

**ΜΠΣ ΒΙΟΣΤΑΤΙΣΤΙΚΗ**

**ΕΘΝΙΚΟ ΚΑΙ ΚΑΠΟΔΙΣΤΡΙΑΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΘΗΝΩΝ**

**ΙΑΤΡΙΚΗ ΣΧΟΛΗ**

**ΤΜΗΜΑ ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΩΝ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΑΘΑΝΑΣΙΑΔΟΥ ΕΥΑΓΓΕΛΙΑ**

Ανάλυση χρονοσειρών για τη διερεύνηση της επίδρασης των μετεωρολογικών παραγόντων  
στη θνησιμότητα σε 10 πόλεις της Ελλάδας την περίοδο 2008-2016.

Αθήνα, 2020

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 και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών.

Εγκρίθηκε την ..... από την εξεταστική επιτροπή:

ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ

ΒΑΘΜΙΔΑ

ΥΠΟΓΡΑΦΗ

**Κ. Κατσουγιάννη (Επιβλέπουσα)**

Καθηγήτρια

.....

**Ε. Σαμόλη**

Αν. Καθηγήτρια

.....

**Κ. Δημακοπούλου**

Μεταδιδάκτωρ

.....

*Στη μητέρα μου και στον πατέρα μου*

## **Ευχαριστίες**

Πρώτη απ'όλους, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την επιβλέπουσα της διπλωματικής μου εργασίας Καθηγήτρια Κατσουγιάννη Κλεάνθη για τη πολύτιμη βοήθειά της καθώς και για την ευκαιρία που μου έδωσε να συνεργαστώ μαζί της.

Στη συνέχεια, οφείλω να ευχαριστήσω την Επίκουρη Καθηγήτρια Σαμόλη Ευαγγελία, τη διδάκτορα κα. Δημακοπούλου Κωνσταντίνα και τον κ. Αναλυτή Αντώνη, οι οποίοι με προθυμεία με βοήθησαν να ανταπεξέλθω σε δυσκολίες που συνάντησα καθ'όλη τη διάρκεια εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας.

## Περιεχόμενα

### Σελίδα

<b>Εισαγωγή</b> .....	1
<b>A. ΓΕΝΙΚΟ ΜΕΡΟΣ</b> .....	3
<b>1. Μετεωρολογικοί παράγοντες</b> .....	3
1.1 <i>Θερμοκρασία Ατμόσφαιρας</i> .....	4
1.2 <i>Δείκτες έκφρασης της θερμοκρασίας</i> .....	5
1.3 <i>Υγρασία ατμόσφαιρας</i> .....	7
1.3.1 <i>Απόλυτη υγρασία</i> .....	7
1.3.2 <i>Σχετική Υγρασία</i> .....	8
1.4 <i>Σημείο Δρόσου</i> .....	8
<b>2. Η σχέση της θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα</b> .....	9
2.1 <i>Η μορφή και η χρονική δομή της μέσης θερμοκρασίας ως βασικός παράγοντας έκθεσης ...</i>	10
2.2 <i>Συγγενικοί παράγοντες</i> .....	11
<b>3. Μεθοδολογία στατιστικής ανάλυσης</b> .....	13
3.1 <i>Ανάλυση Χρονοσειρών</i> .....	13
3.2 <i>Η κατανομή Poisson</i> .....	15
3.2.1 <i>Μοντέλα Poisson</i> .....	15
3.2.2 <i>Ερμηνεία συντελεστών εξάρτησης</i> .....	16
3.3 <i>Υπερδιασπορά</i> .....	17
3.4 <i>Αυτοσυσχέτιση</i> .....	18
3.4.1 <i>Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (Autocorrelation function, ACF)</i> .....	19
3.4.2 <i>Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης (Partial autocorrelation function, PACF) ...</i>	20

3.4.3	Έλεγχος Durbin-Watson .....	21
3.4.4	Ljung-Box $Q$ ή Portmanteau test .....	22
3.5	Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (Generalized Additive Models, GAM) .....	23
3.6	Συναρτήσεις Εξομάλυνσης .....	24
3.6.1	Μορφές της συνάρτησης εξομάλυνσης $f$ .....	24
3.6.2	Διαλέγοντας βαθμούς ελευθερίας (degrees of freedom, $df$ ) για την συνάρτηση εξομάλυνσης $f$ .....	25
3.7	Μοντέλα με Χρονικά Κατανεμημένες Μη Γραμμικές Επιδράσεις (Distributed Lag Non-Linear Models, DNLM) .....	26
3.8	Αλγόριθμος του Muggeo .....	27
3.9	Μετα-ανάλυση Μελετών .....	27
3.9.1	Δενδρόγραμμα (Forest Plot) .....	28
3.9.2	Μοντέλο σταθερών επιδράσεων (Fixed-Effect Model) .....	28
3.9.3	Μοντέλο τυχαίων επιδράσεων (Random -Effect Model) .....	30
3.9.4	Επιλογή μεταξύ μοντέλου σταθερών και μοντέλου τυχαίων επιδράσεων .....	32
3.9.5	Ετερογένεια .....	32

