ιούνιος	19.04	23.98	26.51	28.82	36.375
Ιούλιος	22.11	27.95	29.43	30.91	36.51
Αύγουστος	23.39	27.69	29.10	30.38	35.22
Σεπτέμβριος	16.65	22.38	24.24	26.16	32.95

Πίνακας 3: Περιγραφικά μέτρα για την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία (°C) ανά μήνα της θερινής περιόδου, των μετρήσεων του σταθμού του Θησείου

Μήνας	Ελάχιστη τιμή	25ο τεταρτημόριο	Μέση τιμή	75ο τεταρτημόριο	Μέγιστη τιμή
Απρίλιος	3.40	11.40	12.91	14.50	20.90
Μάιος	11.21	15.90	17.65	19.50	24.31
Ιούνιος	14.98	20.01	22.48	24.70	30.80
Ιούλιος	19.00	24.10	25.35	26.70	32.40
Αύγουστος	21.00	23.72	25.15	26.30	31.49
Σεπτέμβριος	13.90	19.15	20.849	22.60	29.20

Πίνακας 4: Περιγραφικά μέτρα για τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία (°C) ανά μήνα της θερινής περιόδου, των μετρήσεων του σταθμού του Θησείου

Μήνας	Ελάχιστη τιμή	25ο τεταρτημόριο	Μέση τιμή	75ο τεταρτημόριο	Μέγιστη τιμή
Απρίλιος	8.94	18.18	20.23	22.50	30.60
Μάιος	15.20	23.71	26.03	28.300	37.30
Ιούνιος	22.47	28.30	31.12	33.4	43.80
Ιούλιος	24.07	32.40	34.22	36.00	43.30
Αύγουστος	27.70	32.20	33.97	35.62	41.13
Σεπτέμβριος	17.00	26.59	28.72	31.10	38.50

<u>Θερμοκρασία από τη βάση δεδομένων E-OBS</u>:

Για την ίδια περίοδο, υπολογίστηκαν και τα περιγραφικά μέτρα των μέσων και μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών σε κάθε ένα από τους 6 τομείς, από τη βάση δεδομένων E-OBS. Στα δεδομένα αυτά δεν υπήρχαν ελλείπουσες τιμές (πίνακες 4-9).

Η μέση ημερήσια θερμοκρασία που σημειώθηκε για την περίοδο 2000-2012 (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) κυμαινόταν από 4.5°C έως 35.6°C ενώ αντίστοιχα η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία από 5.97°C έως 42.7°C , με βάση τα δεδομένα της βάσης E-OBS. Η μέση τιμή (τυπική απόκλιση) της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για όλους τους τομείς ήταν 26.9°C (5.6), ενώ η αντίστοιχη μέση τιμή (τυπική απόκλιση) για την μέση ημερήσια θερμοκρασία ήταν 22.5°C (5.2). Οι τιμές αυτές που προέρχονται από τη βάση E-OBS είναι χαμηλότερες κατά 1-2 μονάδες από τις μετρήσεις του σταθμού του Αστεροσκοπείου στο Θησείο. Αυτό εξηγείται εφόσον οι μετρήσεις του Αστεροσκοπείου γίνονται στο κέντρο της Αθήνας , στο οποίο επικρατούν γενικότερα υψηλές θερμοκρασίες ενώ η βάση δεδομένων δίνει πληροφορίες και για τις περιαστικές περιοχές.

Κατά μέσο όρο, το κέντρο και ο νότιος τομέας είχαν υψηλότερες θερμοκρασίες, ενώ οι χαμηλότερες σημειώθηκαν δυτικά και βόρεια. Η μέση τιμή της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για όλη την περίοδο μελέτης ήταν 27.7 °C για το κέντρο και 27.4°C για το νότιο τομέα ενώ για τον βόρειο τομέα ήταν 26.1°C και για τον δυτικό 26.2°C. Αντίστοιχα, οι μέσες τιμές για τη μέση ημερήσια θερμοκρασία ήταν 23.4 °C και 23.2 °C για το κέντρο και τον νότιο τομέα και 21.8°C για τον βόρειο και τον δυτικό.

Στους παρακάτω πίνακες (πίνακες) αναφέρονται τα περιγραφικά για τη μέση και τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ανά μήνα, στους 6 τομείς της Αθήνας.

Πίνακας 5: Περιγραφικά των δεδομένων θερμοκρασίας (°C) της βάσης δεδομένων E-OBS στον Κεντρικό τομέα της Αθήνας

Μήνας	Ελάχιστη τιμή		25ο τεταρτημόριο		Μέση τιμή		75ο τεταρτημόριο		Μέγιστη τιμή	
	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία
Απρίλιος	6.72	9.58	13.77	17.4	15.262	19.212	16.82	21.13	22.21	28.15
Μάιος	13.81	16.98	18.32	22.25	20.192	24.456	22.12	26.53	28.41	33.82
Ιούνιος	18.27	23.31	22.52	27.08	25.044	29.570	27.25	32.01	31.36	38.73
Ιούλιος	22.17	24.88	26.69	31.01	28.075	32.645	29.43	33.99	35.2	42.38
Αύγουστος	21.68	25.14	26.67	31.07	27.852	32.491	29.04	33.8	32.99	38.81
Σεπτέμβριος	17.02	19.55	21.8	25.76	23.599	27.826	25.58	29.88	30.4	36.57

Πίνακας 6: Περιγραφικά των δεδομένων θερμοκρασίας (°C) της βάσης δεδομένων E-OBS στον Ανατολικό τομέα της Αθήνας

Μήνας	Ελάχιστη τιμή		25ο τεταρτημόριο		Μέση τιμή		75ο τεταρτημόριο		Μέγιστη τιμή	
	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία
Απρίλιος	6.4	7.73	13.12	16.71	14.819	18.696	16.62	20.73	22.08	28.02
Μάιος	12.84	16.02	17.73	21.68	19.719	23.944	21.85	26.24	28.42	33.73
Ιούνιος	17.79	22.62	22.03	26.58	24.523	29.072	26.74	31.52	31.19	38.99
Ιούλιος	21.65	23.86	26.16	30.41	27.617	32.193	29.11	33.67	35.61	42.17
Αύγουστος	20.65	24.24	26.12	30.44	27.422	32.008	28.74	33.45	33.56	38.8
Σεπτέμβριος	16.05	18.52	21.35	25.19	23.224	27.302	25.42	29.35	30	36.53

Πίνακας 7: Περιγραφικά των δεδομένων θερμοκρασίας (°C) της βάσης δεδομένων E-OBS στο Δυτικό τομέα της Αθήνας

Μήνας	Ελάχιστη τιμή		25ο τεταρτημόριο		Μέση τιμή		75ο τεταρτημόριο		Μέγιστη τιμή	
	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία
Απρίλιος	4.51	6.23	11.74	15.22	13.656	17.572	15.64	19.9	21.03	27.01
Μάιος	11.97	13.67	16.69	20.49	18.624	22.920	20.82	25.35	28.79	34.08
Ιούνιος	16.88	19.73	21.12	25.47	23.539	28.078	25.94	30.75	30.89	38.2
Ιούλιος	20.13	22.61	24.99	29.33	26.606	31.252	28.25	32.82	34.2	42.74
Αύγουστος	18.16	21.27	24.95	29.28	26.274	30.940	27.74	32.43	31.62	39.64
Σεπτέμβριος	15.15	14.83	19.9	23.94	21.915	26.206	24.21	28.49	29.28	37.43

Πίνακας 8: Περιγραφικά των δεδομένων θερμοκρασίας (°C) της βάσης δεδομένων E-OBS στο Βόρειο τομέα της Αθήνας

Μήνας	Ελάχιστη τιμή		25ο τεταρτημόριο		Μέση τιμή		75ο τεταρτημόριο		Μέγιστη τιμή	
	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία
Απρίλιος	4.77	5.97	11.79	15.23	13.669	17.519	15.72	19.88	21.02	26.63
Μάιος	11.83	13.76	16.6	20.31	18.593	22.829	20.69	25.29	28.42	33.69
Ιούνιος	17.03	19.67	21.04	25.4	23.454	27.978	25.76	30.56	30.26	37.89
Ιούλιος	20.59	22.5	25 2	29.27	65.503	31.153	28.17	32.79	34.18	42.07
Αύγουστος	18.54	21.51	25 2	29.27	62.759	30.862	27.65	32.52	31.77	38.39
Σεπτέμβριος	15.18	15.06	19.97	23.89	21.986	26.138	24.23	28.46	29	36.72

Πίνακας 9: Περιγραφικά των δεδομένων θερμοκρασίας (°C) της βάσης δεδομένων E-OBS στο Νότιο τομέα της Αθήνας

Μήνας	Ελάχιστη τιμή		25ο τεταρτημόριο		Μέση τιμή		75ο τεταρτημόριο		Μέγιστη τιμή	
	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία
Απρίλιος	6.77	9.14	13.55	17.22	15.169	18.979	16.91	21.13	21.5	26.49
Μάιος	13.72	17	18.21	22.09	19.983	24.122	21.88	26.05	28.08	33.3
Ιούνιος	17.73	22.55	22.42	26.92	24.747	29.210	26.8	31.3	31.21	38.68
Ιούλιος	22.14	24.77	26.49	30.59	27.822	32.281	29.3	33.98	34.47	40.25
Αύγουστος	22.14	24.52	26.48	30.61	27.667	32.124	28.97	33.57	32.04	39.35
Σεπτέμβριος	16.4	19.21	21.64	25.54	23.566	27.554	25.63	29.77	30.22	35.42

Πίνακας 10: Περιγραφικά των δεδομένων θερμοκρασίας (°C) της βάσης δεδομένων E-OBS στον τομέα Πειραιώς της Αθήνας

Μήνας	Ελάχιστη τιμή		25ο τεταρτημόριο		Μέση τιμή		75ο τεταρτημόριο		Μέγιστη τιμή	
	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία	Μέση θερμοκρασία	Μέγιστη θερμοκρασία
Απρίλιος	5.56	7.96	12.6	16.13	14.265	18.231	16.05	20.28	20.79	27.32
Μάιος	12.8	15.66	17.34	21.02	19.220	23.489	21.22	25.93	28.15	33.7
Ιούνιος	17.63	21.56	21.64	25.87	24.101	28.564	26.31	31.14	30.27	38.31
Ιούλιος	21.18	23.65	25.69	29.84	27.134	31.686	28.65	33.18	34.08	41.79
Αύγουστος	19.43	23.49	25.62	29.99	26.829	31.478	28.05	32.72	32.05	38.83
Σεπτέμβριος	15.52	17.09	20.52	24.64	22.493	26.825	24.6	28.86	29.78	36.5

Όπως αναφέρθηκε στην ενότητα «Υλικό και Μέθοδος», για την εκτίμηση των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα υπολογίστηκαν οι θερμοκρασίες που αντιστοιχούσαν στην ελάχιστη ολική θνησιμότητα (σημεία καμπής). Τα σημεία καμπής για τη σχέση μέγιστης θερμοκρασίας και ολικής θνησιμότητας φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 10).

Πίνακας 11: Σημεία καμπής σχέσης μέγιστης θερμοκρασίας και ολικής θνησιμότητας για τους 6 τομείς της Αθήνας

Τομέας	**Σημείο καμπής με βάση τη θερμοκρασία από τη βάση δεδομένων E-OBS (τυπικό σφάλμα)**	**Σημείο καμπής με βάση τη θερμοκρασία από το σταθμό μέτρησης του Θησείου (τυπικό σφάλμα)**
Κεντρικός	27.5(0.42)	31.5(0.30)
Ανατολικός	26.2(0.70)	
Δυτικός	24.8(0.61)	
Βόρειος	26.1(0.58)	
Νότιος	25.8(0.47)	
Πειραιά	26.6(0.48)	

Οι θερμοκρασίες ελάχιστης θνησιμότητας κυμαίνονται από 24.8°C (δυτικός τομέας) έως 27.5°C (κεντρικός τομέας). Κατά κύριο λόγο, περιοχές με χαμηλότερες θερμοκρασίες έχουν και χαμηλότερο σημείο καμπής ενώ για περιοχές που επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες το σημείο αυτό μετατοπίζεται προς τα πάνω. Λαμβάνοντας υπόψη τις μετρήσεις θερμοκρασίας του Θησείου, η θερμοκρασία ελάχιστης θνησιμότητας είναι 31.5°C , αρκετά μεγαλύτερη από τις εκτιμήσεις που έγιναν για τους 6 τομείς αλλά και από την εκτίμηση για τον κεντρικό τομέα.

3.2. Περιγραφικά αποτελέσματα δεδομένων θνησιμότητας

Ο ημερήσιος αριθμός θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες ήταν κατά μέσο όρο 77 θάνατοι, από καρδιαγγειακές αιτίες 35 θάνατοι ενώ από αναπνευστικές 7 θάνατοι, για την περίοδο μελέτης. Η ηλικιακή ομάδα των άνω των 75 ήταν η πιο ευάλωτη, με το μέσο ημερήσιο αριθμό θανάτων από φυσικά αίτια να φτάνει τους 51 θανάτους, ενώ ο μέσος ημερήσιος αριθμός θανάτων από καρδιαγγειακά και αναπνευστικά αίτια ήταν 26 και 6 θάνατοι αντίστοιχα. Οι θάνατοι από αναπνευστικά αίτια ήταν οι λιγότεροι, με μέσο όρο κάτω από τη μονάδα για τις ηλικιακές ομάδες 0-64 και 65-74.

Στους πίνακες 11,12 και 3 αναφέρονται τα βασικά περιγραφικά μέτρα (μέση τιμή και τυπική απόκλιση) για την ημερήσια θνησιμότητα στους 6 τομείς της Αθήνας, ανά αιτία θανάτου και ηλικιακή ομάδα, για τους μήνες Απρίλιο-Σεπτέμβριο και για τα έτη 2000-2012 (2379 ημέρες).

Πίνακας 12: Ημερήσια θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες ανά ηλικιακή ομάδα στους 6 τομείς της Αθήνας

Τομέας	**Μέσος ημερήσιος αριθμός θανάτων από όλα τα φυσικά αίτια (τυπική απόκλιση)**			
	Όλες οι ηλικιακές ομάδες	0-64 ετών	65-74 ετών	>75 ετών
Κεντρικός	21(5.1)	3.3(1.9)	3.3(1.9)	14.3(4.3)
Ανατολικός	6.4(2.7)	1.0(1.0)	1.1(1.1)	4.3(2.2)
Δυτικός	10.3(3.6)	1.9(1.4)	2.1(1.5)	6.4(2.9)
Βόρειος	13.3(4.0)	2.1(1.5)	2.3(1.5)	9.0(3.2)
Νότιος	12.2(3.9)	1.9(1.4)	2.2(1.5)	8.1(3.2)
Πειραιά	13.6(4.1)	2.3(1.6)	2.7(1.7)	8.5(3.3)

Πίνακας 13: Ημερήσια θνησιμότητα από καρδιαγγειακές αιτίες ανά ηλικιακή ομάδα στους 6 τομείς της Αθήνας

Τομέας	**Μέσος ημερήσιος αριθμός θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες (τυπική απόκλιση)**			
	Όλες οι ηλικιακές ομάδες	0-64 ετών	65-74 ετών	>75 ετών
Κεντρικός	9.6(3.5)	1.1(1.1)	1.3(1.2)	7.2(2.9)
Ανατολικός	2.8(1.7)	0.3(0.6)	0.4(0.7)	2.1(1.5)
Δυτικός	4.7(2.3)	0.6(0.8)	0.8(0.9)	3.3(1.9)
Βόρειος	6.0(2.5)	0.6(0.8)	0.8(0.9)	4.5(2.1)
Νότιος	5.6(2.5)	0.6(0.8)	0.9(1.0)	4.1(2.1)
Πειραιά	6.4(2.7)	0.8(0.9)	1.1(1.1)	4.5(2.3)

Πίνακας 14: Ημερήσια θνησιμότητα από αναπνευστικές αιτίες ανά ηλικιακή ομάδα στους 6 τομείς της Αθήνας

Τομέας	**Μέσος ημερήσιος αριθμός θανάτων αναπνευστικές αιτίες (τυπική απόκλιση)**			
	Όλες οι ηλικιακές ομάδες	0-64 ετών	65-74 ετών	>75 ετών
Κεντρικός	2.2(1.5)	0.2(0.4)	0.2(0.5)	1.7(1.4)
Ανατολικός	0.6(0.8)	0.1(0.2)	0.1(0.3)	0.5(0.8)
Δυτικός	0.9(1.0)	0.1(0.3)	0.1(0.4)	0.7(0.9)
Βόρειος	1.3(1.2)	0.1(0.3)	0.1(0.4)	1.0(1.1)
Νότιος	1.1(1.2)	0.1(0.3)	0.1(0.4)	0.9(1.0)
Πειραιά	1.3(1.2)	0.1(0.4)	0.2(0.5)	1.0(1.0)

Ο κεντρικός τομέας ήταν αυτός με τους περισσότερους θανάτους κατά μέσο όρο, είτε συνολικά είτε κατά ηλικιακή ομάδα, για τις 3 υπό μελέτη αιτίες θανάτου. Υψηλό αριθμό θανάτων είχε και ο τομέας του Πειραιά ενώ οι λιγότεροι κατά μέσο όρο θάνατοι καταγράφηκαν στον ανατολικό τομέα.

3.3. Εκτίμηση επιδράσεων υψηλών θερμοκρασιών

3.3.1. Εκτίμηση επιδράσεων υψηλών θερμοκρασιών στην Αθήνα

Τα μοντέλα αρχικά εφαρμόστηκαν για τη συνολική περιοχή της Αθήνας με τη θερμοκρασία από τις μετρήσεις του Θησείου. Στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 14) αναφέρονται οι ποσοστιαίες μεταβολές στη θνησιμότητα, κατά αιτία και ηλικιακή ομάδα, για 1 βαθμό αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5° C.

Πίνακας 15: Ποσοστιαία μεταβολή θνησιμότητας και 95% Δ.Ε αυτής, για 1 ° C αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5° C.

	Ηλικιακές ομάδες	**Ποσοστιαία μεταβολή (95% Δ.Ε.)**
Θνησιμότητα από κάθε φυσική αιτία	**όλες**	4.16 (3.73, 4.6)
	0-64 ετών	1.29 (.37, 2.22)
	65-74 ετών	2.87 (1.95, 3.8)
	>75 ετών	5.17 (4.65, 5.69)
Καρδιαγγειακή θνησιμότητα	**όλες**	5.34 (4.74, 5.93)
	0-64 ετών	3.16 (1.54, 4.8)
	65-74 ετών	2.76 (1.32, 4.22)
	>75 ετών	6.17 (5.49, 6.86)
Αναπνευστική θνησιμότητα	**όλες**	5.9 (4.57, 7.24)
	0-64 ετών	3.63 (-.34, 7.76)
	65-74 ετών	7.68 (4.39, 11.08)
	>75 ετών	5.89 (4.42, 7.38)

Η μεγαλύτερη επίδραση από την αύξηση της θερμοκρασίας παρατηρείται στα άτομα άνω των 75 ετών, με αύξηση της θνησιμότητας κατά 5-6% ανάλογα την αιτία θανάτου. Συνολικά, η θνησιμότητα από κάθε φυσική αιτία αυξάνεται κατά 4.16% (95% ΔΕ: 3.73%,4.6%), από καρδιαγγειακά αίτια κατά 5.34%(95% ΔΕ: 4.74%,5.93%) και από αναπνευστικά αίτια κατά 5.9% (95% ΔΕ: 4.57%, 7.24%) για κάθε βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5° C. Η αύξηση της θερμοκρασίας, ωστόσο, προκαλεί στατιστικά σημαντική αύξηση της θνησιμότητας σε ε.σ.σ. 5% για όλες τις ηλικιακές ομάδες και για όλες τις αιτίες θανάτου που μελετώνται στην παρούσα εργασία.

3.3.2. Εκτίμηση επιδράσεων θερμοκρασιών στη θνησιμότητα στους τομείς της Αθήνας

Τα αποτελέσματα των μοντέλων που εφαρμόστηκαν στους 6 τομείς της Αθήνας για τη διερεύνηση των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στην ολική και κατά αιτία θνησιμότητα παρουσιάζονται στους πίνακες 14,15,16 . Οι αναλύσεις έγιναν ξεχωριστά για κάθε μία ηλικιακή ομάδα.

Εισάγοντας στο μοντέλο τις τιμές θερμοκρασίας από τη βάση E-OBS, ως σημεία καμπής της σχέση θερμοκρασίας θνησιμότητας θεωρήθηκαν τα σημεία που προέκυψαν με την ίδια σειρά θερμοκρασίας και διαφέρουν για κάθε έναν τομέα. Η αύξηση στη συνολική θνησιμότητα εκτιμήθηκε από 2.54% στο βόρειο τομέα έως 3.08% στον τομέα Πειραιά. Η μεγαλύτερη αύξηση στη θνησιμότητα από καρδιαγγειακές αιτίες εκτιμήθηκε στον κεντρικό τομέα, περίπου 4% ενώ από αναπνευστικές αιτίες στον Πειραιά, 6.53%. Όσο αφορά τη θνησιμότητα ατόμων άνω των 75 ετών, η μεγαλύτερη αύξηση εκτιμήθηκε στο κέντρο για τη θνησιμότητα από φυσικές και καρδιαγγειακές αιτίες και στο δυτικό τομέα για τη θνησιμότητα που οφείλεται σε αναπνευστικά αίτια.

Όταν χρησιμοποιήθηκε η σειρά θερμοκρασίας από τις μετρήσεις του Θησείου, ως σημείο καμπής της σχέση θερμοκρασίας θνησιμότητας θεωρήθηκε και για τους 6 τομείς το 31.5. Τα αποτελέσματα παρουσίαζαν παρόμοιες τάσεις με αυτά που προέκυψαν με την εισαγωγή των θερμοκρασιών από τη βάση στα μοντέλα, ωστόσο οι ποσοστιαίες μεταβολές που εκτιμήθηκαν ήταν μεγαλύτερες από τις προηγούμενες. Οι εκτιμήσεις των μοντέλων με και χωρίς την μεταβλητή της υγρασίας ήταν αρκετά κοντινές. Η αύξηση στη συνολική θνησιμότητα ήταν μεγαλύτερη για τον τομέα Πειραιά (περίπου 4.5%) και μικρότερη για το βόρειο (περίπου 3.5%). Η μεγαλύτερη αύξηση στη θνησιμότητα από καρδιαγγειακές αιτίες εκτιμήθηκε στον κεντρικό και στο νότιο τομέα (περίπου 6%), ενώ από αναπνευστικές αιτίες στον Πειραιά (περίπου 8%). Όσο αφορά τη θνησιμότητα ατόμων άνω των 75 ετών, η μεγαλύτερη αύξηση εκτιμήθηκε στο δυτικό τομέα: 5.84% για τη θνησιμότητα από φυσικές αιτίες, περίπου 7% από καρδιαγγειακές αιτίες και περίπου 8.3% από αναπνευστικές αιτίες.

Πίνακας 16: Ποσοστιαία μεταβολή (95% διάστημα εμπιστοσύνης) της ημερήσιας ολικής θνησιμότητας για αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 1°C πάνω από το σημείο καμπής

	Ηλικιακές ομάδες	Κεντρικός τομέας	Ανατολικός τομέας	Δυτικός τομέας	Βόρειος τομέας	Νότιος τομέας	Τομέας Πειραιά
Μοντέλο με θερμοκρασία E-OBS	**όλες**	2.95 (2.36, 3.54)	2.67 (1.76, 3.59)	2.78 (2.13, 3.43)	2.54 (1.89, 3.2)	3.03 (2.35,3.73)	3.08 (2.38, 3.78)
	0-64 ετών	-.1 (-1.44, 1.25)	2.24 (.02, 4.52)	1.38 (-.12, 2.9)	.2 (-1.37, 1.8)	1.57 (-.07,3.24)	.49 (-1.1, 2.1)
	65-74 ετών	1.88 (.55, 3.22)	2.07 (-.02, 4.21)	1.1 (-.3, 2.52)	1.6 (.04, 3.17)	2.95 (1.4, 4.51)	2.86 (1.44, 4.29)
	>75 ετών	3.93 (3.22, 4.65)	2.91 (1.83, 4)	3.77 (2.92, 4.62)	3.31 (2.53, 4.1)	3.38 (2.56,4.21)	3.87 (2.99, 4.76)
Μοντέλο με μετρήσεις Θησείου	**όλες**	4.38 (3.67, 5.09)	3.5 (2.27, 4.74)	4.51 (3.56, 5.47)	3.48 (2.64, 4.34)	4.37 (3.45, 5.3)	4.65 (3.78, 5.54)
	0-64 ετών	1.43 (-.22, 3.11)	0.48 (-2.51, 3.56)	2.59 (0.36, 4.88)	-0.4 (-2.45,1.69)	2.4 (.18, 4.66)	0.7 (-1.32, 2.77)
	65-74 ετών	1.43 (-.22, 3.11)	4.4 (1.52, 7.37)	1.75 (-.37, 3.92)	3.2 (1.12, 5.33)	3.06 (0.97, 5.2)	4.51 (2.67, 6.39)
	>75 ετών	5.4 (4.55, 6.26)	3.92 (2.48, 5.38)	5.89 (4.68, 7.12)	4.43 (3.41, 5.46)	5.13 (4.03,6.24)	5.77 (4.67, 6.88)
Μοντέλο με μετρήσεις Θησείου και υγρασία	**όλες**	4.29 (3.55, 5.03)	3.58 (2.31, 4.88)	4.52 (3.53, 5.52)	3.48 (2.6, 4.37)	4.44 (3.48, 5.41)	4.52 (3.61, 5.44)
	0-64 ετών	1.83 (.11, 3.59)	.8 (-2.32, 4.02)	3.31 (.97, 5.71)	-.77 (-2.89, 1.41)	1.95 (-.34, 4.3)	.83 (-1.28, 2.98)
	65-74 ετών	2.03 (.33, 3.76)	4.38 (1.38, 7.48)	1.36 (-.84, 3.61)	2.45 (.3, 4.65)	3.72 (1.53, 5.95)	4.29 (2.37, 6.25)
	>75 ετών	5.34 (4.45, 6.23)	3.99 (2.48, 5.51)	5.84 (4.57, 7.11)	4.71 (3.64, 5.78)	5.16 (4.01, 6.32)	5.6 (4.46, 6.76)

Πίνακας 17: Ποσοστιαία μεταβολή (95% διάστημα εμπιστοσύνης) της ημερήσιας καρδιαγγειακής θνησιμότητας για αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 1°C πάνω από το σημείο καμπής