## **B. ΕΙΔΙΚΟ ΜΕΡΟΣ..... 33**

<b>4.</b>	<b>Σκοπός της Μελέτης.....</b>	<b>33</b>
<b>5.</b>	<b>Υλικό και Μέθοδος .....</b>	<b>34</b>
5.1	Δεδομένα .....	34
5.1.1	Θνησιμότητα .....	34
5.1.2	Μετεωρολογικοί παράγοντες .....	35
5.1.3	Ατμοσφαιρικοί ρύποι .....	36
5.2	Στατιστική Ανάλυση .....	37
5.2.1	Προσδιορισμός μοντέλων για κάθε πόλη.....	37
5.2.2	Σύνθεση των αποτελεσμάτων (Μετα-ανάλυση) .....	38

<b>6. Αποτελέσματα</b> .....	40
6.1 Περιγραφικά Χαρακτηριστικά .....	40
6.2 Αποτελέσματα μοντέλων με Χρονικά Κατανομημένες Μη Γραμμικές επιδράσεις (DLNM) ..	70
6.3 Αποτελέσματα Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων (GAM) .....	73
6.4 Αποτελέσματα τελικών μοντέλων .....	80
6.5 Αποτελέσματα μετα-ανάλυσης .....	86
<b>7. Συμπεράσματα - Συζήτηση</b> .....	97
<b>Παράρτημα</b> .....	99
<b>Περίληψη</b> .....	114
<b>Abstract</b> .....	116
<b>Βιβλιογραφία</b> .....	118

## Εισαγωγή

Η Βιομετεωρολογία αποτελεί τον κλάδο της μετεωρολογίας που μελετά τις επιδράσεις των μετεωρολογικών και κλιματολογικών παραγόντων στην υγεία. Είναι επιστημονικά τεκμηριωμένο πως το κλίμα και τα μετεωρολογικά φαινόμενα αποτελούν σημαντικές συνιστώσες που επηρεάζουν την ανθρώπινη υγεία, τις ανθρώπινες δραστηριότητες και τη γενικότερη ευημερία του ατόμου (Ballester et al., 2003). Τα τελευταία χρόνια, οι επιπτώσεις των μετεωρολογικών παραγόντων στην υγεία έχουν ανακύψει ως ένα μείζον ζήτημα λόγω της παρατηρηθείσας και προβλεπόμενης αλλαγής του κλίματος, η οποία αναμένεται να οδηγήσει σε γενική αύξηση της θερμοκρασίας αλλά και σε απροσδόκητα κλιματικά φαινόμενα όπως καύσωνες και παγετώνες. Αυτές οι κλιματικές αλλαγές οδηγούν με τη σειρά τους σε αύξηση της θνησιμότητας και της νοσηρότητας των πληθυσμών. Το φαινόμενο αυτό παρατηρήθηκε έντονα στην Ελλάδα τον Ιούλιο του 1987 ύστερα από ένα σημαντικό καύσωνα στην ιστορία της χώρας με μεγάλη θνησιμότητα που είχε ως αποτέλεσμα 2.000 επιπλέον νεκρούς στην Αθήνα (Katsouyanni et al., 1988). Εξαιρετικά ισχυροί καύσωνες, όπου έγινε έντονα αντιληπτή η μεγάλη συσχέτιση της θνησιμότητας με την αύξηση της θερμοκρασίας, αποτέλεσαν και αυτοί του Ιουλίου και Αυγούστου του 2007 με πολλά θύματα στη Β. Ελλάδα, Πελοπόννησο και Εύβοια. Το χειρότερο κύμα καύσωνα στην πρόσφατη ιστορία ήταν το Ευρωπαϊκό Κύμα Καύσωνα του 2003, με πάνω από 70.000 επιπλέον θύματα στην Ευρώπη (J.-M. Robine et al., 2008). Μήνας κατάρριψης ρεκόρ υψηλής θερμοκρασίας ήταν ο Ιούνιος του 2019 και παρά το γεγονός ότι αποτέλεσε τον πιο καυτό μήνα σε παγκόσμιο επίπεδο (όχι όμως στην Ελλάδα), οι επιπτώσεις του ήταν σχετικά μικρές χάρη στη λήψη κατάλληλων μέτρων προστασίας που πλέον εφαρμόζονται σε συνθήκες καύσωνα (Iliana Magra et al., 2019). Παρά της πρόσφατης εστίασης στους καύσωνες, οι θάνατοι λόγω ψύχους δε παύουν να αποτελούν σημαντικό πρόβλημα δημόσιας υγείας και έτσι η επίδρασή τους δεν πρέπει να υποτιμάται (Analitis et al., 2008).