	Ηλικιακές ομάδες	Κεντρικός τομέας	Ανατολικός τομέας	Δυτικός τομέας	Βόρειος τομέας	Νότιος τομέας	Τομέας Πειραιά
Μοντέλο με θερμοκρασία E-OBS	**όλες**	3.96 (3.12, 4.81)	3.42 (2.08, 4.78)	3.02 (2.07, 3.97)	2.85 (1.91, 3.79)	3.45 (2.51, 4.4)	3.2 (2.22, 4.19)
	0-64 ετών	1.29 (-1.04, 3.68)	.62 (-3.22, 4.61)	.97 (-1.61, 3.63)	-.25 (-3.04, 2.63)	2.62 (-.24, 5.55)	1.06 (-1.51, 3.69)
	65-74 ετών	3.01 (.9, 5.16)	2.08 (-1.33, 5.62)	2.04 (-.16, 4.28)	-.04 (-2.47, 2.44)	1.79 (-.64, 4.27)	3.39 (1.2, 5.63)
	>75 ετών	4.55 (3.58, 5.53)	4.12 (2.6, 5.65)	3.65 (2.51, 4.81)	3.82 (2.75, 4.9)	3.89 (2.81, 4.99)	3.55 (2.36, 4.76)
Μοντέλο με μετρήσεις Θησείου	**όλες**	5.97 (4.95, 7)	4.89 (3.07, 6.73)	5.73 (4.34, 7.15)	3.97 (2.73, 5.23)	5.6 (4.34, 6.87)	5.25 (3.99, 6.52)
	0-64 ετών	4.98 (2.09, 7.95)	-0.33 (-5.55, 5.18)	3.46 (-0.45, 7.53)	-0.94 (-4.58,2.84)	4.62 (.79, 8.6)	2.1 (-1.21, 5.53)
	65-74 ετών	3.97 (1.34, 6.66)	3.8 (-0.98, 8.82)	1.48 (-1.92, 4.99)	2.36 (-0.96, 5.78)	3 (-0.35, 6.46)	5.08 (2.17, 8.08)
	>75 ετών	6.47 (5.3, 7.66)	5.84 (3.82, 7.91)	7.09 (5.43, 8.78)	4.96 (3.55, 6.39)	6.22 (4.77, 7.69)	5.84 (4.33, 7.37)
Μοντέλο με μετρήσεις Θησείου και υγρασία	**όλες**	5.94 (4.88, 7.01)	4.89 (3, 6.82)	5.8 (4.34, 7.28)	4.06 (2.76, 5.38)	6 (4.68, 7.33)	5 (3.7, 6.32)
	0-64 ετών	6.06 (3.02, 9.19)	.29 (-5.18, 6.07)	4.28 (.17, 8.55)	-2.11 (-5.85, 1.77)	5.78 (1.75, 9.97)	2.36 (-1.1, 5.93)
	65-74 ετών	2.97 (.26, 5.76)	2.95 (-1.98, 8.14)	.68 (-2.83, 4.32)	2.11 (-1.33, 5.67)	3.95 (.44, 7.58)	3.99 (.99, 7.08)
	>75 ετών	6.44 (5.22, 7.68)	5.94 (3.83, 8.11)	7.25 (5.51, 9.01)	5.31 (3.83, 6.8)	6.47 (4.94, 8.03)	5.71 (4.14, 7.31)

Πίνακας 18: Ποσοστιαία μεταβολή (95% διάστημα εμπιστοσύνης) της ημερήσιας αναπνευστικής θνησιμότητας για αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 1°C πάνω από το σημείο καμπής

	Ηλικιακές ομάδες	Κεντρικός τομέας	Ανατολικός τομέας	Δυτικός τομέας	Βόρειος τομέας	Νότιος τομέας	Τομέας Πειραιά
Μοντέλο με θερμοκρασία E-OBS	**όλες**	4.42 (2.62, 6.25)	2.99 (.18, 5.87)	5.3 (3.1, 7.55)	5.79 (3.58, 8.05)	5.52 (3.35, 7.74)	6.53 (4.34, 8.77)
	0-64 ετών	1.84 (-3.93, 7.95)	1.28 (-8.03, 11.54)	1.57 (-4.86, 8.43)	4.93 (-2.12, 12.49)	4.08 (-3.96, 12.8)	5.42 (-.91, 12.15)
	65-74 ετών	1.05 (-3.82, 6.17)	5.5 (-2.09, 13.67)	4.14 (-1.31, 9.89)	7.82 (1.28, 14.79)	4.59 (-1.2, 10.72)	10.49 (5.21, 16.03)
	>75 ετών	5.2 (3.19, 7.26)	2.69 (-.5, 5.98)	6.08 (3.45, 8.78)	5.6 (3.2, 8.05)	5.76 (3.34, 8.23)	5.76 (3.19, 8.39)
Μοντέλο με μετρήσεις Θησείου	**όλες**	5.59 (3.42, 7.81)	2.12 (-1.56, 5.93)	7.58 (4.37, 10.89)	6.82 (3.99, 9.72)	5.72 (2.83, 8.69)	8.44 (5.72, 11.23)
	0-64 ετών	1.08 (-6.08, 8.78)	-0.44 (-12.7, 13.55)	-2.69 (-12.01, 7.61)	7.84 (-1.32, 17.86)	4.86 (-5.83,16.77)	6.58 (-1.3, 15.08)
	65-74 ετών	3.09 (-3.04, 9.6)	5.41 (-4.52, 16.38)	9.98 (1.72, 18.9)	12.11 (3.53, 21.41)	5.54 (-2.28,13.98)	13.62 (6.99,20.66)
	>75 ετών	6.32 (3.91, 8.8)	1.82 (-2.34, 6.16)	8.47 (4.68, 12.39)	6.06 (3.03, 9.19)	5.83 (2.62, 9.13)	7.59 (4.41, 10.86)
Μοντέλο με μετρήσεις Θησείου και υγρασία	**όλες**	4.91 (2.66, 7.21)	2.21 (-1.62, 6.18)	7.48 (4.14, 10.93)	7.41 (4.45, 10.46)	5.29 (2.29, 8.37)	8.02 (5.19, 10.92)
	0-64 ετών	.11 (-7.22, 8.02)	-.09 (-12.87, 14.56)	-1.69 (-11.44, 9.14)	9.52 (-.2, 20.18)	-.41(-10.95,11.38)	10.31 (1.82, 19.52)
	65-74 ετών	2.56 (-3.78, 9.32)	5.21 (-5.12, 16.67)	9.56 (0.98, 18.86)	9.93 (1.16, 19.46)	5.94 (-2.24, 14.8)	14.23 (7.24, 21.67)
	>75 ετών	5.64 (3.14, 8.21)	1.93 (-2.4, 6.45)	8.3 (4.36, 12.39)	6.87 (3.68, 10.16)	5.68 (2.34, 9.12)	6.37 (3.11, 9.74)

3.3.3. Εκτιμήσεις υψηλών θερμοκρασιών στους δήμους της Αθήνας

Τα ίδια μοντέλα που εφαρμόστηκαν στου 6 τομείς, εφαρμόστηκαν και για τους 42 δήμους της Αθήνας, μόνο με τα μετεωρολογικά δεδομένα από το σταθμό μέτρησης του Θησείου. Τα αποτελέσματα, ομαδοποιημένα και ανά τομέα, αναφέρονται αναλυτικά στον πίνακα 1 του παραρτήματος. Λόγω του μικρού αριθμού συμβάντων από αναπνευστικά αίτια σε κάθε δήμο, η ανάλυση περιορίστηκε μόνο στους θανάτους όλων των ηλικιακών ομάδων και στους θανάτους ατόμων ηλικίας άνω των 75 ετών, με αναπνευστική αιτία θανάτου.

Οι μεγαλύτερες επιδράσεις στην ολική θνησιμότητα για αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας κατά 1°C πάνω από τους 31.5°C, εκτιμήθηκαν για δήμους του κεντρικού, νότιου και τομέα Πειραιά με αύξηση πάνω από 4% (Αθήνα, Νέα Σμύρνη, Κερατσίνι-Δραπετσώνα). Αύξηση πάνω από 6% στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα εκτιμήθηκε για τους δήμους Παπάγου-Χολαργού, Κερατσινίου-Δραπετσώνας, Νέας Σμύρνης και Πετρούπολης. Η αύξηση της αναπνευστικής θνησιμότητας εκτιμήθηκε πολύ μεγαλύτερη, ακόμα και πάνω από 10% σε αρκετούς δήμους, ωστόσο η αύξηση αυτή είτε δε βρέθηκε στατιστικά σημαντική σε ε.σ.σ. 5% είτε το διάστημα εμπιστοσύνης της είναι αρκετά ευρύ με αποτέλεσμα οι εκτιμήσεις να μην είναι ακριβείς. Οι δήμοι αυτοί είναι: Άγιοι Ανάργυροι-Καματερό, Ίλιον, Άλιμος και Πεντέλη. Λαμβάνοντας υπόψη και την υγρασία στα μοντέλα, οι δήμοι με αύξηση πάνω από 6% στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα διαφοροποιούνται και είναι: Κερατσίνι-Δραπετσώνα, Αιγάλεω, Βάρη-Βούλα-Βουλιαγμένη και Νέα Σμύρνη. Αντίστοιχα, αύξηση πάνω από 10% στην αναπνευστική θνησιμότητα είχαν οι δήμοι: Κερατσίνι-Δραπετσώνα, Χαϊδάρι, Άλιμος, Πεντέλη, Γέρακας, Ίλιον και Βριλήσσια.

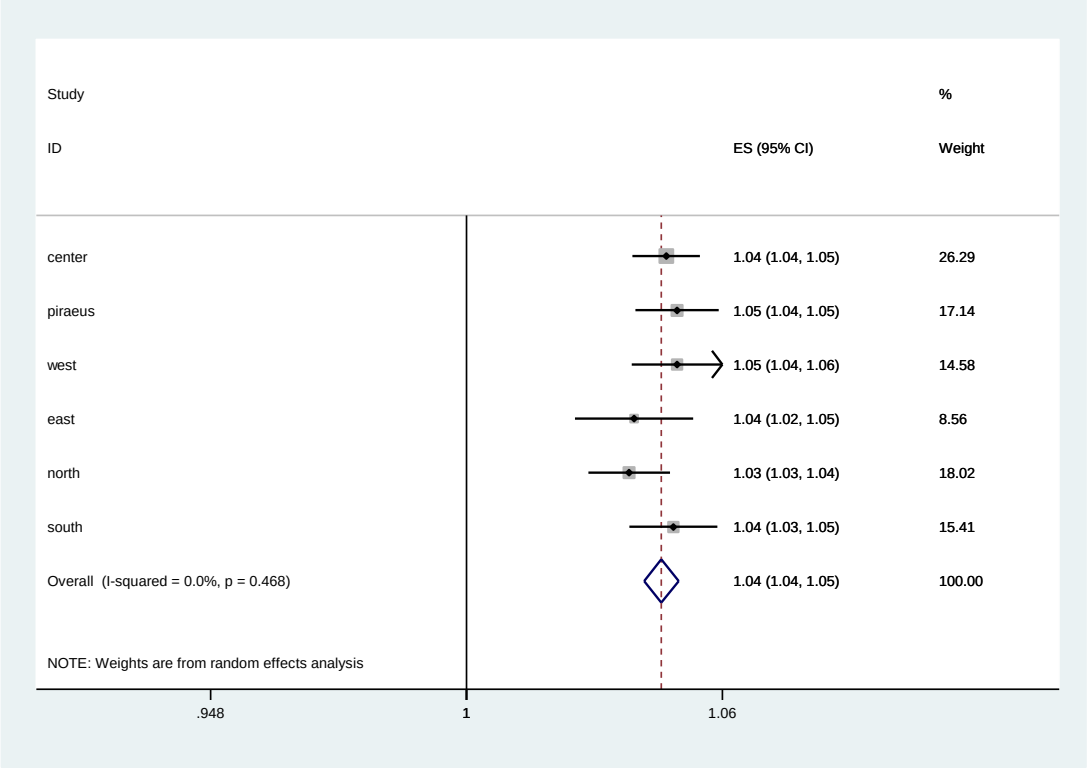
Για την θνησιμότητα από φυσικές αιτίες των άνω των 75, σημαντική αύξηση εκτιμήθηκε για το δήμο Αθηναίων και αρκετούς δήμους του δυτικού και νότιου τομέα. Η αντίστοιχη καρδιαγγειακή θνησιμότητα είναι αυξάνεται στους περισσότερους δήμους του ανατολικού τομέα αλλά και σε δήμους του νότιου και δυτικού όταν αυξάνεται και η θερμοκρασία και η αναπνευστική θνησιμότητα έδειξε να μεταβάλλεται αρκετά λόγω υψηλών θερμοκρασιών στους δήμους Αθηναίων, Περιστερίου, Ιλίου, Αλίμου, Πεντέλης, Π.Φαλήρου και Δραπετσώνας-Κερατσινίου.

3.4. Διερεύνηση της χωρικής διαφοροποίησης των εκτιμώμενων επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών

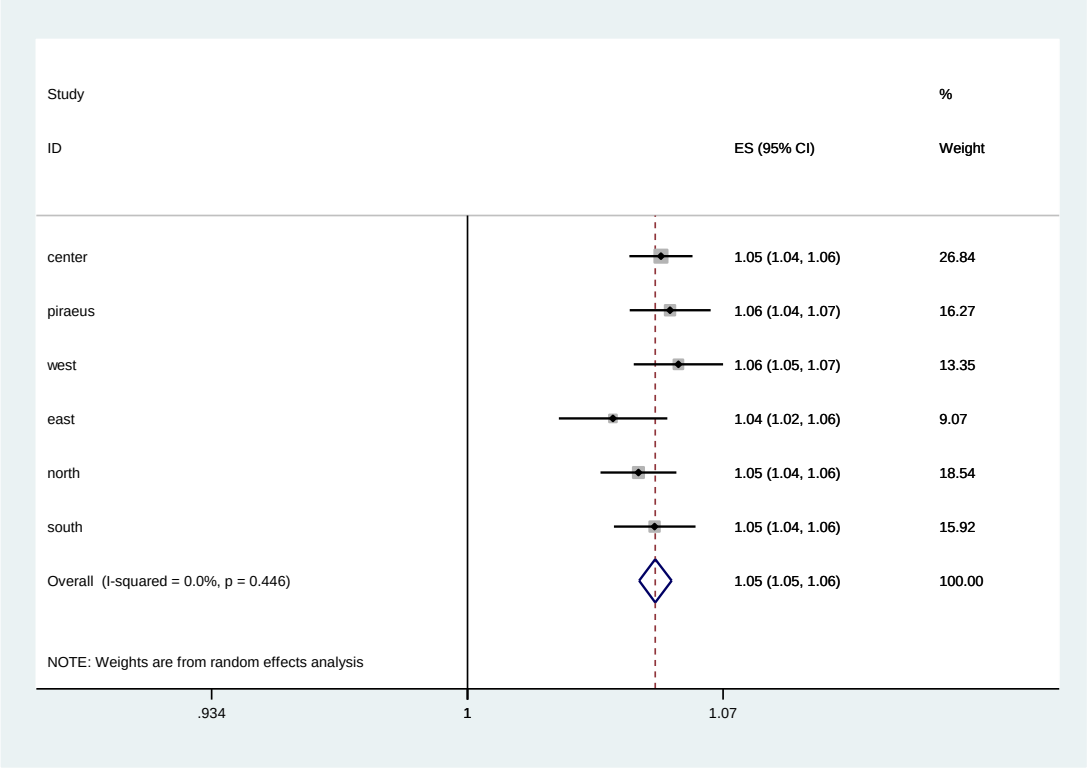
3.4.1. Διερεύνηση της χωρικής διαφοροποίησης των εκτιμώμενων επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στους τομείς της Αθήνας

Οι εκτιμώμενοι συντελεστές κάθε τομέα που αντιστοιχούν στο σχετικό κίνδυνο θνησιμότητας για 1°C αύξηση της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας πάνω από το αντίστοιχο κάθε φορά σημείο καμπής, όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με τις τιμές θερμοκρασίας από το σταθμό του Θησείου, μετα-αναλύθηκαν, υποθέτοντας μοντέλο τυχαίων επιδράσεων. Οι μετα-αναλύσεις έγιναν μόνο για τους συνολικούς θανάτους και για τους θανάτους ατόμων άνω των 75, για όλες τις φυσικές αιτίες, τις καρδιαγγειακές και τις αναπνευστικές. Από τις επιμέρους ηλικιακές κατηγορίες, επιλέχθηκαν μόνο οι ηλικιωμένοι άνω των 75 καθώς είναι ιδιαιτέρως ευάλωτοι πληθυσμοί και επηρεάζονται περισσότερο από τις υπόλοιπες ηλικιακές ομάδες από περιβαλλοντικές εκθέσεις, όπως οι ακραίες θερμοκρασίες. Τα αποτελέσματα φαίνονται στα παρακάτω δενδροδιαγράμματα.

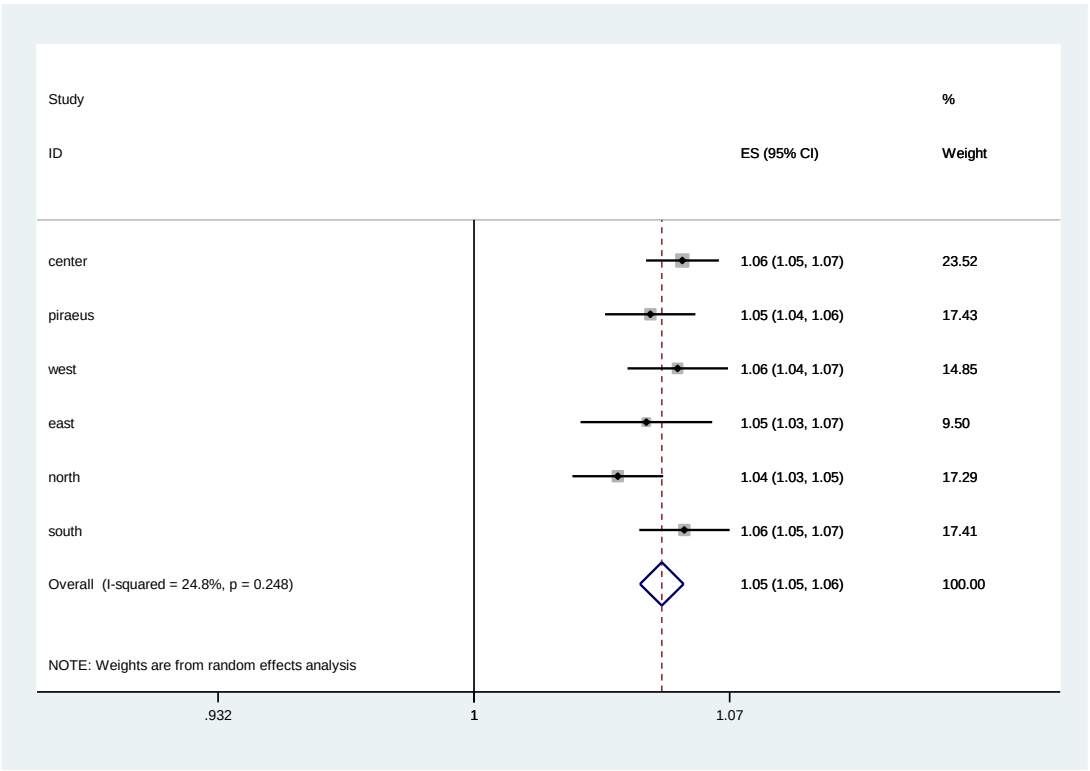
.



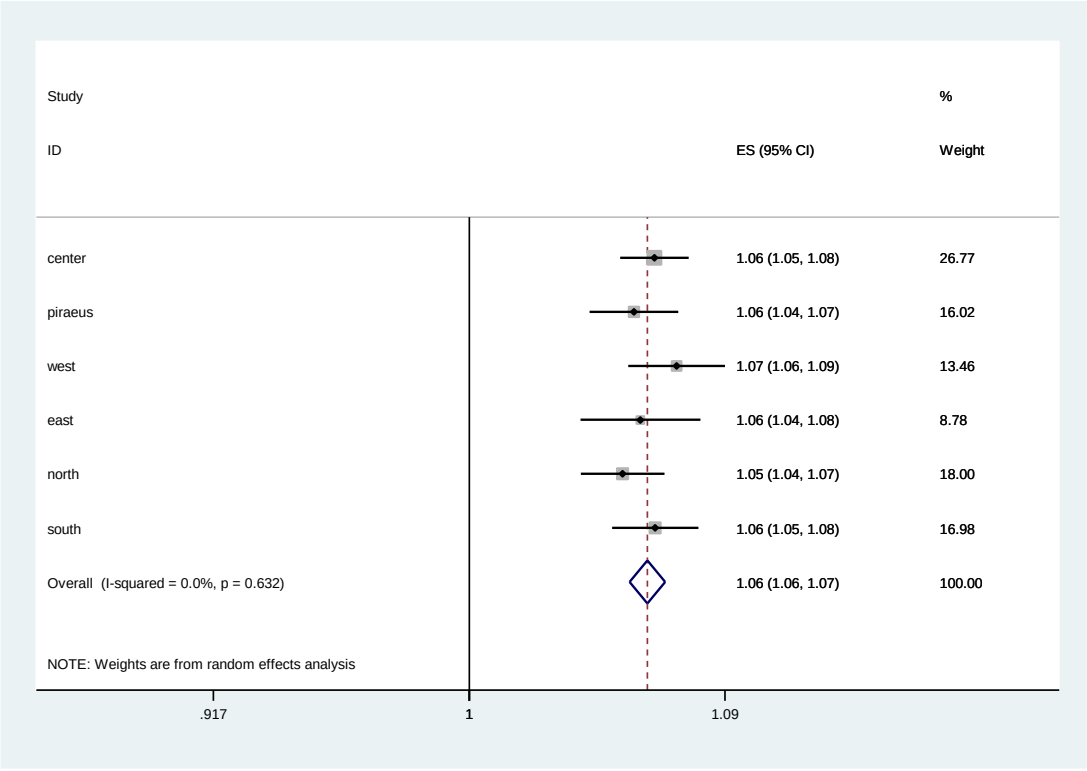
Γράφημα 1: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από φυσικά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



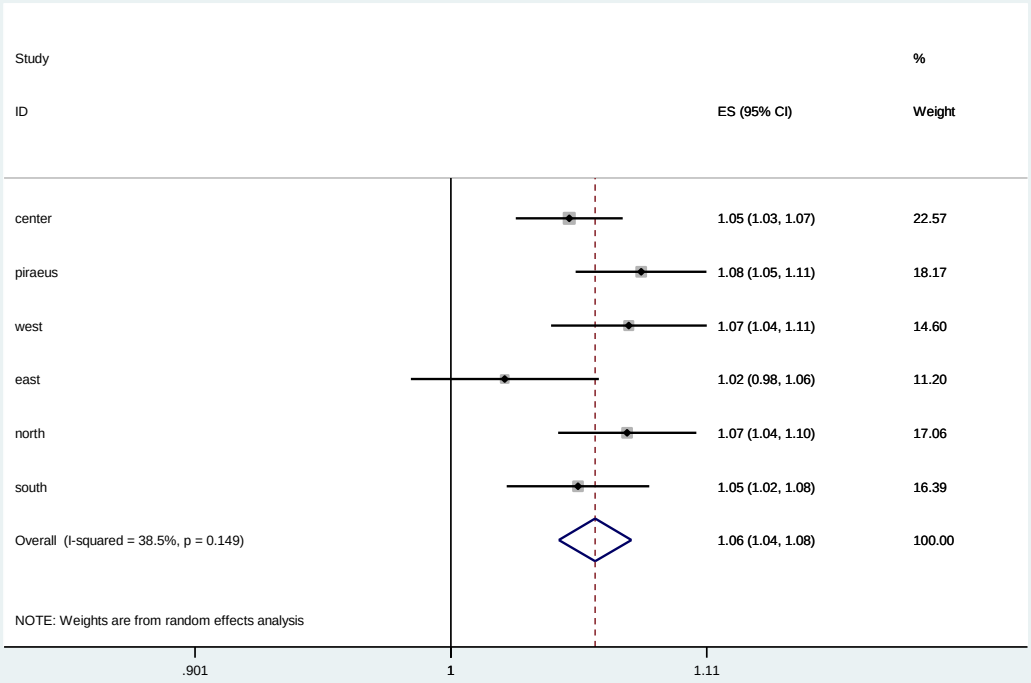
Γράφημα 2: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από φυσικά αίτια της ηλικιακής ομάδας των άνω των 75 ετών, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



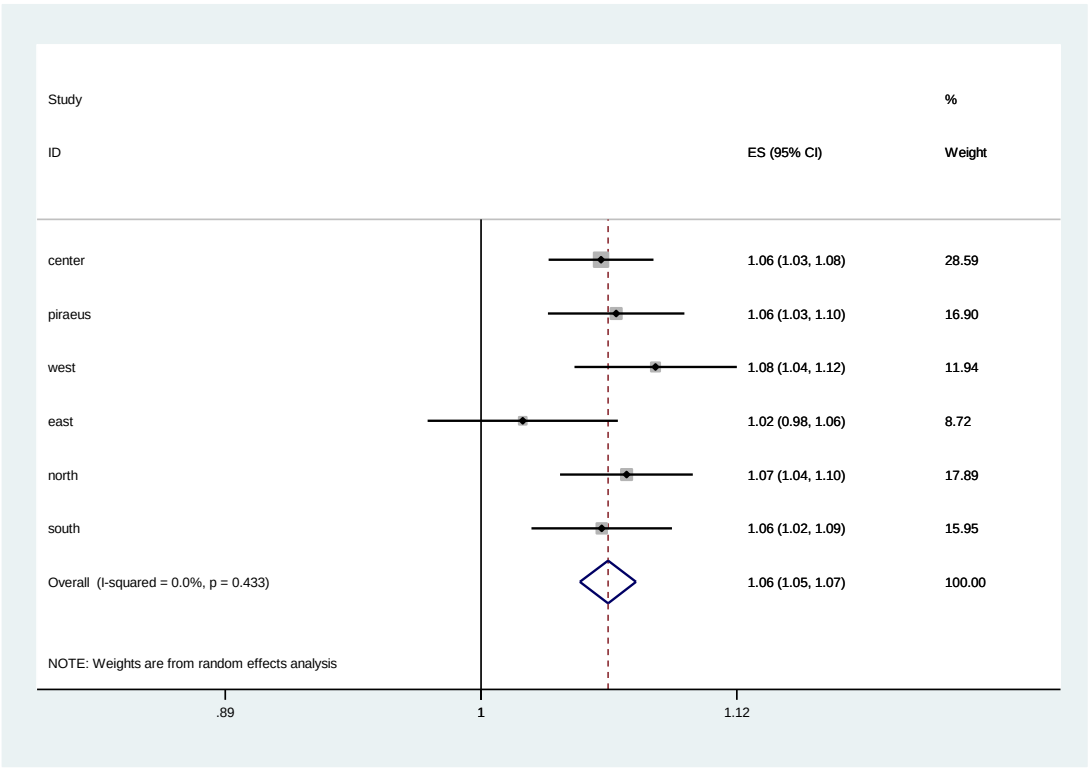
Γράφημα 3: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



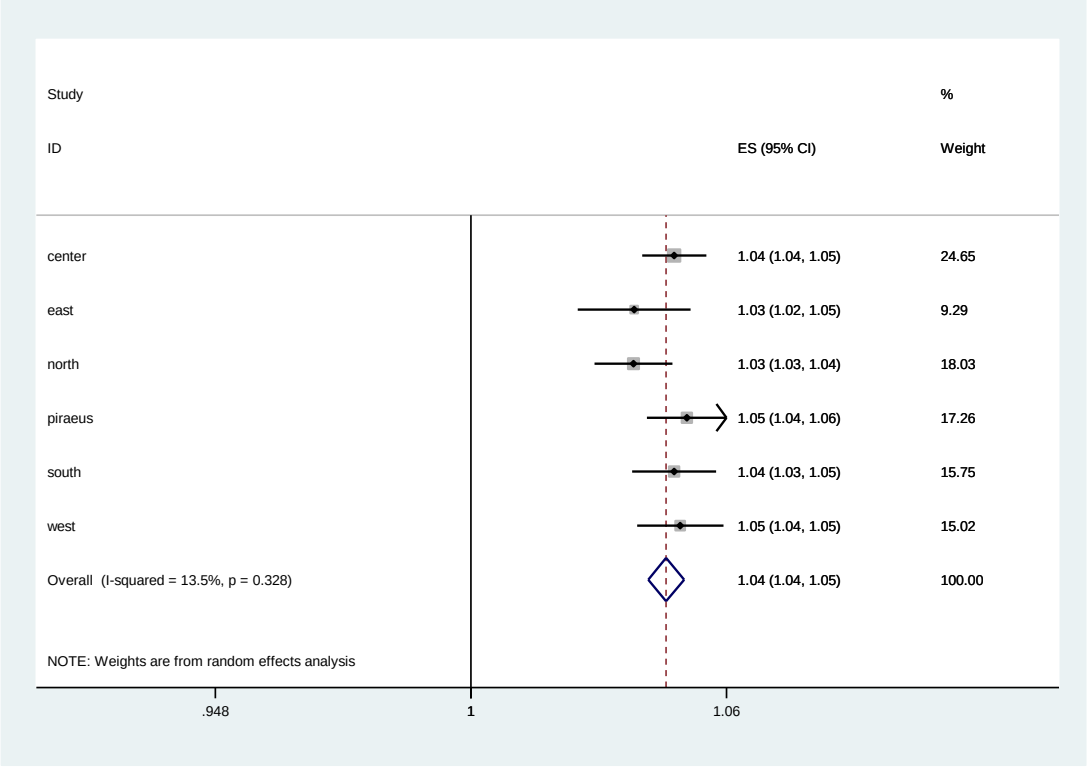
Γράφημα 4: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια της ηλικιακής ομάδας των άνω των 75 ετών, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



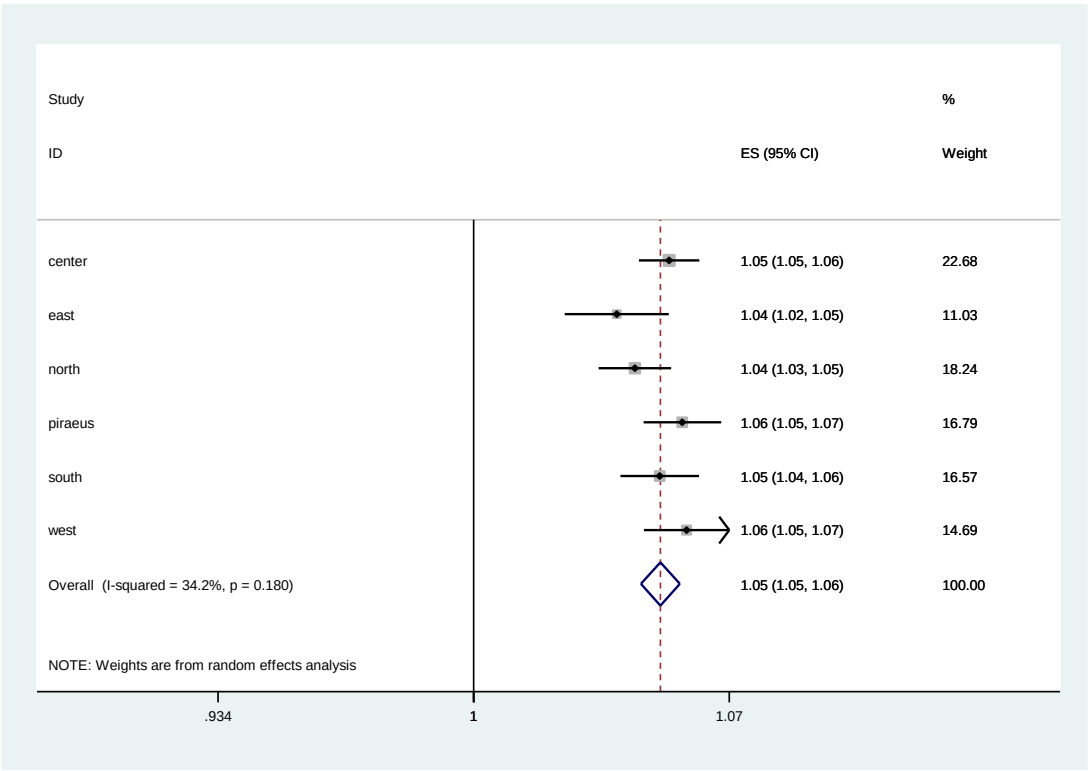
Γράφημα 5: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από αναπνευστικά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



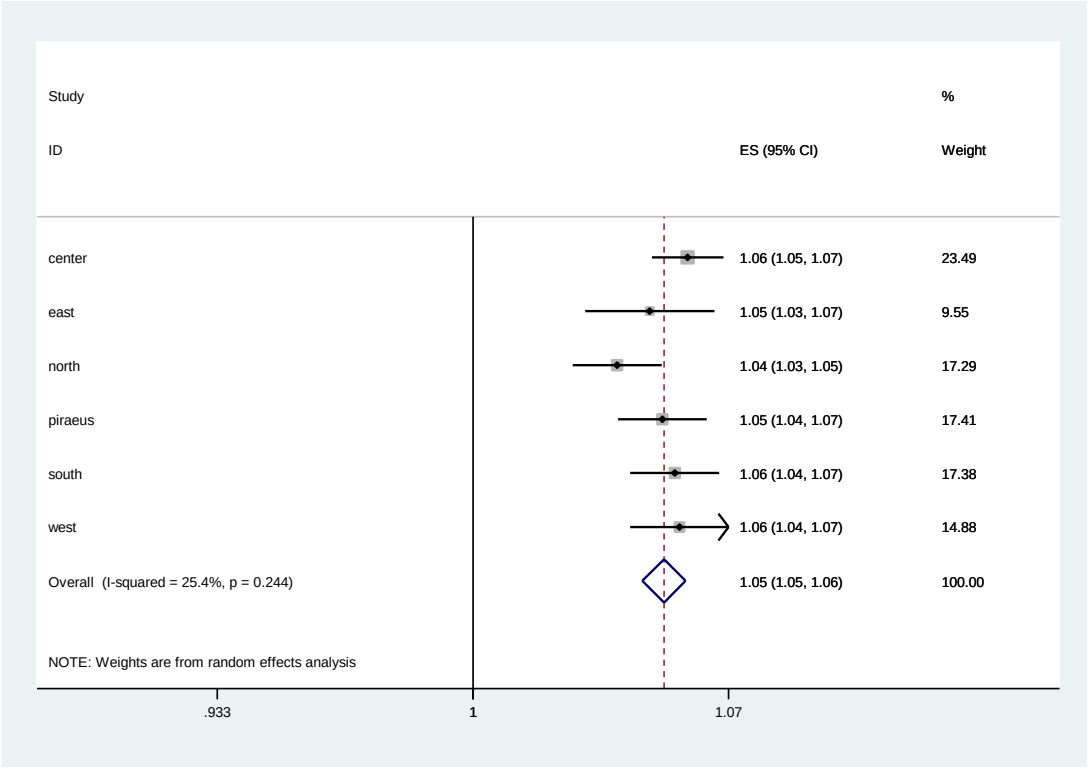
Γράφημα 6: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από αναπνευστικά αίτια της ηλικιακής ομάδας των άνω των 75 ετών, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



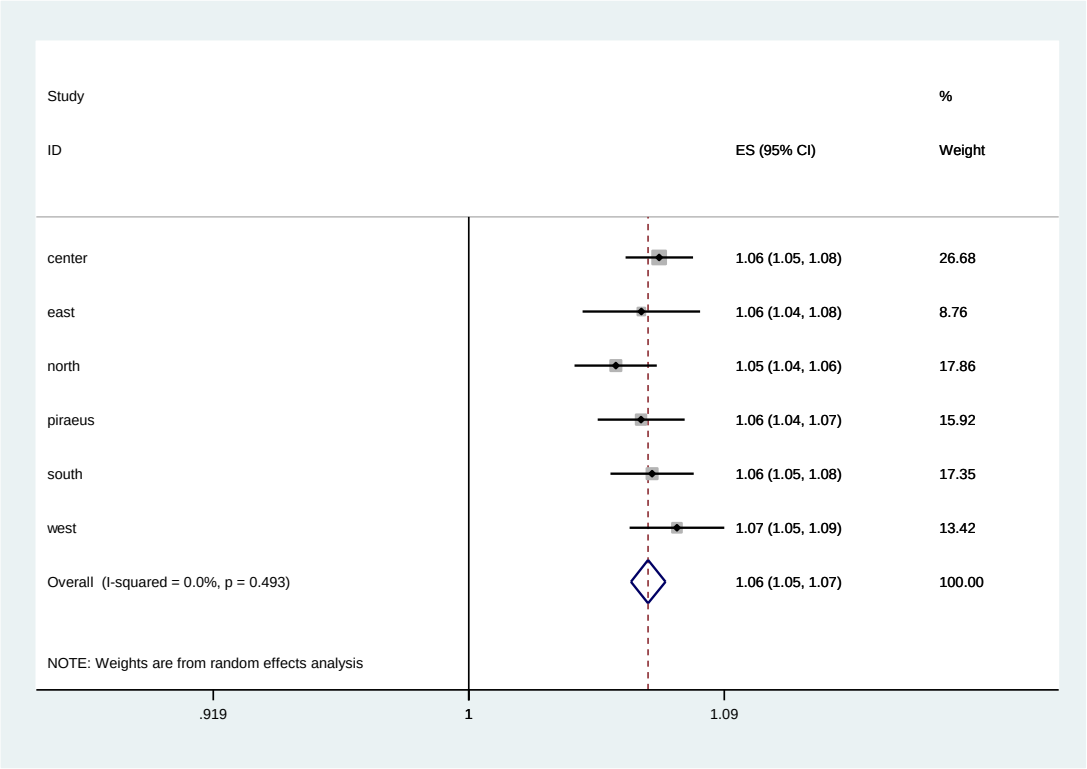
Γράφημα 7: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από φυσικά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



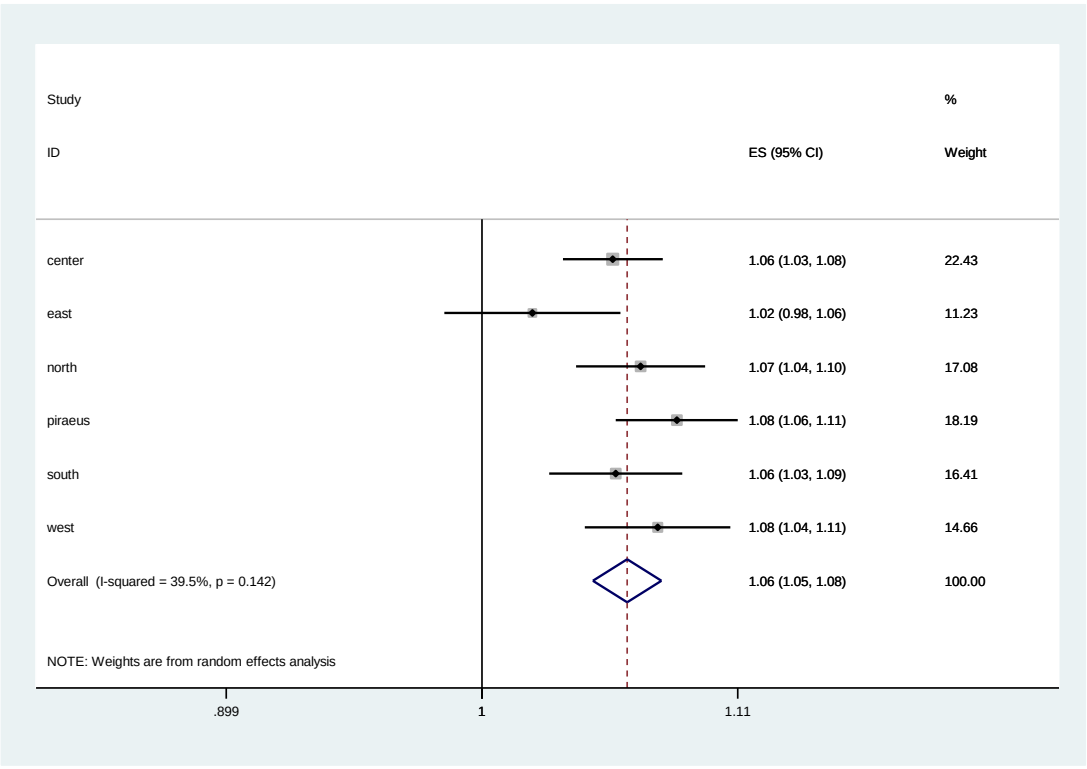
Γράφημα 8: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από φυσικά αίτια της ηλικιακής ομάδας των άνω των 75 ετών, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



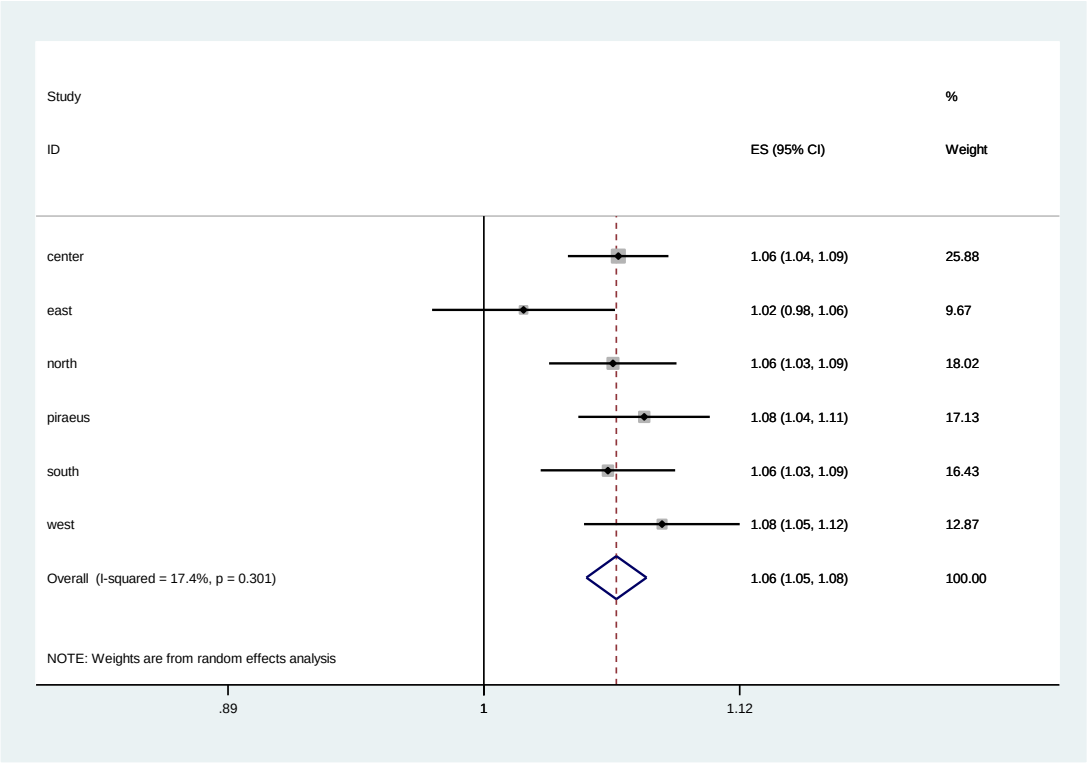
Γράφημα 9: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



Γράφημα 10: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια της ηλικιακής ομάδας των άνω των 75 ετών, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



Γράφημα 11: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από αναπνευστικά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



Γράφημα 12: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από αναπνευστικά αίτια της ηλικιακής ομάδας των άνω των 75 ετών, ανά τομέα της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 6 τομείς της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία,, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης

Παρατηρούμε πως τα αποτελέσματα των μετα-αναλύσεων των αποτελεσμάτων και των 2 μοντέλων που εφαρμόστηκαν, για τις διαφορετικές αιτίες θανάτου και ηλικιακές ομάδες, παρουσιάζουν ετερογένεια μεταξύ των τομέων. Στα μοντέλα που δεν εισήχθη ως επεξηγηματική μεταβλητή το ποσοστό σχετικής υγρασίας βρέθηκε μεγάλη ετερογένεια των επιδράσεων στην ολική θνησιμότητα των άνω των 75 και στην συνολική αναπνευστική θνησιμότητα που προσέγγιζε το 40%. Ο ανατολικός τομέας είχε τις χαμηλότερες ποσοστιαίες μεταβολές στη θνησιμότητα και ήταν αυτός στον οποίο ίσως θα μπορούσε να αποδοθεί περισσότερο η ετερογένεια που παρατηρήθηκε. Οι επιδράσεις στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα εμφάνισαν επίσης ετερογένεια, περίπου 25%, με το βόρειο τομέα να είναι αυτός με τις χαμηλότερες επιδράσεις. Όταν στα μοντέλα προστέθηκε η υγρασία, οι επιπτώσεις της θερμοκρασίας παρουσίασαν και πάλι μεγάλη ετερογένεια στη συνολική αναπνευστική θνησιμότητα (38,5%) και μέτρια στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα (25%). Αξιοσημείωτο είναι πως δε βρέθηκε ετερογένεια των επιπτώσεων στην ολική θνησιμότητα των άνω των 75 ετών στους 6 τομείς. Με βάση τις μετα-παλινδρομήσεις που έγιναν για διερεύνηση της παρατηρούμενης ετερογένειας των επιδράσεων δεν προέκυψε κάποια από τις χωρικές μεταβλητές να εξηγεί μέρος της ετερογένειας αυτής, πιθανώς λόγω του μικρού αριθμού των τομέων, και γι’ αυτό τα αποτελέσματα δεν παρουσιάζονται στην παρούσα εργασία.

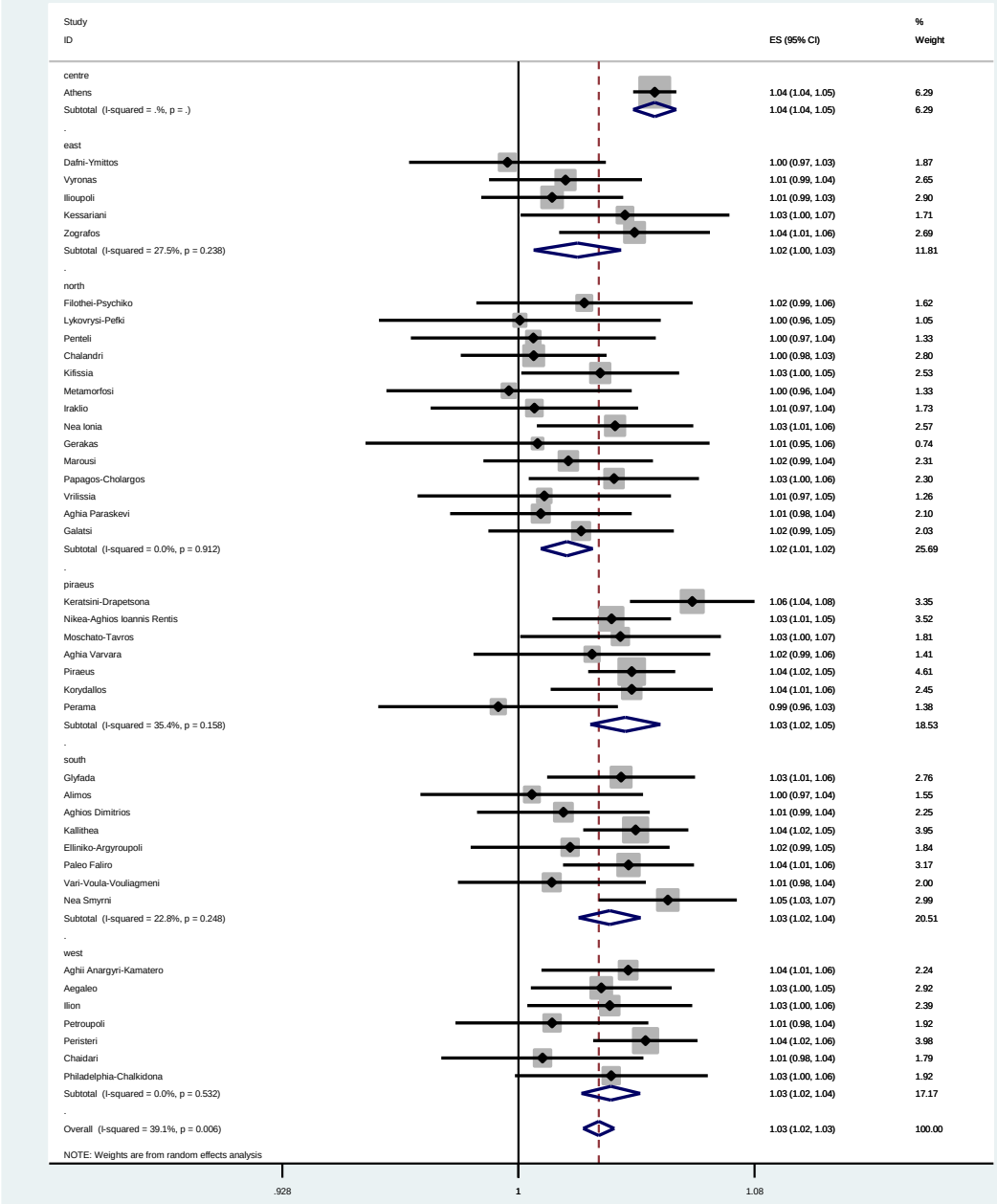
Ο συνθετικός δείκτης κάθε μιας μετα-ανάλυσης είναι στατιστικά σημαντικά μεγαλύτερος της μονάδας, κάτι το οποίο αναμέναμε καθώς σε όλους τους τομείς η αύξηση της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας είναι συνδεδεμένη με στατιστικά σημαντική αύξηση της ημερήσιας θνησιμότητας για τις ηλικιακές ομάδες που μετα-αναλύθηκαν.

3.4.2. Διερεύνηση της χωρικής διαφοροποίησης των εκτιμώμενων επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στους δήμους της Αθήνας

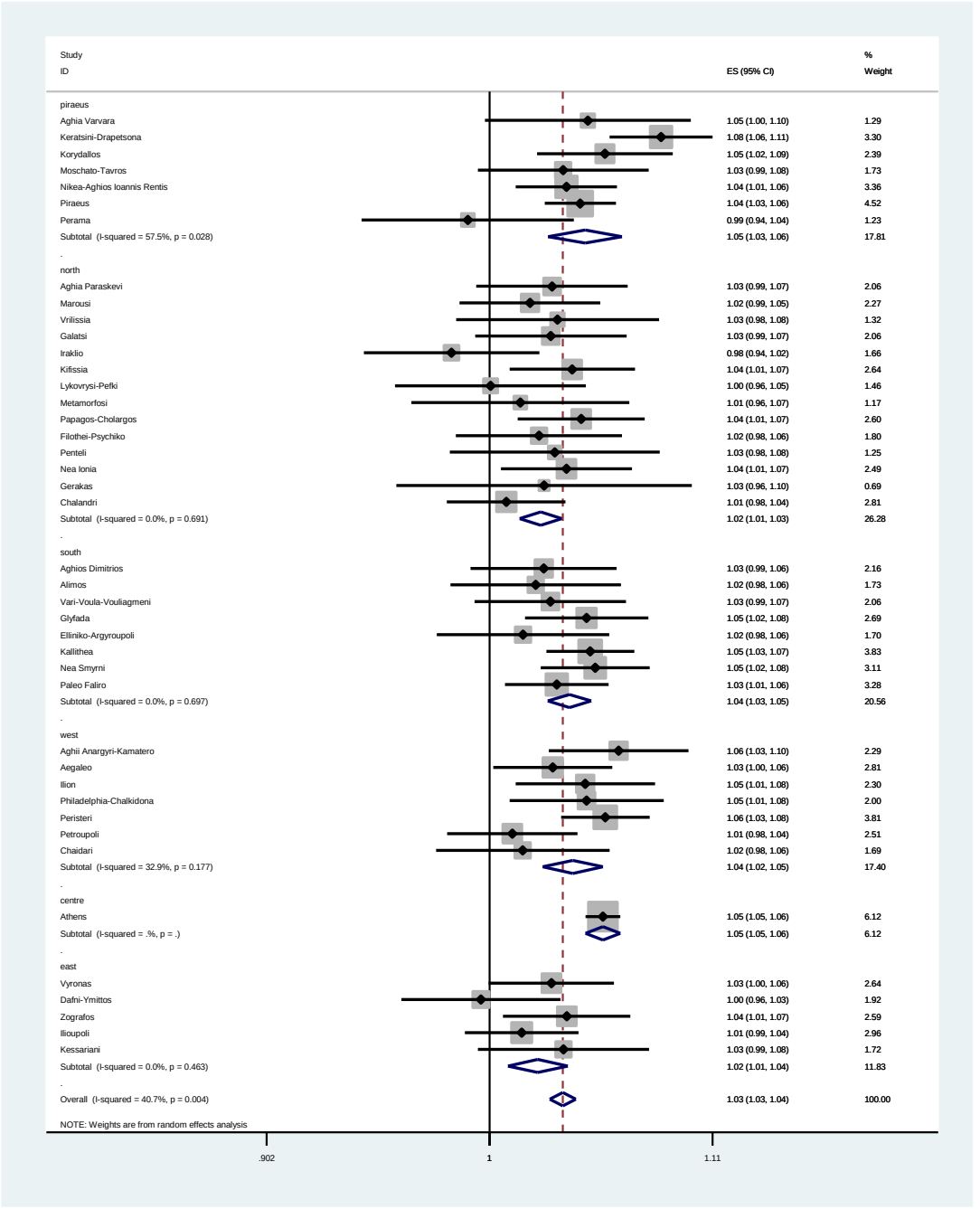
Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα δύο διαφορετικά μοντέλα μετα-αναλύθηκαν. Η μετα-ανάλυση περιορίστηκε στις επιδράσεις των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα των ατόμων όλων των ηλικιακών ομάδων αλλά και των άνω των 75, για όλες τις υπό μελέτη αιτίες θανάτου.