Πολλοί ερευνητές αναφέρουν ότι η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και θνησιμότητας έχει J , U ή V μορφή, τονίζοντας πως το όριο της θερμοκρασίας, γνωστό ως « θερμοκρασιακό όριο», πέραν του οποίου παρατηρείται αύξηση της θνησιμότητας διαφέρει από τόπο σε τόπο και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος (Analitis et al., 2008; Baccini et al., 2008; Braga et al., 2001). Το μέγεθος της επίδρασης πάνω από τη θερμοκρασία που σχετίζεται με τη μικρότερη θνησιμότητα καθώς και η τιμή της θερμοκρασίας για την οποία παρατηρείται η μικρότερη θνησιμότητα διαφέρει μεταξύ των γεωγραφικών περιοχών. Πιθανολογείται ότι αυτή η ετερογένεια οφείλεται τόσο στη κλιματική μεταβλητότητα όσο και σε δημογραφικούς, πολιτιστικούς και κοινωνικο- οικονομικούς παράγοντες - όπως για παράδειγμα ο ανύπαρκτος κλιματισμός στις αγροτικές περιοχές- , οι οποίοι οδηγούν σε διαφορετικές αναλογίες ευπαθών ατόμων μεταξύ των πόλεων. Επιπροσθέτως, μέσω της ετερογένειας αντικατοπτρίζονται οι διαφορές στον προσαρμοστικό χαρακτήρα των κατοίκων μιας περιοχής στις ακραίες



θερμοκρασίες (Baccini et al., 2008). Για το λόγο αυτό, τα αποτελέσματα μιας μελέτης που διεξήχθη στο ψυχρότερο περιβάλλον, αυτό της Σιβηρίας, έδειξαν απουσία συσχέτισης μεταξύ χαμηλής θερμοκρασίας και θνησιμότητας (Donaldson GC et al., 1998). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Ευρωπαϊκού προγράμματος PHEWE (Assessment and Prevention of Acute Health Effects of Weather Conditions in Europe), η επίδραση της ψυχρής θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη στις Μεσογειακές από τις Βόρειες Ευρωπαϊκές πόλεις. Αντιθέτως, το θερμοκρασιακό όριο για την επίδραση της υψηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα, είναι μεγαλύτερο στις πόλεις της Μεσογείου από ό,τι στις βόρειες- ηπειρωτικές πόλεις της Ευρώπης, υποδεικνύοντας ότι οι κάτοικοι των ψυχρότερων πόλεων είναι πιο ευαίσθητοι σε συνθήκες υψηλής θερμοκρασίας και πιο ανεκτικοί στο κρύο (Baccini et al., 2008; Analitis et al., 2008).

Για τους παραπάνω λόγους, καθίσταται απαραίτητη η ποσοτικοποίηση του μεγέθους της επίδρασης που έχει η θερμοκρασία στη θνησιμότητα και νοσηρότητα ξεχωριστά για κάθε περιοχή. Μια καλύτερη κατανόηση του τρόπου και του μεγέθους με τον οποίο η θερμοκρασία επηρεάζει τις εκβάσεις υγείας σε επίπεδο γεωγραφικής περιοχής είναι καθοριστικής σημασίας για την ανάπτυξη πολιτικών προσαρμογής και δράσεων προστασίας των πολιτών από περιβαλλοντικούς κινδύνους για την υγεία και την ευημερία.

## **A. Γενικό Μέρος**

### **Μετεωρολογικοί Παράγοντες**

*Ατμόσφαιρα* ονομάζεται το στρώμα του αέρα το οποίο περιβάλλει τη Γη και την ακολουθεί στο σύνολο των κινήσεών της. Το ύψος στο οποίο φθάνει η ατμόσφαιρα δεν είναι καθορισμένο. Το ανώτατο αυτό όριο θα πρέπει να είναι μια επιφάνεια στην οποία, στην μονάδα του χρόνου, ο αριθμός των σωματιδίων που διαφεύγουν να είναι ίσος με τον αριθμό αυτών που επιστρέφουν (Χαράλαμπος Φείδας, 2013, Γενική Μετεωρολογία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.) . Τα φαινόμενα που επηρεάζουν την καθημερινή μας ζωή είναι εκείνα που συμβαίνουν στο κατώτερο στρώμα της ατμόσφαιρας, που παρατηρούνται δηλαδή ως «τροπές», ως μεταβλητές αυτού του στρώματος, και το οποίο ονομάζεται τροπόσφαιρα. Επειδή όμως τα φαινόμενα αυτά οι αρχαίοι Έλληνες τα ονόμαζαν «μετέωρα», που σημαίνει οτιδήποτε βρίσκεται στον ουρανό, ονομάζονται *Μετεωρολογικά φαινόμενα*.