Μετα-ανάλυση αποτελεσμάτων από το μοντέλο χωρίς την υγρασία:

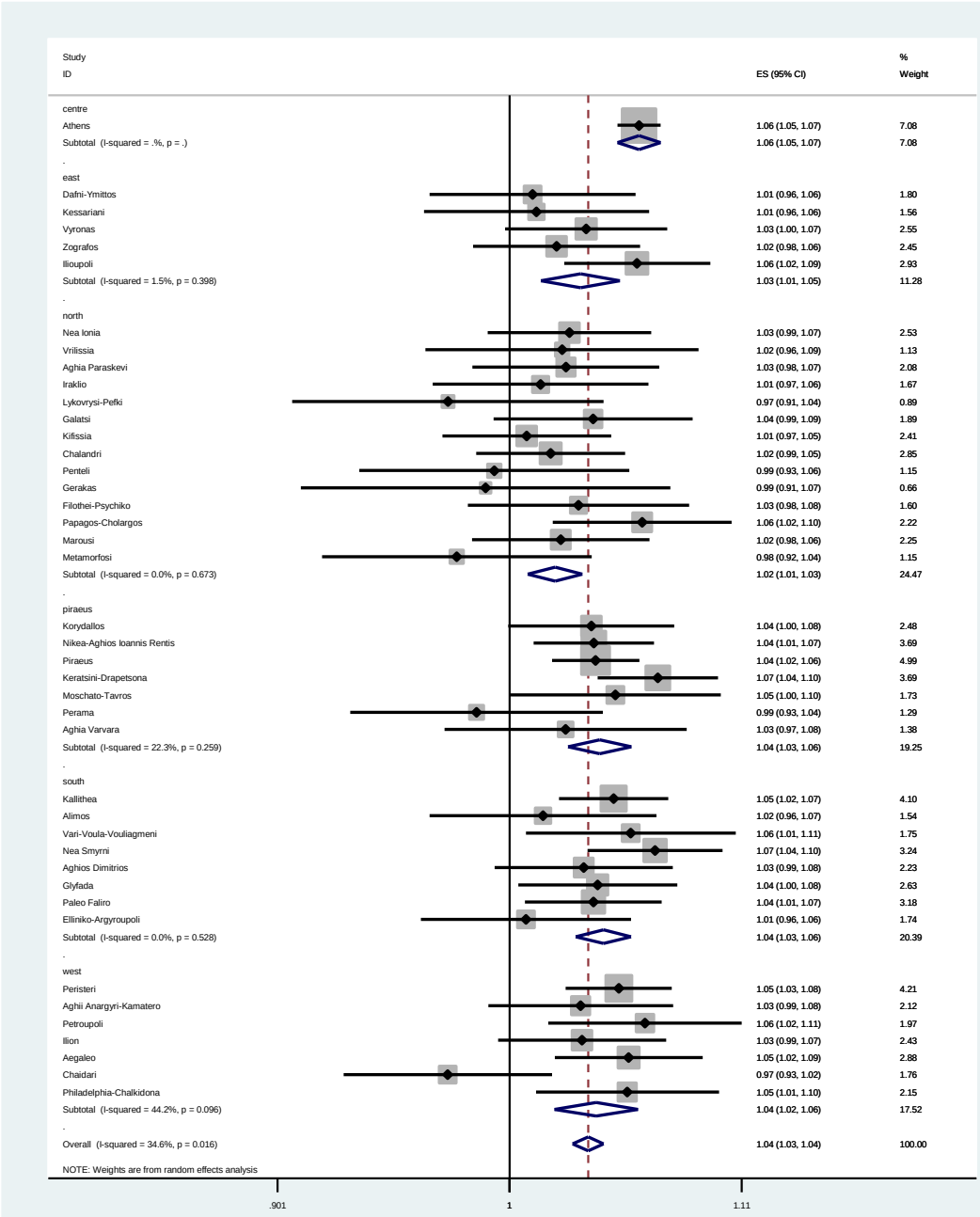
Στη συνέχεια απεικονίζονται τα διαγράμματα της μετα-ανάλυσης των εκτιμώμενων συντελεστών των μοντέλων (στην κλίμακα των RR (στήλη ES)) για κάθε επιπλέον °C πάνω από το threshold των 31.5°C που έγιναν ξεχωριστά για κάθε ένα από τους 42 συνολικά δήμους. Οι δήμοι είναι ομαδοποιημένοι στους 6 τομείς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας που έχουν ήδη οριστεί.



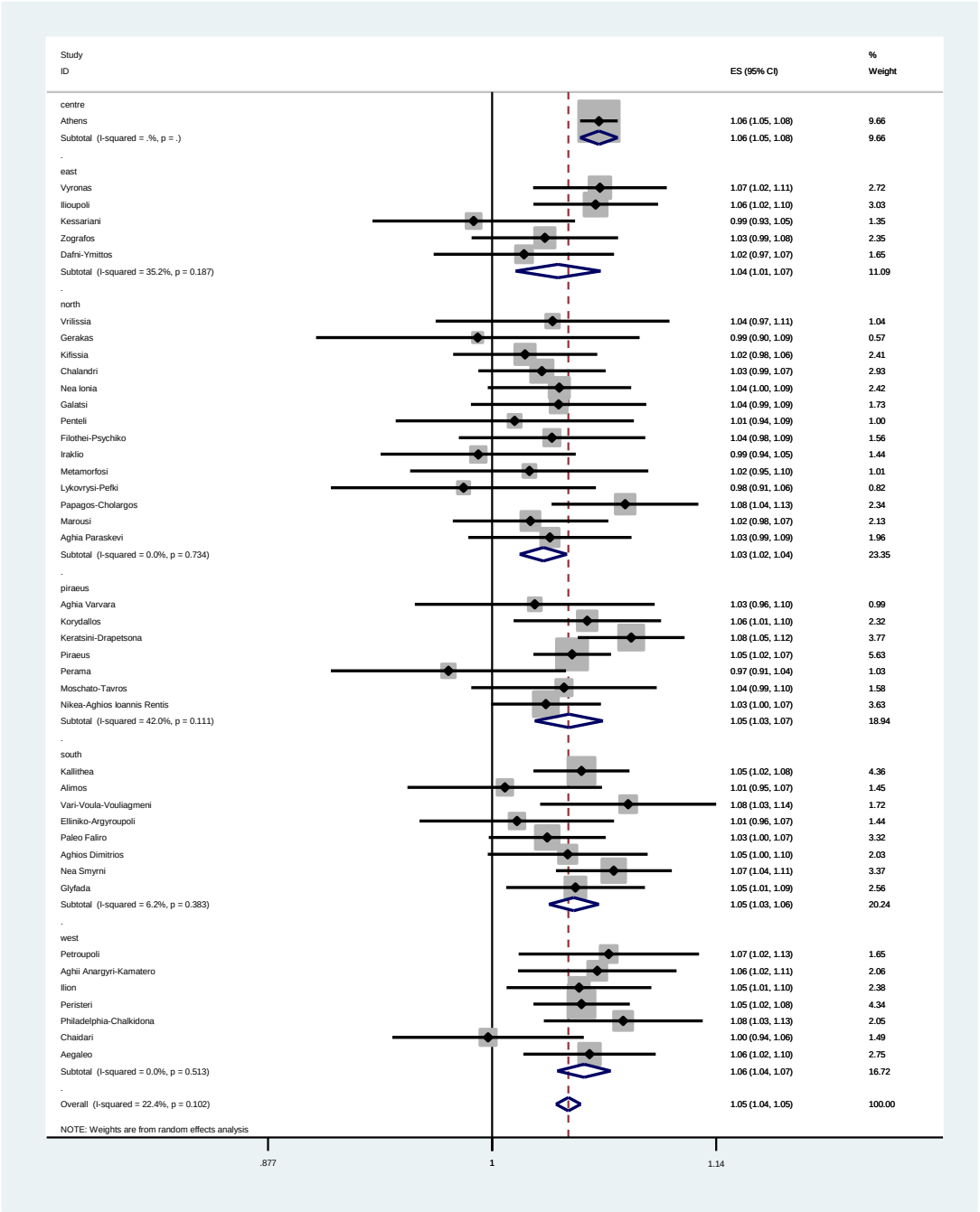
Γράφημα 13: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από φυσικά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



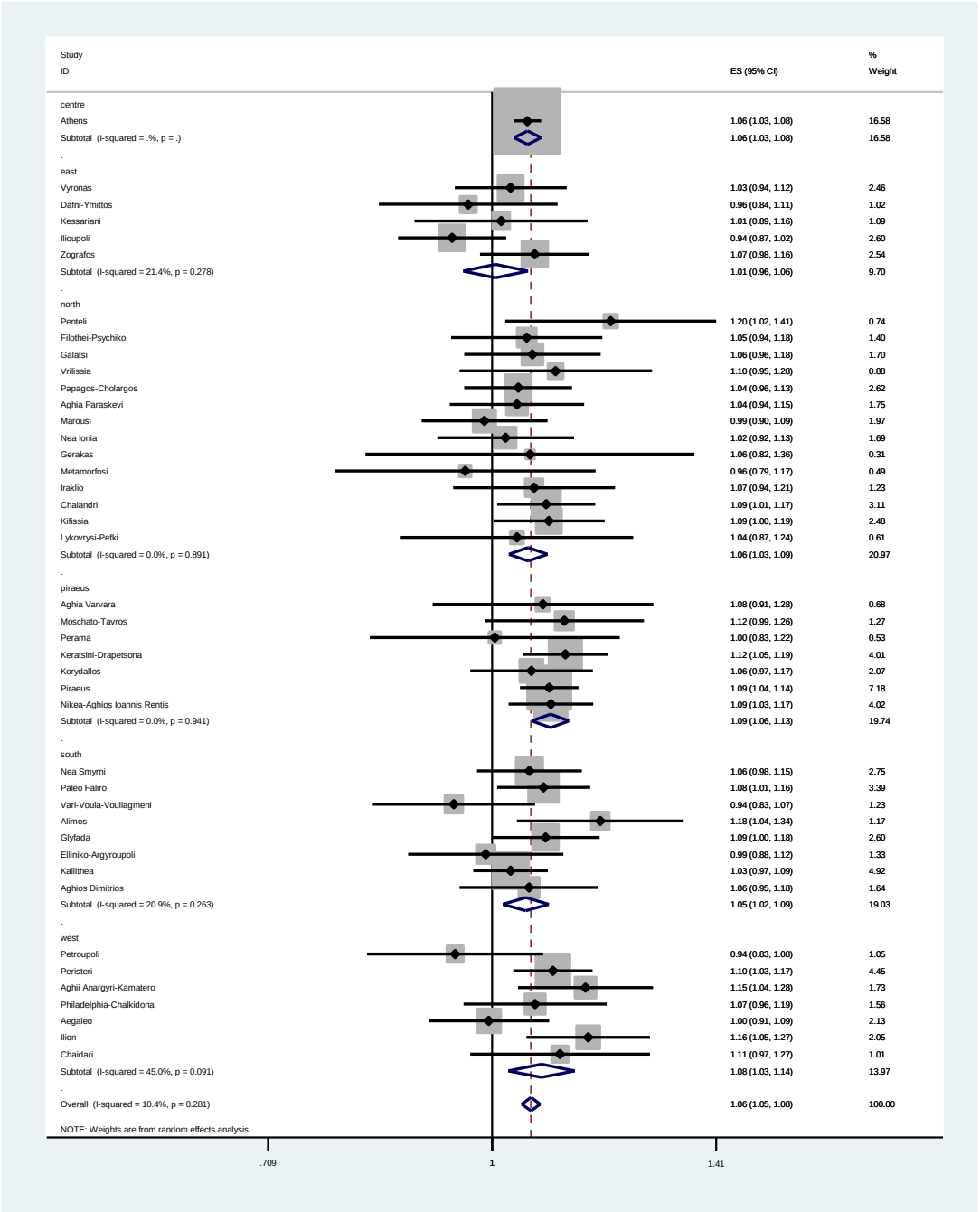
Γράφημα 14: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από φυσικά αίτια των άνω των 75 ετών, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



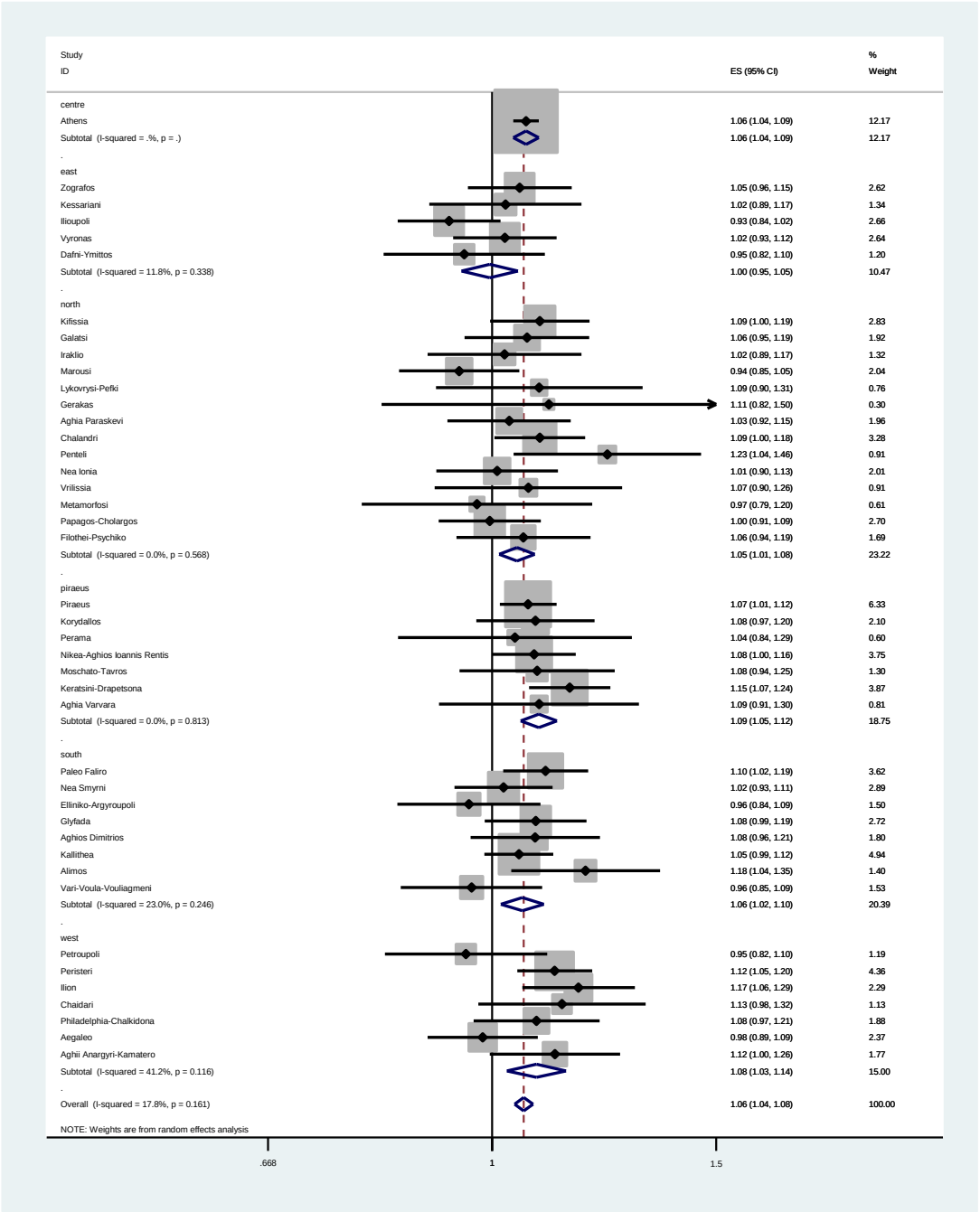
Γράφημα 15: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



Γράφημα 16: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια των άνω των 75 ετών, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



Γράφημα 17: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από αναπνευστικά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



Γράφημα 18: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από αναπνευστικά αίτια των άνω των 75 ετών, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης

Όπως φαίνεται από το συνολικό I^2 κάθε μιας μετα-ανάλυσης και του αντίστοιχου p-value, που αντιστοιχεί στο p-value του ελέγχου για την ύπαρξη της ετερογένειας, στατιστικά σημαντική ετερογένεια σε ε.σ.σ. 5% μεταξύ των εκτιμώμενων σχετικών κινδύνων για θάνατο στου διάφορους δήμους της Αθήνας βρέθηκε στην συνολική θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες (I^2=39.1%, pvalue=0.006), στην θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες για άτομα άνω των 75 ετών (I^2=40.7%,p-value=0.004) και στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα (I^2=34.6%, p-value=0.016).

Για τη διερεύνηση της παρατηρούμενης ετερογένειας εφαρμόστηκαν μοντέλα μετα-παλινδρόμησης, εισάγοντας κάθε φορά μία από τις εξής ανεξάρτητες μεταβλητές :

- ποσοστό κάλυψης γης από κτίρια (τετραγωνικά μέτρα)
- μήκος δρόμων (μέτρα)
- ποσοστό πρασίνου ανά τετραγωνικό μέτρο
- πυκνότητα πληθυσμού ανά τετραγωνικό χλμ
- έκταση περιοχής (τετραγωνικά χλμ)
- μέση τιμή όλων των ετών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών του αντίστοιχου τομέα (°C)
- μέση τιμή όλων των ετών των μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών του αντίστοιχου τομέα(°C)

Στους παρακάτω πίνακες (19-21) παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετα-παλινδρομήσεων και επισημαίνονται οι μεταβλητές που βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές και συνεπώς εξηγούν την ετερογένεια ή μέρος αυτής. Επιπλέον, αναφέρεται και το μέτρο I^2 ετερογένειας που προκύπτει μετά την εισαγωγή κάθε μίας μεταβλητής στο αντίστοιχο μοντέλο μετα-παλινδρόμησης.

Για τους τροποποιητές επίδρασης οι οποίοι βρέθηκαν στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο 5% και φαίνεται να εξηγούν ικανοποιητικό ποσοστό της χωρικής ετερογένειας των αποτελεσμάτων μεταξύ των δήμων, υπολογίστηκαν τα αναμενόμενα ποσοστά μεταβολής θνησιμότητας με βάση τα μοντέλα μετα-παλινδρόμησης, στο 25ο και 75ο τεταρτημόριο της κατανομής κάθε μεταβλητής (p25 και p75 αντίστοιχα). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στους παρακάτω πίνακες (Πίνακας 19-1,20-1,21-1).

Πίνακας 19: Αποτελέσματα μετα-παλινδρόμησης για τη διερεύνηση της χωρικής ετερογένειας των επιδράσεων της αύξησης της θερμοκρασίας στη συνολική θνησιμότητα από κάθε φυσική αιτία των δήμων της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (μοντέλο χωρίς υγρασία)

	Συντελεστής	**p-value**	**95% ΔΕ**	**I^2**
% κάλυψης γης*	0.0006473	0.001	0.0002647, 0.0010299	14.56%
μήκος δρόμων(m)*	0.0000000254	0.002	0.00000001, 0.00000004	14.11%
%πρασίνου/m^2	0.0001382	0.636	-0.000434, 0.0007108	37.95%
πυκνότητα πληθυσμού /km^{2*}	0.000001690	<0.001	0.00000106, 0.00000232	0.00%
έκταση περιοχής (km)	0.0002568	0.274	-0.000203, 0.0007169	27.81%
Μέση θερμοκρασία	0.0070939	0.054	-0.000135, 0.014323	25.80%
Μέγιστη θερμοκρασία*	0.0083119	0.029	0.0008542, 0.0157697	23.13%

*οι στατιστικά σημαντικές μεταβλητές που εξηγούν την ετερογένεια

Πίνακας 19-1: Διερεύνηση του ρόλου των τροποποιητών επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών στη συνολική ολική θνησιμότητα[1]

	25ο τεταρτημόριο	**75ο τεταρτημόριο**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p25 (95% ΔΕ)**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p75 (95% ΔΕ)**
% κάλυψη γης από κτίρια/m²	11.35	30.45	1.9 (1.3-2.6)	3.2 (2.7-3.7)
μήκος δρόμων (m)	78222	174842	2.3 (1.8-2.8)	2.6 (2.2-3)
πυκνότητα πληθυσμού/km²	5244	12953	1.9 (1.4-2.5)	3.2 (2.9-3.6)
μέγιστη θερμοκρασία °C	26.1	27.2	2.1 (1.4-2.8)	3 (2.5-3.6)

Η ετερογένεια των επιδράσεων της θερμοκρασίας στη συνολική θνησιμότητα στους 42 δήμους εξηγείται από το ποσοστό κάλυψης γης από κτίρια, το μήκος των δρόμων, την πυκνότητα πληθυσμού που φαίνεται να εξηγεί το μεγαλύτερο μέρος της ετερογένειας (I^2=0%), και τη μέγιστη θερμοκρασία που επικρατεί κατά μέσο όρο στον τομέα που ανήκει. Δήμοι με ποσοστό κάλυψης γης από κτίρια περίπου 30% έχουν αυξημένη μεταβολή στη θνησιμότητα κατά 1.3% περίπου σε σχέση με δήμους με ποσοστό 12%. Παρόμοια επίδραση φαίνεται να έχει και η πυκνότητα πληθυσμού κάτι το οποίο μπορεί να αποδοθεί στον υψηλό βαθμό συσχέτισης των παραγόντων αυτών. Μικρότερη επίδραση έχει το μήκος των δρόμων στους δήμους, με μικρή μεταβολή στα ποσοστά θνησιμότητα ακόμα και για διπλασιασμό του συνολικού μήκους των δρόμων.

[1] Ποσοστιαία αύξηση στη θνησιμότητα για κάθε βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C για ένα δήμο με επίπεδα που αντιστοιχούν στο 25ο και 75ο τεταρτημόριο της κατανομής του τροποποιητή επίδρασης

Πίνακας 20:Αποτελέσματα μετα-παλινδρόμησης για τη διερεύνηση της χωρικής ετερογένειας των επιδράσεων της αύξησης της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα από κάθε φυσική αιτία άνω των 75, των δήμων της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (μοντέλο χωρίς υγρασία)

	Συντελεστής	**p-value**	**95% ΔΕ**	**I^2**
% κάλυψης γης	0.000499	0.066	-0.000033, 0.001031	29.91%
μήκος δρόμων(m)*	0.00000003	0.013	0.00000001, 0.00000005	23.30%
%πρασίνου/m^2	-0.000032	0.929	-0.000736, 0.0006719	41.34%
πυκνότητα πληθυσμού /km^{2*}	0.00000126	0.016	0.00000024, 0.00000228	25.10%
έκταση περιοχής (km)	0.000411	0.159	-0.000161, 0.000983	29.95%
Μέση θερμοκρασία	0.0050526	0.294	-0.004377, 0.0144819	34.61%
Μέγιστη θερμοκρασία	0.0062369	0.215	-0.003629, 0.0161023	32.98%

*στατιστικά σημαντικές μεταβλητές που εξηγούν την ετερογένεια

Πίνακας 20-1: Διερεύνηση του ρόλου των τροποποιητών επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών στην ολική θνησιμότητα άνω των 75 ετών[2]

	25ο τεταρτημόριο	**75ο τεταρτημόριο**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p25 (95% ΔΕ)**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p75(95% ΔΕ)**
μήκος δρόμων (m)	78222	174842	3.1 (2.5-3.8)	3.4 (2.9-4)
πυκνότητα πληθυσμού/km²	5244	12953	2.9 (2.1-3.7)	3.9 (3.3-4.5)

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα, το μήκος των δρόμων και η πυκνότητα πληθυσμού φαίνεται να εξηγούν μέρος της ετερογένειας των διαφορετικών επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα από φυσικές αιτίες των ατόμων άνω των 75 των δήμων της Αθήνας. Δήμοι με περισσότερους δρόμους και κυρίως μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού είναι περισσότερο επιβαρυμένοι και ευάλωτοι στις υψηλές θερμοκρασίες.

[2] Ποσοστιαία αύξηση στη θνησιμότητα για κάθε βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C για ένα δήμο με επίπεδα που αντιστοιχούν στο 25ο και 75ο τεταρτημόριο της κατανομής του τροποποιητή επίδρασης

Πίνακας 21:Αποτελέσματα μετα-παλινδρόμησης για τη διερεύνηση της χωρικής ετερογένειας των επιδράσεων της αύξησης της θερμοκρασίας στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα των δήμων της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (μοντέλο χωρίς υγρασία)

	Συντελεστής	**p-value**	**95% ΔΕ**	**I^2**
% κάλυψης γης*	0.0009499	0.001	0.0004018, 0.001498	10.54%
μήκος δρόμων(m)*	0.0000000315	0.007	0.0000000086, 0.0000000545	13.42%
%πρασίνου/m^2	0.0001202	0.777	-0.000713, 0.0009534	34.04%
πυκνότητα πληθυσμού /km^{2*}	0.00000213	0.00	0.00000114,0.00000312	3.47%
έκταση περιοχής (km)	0.0001206	0.727	-0.000556, 0.0007969	27.18%
Μέση θερμοκρασία*	0.0114408	0.025	0.0014297, 0.0214518	18.84%
Μέγιστη θερμοκρασία*	0.0130216	0.013	0.0027409, 0.0233023	16.39%

* στατιστικά σημαντικές μεταβλητές που εξηγούν την ετερογένεια

Πίνακας 21-1: Διερεύνηση του ρόλου των τροποποιητών επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα[3]

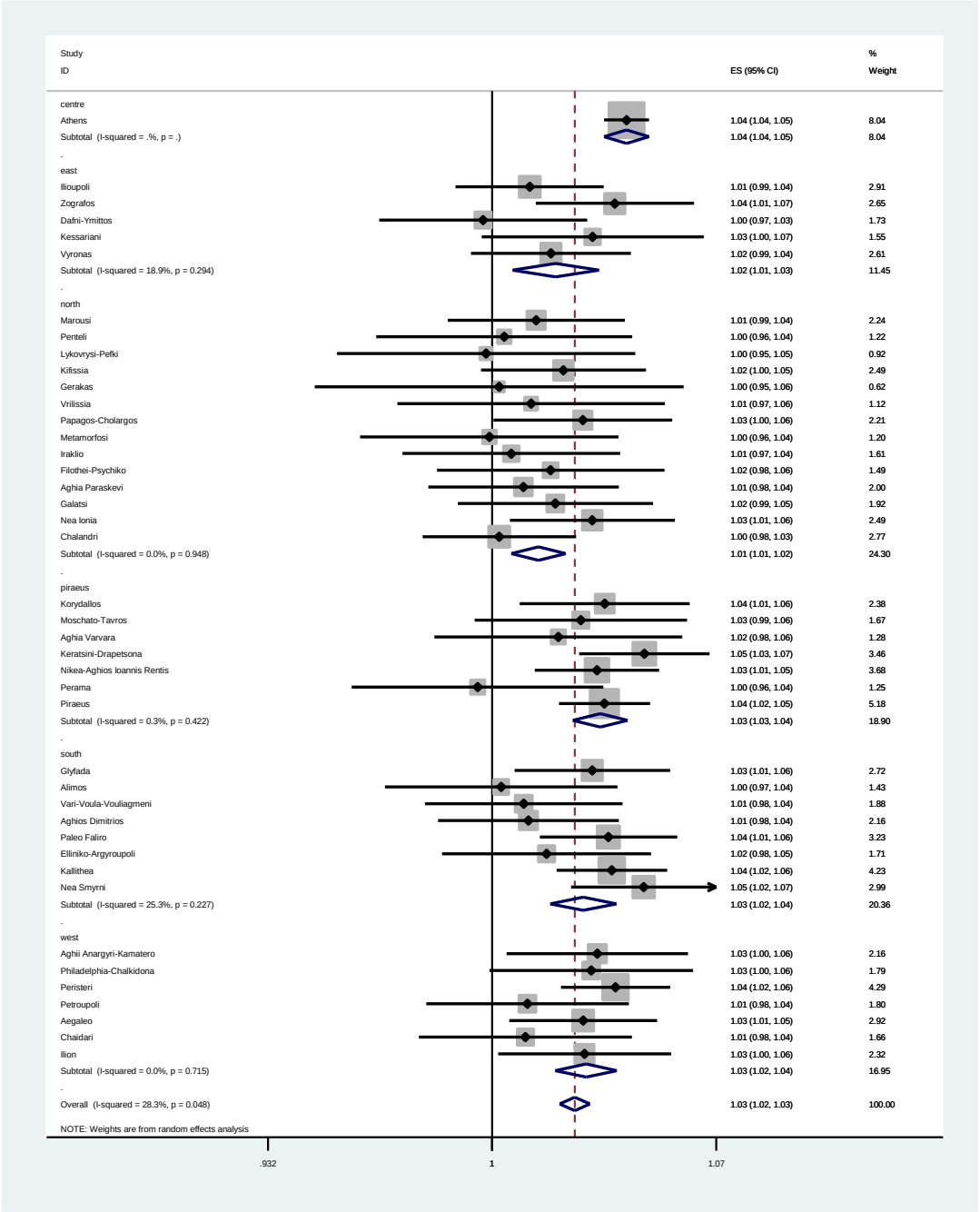
	25ο τεταρτημόριο	**75ο τεταρτημόριο**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p25 (95% ΔΕ)**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p75 (95% ΔΕ)**
% κάλυψη γης από κτίρια/m²	11.35	30.45	2.6 (1.7-3.6)	4.5 (3.8-5.2)
μήκος δρόμων (m)	78222	174842	3.3 (2.5-4)	3.6 (2.9-4.2)
πυκνότητα πληθυσμού/km²	5244	12953	2.7 (1.8-3.5)	4.4 (3.8-4.9)
μέση θερμορκασία °C	21.8	22.9	3 (2-3.9)	4.3 (3.5-5)
μέγιστη θερμοκρασία °C	26.1	27.2	2.8 (1.8-3.8)	4.3 (3.5-5.1)

Δήμοι με μεγάλο ποσοστό κάλυψης γης από κτίρια, πολλούς δρόμους, μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού, υψηλές θερμοκρασίες τομέα κατά μέσο όρο τείνουν να έχουν μεγαλύτερες κατά μέσο όρο αυξήσεις στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα. Μάλιστα, η πυκνότητα πληθυσμού εξηγεί αρκετά μεγάλο μέρος της ετερογένειας καθώς το I^2 της ετερογένειας είναι 3.5% μετά από τον έλεγχο του παράγοντα αυτού. Μάλιστα ο διπλασιασμός της πυκνότητας σχετίζεται με αυξημένα ποσοστά θνησιμότητας κατά περίπου 2%. Οι διαφορές στα ποσοστά θνησιμότητας μεταξύ δήμων με επίπεδα των τροποποιητών επίδρασης που αντιστοιχούν στο 25^{ο} και 75^{ο} τεταρτημόριο της κατανομής τους εκτιμώνται περίπου 1.5% , εκτός από την επίδραση του μήκους των δρόμων η οποία είναι αρκετά μικρότερη.

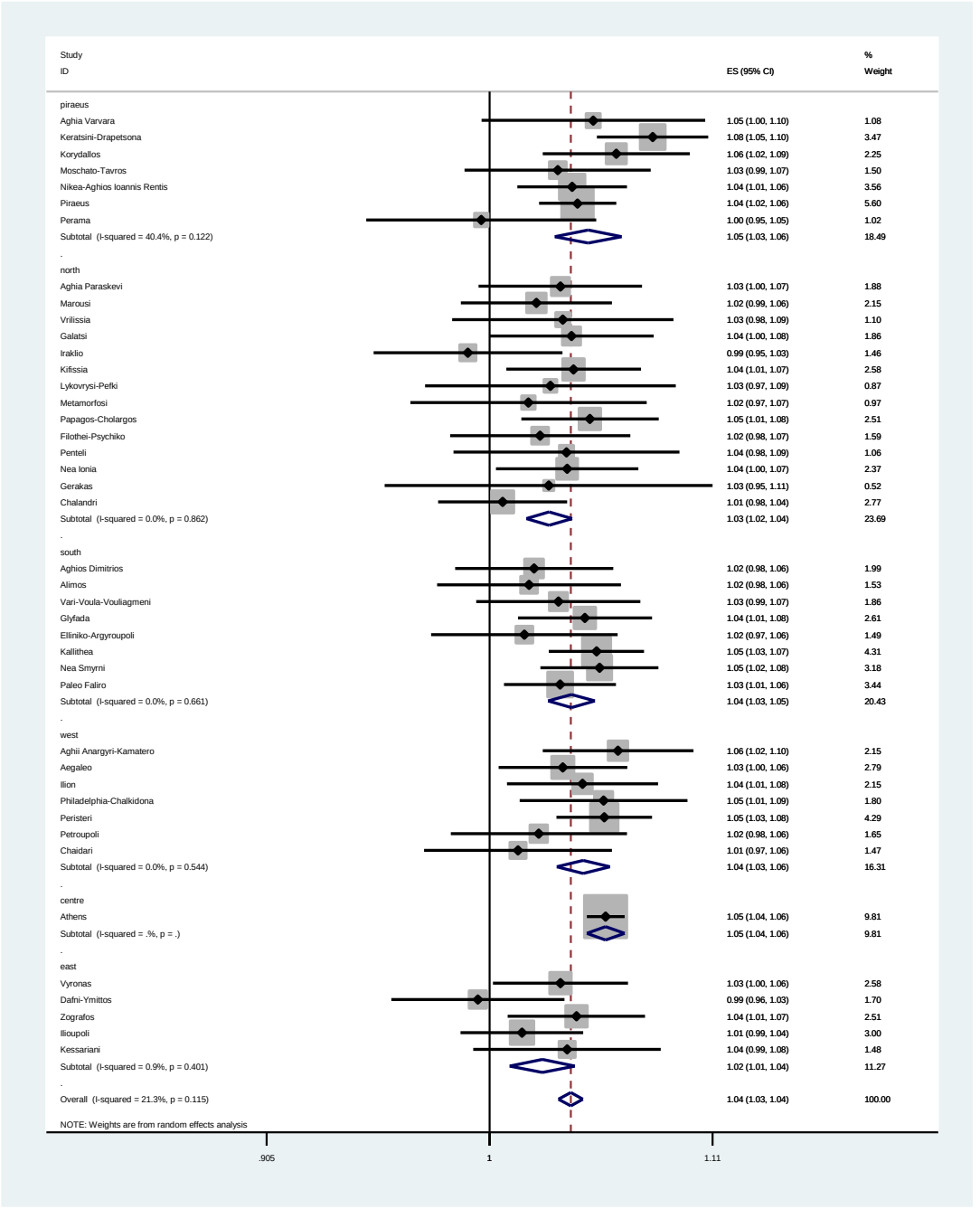
[3] Ποσοστιαία αύξηση στη θνησιμότητα για κάθε βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C για ένα δήμο με επίπεδα που αντιστοιχούν στο 25ο και 75ο τεταρτημόριο της κατανομής του τροποποιητή επίδρασης

Μετα-ανάλυση αποτελεσμάτων από το μοντέλο με την υγρασία:

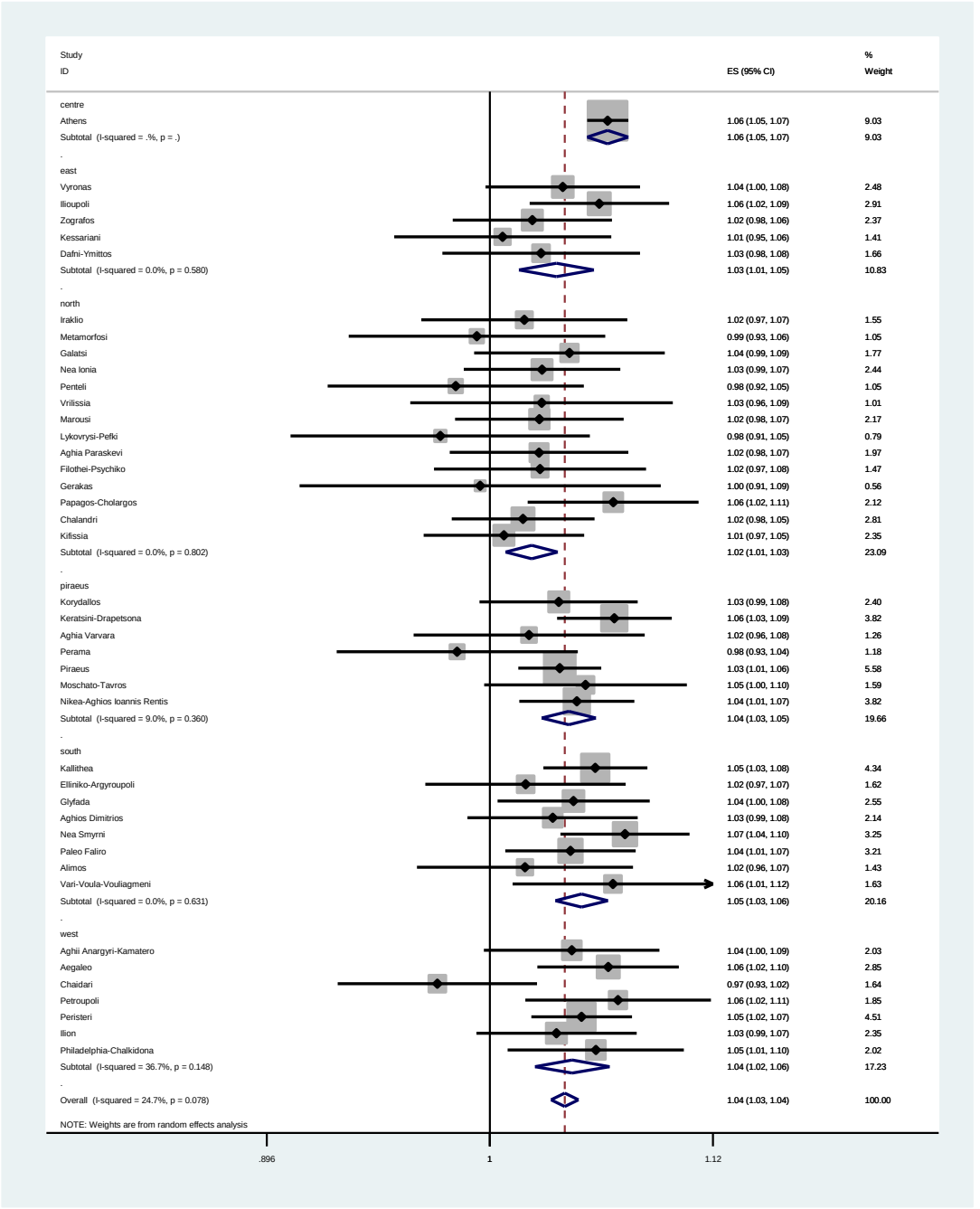
Κατά αντιστοιχία με τα προηγούμενα αποτελέσματα, μετα-αναλύθηκαν και οι εκτιμήσεις των συντελεστών από τα μοντέλα με την υγρασία. Παρακάτω φαίνονται τα αποτελέσματα.



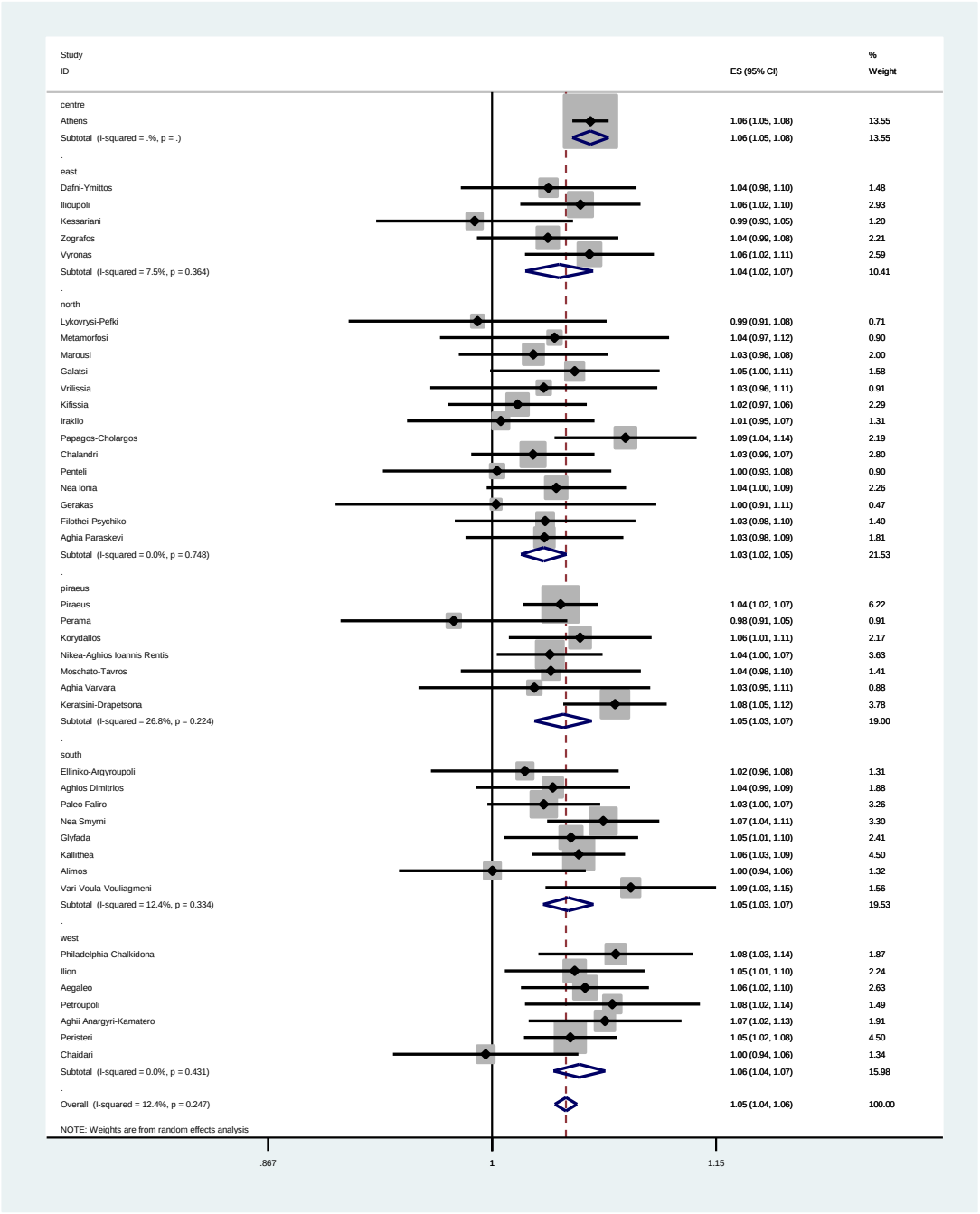
Γράφημα 19: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από φυσικά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



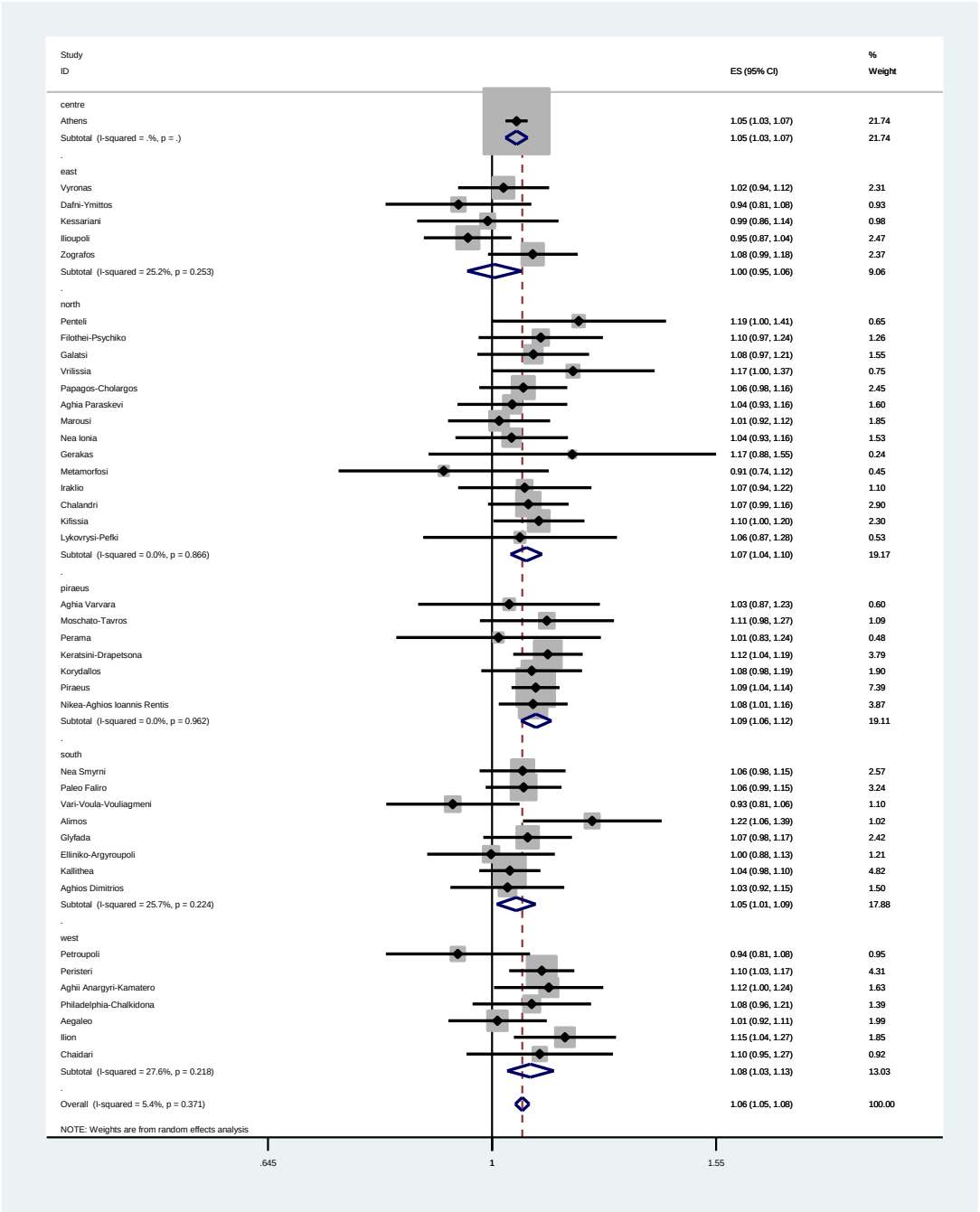
Γράφημα 20: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από φυσικά αίτια των άνω των 75 ετών, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



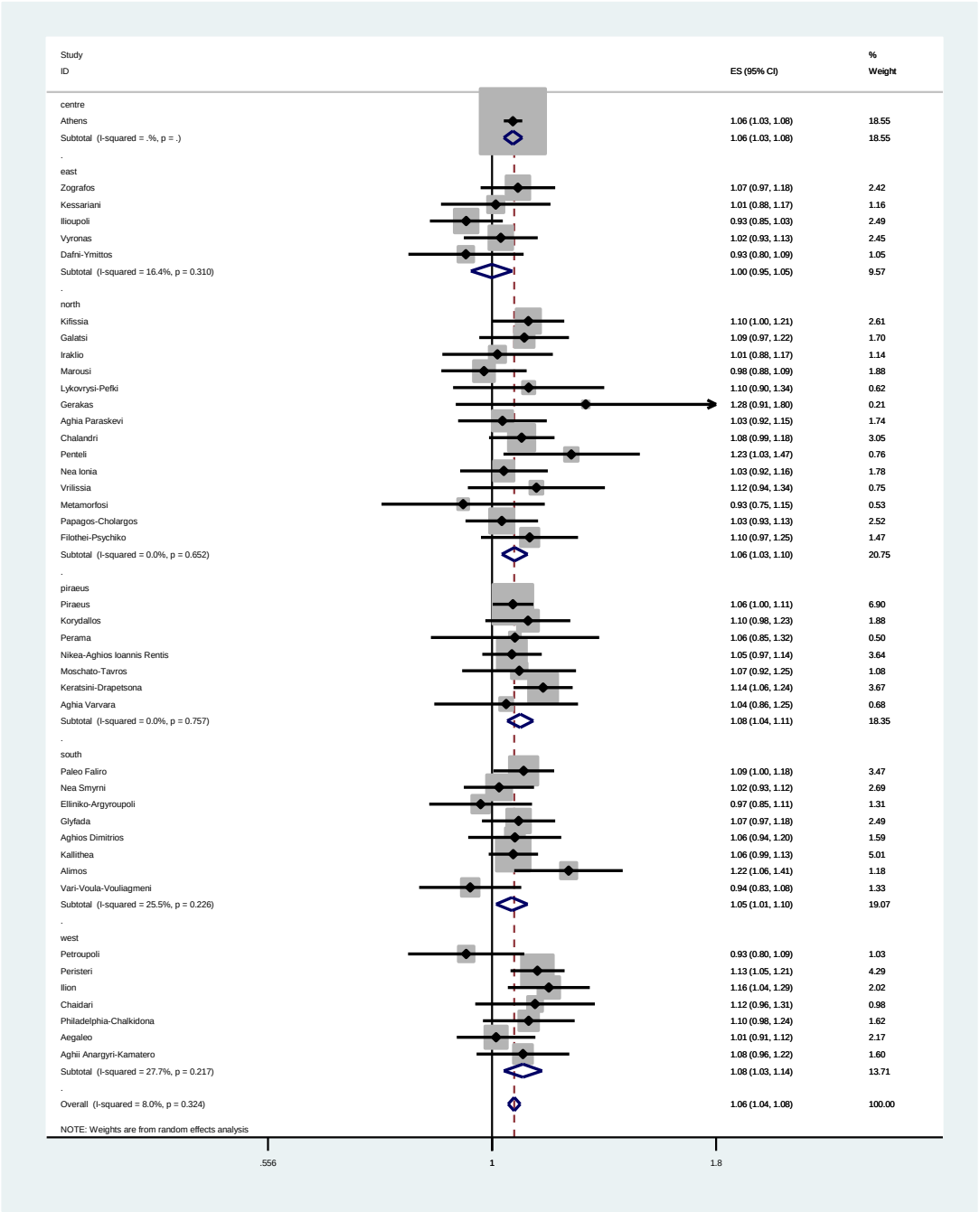
Γράφημα 21: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



Γράφημα 22: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από καρδιαγγειακά αίτια των άνω των 75 ετών, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



Γράφημα 23: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από αναπνευστικά αίτια όλων των ηλικιακών ομάδων, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης



Γράφημα 24: Οι σχετικοί κίνδυνοι (ES) θανάτου από αναπνευστικά αίτια των άνω των 75 ετών, ανά δήμο της Αθήνας και ο συνθετικός σχετικός κίνδυνος της μετα-ανάλυσης με τα αντίστοιχα 95% ΔΕ. Η μετα-ανάλυση έγινε στις εκτιμήσεις των σχετικών κινδύνων για ένα βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους 42 δήμους της Αθήνας όπως προέκυψαν από τα μοντέλα με επεξηγηματικές μεταβλητές την μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, το ποσοστό σχετικής υγρασίας, το μήνα, την ημέρα της εβδομάδας και την ημέρα παρατήρησης

Και πάλι, με βάση το συνολικό I^2 κάθε μιας μετα-ανάλυσης και του αντίστοιχου p-value για τον έλεγχο ύπαρξης ετερογένειας, στατιστικά σημαντική ετερογένεια σε ε.σ.σ. 5% μεταξύ των εκτιμώμενων σχετικών κινδύνων για θάνατο στου διάφορους δήμους της Αθήνας βρέθηκε στην συνολική θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες (I^2=28.3%, pvalue=0.048) και στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα (ε.σ.σ. 10%) (I^2=24.7%, pvalue=0.078).

Για την εξήγηση της παρατηρούμενης ετερογένειας εφαρμόστηκαν μοντέλα μετα-παλινδρόμησης, εισάγοντας κάθε φορά μία από τις εξής επεξηγηματικές μεταβλητές:

- ποσοστό κάλυψης γης από κτίρια (τετραγωνικά μέτρα)
- μήκος δρόμων (μέτρα)
- ποσοστό πρασίνου ανά τετραγωνικό μέτρο
- πυκνότητα πληθυσμού ανά τετραγωνικό χλμ
- έκταση περιοχής (τετραγωνικά χλμ) μέση τιμή όλων των ετών των μέσων ημερήσιων θερμοκρασιών του αντίστοιχου τομέα (°C)
- μέση τιμή όλων των ετών των μέγιστων ημερήσιων θερμοκρασιών του αντίστοιχου τομέα(°C)

Στους παρακάτω πίνακες (22,23) παρατίθενται τα αποτελέσματα των μετα-παλινδρομήσεων και επισημαίνονται οι μεταβλητές που βρέθηκαν στατιστικά σημαντικές και συνεπώς εξηγούν την ετερογένεια ή μέρος αυτής. Επιπλέον, αναφέρεται και το μέτρο I^2 ετερογένειας που προκύπτει μετά την εισαγωγή κάθε μίας μεταβλητής στο αντίστοιχο μοντέλο μετα-παλινδρόμησης.

Για τους τροποποιητές επίδρασης οι οποίοι βρέθηκαν στατιστικά σημαντικοί σε επίπεδο 5% και φαίνεται να εξηγούν ικανοποιητικό ποσοστό της χωρικής ετερογένειας των αποτελεσμάτων μεταξύ των δήμων, υπολογίστηκαν τα αναμενόμενα ποσοστά μεταβολής θνησιμότητας με βάση τα μοντέλα μετα-παλινδρόμησης, στο 25ο και 75ο τεταρτημόριο της κατανομής κάθε μεταβλητής (p25 και p75 αντίστοιχα). Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα (Πίνακες 22-1,23-1).

Πίνακας 22:Αποτελέσματα μετα-παλινδρόμησης για τη διερεύνηση της χωρικής ετερογένειας των επιδράσεων της αύξησης της θερμοκρασίας στη συνολική θνησιμότητα από κάθε φυσική αιτία των δήμων της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (μοντέλο με υγρασία)

	Συντελεστής	**p-value**	**95% ΔΕ**	**I^2**
% κάλυψης γης*	0.000733	<0.001	0.000397, 0.00107	0.00%
μήκος δρόμων(m)*	0.000000022	<0.001	0.000000012, 0.000000032	0.00%
%πρασίνου/m^2	0.0001538	0.588	-0.000403, 0.0007104	26.79%
πυκνότητα πληθ/km^2 *	0.00000168	<0.001	0.000001, 0.0000023	0.00%
έκταση περιοχής (km)	0.0002849	0.163	-0.000116, 0.0006855	16.01%
Μέση θερμοκρασία*	0.0082064	0.013	0.0017189, 0.0146938	10.88%
Μέγιστη θερμοκρασία*	0.0095839	0.004	0.003102, 0.0160658	7.52%

* στατιστικά σημαντικές μεταβλητές που εξηγούν την ετερογένεια

Πίνακας 22-1: Διερεύνηση του ρόλου των τροποποιητών επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών στη συνολική ολική θνησιμότητα[4]

	25ο τεταρτημόριο	**75ο τεταρτημόριο**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p25 (95% ΔΕ)**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p75 (95% ΔΕ)**
% κάλυψη γης από κτίρια/m²	11.35	30.45	2 (1.3-2.6)	3.4 (3-3.8)
μήκος δρόμων (m)	78222	174842	2.4 (2-2.9)	2.6 (2.2-3.1)
πυκνότητα πληθυσμού/km²	5244	12953	1.9 (1.3-2.4)	3.2 (2.8-3.6)
μέση θερμορκασία °C	21.8	22.9	2.2 (1.6-2.8)	3.1 (2.6-3.6)
μέγιστη θερμοκρασία °C	26.1	27.2	2.1 (1.4-2.7)	3.2 (2.7-3.6)

Η ετερογένεια των επιδράσεων της αύξησης της θερμοκρασίας, λαμβάνοντας υπόψη και την υγρασία, στη συνολική ολική θνησιμότητα μεταξύ των δήμων εξηγείται από το ποσοστό κάλυψης γης από κτίρια, το μήκος των δρόμων, την πυκνότητα πληθυσμού και τις συνθήκες θερμοκρασίας που επικρατούν στον τομέα που ανήκει κάθε δήμος. Μάλιστα, το μήκος των δρόμων, το ποσοστό κάλυψης γης και η πυκνότητα πληθυσμού φαίνεται να εξηγούν την περισσότερη ετερογένεια, καθώς το I^2 ισούται με 0 όταν εισαχθούν οι μεταβλητές αυτές στα μοντέλα μετα-παλινδρόμησης. Οι τροποποιητές επίδρασης φαίνεται να επιδρούν με τον ίδιο τρόπο σε σχέση με την επίδρασή τους στην ετερογένεια των επιπτώσεων των υψηλών θερμοκρασιών μεταξύ των δήμων, όπως αυτές εκτιμήθηκαν από τα μοντέλα χωρίς τη μεταβλητή της υγρασίας.