Κύρια στοιχεία της Μετεωρολογίας είναι η Θερμοκρασία ατμοσφαιράς ή Θερμοκρασία αέρος, η Υγρασία ατμόσφαιρας ή υγρασία αέρος και η Ατμοσφαιρική πίεση. Αυτά τα ποσοτικά μετεωρολογικά στοιχεία, ή ο συνδυασμός τους (σύνθετοι μετεωρολογικοί δείκτες), αποτελούν και τις αιτίες της όποιας ατμοσφαιρικής διατάραξης, αποτελέσματα της οποίας είναι τα παρατηρούμενα μετεωρολογικά φαινόμενα (Βικιπαίδεια, 2019, Μετεωρολογία) και χρησιμοποιούνται επί τω πλείστων στην επιδημιολογία για τη μελέτη της επίδρασης των μετεωρολογικών φαινομένων σε εκβάσεις υγείας.

## 1.1 Θερμοκρασία Ατμόσφαιρας

Η θερμοκρασία περιγράφει την κινητική ενέργεια των αερίων μαζών που συνθέτουν τον αέρα. Καθώς τα μόρια του αέρα κινούνται γρηγορότερα η θερμοκρασία αέρος αυξάνει. *Θερμοκρασία ατμόσφαιρας* ονομάζεται η θερμοκρασία την οποία έχει ο ατμοσφαιρικός αέρας πάνω από μια περιοχή (Βικιπαίδεια, 2018, Θερμοκρασία ατμόσφαιρας). Με λίγα λόγια, αποτελεί το μέτρο του πόσο ζεστός ή κρύος είναι ο αέρας ενός τόπου. Ως θερμοκρασία του αέρα εννοούμε τη θερμοκρασία την μετρημένη υπό σκιά, στο μετεωρολογικό κλωβό σε ύψος 1.5 μέτρων με τα υδραργυρικά θερμόμετρα.

Η θερμοκρασία συνήθως εκφράζεται σε βαθμούς Κελσίου (Celsius, °C) ή Φαρενάιτ (Fahrenheit, °F). Μηδέν βαθμοί Κελσίου είναι ίσοι με 32 βαθμούς Φαρενάιτ. Οι 25 βαθμοί Κελσίου ή οι 77 βαθμοί Φαρενάιτ θεωρούνται η τυπική θερμοκρασία δωματίου. Ένας πιο επιστημονικός τρόπος περιγραφής της θερμοκρασίας του αέρα είναι η παγκοσμίως επίσημη μονάδα των βαθμών Κέλβιν (Kelvin, °K). Οι μηδέν βαθμοί Κέλβιν ονομάζονται απόλυτο μηδέν και είναι η ψυχρότερη θερμοκρασία που μπορεί να υπάρξει, δεδομένου ότι σε αυτή οποιαδήποτε μοριακή κίνηση σταματά. Προσεγγιστικά ισούται με -273 °C και -460 °F. Πιο συγκεκριμένα, οι μαθηματικές σχέσεις είναι οι εξής:

➤  $^{\circ}\text{K} = 273 + ^{\circ}\text{C}$  και

➤  $^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$

Την ημερήσια θερμοκρασία ενός τόπου την προσδιορίζει:

- Η απολύτως μέγιστη και ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας, που σημειώθηκαν στον τόπο αυτό, σε εκείνο το 24ωρο.
- Η μέση ημερήσια τιμή της θερμοκρασίας.
- Το ημερήσιο θερμοκρασιακό εύρος: Ορίζεται ως η διαφορά της μέγιστης και της ελάχιστης τιμής θερμοκρασίας το 24ωρο.
- Η μέση, μέγιστη ή ελάχιστη ημερήσια τιμή της αισθητής θερμοκρασίας

## 1.2 Δείκτες έκφρασης της θερμοκρασίας

Για τη διερεύνηση της επίδρασης των μετεωρολογικών μεταβλητών στην υγεία, συνήθως χρησιμοποιούνται βιοκλιματικοί δείκτες, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τη συνδυασμένη επίδραση της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας ή το σημείο δρόσου στα επίπεδα θερμικής άνεσης ή δυσφορίας στον ανθρώπινο οργανισμό. Τον πιο ευρέως γνωστό βιοκλιματικό δείκτη αποτελεί η Αισθητή Θερμοκρασία. Επιπροσθέτως, η μέση, ελάχιστη ή μέγιστη - θερμοκρασία και η σχετική υγρασία χρησιμοποιούνται ως δύο ανεξάρτητοι παράγοντες με βασικό μειονέκτημα την αδυναμία συνυπολογισμού της συνδυασμένης δράσης τους (Kassomenos et al., 2001).