[4] Ποσοστιαία αύξηση στη θνησιμότητα για κάθε βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C για ένα δήμο με επίπεδα που αντιστοιχούν στο 25ο και 75ο τεταρτημόριο της κατανομής του τροποποιητή επίδρασης

Πίνακας 23:Αποτελέσματα μετα-παλινδρόμησης για τη διερεύνηση της χωρικής ετερογένειας των επιδράσεων της αύξησης της θερμοκρασίας στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα των δήμων της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (μοντέλο με υγρασία)

	Συντελεστής	**p-value**	**95% ΔΕ**	**I^2**
% κάλυψης γης*	0.0010082	<0.001	0.0005086,0.0015078	0.00%
μήκος δρόμων(m)*	0.000000028	0.001	0.000000012, 0.000000045	1.85%
%πρασίνου/m^2	0.000138	0.741	-0.0006796, 0.0009555	23.84%
πυκνότητα πληθυσμού /km^{2*}	0.00000216	<0.001	0.00000119, 0.00000314	0.00%
έκταση περιοχής (km)	0.000185	0.55	-0.000418, 0.000788	17.07%
Μέση θερμοκρασία*	0.0142039	0.001	0.0057541, 0.0226537	2.70%
Μέγιστη θερμοκρασία*	0.0158312	<0.001	0.007656, 0.0240064	0.04%

* στατιστικά σημαντικές μεταβλητές που εξηγούν την ετερογένεια

Πίνακας 23-1: Διερεύνηση του ρόλου των τροποποιητών επίδρασης των υψηλών θερμοκρασιών στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα[5]

	25ο τεταρτημόριο	**75ο τεταρτημόριο**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p25 (95% ΔΕ)**	**% μεταβολή θνησιμότητας στο p75 (95% ΔΕ)**
% κάλυψη γης από κτίρια/m²	11.35	30.45	2.7 (1.8-3.6)	4.7 (4.1-5.3)
μήκος δρόμων (m)	78222	174842	3.4 (2.7-4.1)	3.7 (3.1-4.3)
πυκνότητα πληθυσμού/km²	5244	12953	2.7 (1.8-3.6)	4.4 (3.9-5)
μέση θερμορκασία °C	21.8	22.9	3 (2.1-3.9)	4.6 (4-5.2)
μέγιστη θερμοκρασία °C	26.1	27.2	2.8 (1.9-3.7)	4.6 (4-5.2)

Τέλος, η ετερογένεια των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα μεταξύ των δήμων, όπως αυτές προέκυψαν από τα μοντέλα λαμβάνοντας υπόψη την υγρασία, εξηγείται από το ποσοστό κάλυψης γης από κτίρια, το μήκος των δρόμων, την πυκνότητα πληθυσμού και τις συνθήκες θερμοκρασίας που επικρατούν στους αντίστοιχους τομείς. Και πάλι, η πυκνότητα πληθυσμού, το ποσοστό κάλυψης γης αλλά και η μέγιστη θερμοκρασία που επικρατεί κατά μέσο όρο στον τομέα φαίνεται να εξηγούν το μεγαλύτερο μέρος της ετερογένειας. Οι μεταβολές στη θνησιμότητα μεταξύ δήμων με τιμές των μεταβλητών αυτών που αντιστοιχούν στο 25ο και 75ο τεταρτημόριο της κατανομής τους εκτιμήθηκαν και πάλι αντίστοιχες με τις μεταβολές που προέκυψαν όταν οι επιδράσεις των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα εκτιμήθηκαν από τα μοντέλα χωρίς την υγρασία.

[5] Ποσοστιαία αύξηση στη θνησιμότητα για κάθε βαθμό αύξησης της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C για ένα δήμο με επίπεδα που αντιστοιχούν στο 25ο και 75ο τεταρτημόριο της κατανομής του τροποποιητή επίδρασης

4. Συζήτηση

Στα πλαίσια του προγράμματος TREASURE μελετήθηκε η σχέση των υψηλών θερμοκρασιών στην υγεία, και συγκεκριμένα στη θνησιμότητα των ατόμων που ζουν σε αστικές περιοχές. Η παρούσα εργασία παρουσιάζει τη σχέση θερμοκρασίας και θνησιμότητας που εμφανίζεται στην Αθήνα καθώς και σε υπο-περιοχές αυτής (6 τομείς-κεντρικός, ανατολικός, δυτικός, βόρειος, νότιος, Πειραιά- και 42 δήμοι) για τη θερινή περίοδο(Απρίλιος-Σεπτέμβριος) των ετών 2000-2012. Η διαίρεση της περιοχής μελέτης σε υπο-περιοχές έγινε με σκοπό τη διερεύνηση της χωρικής μεταβλητότητας που ενδέχεται να παρουσιάζουν οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα, καθώς τα στοιχεία της βιβλιογραφίας για τη μεταβλητότητα των επιδράσεων μέσα σε μία αστική περιοχή (within-city variation) είναι περιορισμένα. Μελέτη που έγινε στην μητροπολιτική περιοχή της Βαρκελώνης (Xu et al. 2013) εξέτασε τις διαφοροποιήσεις των επιδράσεων των καυσώνων στη θνησιμότητα ανάλογα με κοινωνικά και δημογραφικά χαρακτηριστικά αλλά και χαρακτηριστικά σχετικά με το αστικό τοπίο (urban landscape). Σε περιοχές με υψηλά ποσοστά παλαιών κτιρίων και μικρά ποσοστά πρασίνου ο σχετικός κίνδυνος θανάτου της ημέρες με καύσωνα ήταν μεγαλύτερος. Οι Rosenthal et al. (2014) εξέτασαν τη σχέση μεταξύ των επιδράσεων των εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών στην ολική θνησιμότητα και διαφόρων χωρικών χαρακτηριστικών, μεταξύ των οποίων είναι η κάλυψη γης και οι θερμοκρασίες επιφανείας ανά περιοχή, για την πόλη της Νέας Υόρκης.

Κατά την περίοδο της μελέτης, ο συνολικός ετήσιος αριθμός θανάτων παρουσίαζε μια συνεχώς αυξανόμενη τάση, φτάνοντας τους 15500 το 2012 τη στιγμή που στην αρχή της μελέτης είχαν καταγραφεί 13024 θάνατοι για το 2000. Οι θερμοκρασίες αντίθετα δεν παρουσίαζαν μια αντίστοιχη τάση. Για τη θερμή περίοδο, βρέθηκε πως η σχέση θερμοκρασίας και θνησιμότητας από φυσικές, καρδιαγγειακές και αναπνευστικές αιτίες είναι σχήματος ‘U’, όπως άλλωστε έχει βρεθεί και από προηγούμενες μελέτες. Η θερμοκρασία που βρέθηκε να αντιστοιχεί στην ελάχιστη θνησιμότητα για την Αθήνα ήταν οι 31.5°C μέγιστης θερμοκρασίας, ενώ για τους 6 τομείς οι θερμοκρασίες αυτές διαφοροποιούνταν από 24.8°C (δυτικός τομέας) έως 27.5°C (κεντρικός τομέας). Μεγαλύτερη επίδραση της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας βρέθηκε στην αναπνευστική θνησιμότητα (5.9% ,95% ΔΕ: 4.57, 7.24) σε σχέση με τη θνησιμότητα από φυσικές αιτίες (4.16% ,95% ΔΕ: 3.73, 4.6) και την καρδιαγγειακή θνησιμότητα (5.34% ,95% ΔΕ: 4.74, 5.93) , για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Επίσης, η επίδραση βρέθηκε μεγαλύτερη στα άτομα άνω των 75 ετών όσο αφορά την θνησιμότητα από φυσικές και καρδιαγγειακές αιτίες, ενώ η αναπνευστική θνησιμότητα έδειξε να επηρεάζεται περισσότερο για τα άτομα της ηλικιακής ομάδας 65-74 (7.68%, 95% ΔΕ: 4.39,11.08).

Η διερεύνηση της σχέσης στους 6 τομείς της Αθήνας έγινε αρχικά με δεδομένα θερμοκρασίας ξεχωριστά για κάθε τομέα, τα οποία λήφθηκαν από τη βάση δεδομένων E-OBS. Η ανάλυση αυτή έδειξε πως η ολική και αναπνευστική θνησιμότητα ατόμων του τομέα Πειραιά επηρεάζεται περισσότερο από την αύξηση της θερμοκρασίας (3.08%, 95% ΔΕ:2.38, 3.78 και 6.53%, 95% ΔΕ: 4.34, 8.77 αντίστοιχα), ενώ η επίδραση στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα βρέθηκε μεγαλύτερη στον κεντρικό τομέα (3.96%, 95% ΔΕ: 3.12, 4.81). Όσο αφορά τις ηλικιακές ομάδες, βρέθηκε το ίδιο μοτίβο για την ολική και καρδιαγγειακή θνησιμότητα με αυτό της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, ενώ μεγαλύτερη επίδραση βρέθηκε στην αναπνευστική θνησιμότητα των 65-74 μόνο για τον ανατολικό, βόρειο και τομέα Πειραιά, ενώ η αναπνευστική θνησιμότητα των 75+ εκτιμήθηκε να επηρεάζεται περισσότερο για τους υπόλοιπους τομείς.

Εν συνεχεία, εκτιμήθηκαν οι επιδράσεις της κοινής θερμοκρασίας, όπως αυτή μετρήθηκε στο σταθμό μέτρησης του Θησείου, στους 6 τομείς. Οι τομείς με τις μεγαλύτερες επιδράσεις ήταν οι ίδιοι με την προηγούμενη ανάλυση, ωστόσο οι ποσοστιαίες μεταβολές στη θνησιμότητα που εκτιμήθηκαν ήταν υψηλότερες, κατά 1.5% περίπου. Αντίστοιχα ήταν και τα αποτελέσματα σχετικά με τις ηλικιακές ομάδες, μόνο που η αναπνευστική θνησιμότητα των 65-74 του δυτικού βρέθηκε τώρα να επηρεάζεται περισσότερο τη στιγμή που η προηγούμενη ανάλυση έδειξε για τον ίδιο τομέα τη θνησιμότητα των άνω των 75. Η ανάλυση αυτή κατέληξε σε υψηλότερες κατά μέσο όρο εκτιμήσεις των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών, και μη στατιστικά σημαντικές επιδράσεις σε κάποιες ηλικιακές ομάδες εκτιμήθηκαν ως στατιστικά σημαντικές, με το 95% διάστημα εμπιστοσύνης της μεταβολής στη θνησιμότητα ωστόσο κοντά στο 0.

Τέλος, ελέγχοντας και για την υγρασία, ο τομέας με τη μεγαλύτερη εκτιμώμενη επίδραση στην ολική και αναπνευστική θνησιμότητα ήταν και πάλι ο Πειραιάς (4.52%, 95% ΔΕ: 3.61, 5.44 και 8.02%, 95% ΔΕ: 5.19, 10.92 αντίστοιχα) ενώ στην καρδιαγγειακή ο νότιος τομέας (6%, 95% ΔΕ: 4.68, 7.33). Οι εκτιμήσεις δεν απέκλιναν πολύ από αυτές που προέκυψαν από τα μοντέλα με τη σειρά θερμοκρασίας του Θησείου χωρίς την υγρασία, χωρίς όμως να παρατηρείται κάποια συστηματική θετική ή αρνητική διαφορά.

Τα αποτελέσματα της μετα-ανάλυσης που ακολούθησε δεν έδειξαν στατιστικά σημαντική ετερογένεια των επιδράσεων της θερμοκρασίας στους 6 τομείς. Αυτό, πιθανώς να οφείλεται στον μικρό αριθμό των τομέων με αποτέλεσμα τη χαμηλή ισχύ της μετα-ανάλυσης και την αδυναμία εύρεσης ετερογένειας των επιδράσεων στη θνησιμότητα.

Όταν έγινε η ίδια ανάλυση αλλά σε επίπεδο δήμων, χωρίς να γίνει έλεγχος για την υγρασία, βρέθηκε στατιστικά σημαντική ετερογένεια των επιδράσεων της

θερμοκρασίας στην συνολική ολική θνησιμότητα, στη συνολική καρδιαγγειακή θνησιμότητα και στην ολική θνησιμότητα άνω των 75. Ετερογένεια δεν βρέθηκε στην ολική θνησιμότητα άνω των 75 όταν έγινε ο έλεγχος για την υγρασία στο μοντέλο. Περιοχές πυκνοκατοικημένες και με μεγάλα ποσοστά κάλυψης γης από κτίρια αλλά και δρόμους φαίνεται να είναι πιο ευάλωτες στις υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα τα ποσοστά θνησιμότητα να είναι αυξημένα. Επίσης, περιοχές που παρουσιάζουν κατά μέσο όρο περισσότερες και υψηλότερες ακραίες θερμοκρασίες επίσης επηρεάζονται περισσότερο με την άνοδο της θερμοκρασίας.

Η μελέτη της σχέσης των ακραίων θερμοκρασιών, τόσο των υψηλών όσο και των χαμηλών, με τη θνησιμότητα αλλά και με τη νοσηρότητα αποτελεί μείζον ζήτημα τη σήμερον ημέρα, με την κλιματική αλλαγή να βρίσκεται στο προσκήνιο. Ιδιαίτερα, η διαφοροποίηση των επιδράσεων τόσο μεταξύ πόλεων και χωρών με διαφορετικές κλιματικές αλλά και κοινωνικοοικονομικές συνθήκες όσο και μεταξύ των περιοχών των μεγαλουπόλεων θα πρέπει να είναι από τα βασικά αντικείμενα μελέτης καθώς η εύρεση και κυρίως η επεξήγηση της χωρικής μεταβλητότητας των επιπτώσεων της θερμοκρασίας γενικότερα στην υγεία του ανθρώπου θα αποτελέσει ένα βασικό εργαλείο για τη Δημόσια Υγεία, αρωγό στη λήψη στοχευμένων μέτρων πρόληψης για την προστασία του πληθυσμού.

Περίληψη

Επιδημιολογικές μελέτες έχουν δείξει τις επιβαρυντικές συνέπειες των υψηλών θερμοκρασιών και των καυσώνων στην υγεία των ανθρώπων, ιδιαίτερα στα μεγάλα αστικά κέντρα. Οι μελέτες επικεντρώθηκαν στη διερεύνηση της ολικής και κατά αιτία θνησιμότητας, ενώ τα αποτελέσματα υποστηρίζουν την ύπαρξη ετερογένειας των επιπτώσεων μεταξύ περιοχών με διαφορετικές κλιματικές συνθήκες. Περιορισμένη ωστόσο είναι η έρευνα που έχει διεξαχθεί για την μεταβλητότητα των επιδράσεων αυτών μέσα στις περιοχές ενός μεγάλου αστικού κέντρου, όπως η Αθήνα. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι αρχικά η εκτίμηση του σημείου καμπής της σχέσης θερμοκρασίας-θνησιμότητας, πάνω από το οποίο παρατηρείται αύξηση της θνησιμότητας (θερμοκρασία ελάχιστης θνησιμότητας) και εν συνεχεία η εκτίμηση των επιβαρυντικών επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στην ολική, καρδιαγγειακή και αναπνευστική θνησιμότητα, συνολικά για όλες τις ηλικίες και ανά ηλικιακή ομάδα, αλλά και η διερεύνηση της διαφοροποίησης των επιδράσεων μεταξύ των περιοχών της πόλης.

Οι αναλύσεις για τη διερεύνηση της σχέσης θερμοκρασίας και θνησιμότητας έγιναν για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, συνολικά, ανά τομέα (6 τομείς) και ανά δήμο (42 δήμοι). Η περίοδος της μελέτης αφορά τα έτη 2000-2012 και μόνο τους μήνες της θερινής περιόδου, Απρίλιο-Σεπτέμβριο. Για τις ζητούμενες αναλύσεις χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα εξάρτησης Poisson. Ως βασική έκθεση θεωρήθηκε ο μέσος όρος της μέγιστης θερμοκρασίας της ίδιας και των 3 προηγούμενων ημερών. Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προέρχονται από τις μετρήσεις του σταθμού που βρίσκεται στο Θησείο και από την βάση δεδομένων E-OBS για τους 6 τομείς ξεχωριστά. Οι διαφορετικές μεταβολές στην ολική και κατά αιτία θνησιμότητα των τομέων και των δήμων που εκτιμήθηκαν από τα διάφορα μοντέλα μετα-αναλύθηκαν προκειμένου να διερευνηθεί η ύπαρξη χωρικής μεταβλητότητας. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα παρουσίαζαν ετερογένεια έγιναν μετα-παλινδρομήσεις ώστε να βρεθούν παράγοντες, που σχετίζονται με τα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής, και ενδεχομένως να αποτελούν τροποποιητές των επιδράσεων των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα.

Η θερμοκρασία που βρέθηκε να αντιστοιχεί στην ελάχιστη θνησιμότητα για την Αθήνα ήταν οι 31.5°C μέγιστης θερμοκρασίας, ενώ για τους 6 τομείς οι θερμοκρασίες αυτές διαφοροποιούνταν από 24.8°C (δυτικός τομέας) έως 27.5°C (κεντρικός τομέας). Για αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1°C πάνω από τους 31.5°C , εκτιμήθηκε αύξηση της ολικής θνησιμότητας κατά 4.16% (95% ΔΕ: 3.73, 4.6) , της καρδιαγγειακής κατά 5.34% (95% ΔΕ: 4.74, 5.93) και της αναπνευστικής κατά 5.9% (95% ΔΕ: 4.57, 7.24). Όσο αφορά τους 6 τομείς, η ανάλυση με τα δεδομένα θερμοκρασίας της βάσης E-OBS έδειξε πως η ολική και αναπνευστική θνησιμότητα ατόμων του τομέα Πειραιά(3.08%, 95% ΔΕ:2.38, 3.78 και 6.53%, 95% ΔΕ: 4.34, 8.77 αντίστοιχα) επηρεάζεται περισσότερο από την αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ η επίδραση στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα βρέθηκε μεγαλύτερη στον κεντρικό τομέα (3.96%, 95% ΔΕ: 3.12, 4.81). Εφαρμόζοντας διαφορετικά μοντέλα για τη διερεύνηση των επιδράσεων της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα σε επίπεδο τομέων, με τις μετρήσεις θερμοκρασίας του σταθμού του Θησείου, καταλήγουμε σε παρόμοια μοτίβα. Η ηλικιακή ομάδα των άνω των 75 ήταν αυτή που φαίνεται να επηρεάζεται

περισσότερο από τις υψηλές θερμοκρασίες όσο αφορά την ολική και καρδιαγγειακή θνησιμότητα (7.68%, 95% ΔΕ: 4.39,11.08 και 6.17 ,95% ΔΕ: 5.49, 6.86 αντίστοιχα), ενώ η αναπνευστική θνησιμότητα με τις μεγαλύτερες μεταβολές υπό αυξημένες θερμοκρασίες είναι αυτή των ατόμων 65-74 ετών (7.68%, 95% ΔΕ: 4.39,11.08). Οι μετα-αναλύσεις που έγιναν επισήμαναν την παρουσία ετερογένειας των επιδράσεων στην ολική και στην καρδιαγγειακή θνησιμότητα. Η πυκνότητα πληθυσμού, τα ποσοστά κάλυψης γης από κτίρια και από δρόμους και οι ακραίες θερμοκρασίες που επικρατούν κατά μέσο όρο σε μία περιοχή έδειξαν να σχετίζονται με την παρατηρούμενη χωρική μεταβλητότητα των εκτιμήσεων. Τα αποτελέσματα αυτά θα μπορούσαν να αποτελέσουν έναυσμα για περεταίρω έρευνα στην διερεύνηση πιθανών τροποποιήσεων στη σχέση θνησιμότητας και θερμοκρασίας στις περιοχές μεγάλων αστικών κέντρων και να φανούν χρήσιμα στη λήψη στοχευμένων προληπτικών μέτρων για την προστασία του πληθυσμού από επερχόμενους καύσωνες, οι οποίοι προβλέπεται να γίνονται συχνότεροι και εντονότεροι λόγω της κλιματικής αλλαγής.

Abstract

Many studies have provided strong evidence that high temperatures and heat waves are strongly associated with adverse effects on people's health and especially on mortality in most large cities. They investigated the temperature effects on all cause and cause specific mortality. Heterogeneity in these effects between different cities or areas with different climate conditions is well studied but there is limited evidence about spatial variability of the effects of temperature on mortality within a metropolitan area, like Athens, known as within-city variability. We estimated the temperature threshold, which is the temperature of minimum mortality, and the heat-related risk of total, cardiovascular and respiratory mortality (all ages and by age-group) in Athens metropolitan area. The study area was divided into 6 sectors and 42 municipalities, in order to explore heterogeneity in heat-related effects within the city. The temperature-mortality association was estimated for Athens area, for six sectors separately and for 42 municipalities. We studied the warm period (April-September) of years 2000-2012. Poisson regression used to estimate Athens' and sectors' temperature thresholds and the change in mortality risk. The average of lags 0-3 of maximum temperature was considered as the daily exposure. Meteorological data were derived from the E-OBS dataset for Athens' sectors and from the meteorological station in Thiseio for total area. We evaluated the variability of temperature effects that were estimated in sectors and municipalities. We tried to explain the observed heterogeneity using spatial factors that could behave as effect modifiers.

The temperature threshold was 31.5°C for Athens metropolitan area and varied between the 6 sectors from 24.8°C (west) to 27.5°C(center). The percent increase in total mortality per 1°C increase in maximum temperature above the threshold of 31.5°C was estimated to be 4.16% (95% CI: 3.73, 4.6) when the estimated increase in cardiovascular mortality was 5.34% (95% CI: 4.74, 5.93) and in respiratory mortality was 5.9% (95% CI: 4.57, 7.24). Using the E-OBS dataset for the sectors, the highest increase in total and respiratory mortality was in Piraeus (3.08%, 95% CI:2.38, 3.78 and 6.53%, 95% CI: 4.34, 8.77 respectively) and in center for cardiovascular mortality (3.96%, 95% CI: 3.12, 4.81). The same pattern was found considering different models for the investigation of temperature-mortality relationship in the sectors, using temperature measurements from Thiseio station. Higher effect was estimated among the elderly (> 75 years old) for total and cardiovascular mortality (7.68%, 95% CI: 4.39,11.08 and 6.17, 95% CI:5.49, 6.86 respectively) and for respiratory mortality in age group 65-74 (7.68%, 95% CI: 4.39,11.08). There was evidence for spatial variability of the effects of temperature on total and cardiovascular mortality within the city. Population density, percent of buildings' area, road length and average maximum temperatures of an area were associated with the observed heterogeneity in temperature effects. The results could be used for further investigation of the within city variation of heat-related effects and help public health authorities to implement

mitigation strategies to protect the population from temperature extremes and heat waves that tend to be more often and intense.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Agresti A 2007. An Introduction to Categorical Data Analysis 2nd Edition, Alan Agresti, Wiley 2007

Astrom C, Orru H, Rocklov J, Standberg G, Ebi KL, Forsberg B. 2013. **Heat-related respiratory hospital admissions in Europe in a changing climate: a health impact assessment.** BMJ Open. ;3(1).

Astrom DO, Ebi K, Vicedo-Cabrera AM, Gasparrini A. 2018. **Investigating changes in mortality attributable to heat and cold in Stockholm, Sweden.** Int J Biometeorol. 2018 May; 62(9): 1777–1780.

Astrom DO, Forsberg B, Rocklov J. 2011. **Heat wave impact on morbidity and mortality in the elderly population: a review of recent studies.** Maturitas . 2011 Jun;69(2):99-105

Astrom O, Schifano P, Asta F, Lallo A, Michelozzi P, Rocklov J, Forsberg B. 2015. **The effect of heat waves on mortality in susceptible groups: a cohort study of a Mediterranean and a northern European City.** Environ Health. 2015 Mar 29;14:30

Baccini M, Biggeri A, Accetta G, Kosatsky T, Katsouyanni K, Analitis A, Anderson HR, 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. 2008 Sep;19(5):711-9

Baccini M, Kosatsky T, Analitis A, Anderson HR, D'Ovidio M, Menne B, Michelozzi P, Biggeri A; PHEWE Collaborative Group. 2011. **Impact of heat on mortality in 15 European cities: attributable deaths under different weather scenarios**. J Epidemiol Community Health. 2011 Jan;65(1):64-70.

Burrough PA, Mc Donell A 2000: Principles of Geographical Information Systems, Oxford University Press, New Yor

Carmona R, Linares C, Ortiz C, Miron IJ, Luna MY, Di-az J. 2017. **Spatial variability in threshold temperatures of heat wave mortality: impact assessment on prevention plans**. Int J Environ Health Res. 2017 Dec; 27(6):463-475

Cartalis C, Nyktarakis G, Polydoros A, Santamouris M 2016: **Analysis of Thermal Hot Spots in the Urban Area of Athens as a Tool for Focused Public Policies to Reduce Energy Consumption of Buildings.** (4th International Conference on Counter measures to Urban Heat Island, 30th May – 1st June 2016, Singapore)

Cerutti B, Tereanu C, Domenighetti G, Cantoni E, Gaia M, Bolgiani I, Lazzaro M, Cassis I. 2006. **Temperature related mortality and ambulance service**

interventions during the heat waves of 2003 in Ticino (Switzerland). Soz Praventivmed. 2006; 51(4):185-93.

Charles S. Davis 2002. Statistical Methods for the Analysis of Repeated Measurements, Charles S. Davis, Springer

Denoeux T. 2016. Lecture 7: Splines and Generalized Additive Models Computational Statistics, Thierry Denoeux

Dessai S. 2003. **Heat stress and mortality in Lisbon Part II. An assessment of the potential impacts of climate change.** Int J Biometeorol. 2003 Sep;48(1):37-44

Díaz J, Jordán A, García R, López C, Alberdi JC, Hernández E, Otero A. 2002. **Heat waves in Madrid 1986-1997: effects on the health of the elderly**. Int Arch Occup Environ Health. 2002 Mar;75(3):163-70.

Dobson AJ, Barnett A, 2008. An Introduction to Generalized Linear Models 3rd edition, Annette J. Dobson, Adrian Barnett, Chapman & Hall/CRC Texts in Statistical Science

DuMouchel, W. H., J. E. Harris. 1983. **Bayes methods for combining the results of cancer studies in humans and other species**. Journal of the American Statistical Association 78: 293–308

Duncan T 2009. Statistical methods in environmental epidemiology, Duncan Thomas, Oxford University Press

Fink R, ErEYen I, Medved S. 2017. **Symptomatic Response of the Elderly with Cardiovascular Disease during the Heat Wave in Slovenia.** Cent Eur J Public Health. 2017 Dec;25(4):293-298

Gosling SN, Hondula DM, Bunker A, Ibarreta D, Liu J, Zhang X, Sauerborn R. 2017. **Adaptation to Climate Change: A Comparative Analysis of Modeling Methods for Heat-Related Mortality.** Environ Health Perspect. 2017 Aug 16;125(8):087008.