Ο δείκτης που ονομάστηκε αισθητή ή φαινόμενη θερμοκρασία αναπτύχθηκε στην Αυστραλία στα τέλη της δεκαετίας του 1970 από τον ερευνητή Robert Steadman (Steadman, 1979a, 1979b) και ορίζεται ως τη θερμοκρασία που αντιλαμβάνεται ο ανθρώπινος οργανισμός, λαμβάνοντας υπόψη τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία και τη ταχύτητα του ανέμου και την ακτινοβολία. Ο μαθηματικός τύπος της αισθητής θερμοκρασίας είναι βασισμένος σε μαθηματικό μοντέλο για τη θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα (Steadman, 1994). Δύο μορφές του μαθηματικού μοντέλου είναι διαθέσιμες, με την μία να περιλαμβάνει την επίδραση της ακτινοβολίας. Συγκεκριμένα:

$$\Theta_{\text{αισθητή}} = \Theta_{\text{ξηρού}} + 0.33 \cdot \Pi_{\text{υδρατμών}} - 0.70 \cdot T_A - 4.00$$

ο τύπος χωρίς την επίδραση της ακτινοβολίας και

$$\Theta_{\text{αισθητή}} = \Theta_{\text{ξηρού}} + 0.348 \cdot \Pi_{\text{υδρατμών}} - 0.70 \cdot T_A + 0.70 \cdot \frac{KA}{T_A + 10} - 4.25$$

ο τύπος με την επίδραση αυτής,

όπου

- $\Theta_{\text{αισθητή}}$  η Αισθητή Θερμοκρασία σε °C
- $\Theta_{\text{ξηρού}}$  η Ατμοσφαιρική Θερμοκρασία μετρούμενη με ένα θερμόμετρο εκτεθειμένο στον αέρα, αλλά προστατευμένο από την ακτινοβολία και την υγρασία (Wikipedia, 2019, Dry-bulb temperature) σε °C
- $\Pi_{\text{υδρατμών}}$  η Πίεση των Υδρατμών (Water Vapour Pressure) σε hPa και υπολογίζεται από την εξίσωση:

$$\text{Πυδρατμών} = \frac{\Sigma\Upsilon}{100} \cdot 6.105 \cdot \exp\left(\frac{17.27 \cdot \Theta_{\xi\eta\rho\sigma\acute{\upsilon}}}{237.7 + \Theta_{\xi\eta\rho\sigma\acute{\upsilon}}}\right)$$

- ΤΑ η ταχύτητα του Ανέμου (Wind Speed) σε ύψος 10 μέτρων από το έδαφος σε m/s
- ΣΥ η σχετική υγρασία σε %

και

- ΚΑ η Καθαρή Ακτινοβολία (Net Radiation) που απορροφάται ανά μονάδα επιφάνειας του ανθρώπινου σώματος σε w/m<sup>2</sup>

(Australian Government, Bureau of Meteorology, 2010).

Επιπροσθέτως, η Αισθητή Θερμοκρασία μπορεί να υπολογιστεί και ως συνδυασμός της θερμοκρασίας του αέρα ( $\Theta_{\alpha\acute{\epsilon}\rho\omicron\varsigma}$ ) και του σημείου δρόσου ( $\Theta_{\delta\rho\acute{\omicron}\sigma\omicron\upsilon}$ ), σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο (Analitis et al., 2008; Baccini et al., 2008; Hajat et al., 2006; Kalkstein & Valimont, 1986):

$$\Theta_{\alpha\iota\sigma\theta\eta\tau\acute{\eta}} = -2.653 + 0.994 \cdot \Theta_{\alpha\acute{\epsilon}\rho\omicron\varsigma} + 0.0153 \cdot \Theta_{\delta\rho\acute{\omicron}\sigma\omicron\upsilon}^2$$

Βάσει ευρημάτων πρόσφατης μελέτης για την αποτίμηση του καταλληλότερου δείκτη θερμοκρασίας - υγρασίας στην πρόβλεψη της θνησιμότητας από όλες τις αιτίες, παρόλο που ο καλύτερος δείκτης μπορεί να διαφέρει ανά πόλη και περίοδο, η ατμοσφαιρική θερμοκρασία, με έλεγχο για την σχετική υγρασία, αποδεικνύεται λίγο καλύτερη στις περισσότερες περιπτώσεις (Rodorouliou et al., 2015).