Guo Y, Gasparrini A, Armstrong B, Li S, Tawatsupa B, Tobias A, Lavigne E, de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho M, Leone M, Pan X, Tong S, Tian L, Kim H, Hashizume M, Honda Y, Guo YL, Wu CF, Punnasiri K, Yi SM, Michelozzi P, Hilario Nascimento Saldiva P, Williams G. 2014. **Global variation in the effects of ambient temperature on mortality: a systematic evaluation.** Epidemiology. 2014 November; 25(6): 781–789

Hajat and Kosatky 2010, **Heat-related mortality: a review and exploration of heterogeneity**. J Epidemiol Community Health. 2010 Sep;64(9):753-60.

Hajat S, Armstrong B, Baccini M, Biggeri A, Bisanti L, Russo A, Paldy A, Menne B, Kosatsky T. 2006. **Impact of high temperatures on mortality: is there an added heat wave effect?** Epidemiology. 2006 Nov;17(6):632-8

Hajat S, Armstrong BG, Gouveia N, Wilkinson P. 2005. **Mortality displacement of heat-related deaths: a comparison of Delhi, Sao Paulo, and London. Epidemiology.** 2005 Sep;16(5):613-20.

Hajat S, Armstrong BG, Gouveia N, Wilkinson P. 2005. **Mortality displacement of heat-related deaths: a comparison of Delhi, Sao Paulo, and London.** Epidemiology. 2005 Sep;16(5):613-20.

Haylock, M. R., N. Hofstra, A. M. G. Klein Tank, E. J. Klok, P. D. Jones, and M. New, 2008: **A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006,** J. Geophys. Res.; 113(20):119

Heat Island Group (https://heatisland.lbl.gov/)

Heaviside C, Tsangari H, Paschalidou A, Vardoulakis S, Kassomenos P, Georgiou KE, Yamasaki EN. 2016. **Heat-related mortality in Cyprus for current and future climate scenarios.** Sci Total Environ. 2016 Nov 1;569-570:627-633

Hertel S, Le Tertre A, Jockel KH, Hoffmann B. 2009. **Quantification of the heat wave effect on cause-specific mortality in Essen, Germany.** Eur J Epidemiol. 2009; 24(8):407-14.

Higgins J, Green S. 2011. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions. Version 5.1.0. The Cochrane Collaboration and John Wiley & Sons Ltd, Chichester, 2011.

Higgins JPT, Thompson SG, 2002. **Quantifying heterogeneity in a meta-analysis.** Stat Med 2002,21: 1539-1558.

http://ecocity.gr/

http://treasure.climpacts.gr/index.php/map-plots

http://www.sameworld.eu/en/

https://climate.nasa.gov/evidence/

https://climate.nasa.gov/vital-signs/carbon-dioxide/

https://climate.nasa.gov/vital-signs/global-temperature/

https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2012

https://onlinecourses.science.psu.edu/stat504

https://onlinecourses.science.psu.edu/stat510

https://www.stata-journal.com/sjpdf.html?articlenum=sbe23_1

Huynen, M. M., Martens, P., Schram, D., Weijenberg, M. P., & Kunst, A. E. 2001. **The impact of heat waves and cold spells on mortality rates in the Dutch population.** Environmental Health Perspectives, 109(5), 463–470.

Ishigami A, Hajat S, Kovats RS, Bisanti L, Rognoni M, Russo A, Paldy A. 2008. **An ecological time-series study of heat-related mortality in three European cities.** Environ Health. 2008 Jan 28; 7:5

Josseran L, Caillere N, Brun-Ney D, Rottner J, Filleul L, Brucker G, Astagneau P. 2009. **Syndromic surveillance and heat wave morbidity: a pilot study based on emergency departments in France.** BMC Med Inform Decis Mak. 2009 Feb 20; 9:14.

Katsouyanni K, Pantazopoulou A, Touloumi G, Tselepidaki I, Moustris K, Asimakopoulos D, Poulopoulou G, Trichopoulos D. 1993. **Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality**. Arch Environ Health 48(4):235-42

Keatinge WR, Donaldson GC, Cordioli E, Martinelli M, Kunst AE, Mackenbach JP, Nayha S, Vuori I. 2000. **Heat related mortality in warm and cold regions of Europe: observational study.** BMJ. 2000 Sep 16; 321(7262):670-3.

Klenk J, Becker C, Rapp K. 2010. **Heat-related mortality in residents of nursing homes**. Age Ageing. 2010 Mar;39(2):245-52

Leone M, D'Ippoliti D, De Sario M, Analitis A, Menne B, Katsouyanni K, De'Donato FK, Basagana X, Salah AB, Casimiro E, Dortbudak Z, Iniguez C, Peretz C, Wolf T, Michelozzi P. 2013. **A time series study on the effects of heat on mortality and evaluation of heterogeneity into European and Eastern-Southern Mediterranean cities: results of EU CIRCE project**. Environ Health. 2013 Jul 3; 12:55

Liang KY, Zeger SL, 1986**: Longitudinal data analysis using generalized linear models**. Biometrika Apr 1986; 73(1): 13–22,

Linares C, Diaz J. 2008. **Impact of high temperatures on hospital admissions: comparative analysis with previous studies about mortality (Madrid).** Eur J Public Health. 2008 Jun;18(3):317-22

Linares C, Martinez-MartinP, Rodrigue-Blazquez C, Forjaz M, Carmona R, Diaz J. 2016. **Effect of heat waves on morbidity and mortality due to Parkinson's disease in Madrid: A time-series analysis.** Environ Int. 2016 Apr-May; 89-90:1-6.

Martinez GS, Diaz J, Hooyberghs H, Lauwaet D, De Ridder K, Linares C, Carmona R, Ortiz C, Kendrovski V, Aerts R, Van Nieuwenhuyse A, Dunbar MB. 2018. **Heat and health in Antwerp under climate change: Projected impacts and implications for prevention.** Environ Int. 2018 Feb; 111:135-143.

Martinez GS, Diaz J, Hooyberghs H, Lauwaet D, De Ridder K, Linares C, Carmona R, Ortiz C, Kendrovski V, Adamonyte D. 2018. **Cold-related mortality vs heat-related mortality in a changing climate: A case study in Vilnius (Lithuania).** Environ Res. 2018 Jun 21;166:384-393

McCullagh, Neider, 1989. Generalized Linear models, McCullagh, Neider, , Chapman & Hall/CRC Monographs on Statistics & Applied Probability 1989

McMichael AJ, Wilkinson P, Kovats RS, Pattenden S, Hajat S, Armstrong B, Vajanapoom N, Niciu EM, Mahomed H, Kingkeow C, Kosnik M, O'Neill MS, Romieu I, Ramirez-Aguilar M, Barreto ML, Gouveia N, Nikiforov B. 2008. **International study of temperature, heat and urban mortality: the 'ISOTHURM' project.** Int J Epidemiol. 2008 Oct. ;37(5):1121-31

Michelozzi P, Accetta G, De Sario M, D'Ippoliti D, Marino C, Baccini M, Biggeri A, Anderson HR, Katsouyanni K, Ballester F, Bisanti L, Cadum E, Forsberg B, Forastiere F, Goodman PG, Hojs A, Kirchmayer U, Medina S, Paldy A, Schindler C, Sunyer J, Perucci CA; PHEWE Collaborative Group. 2009. **High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities**. Am J Respir Crit Care Med. 2009 Mar 1;179(5):383-9

Monteiro A, Carvalho V, Oliveira T, Sousa C. 2013. **Excess mortality and morbidity during the July 2006 heat wave in Porto, Portugal.** Int J Biometeorol. 2013 Jan;57(1):155-67.

Muggeo VM, 2003:**Estimating regression models with unknown break-points.** Stat Med. 2003 Oct 15;22(19):3055-71.

National Geographic, (https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/urban-heat-island/)

Petitti Diana B 2000. Meta-Analysis, Decision Analysis, and Cost-Effectiveness Analysis. Methods for Quantitative Synthesis in Medicine, 2nd Edition. New York, USA: Oxford Press, 2000

Rabczenko D, Wojtyniak B, Kuchcik M, Szymalski W, Seroka W, Zmudzka E. 2016. **Association between high temperature and mortality of Warsaw inhabitants, 2008-2013.** Przegl Epidemiol. 2016;70(4):629-640.

Rocklov J, Forsberg B, Ebi K, Bellander T. 2014. **Susceptibility to mortality related to temperature and heat and cold wave duration in the population of Stockholm County, Sweden**. Glob Health Action. 2014 Mar 12;7:22737.

Rocklov J, Forsberg B. 2008. **The effect of temperature on mortality in Stockholm 1998--2003: a study of lag structures and heatwave effects**. Scand J Public Health. 2008 Jul;36(5):516-23

Roldan E, Gomez M, Pino MR, Diaz J. 2015. **The impact of extremely high temperatures on mortality and mortality cost.** Int J Environ Health Res. 2015;25(3):277-87

Rosenthal J, Kinney P, Metzger K 2014. **Intra-urban vulnerability to heat-related mortality in New York City, 1997–2006**. Health & Place 2014; 30:45-60

Schifano P, Cappai G, De Sario M, Michelozzi P, Marino C, Bargagli AM, Perucci CA. 2009. **Susceptibility to heat wave-related mortality: a follow-up study of a cohort of elderly in Rome.** Environ Health. 2009 Nov. 12;8:50

Shaposhnikov D, Revich B, Bellander T, Bedada GB, Bottai M, Kharkova T, Kvasha E, Lezina E, Lind T, Semutnikova E, Pershagen G. 2014. **Mortality related to air pollution with the moscow heat wave and wildfire of 2010.** Epidemiology. 2014 May;25(3):359-64

Stafoggia M, Forastiere F, Agostini D, Biggeri A, Bisanti L, Cadum E, Caranci N, de' Donato F, De Lisio S, De Maria M, Michelozzi P, Miglio R, Pandolfi P, Picciotto S, Rognoni M, Russo A, Scarnato C, Perucci CA. 2006. **Vulnerability to heat-related mortality: a multicity, population-based, case-crossover analysis.** Epidemiology. 2006 May;17(3):315-23.

The European Environment-State and Outlook 2010,Understanding Climate Change (www.eea.europa.eu/soe)

Thompson SG, Sharp SJ 1999. **Explaining heterogeneity in meta-analysis: a comparison of methods.** Stat Med. 1999 Oct 30;18(20):2693-708.

United States Environmental Protection Agency (https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-impacts)

Urban A, Davidkovova H, Kysely J. 2014. **Heat- and cold-stress effects on cardiovascular mortality and morbidity among urban and rural populations in the Czech Republic**. Int J Biometeorol. 2014 Aug; 58(6):1057-68.

Van Loenhout JAF, Delbiso TD, Kiriliouk A, Rodriguez-Llanes JM, Segers J, Guha-Sapir D. 2018. **Heat and emergency room admissions in the Netherlands.** BMC Public Health. 2018 Jan 5;18(1):108

Vigotti MA, Muggeo VM, Cusimano R. 2006. **The effect of birthplace on heat tolerance and mortality in Milan, Italy, 1980-1989.** Int J Biometeorol. 2006 Jul;50(6):335-41

Waldhoer T, Heinzl H. 2017. **Exploring the possible relationship between ambient heat and sudden infant death with data from Vienna, Austria.** PLoS One. 2017 Sep 6;12(9):e0184312

Witte JS, Greenland S, Bird Cl, Haile RW, 1994. **Hierarchical regression analysis applied to a study of multiple dietary exposures and breast cancer**. Epidem;612-621

Wood S. 2012. An Introduction to GAMs based on penalized regression splines, ., Simon Wood, Mathematical Sciences, University of Bath, U.K.

Wood SN, Augustin NH, 2002: **GAMs with integrated model selection using penalized regression splines and applications to environmental modelling,** Ecological Modelling Nov 2002; 157 : 157-177

WWF Ελλάς: Κλιματική Αλλαγή: Το αύριο της Ελλάδας: Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον, 2009-WWF Ελλάς

Xu Y, Dadvand P, Barrera-Gómez J, Sartini C, Marí-dell'Olmo M, Borrell C, Medina-Ramón M, Sunyer J, Basagaña X 2013. **Differences on the effect of heat waves on mortality by sociodemographic and urban landscape characteristics.** J Epidemiol Community Health 2013; 67:519-525.

Αποτίμηση της επίδρασης της μακροχρόνιας έκθεσης σε ατμοσφαιρική ρύπανση σχετιζόμενη με κυκλοφορία οχημάτων στη θνησιμότητα από αναπνευστικά αίτια, με χρήση μοντέλων αναλογικών κινδύνων του Cox και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (ΓΣΠ), στο πλαίσιο του Ευρωπαϊκού προγράμματος ESCAPE. Δημακοπούλου Κωνσταντίνα, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2016

Ευελπίδου, Ν., Αντωνίου, Β., 2015. Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα:Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.

Ζερεφός και συν: **Οι Περιβαλλοντικές, Οικονομικές και Κοινωνικές Επιπτώσεις της Κλιματικής Αλλαγής στην Ελλάδα**, Τράπεζα της Ελλάδος, Αθήνα

Καμπύλες Δοσολογικής Απόκρισης στη συσχέτιση χρονοσειρών ατμοσφαιρικών ρύπων και θνησιμότητας σε 30 Ευρωπαϊκές πόλεις. Σαμόλη Ευαγγελία, Διδακτορική Διατριβή, Αθήνα 2005

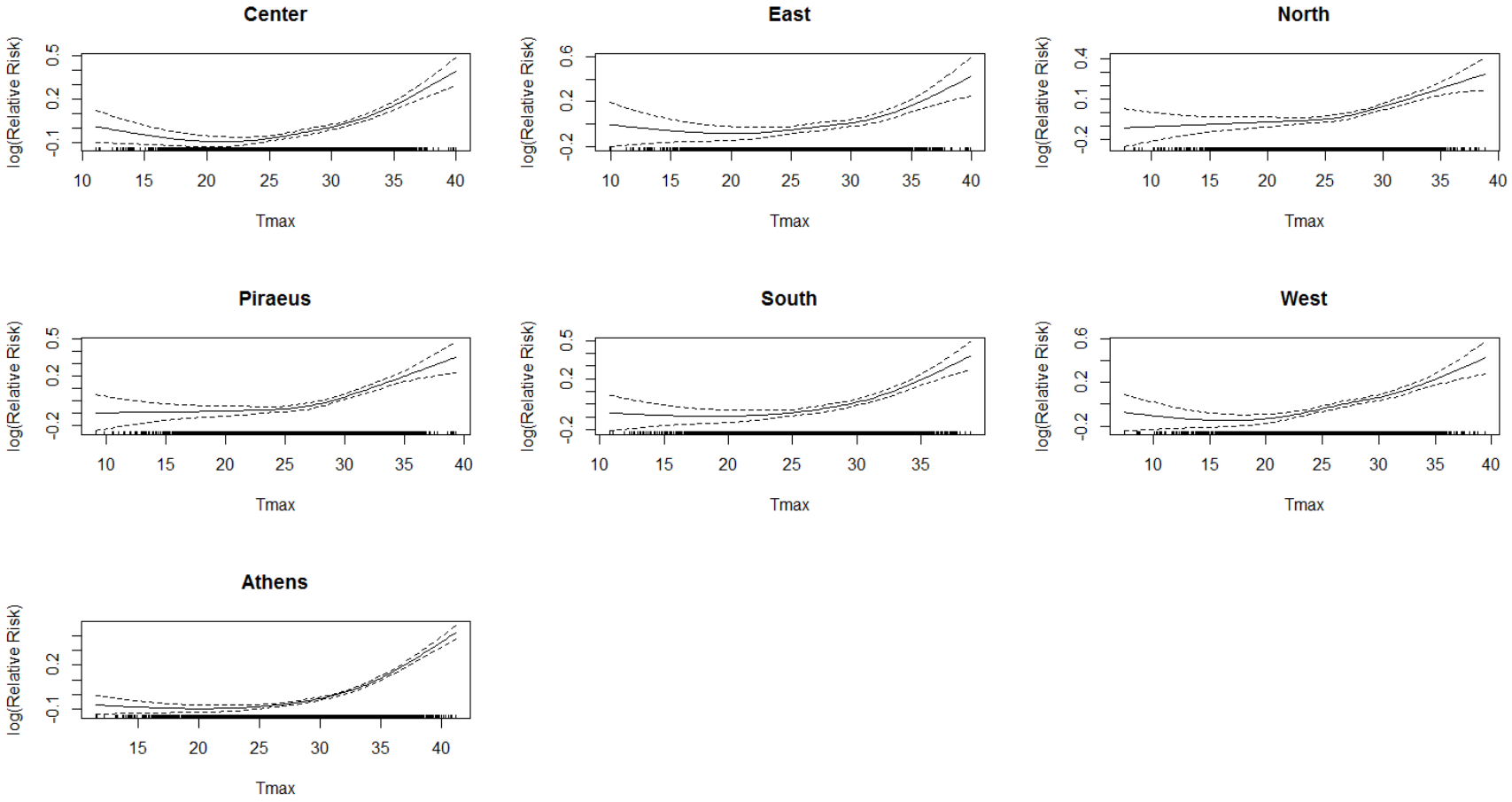
21η διάσκεψη του ΟΗΕ για το κλίμα (Παρίσι 2015: 21η διάσκεψη του ΟΗΕ για το κλίμα) (http://www.wwf.gr/cop21/)

Συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών σωματιδίων και θνησιμότητα στην επαρχία της Εορδαίας. Πεντελή Ξανθή, Διπλωματική Εργασία ΜΠΣ Βιοστατιστικής, Αθήνα 2006

Σχέδιο δράσης για την κλιματική αλλαγή: Β΄μέρος: Στρατηγική προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή-Δήμος Αθηναίων, 2017

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Γράφημα 1: Σχέση ολικής θνησιμότητας και μέγιστης θερμοκρασίας στην Αθήνα και στους 6 τομείς της περιοχής.



Πίνακας 1:Ποσοστιαίες μεταβολές (95% ΔΕ) θνησιμότητας για 1°C αύξηση της μέγιστης θερμοκρασίας πάνω από τους 31.5°C στους δήμους της Αθήνας, ομαδοποιημένες ανά τομέα

Τομέας Πειραιά	Αγία Βαρβάρα	Κερατσίνι-Δραπετσώνα	Κορυδαλλός	Μοσχάτο-Ταύρος	Νίκαια-Αγ. Ιωάννης Ρέντης	Πειραιάς	Πέραμα
Μοντέλο με θερμοκρασία μόνο							
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	2.34 (-1.4, 6.21)	5.61 (3.56, 7.7)	3.62 (1.01, 6.29)	3.26 (.05, 6.56)	2.97 (1.07, 4.91)	3.62 (2.22, 5.05)	-.64 (-4.31, 3.17)
0-64, φυσικές αιτίες	-2.17 (-10.47, 6.9)	-1.81 (-6.18, 2.75)	1.55 (-4.41, 7.87)	-6.21 (-13.46, 1.65)	-.57 (-4.76, 3.8)	1.26 (-2.16, 4.8)	-1.03 (-8.55, 7.11)
65-74, φυσικές αιτίες	-.42 (-8.45, 8.31)	3.82 (-.5, 8.33)	-.6 (-6.05, 5.17)	11.57 (4.15, 19.52)	4.09 (-.13, 8.48)	3.15 (.01, 6.39)	.99 (-6.79, 9.42)
>75, φυσικές αιτίες	4.67 (-.21, 9.8)	8.29 (5.73, 10.91)	5.5 (2.23, 8.87)	3.48 (-.54, 7.66)	3.63 (1.22, 6.09)	4.3 (2.59, 6.04)	-1.01 -5.77, 3.99)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	2.54 (-2.87, 8.26)	6.86 (4.02, 9.79)	3.73 (-.06, 7.65)	4.85 (.01, 9.92)	3.85 (1.08, 6.69)	3.93 (1.92, 5.98)	-1.47 (-6.9, 4.26)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	4.41 (-9.26, 20.15)	.88 (-6.55, 8.9)	-1.22 (-11.15, 9.83)	-3.12 (-15.61, 11.23)	1.54 (-5.68, 9.32)	1.04 (-4.74, 7.17)	3.88 (-8.88, 18.43)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	-.25 (-12.46, 13.67)	4.8 (-1.76, 11.79)	-1.21 (-9.92, 8.34)	13.84 (2.07, 26.97)	8.24 (1.41, 15.52)	1.8 (-3.18, 7.04)	-2.29 (-14.72, 11.97)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	2.53 (-4.43, 10)	8.5 (5.14, 11.95)	5.74 (1.26, 10.42)	4.3 (-1.22, 10.13)	3.21 (-.07, 6.59)	4.8 (2.44, 7.21)	-2.54 (-9.04, 4.43)

Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	8.13 (-8.72, 28.08)	11.92 (4.89, 19.43)	6.25 (-3.32, 16.76)	11.73 (-1.15, 26.28)	9.44 (2.57, 16.78)	9.15 (4.36, 14.15)	.39 (-17.15, 21.64)
>75, αναπνευστικές αιτίες	8.81 (-9.11, 30.26)	15 (6.86, 23.75)	8.14 (-2.79, 20.3)	8.42 (-5.72, 24.68)	7.86 (.07, 16.25)	6.72 (1.4, 12.32)	4.18 (-15.62, 28.61)
Μοντέλο με θερμοκρασία και υγρασία							
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	2.09 (-1.79, 6.12)	4.86 (2.75, 7.02)	3.58 (.86, 6.37)	2.81 (-.55, 6.28)	3.33 (1.34, 5.35)	3.57 (2.11, 5.05)	-.45 (-4.29, 3.54)
0-64, φυσικές αιτίες	-2.74 (-11.29, 6.64)	-2.29 (-6.8, 2.44)	.31 (-5.81, 6.84)	-7.17 (-14.68, 1)	.02 (-4.34, 4.59)	2.01 (-1.57, 5.72)	1.16 (-6.88, 9.9)
65-74, φυσικές αιτίες	-1.02 (-9.31, 8.04)	2.71 (-1.73, 7.35)	-.69 (-6.35, 5.33)	11.43 (3.62, 19.83)	4.93 (.5, 9.55)	3.25 (-.02, 6.63)	-1.76 (-9.65, 6.82)
>75, φυσικές αιτίες	4.75 (-.37, 10.13)	7.57 (4.92, 10.29)	5.83 (2.41, 9.37)	3.09 (-1.12, 7.48)	3.76 (1.25, 6.34)	4.02 (2.24, 5.83)	-.38 (-5.38, 4.89)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	1.94 (-3.68, 7.88)	6.29 (3.34, 9.32)	3.42 (-.51, 7.51)	4.8 (-.28, 10.13)	4.35 (1.46, 7.33)	3.48 (1.4, 5.61)	-1.59 (-7.23, 4.39)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	2.05 (-11.86, 18.14)	.94 (-6.77, 9.29)	-1.03 (-11.37, 10.53)	-1.78 (-15.02, 13.51)	1.33 (-6.14, 9.41)	1.79 (-4.24, 8.21)	5.64 (-8, 21.3)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	-1.68 (-14.19, 12.65)	3.04 (-3.67, 10.21)	-3.14 (-12.03, 6.66)	14.7 (2.18, 28.76)	9.29 (2.11, 16.98)	.24 (-4.85, 5.59)	-4.74 (-17.33, 9.78)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	2.72	8.1	5.75	3.79	3.72	4.43	-2.39

	(-4.56, 10.55	(4.62, 11.71)	(1.08, 10.64)	(-1.97, 9.89)	(.29, 7.27)	(1.98, 6.94)	(-9.16, 4.88)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	3.38 (-13.45, 23.49)	11.56 (4.19, 19.46)	8.08 (-2.08, 19.3)	11.35 (-2.34, 26.96)	8.38 (1.3, 15.96)	8.89 (3.91, 14.11)	1.28 (-17.1, 23.72)
>75, αναπνευστικές αιτίες	3.78 (-14.05, 25.3)	14.34 (5.82, 23.55)	9.85 (-1.74, 22.81)	7.36 (-7.53, 24.65)	5.35 (-2.53, 13.88)	5.62 (.15, 11.4)	6.21 (-14.83, 32.45)

Ανατολικός Τομέας	Βύρωνας	Δάφνη-Υμηττός	Ζωγράφος	Ηλιούπολη	Καισαριανή
Μοντέλο με θερμοκρασία μόνο					
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	1.49 (-.92, 3.95)	-.34 (-3.38, 2.79)	3.72 (1.29, 6.2)	1.07 (-1.16, 3.34)	3.41 (.06, 6.86)
0-64, φυσικές αιτίες	-.4 (-6.39, 5.98)	2.55 (-5.09, 10.8)	-2.05 (-8.5, 4.85)	-3.41 (-9.03, 2.56)	-.24 (-7.89, 8.04)
65-74, φυσικές αιτίες	-2.39 (-7.76, 3.3)	-3.09 (-10.49, 4.93)	8.34 (2.58, 14.42)	3.38 (-1.98, 9.04)	6.05 (-2.1, 14.89)
>75, φυσικές αιτίες	2.91 (-.04, 5.95)	-.4 (-4.01, 3.34)	3.64 (.62, 6.75)	1.5 (-1.15, 4.22)	3.49 (-.54, 7.68)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	3.49 (-.21, 7.32)	1.03 (-3.52, 5.8)	2.13 (-1.62, 6.03)	5.88 (2.47, 9.41)	1.21 (-3.77, 6.45)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-11.77 (-22.11, -.06)	2.32 (-9.84, 16.13)	-2.37 (-13.69, 10.42)	-1.07 (-10.78, 9.7)	6.03 (-7.06, 20.95)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	-3.71 (-13.38, 7.05)	-5.29 (-17.05, 8.15)	.07 (-9.24, 10.34)	8.76 (.26, 17.99)	9.56 (-3.43, 24.31)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	6.53 (2.44, 10.79)	1.89 (-3.36, 7.42)	3.14 (-1.19, 7.67)	6.26 (2.45, 10.21)	-1.07 (-6.78, 4.98)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	2.89 (-5.57, 12.11)	-3.61 (-15.98, 10.57)	6.77 (-1.85, 16.16)	-5.95 (-13.46, 2.21)	1.37 (-11.23, 15.76)
>75, αναπνευστικές αιτίες	2.3 (-6.81, 12.31)	-4.9 (-17.77, 9.98)	5.09 (-4.3, 15.4)	-7.46 (-15.67, 1.54)	2.43 (-10.69, 17.46)
Μοντέλο με θερμοκρασία και υγρασία					

Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	1.85 (-.66, 4.43)	-.28 (-3.47, 3.01)	3.91 (1.37, 6.51)	1.18 (-1.14, 3.54)	3.19 (-.32, 6.83)
0-64, φυσικές αιτίες	-.5 (-6.72, 6.13)	3.4 (-4.71, 12.2)	-1.34 (-8.09, 5.9)	-2.57 (-8.43, 3.67)	-1.39 (-9.36, 7.28)
65-74, φυσικές αιτίες	-1.45 (-7.09, 4.52)	-2.91 (-10.65, 5.51)	7.59 (1.62, 13.91)	3.43 (-2.14, 9.32)	5.87 (-2.7, 15.19)
>75, φυσικές αιτίες	3.22 (.14, 6.4)	-.52 (-4.3, 3.41)	3.96 (.81, 7.21)	1.45 (-1.3, 4.28)	3.53 (-.73, 7.97)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	3.64 (-.22, 7.64)	2.54 (-2.31, 7.63)	2.1 (-1.81, 6.16)	5.51 (1.96, 9.17)	.63 (-4.58, 6.12)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-10.73 (-21.49, 1.51)	1.49 (-11.17, 15.96)	-1.71 (-13.52, 11.71)	.85 (-9.41, 12.28)	3.83 (-9.67, 19.34)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	-2.89 (-13, 8.39)	-3.27 (-15.71, 11)	-2.49 (-11.91, 7.94)	7.23 (-1.48, 16.71)	7.56 (-5.89, 22.92)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	6.38 (2.11, 10.82)	3.65 (-1.96, 9.58)	3.59 (-.95, 8.33)	5.76 (1.81, 9.87)	-1.1 (-7.09, 5.27)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	2.29 (-6.42, 11.81)	-6.38 (-18.84, 7.99)	8.3 (-.81, 18.25)	-4.65 (-12.5, 3.91)	-.84 (-13.66, 13.89)
>75, αναπνευστικές αιτίες	2.3 (-7.14, 12.7)	-6.63 (-19.73, 8.61)	7 (-2.93, 17.95)	-6.54 (-15.08, 2.87)	1 (-12.5, 16.58)