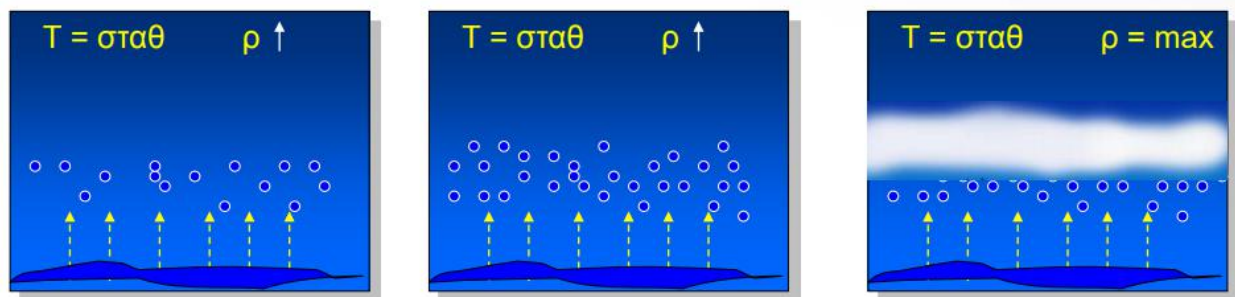
### 1.3 Υγρασία Ατμόσφαιρας

Στον ατμοσφαιρικό αέρα περιέχονται και υδρατμοί που προέρχονται από την εξάτμιση υγρών επιφανειών, κυρίως των θαλασσών. Η παρουσία αυτών των υδρατμών στον αέρα καλείται *Υγρασία ατμόσφαιρας* ή *υγρασία αέρος* και διακρίνεται σε απόλυτη και σε σχετική υγρασία. Για ορισμένη θερμοκρασία, η υγρασία παίζει σπουδαίο ρόλο στο αίσθημα της άνεσης ή της δυσφορίας που αντιλαμβάνονται οι άνθρωποι.

#### 1.3.1 Απόλυτη Υγρασία

*Απόλυτη υγρασία* ονομάζεται η μάζα των υδρατμών (σε γραμμάρια, gr) που περιέχεται σε ένα κυβικό μέτρο αέρα πάνω από μια περιοχή, σε μια δεδομένη χρονική στιγμή. Η απόλυτη υγρασία είναι ανάλογη της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να παρουσιάζει ίδια κύμανση με αυτή. Κατά συνέπεια, το καλοκαίρι όπου ευνοείται η εξάτμιση των υδάτινων επιφανειών λόγω των μεγάλων θερμοκρασιών, εμφανίζεται μεγαλύτερη απόλυτη υγρασία από ότι το χειμώνα. Επιπλέον, σε κάθε τιμή της θερμοκρασίας αντιστοιχεί μία μέγιστη τιμή απόλυτης υγρασίας. Για κάθε θερμοκρασία δηλαδή η ατμόσφαιρα “χωράει” ορισμένη ποσότητα υδρατμών. Αν την ξεπεράσει οι υπόλοιποι υδρατμοί συμπυκνώνονται. Όσο ψυχρότερος είναι ο αέρας τόσο μικρότερη ποσότητα υδρατμών μπορεί να συγκρατήσει. Υγρός αέρας καλείται ο αέρας που περιέχει υδρατμούς ενώ ξηρός αέρας καλείται εκείνος που θεωρητικά δεν περιέχει υδρατμούς. Όταν ο αέρας περιέχει τη μέγιστη αυτή ποσότητα υδρατμών τότε χαρακτηρίζεται ως κορεσμένος. Στην αντίθετη περίπτωση λέγεται ακόρεστος.

**Σχήμα 1.2:** Διαδικασία κορεσμού του αέρα (Πηγή: Χαράλαμπος Φείδας, 2013, Γενική Μετεωρολογία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.).



### 1.3.2 Σχετική Υγρασία

Σχετική υγρασία καλείται ο λόγος της ποσότητας των υδρατμών, που περιέχει ο αέρας, προς εκείνη την ποσότητα των υδρατμών τους οποίους μπορεί να συμπεριλάβει (υπό την αυτή θερμοκρασία και πίεση) μέχρις ότου αυτός κορεσθεί (Βικιπαίδεια, 2018, Υγρασία ατμόσφαιρας). Η σχετική υγρασία εκφράζεται επί τοις % και είναι το μέτρο του κατά πόσο η ατμόσφαιρα απέχει πολύ ή λίγο από το σημείο του κόρου. Έτσι για παράδειγμα, όταν επικρατεί ομίχλη ο αέρας καλείται συνήθως κεκορεσμένος (ορίζεται ως ο αέρας με σχετική υγρασία 100%) σε αντίθεση με τον τελείως ξηρό αέρα που έχει 0% υγρασία. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός πως για σταθερή πίεση, η σχετική υγρασία είναι ανάλογη της ποσότητας των υδρατμών και αντίστροφως ανάλογη της θερμοκρασίας. Συμπερασματικά, όταν η θερμοκρασία αέρος με δεδομένη πυκνότητα υδρατμών και πίεσης ελαττώνεται, η σχετική υγρασία του αυξάνει και αντίστροφα (Χαράλαμπος Φείδας, 2013, Γενική Μετεωρολογία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.).

### 1.4 Σημείο Δρόσου

Σημείο δρόσου ή Σημείο υγροποίησης ή σημείο κόρου ατμόσφαιρας χαρακτηρίζεται το σημείο εκείνο της θερμοκρασίας που για δεδομένο ποσοστό υγρασίας και σταθερή πίεση, όταν ο αέρας ψυχθεί γίνεται κορεσμένος και δεν μπορεί να συγκρατήσει άλλους υδρατμούς με αποτέλεσμα η σχετική υγρασία να είναι 100%. Η θερμοκρασία αυτή εξαρτάται μόνο από την ποσότητα των υδρατμών που περιέχει 1 κυβικό μέτρο αέρος, συνεπώς εξαρτάται από την απόλυτη υγρασία. Σημειώνεται ότι το σημείου δρόσου μπορεί να είναι οποιαδήποτε θερμοκρασία πάνω από το 0°C. Αν η θερμοκρασία συμπύκνωσης των υδρατμών είναι κάτω από το 0°C (παγετός), τότε δημιουργείται ένα άλλο φαινόμενο που λέγεται πάχνη.

Το ανθρώπινο σώμα αποβάλλει υγρασία με την αναπνοή, και παράγει ιδρώτα για να ρυθμίσει τη θερμοκρασία του με την ψύξη που προκαλεί η εξάτμισή του. Επιπλέον, σε συνθήκες αυξημένης θερμοκρασίας, τα επιφανειακά αιμοφόρα αγγεία διαστέλλονται, ώστε το αίμα να μπορέσει να ψυχθεί καλύτερα μέσα από το δέρμα μέσω της εξάτμισης του ιδρώτα. Για τον λόγο αυτό, η θερμοκρασία αέρος από μόνη της δεν μπορεί να περιγράψει το αίσθημα άνεσης ή δυσφορίας που νιώθει ο ανθρώπινος οργανισμός. Ως εκ τούτου, έχουν δημιουργηθεί σύνθετοι μετεωρολογικοί δείκτες που συνδυάζουν τη θερμοκρασία με την υγρασία, και δείχνουν ποιοι συνδυασμοί είναι πιο αποτελεσματικοί για να νοιώθει ένα άτομο άνετα με το περιβάλλον του, και ποιοι είναι δυσμενέστεροι. Τέτοιοι δείκτες μεταξύ άλλων είναι η Αισθητή ή Φαινομενική Θερμοκρασία, ο Δείκτης Δυσφορίας και ο Δείκτης Ψυχρότητας.

## Η σχέση της Θερμοκρασίας με τη Θνησιμότητα

Η υγεία του ανθρώπου επηρεάζεται από μία πληθώρα παραγόντων, και επομένως, είναι δύσκολο να μετρηθεί αποκλειστικά η επιρροή των μετεωρολογικών παραγόντων στη θνησιμότητα και να απομονωθούν όλοι οι άλλοι παράγοντες. Παρά όμως αυτή τη δυσκολία, αίτια της θνησιμότητας αποδεικνύεται ότι αποτελούν και οι μετεωρολογικοί παράγοντες με αυξημένη θνησιμότητα κατά τους χειμερινούς μήνες όπως επίσης και τις ζεστές ημέρες του καλοκαιριού (Analitis et al, 2008; Michelozzi et al., 2007).

Ο ανθρώπινος οργανισμός προκειμένου να διατηρεί τη θερμοκρασία του σώματος σταθερή, μέσα σε κάποια όρια, διαθέτει μηχανισμούς είτε δημιουργίας πρόσθετης θερμότητας είτε αποβολής της παραγόμενης από αυτόν θερμότητας. Έτσι, οι μηχανισμοί αυτοί διατηρούν τη θερμοκρασία του σώματος περίπου σταθερή, ανεξάρτητα από τις κλιματικές συνθήκες μέσα στις οποίες βρίσκεται, καθώς και από το είδος της εργασιακής δραστηριότητας που αναπτύσσει. Τα επιδημιολογικά δεδομένα δείχνουν ότι σε κάποιες ευαίσθητες ομάδες πληθυσμού, όπως είναι οι ηλικιωμένοι και τα άτομα με χρόνιες παθήσεις ή εκείνοι που λαμβάνουν ορισμένα φάρμακα ο κίνδυνος θνησιμότητας από υπερβολική έκθεση στη ζέστη ή στο κρύο είναι υψηλότερος σε σχέση με τους υπόλοιπους, επειδή έχουν εξασθενημένη την ικανότητα ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματός τους (Analitis et al., 2008; Wilkinson P et al., 1986–1996; Keatinge WR et al., 2000).