Κεντρικός Τομέας	Αθήνα
Μοντέλο με θερμοκρασία μόνο	
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	4.38 (3.67, 5.09)
0-64, φυσικές αιτίες	1.43 (-.22, 3.11)
65-74, φυσικές αιτίες	2.76 (1.12, 4.44)
>75, φυσικές αιτίες	5.4 (4.55, 6.26)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	5.97 (4.95, 7)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	4.98 (2.09, 7.95)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	3.97 (1.34, 6.66)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	6.47 (5.3, 7.66)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	5.59 (3.41, 7.81)
>75, αναπνευστικές αιτίες	6.32 (3.91, 8.8)
Μοντέλο με θερμοκρασία και υγρασία	
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	4.29 (3.55, 5.03)
0-64, φυσικές αιτίες	1.83 (.11, 3.59)
65-74, φυσικές αιτίες	2.03 (.33, 3.76)
>75, φυσικές αιτίες	5.34 (4.45, 6.23)

Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	5.94 (4.88, 7.01)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	6.06 (3.02, 9.19)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	2.97 (.26, 5.76)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	6.44 (5.22, 7.68)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	4.9 (2.65, 7.2)
>75, αναπνευστικές αιτίες	5.64 (3.14, 8.2)

Δυτικός Τομέας	Άγιοι Ανάργυροι-Καματερό	Αιγάλεω	Ίλιον	Φιλαδέλφεια-Χαλκηδόνα	Περιστέρι	Πετρούπολη	Χαϊδάρι
Μοντέλο με θερμοκρασία μόνο							
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	3.5 (.72, 6.36)	2.63 (.39, 4.93)	2.91 (.27, 5.62)	2.96 (-.12, 6.12)	4.07 (2.38, 5.79)	1.06 (-1.96, 4.17)	.75 (-2.4, 4.01)
0-64, φυσικές αιτίες	-1.84 (-7.86, 4.57)	3.57 (-1.7, 9.13)	1.53 (-4.35, 7.77)	4.03 (-3.65, 12.33)	1.02 (-2.83, 5.02)	-3.77 (-10.64, 3.62)	2.63 (-4.48, 10.28)
65-74, φυσικές αιτίες	.25 (-5.77, 6.65)	.88 (-4.01, 6.03)	-1.16 (-6.8, 4.83)	-5.16 (-12.03, 2.25)	2.37 (-1.39, 6.28)	1.11 (-5.78, 8.5)	-3.25 (-10.02, 4.03)
>75, φυσικές αιτίες	6.17 (2.78, 9.68)	2.98 (.17, 5.86)	4.54 (1.21, 7.99)	4.61 (.93, 8.43)	5.52 (3.37, 7.72)	2.47 (-1.32, 6.41)	1.55 (-2.45, 5.72)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	3.24 (-.95, 7.6)	5.48 (2.04, 9.04)	3.3 (-.51, 7.27)	5.42 (1.18, 9.84)	5.01 (2.55, 7.54)	6.26 (1.74, 10.97)	-2.74 (-7.18, 1.92)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-5.73 (-15.98, 5.77)	2.61 (-6.21, 12.27)	-1.13 (-11.83, 10.86)	5.99 (-6.76, 20.48)	5.38 (-1.49, 12.72)	.82 (-11.03, 14.25)	1.64 (-10.6, 15.55)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	-3.06 (-13.21, 8.27)	6.24 (-1.9, 15.06)	-2.4 (-11.47, 7.6)	-8.57 (-18.96, 3.15)	3.09 (-2.71, 9.24)	7.28 (-3.04, 18.7)	-15.56 (-25.22, -4.64)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	6.36 (1.52, 11.42)	5.88 (1.84, 10.07)	5.23 (.84, 9.8)	8 (3.08, 13.16)	5.38 (2.44, 8.41)	7.09 (1.57, 12.91)	-.24 (-5.7, 5.53)
Όλες οι ηλικιακές	15.41 (4.04, 28.03)	-.5 (-9.31, 9.17)	15.89 (5.4, 27.41)	6.83 (-4.28, 19.23)	9.81 (3.31, 16.71)	-5.54 (-17.49, 8.14)	11.01 (-3.29, 27.43)

ομάδες, αναπνευστικές αιτίες							
>75, αναπνευστικές αιτίες	11.95 (-.46, 25.91)	-1.69 (-10.99, 8.58)	16.84 (5.58, 29.31)	8.33 (-3.31, 21.37)	11.94 (4.61, 19.78)	-4.59 (-17.56, 10.41)	13.42 (-2.43, 31.84)
Μοντέλο με θερμοκρασία και υγρασία							
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	3.34 (.45, 6.3)	2.88 (.54, 5.28)	2.93 (.18, 5.75)	3.14 (-.08, 6.47)	3.93 (2.17, 5.72)	1.11 (-2.04, 4.36)	1.04 (-2.26, 4.46)
0-64, φυσικές αιτίες	-1.94 (-8.17, 4.72)	4.42 (-1.11, 10.26)	2.14 (-4.02, 8.69)	3.81 (-4.23, 12.52)	1.77 (-2.25, 5.96)	-2.01 (-9.3, 5.87)	4.03 (-3.51, 12.15)
65-74, φυσικές αιτίες	.15 (-6.09, 6.8)	.29 (-4.78, 5.63)	-.8 (-6.67, 5.43)	-6.33 (-13.42, 1.33)	1.75 (-2.12, 5.78)	.39 (-6.73, 8.04)	-2.36 (-9.48, 5.31)
>75, φυσικές αιτίες	5.92 (2.4, 9.57)	3.34 (.4, 6.36)	4.25 (.79, 7.83)	5.24 (1.36, 9.26)	5.27 (3.04, 7.55)	2.23 (-1.72, 6.34)	1.28 (-2.9, 5.64)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	4.09 (-.29, 8.66)	5.96 (2.36, 9.7)	3.32 (-.65, 7.45)	5.32 (.88, 9.97)	4.6 (2.05, 7.21)	6.47 (1.74, 11.43)	-2.54 (-7.19, 2.34)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-5.14 (-15.79, 6.86)	4.8 (-4.53, 15.03)	-1.27 (-12.32, 11.17)	7.12 (-6.46, 22.68)	5.86 (-1.31, 13.55)	.52 (-11.77, 14.53)	2.97 (-9.96, 17.76)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	-2.72 (-13.24, 9.07)	6.44 (-2.08, 15.7)	-2.75 (-12.09, 7.58)	-10.63 (-21.24, 1.4)	1.57 (-4.36, 7.87)	5.46 (-5.11, 17.22)	-15.04 (-25.1, -3.63)

>75, καρδιαγγειακές αιτίες	7.43 (2.34, 12.76)	6.07 (1.86, 10.46)	5.38 (.8, 10.16)	8.15 (2.97, 13.59)	5.09 (2.04, 8.23)	7.93 (2.1, 14.09)	-.4 (-6.09, 5.63)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	11.73 (.41, 24.31)	1.06 (-8.22, 11.28)	15.31 (4.32, 27.46)	8.1 (-3.76, 21.41)	10.23 (3.43, 17.47)	-6.47 (-18.78, 7.71)	9.79 (-4.87, 26.7)
>75, αναπνευστικές αιτίες	8.41 (-3.99, 22.41)	1.03 (-8.87, 12.02)	16.04 (4.23, 29.19)	10.11 (-2.4, 24.22)	12.66 (4.95, 20.93)	-6.6 (-19.8, 8.78)	11.88 (-4.34, 30.86)

Νότιος Τομέας	Άγιος Δημήτριος	Άλιμος	Βάρη-Βούλα-Βουλιαγμένη	Γλυφάδα	Ελληνικό-Αργυρούπολη	Καλλιθέα	Νέα Σμύρνη	Παλαιό Φάληρο
Μοντέλο με θερμοκρασία μόνο								
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	1.42 (-1.29, 4.21)	.42 (-3.03, 3.99)	1.06 (-1.88, 4.08)	3.27 (.9, 5.7)	1.64 (-1.49, 4.87)	3.75 (2.05, 5.48)	4.81 (2.56, 7.11)	3.52 (1.41, 5.68)
0-64, φυσικές αιτίες	-2.28 (-8.07, 3.87)	1.18 (-8.26, 11.58)	-.27 (-7.38, 7.39)	1.65 (-3.9, 7.52)	1.31 (-5.74, 8.88)	.98 (-3.32, 5.47)	1.45 (-4.92, 8.24)	4.17 (-1.72, 10.42)
65-74, φυσικές αιτίες	1.4 (-4.7, 7.9)	-6.94 (-15.11, 2.02)	-4.81 (-12.05, 3.02)	-.14 (-5.64, 5.68)	2.3 (-4.56, 9.66)	2.36 (-1.35, 6.2)	6.13 (.82, 11.72)	4.73 (-.87, 10.65)
>75, φυσικές αιτίες	2.54 (-.88, 6.08)	2.16 (-1.81, 6.29)	2.86 (-.69, 6.54)	4.61 (1.65, 7.65)	1.56 (-2.43, 5.71)	4.79 (2.66, 6.96)	5.02 (2.4, 7.71)	3.16 (.71, 5.67)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	3.37 (-.68, 7.59)	1.51 (-3.53, 6.81)	5.58 (.74, 10.66)	4.03 (.39, 7.8)	.74 (-3.9, 5.6)	4.77 (2.25, 7.36)	6.73 (3.55, 10.01)	3.83 (.69, 7.06)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-5.4 (-15.07, 5.38)	15.94 (.08, 34.32)	1.98 (-11.86, 18)	1.35 (-8.45, 12.19)	3.97 (-8.31, 17.89)	4.19 (-3.27, 12.23)	7.11 (-3.74, 19.19)	1.65 (-8.18, 12.53)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	5.83 (-4.21, 16.93)	-5.34 (-17.85, 9.09)	-10.65 (-23.76, 4.72)	1.19 (-7.62, 10.83)	-4.5 (-14.77, 7.01)	2.09 (-3.97, 8.54)	1.79 (-6.7, 11.04)	9.01 (.4, 18.35)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	4.54 (-.26, 9.56)	.74 (-4.85, 6.66)	8.3 1 (2.86, 14.05)	5.02 (.83, 9.37)	1.46 (-4.18, 7.42)	5.38 (2.45, 8.4)	7.4 (3.81, 11.11)	3.28 (-.2, 6.89)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες,	5.81 (-4.9, 17.73)	18.07 (3.89, 34.18)	-5.7 (-16.75, 6.81)	8.54 (-.11, 17.94)	-.99 (-12.13, 11.55)	2.86 (-2.87, 8.94)	5.9 (-2.3, 14.79)	8.22 (.76, 16.25)

αναπνευστικές αιτίες								
>75, αναπνευστικές αιτίες	8.07 (-3.83, 21.43)	18.36 (3.51, 35.33)	-3.65 (-15.18, 9.45)	8.15 (-1.31, 18.52)	-4.11 (-15.72, 9.1)	4.93 (-1.37, 11.64)	2.05 (-6.58, 11.48)	10.13 (2, 18.91)
Μοντέλο με θερμοκρασία και υγρασία								
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	1.14 (-1.68, 4.04)	.28 (-3.3, 3.99)	.99 (-2.08, 4.15)	3.18 (.7, 5.72)	1.71 (-1.56, 5.09)	3.81 (2.03, 5.62)	4.85 (2.5, 7.25)	3.7 (1.5, 5.95)
0-64, φυσικές αιτίες	-3.45 (-9.38, 2.87)	1.48 (-8.31, 12.31)	-2.04 (-9.34, 5.84)	1.26 (-4.5, 7.37)	1.59 (-5.81, 9.57)	.31 (-4.13, 4.95)	1.2 (-5.38, 8.24)	4.12 (-2.01, 10.63)
65-74, φυσικές αιτίες	2.68 (-3.73, 9.52)	-6.58 (-15.05, 2.74)	-4.59 (-12.13, 3.59)	.54 (-5.24, 6.66)	2.36 (-4.81, 10.07)	2.81 (-1.07, 6.83)	6.48 (.9, 12.36)	5.76 (-.13, 11.99)
>75, φυσικές αιτίες	2.01 (-1.53, 5.69)	1.78 (-2.33, 6.06)	3.12 (-.6, 6.99)	4.36 (1.28, 7.54)	1.57 (-2.59, 5.9)	4.9 (2.68, 7.17)	5.05 (2.31, 7.86)	3.21 (.65, 5.83)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	3.12 (-1.09, 7.5)	1.73 (-3.5, 7.25)	6.21 (1.13, 11.55)	4.18 (.38, 8.13)	1.76 (-3.12, 6.88)	5.3 (2.65, 8.01)	6.84 (3.51, 10.28)	4.03 (.75, 7.4)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-6.61 (-16.53, 4.48)	19.27 (2.23, 39.16)	.65 (-13.53, 17.17)	1.06 (-9.13, 12.39)	8.39 (-5.05, 23.74)	6.39 (-1.56, 14.97)	7.18 (-4.08, 19.77)	3.25 (-7.08, 14.73)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	7.83 (-2.82, 19.65)	-2.41 (-15.66, 12.91)	-9.89 (-23.52, 6.17)	1.73 (-7.48, 11.86)	-4.3 (-15.03, 7.78)	2.67 (-3.67, 9.42)	2.99 (-5.97, 12.79)	9.03 (.05, 18.81)

>75, καρδιαγγειακές αιτίες	3.93 (-1.03, 9.15)	.03 (-5.73, 6.13)	9.2 (3.45, 15.28)	5.14 (.76, 9.72)	2.1 (-3.8, 8.37)	5.65 (2.59, 8.81)	7.31 (3.55, 11.19)	3.33 (-.3, 7.1)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	3.03 (-7.85, 15.19)	21.66 (6.22, 39.35)	-7.38 (-18.72, 5.54)	7.18 (-1.74, 16.91)	-.21 (-11.91, 13.04)	3.53 (-2.49, 9.92)	6.18 (-2.39, 15.5)	6.36 (-1.27, 14.58)
>75, αναπνευστικές αιτίες	6.15 (-6.03, 19.91)	22.18 (5.98, 40.87)	-5.55 (-17.38, 7.97)	7.16 (-2.63, 17.95)	-2.93 (-15.16, 11.06)	5.71 (-.92, 12.78)	1.82 (-7.13, 11.64)	8.65 (.31, 17.68)

Βόρειος Τομέας	Αγία Παρασκευή	Μαρούσι	Βριλήσσια	Γαλάτσι	Ηράκλειο	Κηφισιά	Λυκόβρυση-Πεύκη	Μεταμόρφωση
Μοντέλο με θερμοκρασία μόνο								
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	.71 (-2.13, 3.62)	1.57 (-1.1, 4.32)	.81 (-3.12, 4.91)	1.99 (-.94, 5.01)	.5 (-2.72, 3.83)	2.6 (.08, 5.18)	.04 (-4.29, 4.57)	-.3 (-4.07, 3.62)
0-64, φυσικές αιτίες	-5.74 (-12.28, 1.28)	-.9 (-7.24, 5.86)	-3.32 (-12.34, 6.62)	-4.33 (-11.4, 3.31)	2.19 (-4.84, 9.75)	.31 (-5.9, 6.93)	-11.47 (-21.92, .38)	-7.18 (-15.07, 1.45)
65-74, φυσικές αιτίες	-2.07 (-8.47, 4.76)	2.64 (-3.65, 9.35)	-4.76 (-14.36, 5.91)	4.13 (-2.78, 11.53)	6.72 (-.65, 14.64)	-1.64 (-8.12, 5.29)	2.41 (-7.26, 13.1)	1.15 (-7.5, 10.6)
>75, φυσικές αιτίες	2.94 (-.62, 6.62)	1.89 (-1.38, 5.27)	3.2 (-1.55, 8.18)	2.89 (-.67, 6.57)	-1.75 (-5.67, 2.33)	3.91 (.94, 6.98)	1.85 (-3.44, 7.43)	1.44 (-3.57, 6.7)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	2.55 (-1.66, 6.94)	2.32 (-1.67, 6.47)	2.38 (-3.71, 8.84)	3.81 (-.72, 8.55)	1.4 (-3.4, 6.42)	.77 (-2.97, 4.66)	-2.73 (-9.29, 4.31)	-2.34 (-8.07, 3.75)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-1.8 (-13.71, 11.75)	7.44 (-3.76, 19.94)	-9.57 (-25.92, 10.38)	2.98 (-9.21, 16.8)	7.03 (-5.65, 21.42)	-4.53 (-15.82, 8.27)	-24.59 (-42.7, -.75)	-15.72 (-28.99, .04)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	1.84 (-8.54, 13.4)	-1.67 (-11.43, 9.16)	5.02 (-11.02, 23.94)	3.62 (-7.19, 15.7)	8.26 (-5.15, 23.57)	-3.12 (-13.36, 8.32)	3.68 (-12.46, 22.79)	-10.29 (-23.47, 5.15)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	3.45 (-1.39, 8.52)	2.28 (-2.28, 7.05)	3.61 (-3.26, 10.97)	3.97 (-1.24, 9.46)	-.81 (-6.33, 5.04)	1.95 (-2.27, 6.35)	-1.67 (-9.03, 6.28)	2.2 (-4.69, 9.59)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες,	3.88 (-6.3, 15.17)	-1.18 (-10.3, 8.86)	10.26 (-4.88, 27.81)	6.36 (-4.22, 18.11)	6.65 (-5.83, 20.78)	9.14 (.2, 18.86)	3.88 (-13.12, 24.19)	-4.07 (-21.47, 17.2)

αναπνευστικές αιτίες								
>75, αναπνευστικές αιτίες	3.12 (-7.73, 15.24)	-5.77 (-15.47, 5.04)	6.76 (-9.82, 26.39)	6.48 (-4.83, 19.13)	2.27 (-10.97, 17.46)	8.98 (-.35, 19.17)	8.87 (-9.63, 31.15)	-2.68 (-20.93, 19.79)
Μοντέλο με θερμοκρασία και υγρασία								
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	.99 (-1.97, 4.03)	1.39 (-1.38, 4.23)	1.22 (-2.92, 5.54)	1.99 (-1.07, 5.15)	.6 (-2.76, 4.07)	2.25 (-.35, 4.92)	-.19 (-4.73, 4.57)	-.09 (-4.04, 4.02)
0-64, φυσικές αιτίες	-5.27 (-12.08, 2.06)	-1.2 (-7.74, 5.81)	-3.88 (-13.22, 6.46)	-6.49 (-13.68, 1.3)	2.43 (-4.98, 10.4)	-.7 (-7.08, 6.12)	-15.26 (-25.65, -3.4)	-7.09 (-15.33, 1.95)
65-74, φυσικές αιτίες	-2 (-8.65, 5.14)	1.08 (-5.34, 7.93)	-2.41 (-12.64, 9)	3.35 (-3.8, 11.04)	4.07 (-3.44, 12.17)	-2.55 (-9.15, 4.54)	1.28 (-8.78, 12.46)	.99 (-8.03, 10.91)
>75, φυσικές αιτίες	3.22 (-.49, 7.07)	2.12 (-1.28, 5.63)	3.33 (-1.67, 8.58)	3.73 (-.02, 7.62)	-.96 (-5.07, 3.32)	3.83 (.74, 7.02)	2.76 (-2.85, 8.7)	1.76 (-3.49, 7.28)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	2.43 (-1.95, 7.01)	2.46 (-1.69, 6.77)	2.56 (-3.82, 9.37)	3.98 (-.76, 8.95)	1.7 (-3.31, 6.97)	.69 (-3.19, 4.72)	-2.4 (-9.3, 5.02)	-.63 (-6.68, 5.8)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-4.88 (-16.83, 8.78)	5.8 (-5.67, 18.66)	-9.53 (-26.45, 11.27)	-2.28 (-14.39, 11.54)	6.69 (-6.69, 22)	-2.56 (-14.48, 11.02)	-28.27 (-46.11, -4.52)	-14.7 (-28.62, 1.93)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	3.81 (-7.2, 16.12)	-1.6 (-11.71, 9.68)	8.14 (-9.27, 28.89)	2.33 (-8.82, 14.85)	3.36 (-9.87, 18.53)	-3.15 (-13.69, 8.68)	5.15 (-11.96, 25.58)	-8.69 (-22.58, 7.69)

>75, καρδιαγγειακές αιτίες	3.37 (-1.67, 8.68)	2.66 (-2.08, 7.63)	3.33 (-3.86, 11.05)	5.39 (-.13, 11.21)	.56 (-5.24, 6.72)	1.63 (-2.74, 6.18)	-.91 (-8.7, 7.54)	4.05 (-3.24, 11.89)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	4.05 (-6.59, 15.9)	1.36 (-8.29, 12.02)	17.19 (-.06, 37.43)	8.39 (-2.85, 20.93)	6.61 (-6.46, 21.51)	9.58 (.23, 19.8)	5.63 (-12.63, 27.71)	-9.05 (-25.97, 11.74)
>75, αναπνευστικές αιτίες	2.76 (-8.5, 15.41)	-2.08 (-12.42, 9.48)	12.3 (-6.15, 34.39)	8.78 (-3.29, 22.35)	1.43 (-12.26, 17.27)	10 (.18, 20.79)	10.1 (-9.68, 34.21)	-7.28 (-25.14, 14.85)

Βόρειος Τομέας	Παπάγος-Χολαργός	Φιλοθέη-Ψυχικό	Πεντέλη	Νέα Ιωνία	Γέρακας	Χαλάνδρι
Μοντέλο με θερμοκρασία μόνο						
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	3.04 (.32, 5.84)	2.09 (-1.32, 5.62)	.47 (-3.32, 4.41)	3.09 (.58, 5.65)	.6 (-4.7, 6.19)	.48 (-1.79, 2.81)
0-64, φυσικές αιτίες	-4.26 (-11.56, 3.65)	1.54 (-8.06, 12.14)	-10.79 (-19.72, -.86)	2.41 (-3.54, 8.72)	-5.36 (-16.3, 7.01)	-1.16 (-6.79, 4.81)
65-74, φυσικές αιτίες	1.95 (-4.82, 9.21)	1.06 (-7.81, 10.79)	1.33 (-7.33, 10.8)	1.55 (-4.03, 7.45)	1.16 (-10.49, 14.32)	.67 (-4.93, 6.61)
>75, φυσικές αιτίες	4.35 (1.32, 7.47)	2.32 (-1.56, 6.34)	3.07 (-1.83, 8.22)	3.63 (.52, 6.83)	2.56 (-4.24, 9.84)	.77 (-1.97, 3.59)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	6.12 (1.95, 10.47)	3.14 (-1.85, 8.38)	-.69 (-6.52, 5.51)	2.72 (-.97, 6.55)	-1.07 (-8.93, 7.48)	1.85 (-1.49, 5.32)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-4.79 (-16.42, 8.46)	-9.94 (-26.01, 9.62)	-16 (-29.92, .7)	1.15 (-8.61, 11.95)	-3.78 (-25.35, 24.01)	-3.41 (-13.26, 7.56)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	2.38 (-8.49, 14.55)	10.2 (-4.92, 27.72)	2.95 (-12.78, 21.52)	-2.68 (-11.54, 7.06)	.53 (-18.65, 24.22)	-1.37 (-10.59, 8.8)
>75, καρδιαγγειακές αιτίες	8.1 (3.55, 12.86)	3.57 (-1.94, 9.39)	1.34 (-5.5, 8.67)	4.03 (-.26, 8.5)	-.84 (-9.82, 9.03)	2.96 (-.81, 6.88)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες,	4.08 (-4.19, 13.07)	5.46 (-6.12, 18.46)	19.99 (2.03, 41.11)	2.11 (-8.09, 13.44)	5.98 (-17.67, 36.42)	8.66 (.79, 17.15)

αναπνευστικές αιτίες						
>75, αναπνευστικές αιτίες	-.42 (-9.17, 9.17)	5.81 (-6.23, 19.41)	23.1 (3.96, 45.75)	.93 (-9.55, 12.61)	10.76 (-18.09, 49.76)	8.95 (.41, 18.21)
Μοντέλο με θερμοκρασία και υγρασία						
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, φυσικές αιτίες	2.87 (.04, 5.78)	1.84 (-1.71, 5.53)	.38 (-3.56, 4.47)	3.18 (.56, 5.87)	.22 (-5.39, 6.17)	.22 (-2.15, 2.65)
0-64, φυσικές αιτίες	-4.2 (-11.79, 4.04)	.33 (-9.54, 11.28)	-11.97 (-21.04, -1.85)	2 (-4.19, 8.58)	-3.84 (-15.6, 9.56)	-.63 (-6.55, 5.66)
65-74, φυσικές αιτίες	-.69 (-7.58, 6.71)	.48 (-8.74, 10.63)	.48 (-8.45, 10.29)	2.76 (-3.13, 9.02)	-2 (-13.87, 11.5)	-.65 (-6.43, 5.49)
>75, φυσικές αιτίες	4.6 (1.43, 7.87)	2.29 (-1.76, 6.51)	3.5 (-1.61, 8.88)	3.53 (.28, 6.88)	2.68 (-4.6, 10.5)	.58 (-2.28, 3.53)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, καρδιαγγειακές αιτίες	6.22 (1.87, 10.76)	2.49 (-2.7, 7.95)	-1.66 (-7.64, 4.7)	2.59 (-1.27, 6.59)	-.47 (-8.89, 8.73)	1.64 (-1.85, 5.26)
0-64, καρδιαγγειακές αιτίες	-5.16 (-17.2, 8.63)	-13.06 (-29.07, 6.57)	-17.85 (-31.88, -.94)	-.71 (-10.71, 10.41)	-3.52 (-26.36, 26.41)	-4.2 (-14.36, 7.16)
65-74, καρδιαγγειακές αιτίες	-1.28 (-12.25, 11.06)	7.32 (-8.17, 25.42)	3.1 (-13.22, 22.48)	-2.72 (-11.93, 7.45)	.3 (-19.81, 25.45)	-.44 (-10.12, 10.28)

>75, καρδιαγγειακές αιτίες	8.83 (4.05, 13.84)	3.43 (-2.33, 9.53)	.32 (-6.69, 7.86)	4.16 (-.34, 8.86)	.24 (-9.45, 10.98)	2.62 (-1.31, 6.72)
Όλες οι ηλικιακές ομάδες, αναπνευστικές αιτίες	6.29 (-2.5, 15.87)	9.99 (-2.62, 24.24)	18.52 (-.09, 40.59)	3.92 (-6.94, 16.04)	17.03 (-11.68, 55.08)	7.34 (-.81, 16.16)
>75, αναπνευστικές αιτίες	2.57 (-6.76, 12.83)	10.32 (-2.84, 25.26)	23.15 (2.99, 47.25)	3.14 (-8.05, 15.69)	27.89 (-9.11, 79.94)	8.1 (-.79, 17.79)