Ο ιδρώτας αποτελεί το βασικότερο τρόπο αποβολής θερμότητας όταν το ανθρώπινο σώμα βρεθεί σε θερμό περιβάλλον με θερμοκρασία υψηλότερη της θερμοκρασίας του. Επιπροσθέτως, σε υψηλές θερμοκρασίες, τα αιμοφόρα αγγεία που βρίσκονται στην επιδερμίδα διαστέλλονται. Η διαδικασία αυτή έχει ως συνέπεια την αύξηση των καρδιακών παλμών –προκειμένου να αυξηθεί η ροή του αίματος στα αιμοφόρα αγγεία–, καθώς και την εντονότερη λειτουργία του αναπνευστικού συστήματος μέσω του λαχανιάσματος (Hajat et al., 2010). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του ευρωπαϊκού προγράμματος PHEWE: Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe (Analitis et al, 2008; Michelozzi et al., 2007), οι υψηλές θερμοκρασίες έχουν αντίκτυπο στις εισαγωγές σε νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών προβλημάτων, με το φαινόμενο αυτό να είναι πιο σύνηθες στον ηλικιωμένο πληθυσμό, γεγονός που συμβαδίζει με τη μειωμένη ικανότητα αντιμετώπισης του θερμικού στρες (Michelozzi et al., 2008).

Αντίθετα, σε ψυχρά περιβάλλοντα, ο ανθρώπινος οργανισμός μέσω μιας αθέλητης δραστηριότητας των μυών, που εκδηλώνεται με ρίγος, αυξάνει τα ποσά της θερμότητας που ο ίδιος παράγει. Επιπλέον, περαιτέρω μείωση της αποβολής θερμότητας από τον ανθρώπινο οργανισμό προς το περιβάλλον επιτυγχάνεται μέσω της συστολής των αιμοφόρων αγγείων που βρίσκονται κοντά στην επιδερμίδα, προκειμένου να ρέουν μικρότερα ποσά αίματος από αυτά. Βέβαια, ο ανθρώπινος εγκλιματισμός σε ψυχρά περιβάλλοντα μπορεί να επιτευχθεί



μέσω ενός ανάλογου μοτίβου συμπεριφοράς - παραδείγματος χάρη, φορώντας περισσότερα ρούχα (Hajat et al., 2010).

Σύμφωνα με πολλές επιδημιολογικές μελέτες, η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών ακολουθεί μία διαφορετική συμπεριφορά από αυτή των χαμηλών (Anderson & Bell, 2009; Armstrong, 2006; Braga et al., 2001). Η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών συνήθως αυξάνει μετά από μία οριακή τιμή ενώ η επίδραση των χαμηλών είναι πτωτική με την αύξηση της θερμοκρασίας. Όπως αναφέρθηκε και πρωτύτερα, θεωρείται πως η μορφή της σχέσης μεταξύ θερμοκρασίας και θνησιμότητας είναι J, U ή V, μορφές που υποδεικνύουν πως υπάρχει ένα όριο της θερμοκρασίας πέραν του οποίου παρατηρείται αύξηση της θνησιμότητας. Όπως επίσης προαναφέρθηκε, αυτό το όριο διαφέρει από τόπο σε τόπο και εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος (Analitis et al., 2008; Baccini et al., 2008; Braga et al., 2001). Επιπροσθέτως, η μορφή U υποδηλώνει υψηλά ποσοστά θνησιμότητας στις πολύ υψηλές (πάνω από μία οριακή τιμή, «υψηλό θερμοκρασιακό όριο») ή πολύ χαμηλές θερμοκρασίες (κάτω από μία οριακή τιμή, «χαμηλό θερμοκρασιακό όριο») και απουσία σχέσης για τις πιο ήπιες (ενδιάμεσες) τιμές. Η μορφή V περιγράφει μία πτωτική τάση της θνησιμότητας με την άνοδο της θερμοκρασίας πριν από μία συγκεκριμένη τιμή και μία ανοδική τάση μετά από αυτή. Η απλή μορφή V είναι μία ειδική υποπερίπτωση της U όπου το υψηλό και το χαμηλό θερμοκρασιακό όριο συμπίπτουν. Ειδική περίπτωση της μορφής U είναι και η J η οποία υποδηλώνει απουσία επίδρασης της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα είτε στις χαμηλές (πριν από το χαμηλό θερμοκρασιακό όριο) είτε στις υψηλές θερμοκρασίες (μετά από το υψηλό θερμοκρασιακό όριο) (Armstrong, 2006).

### *2.1 Η μορφή και η χρονική δομή της μέσης θερμοκρασίας ως βασικός παράγοντας έκθεσης*

Σε πολλές επιδημιολογικές έρευνες, η επίδραση της ημερήσιας θερμοκρασίας στην ημερήσια θνησιμότητα μελετάται ξεχωριστά για τη ψυχρή (Οκτώβριος-Μάρτιος) και τη θερμή (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) περίοδο, καθώς θεωρείται ότι η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και θνησιμότητας έχει U μορφή, επιτρέποντας έτσι τη χρήση διαφορετικού μοντέλου ανά εποχή και μειώνοντας τη πολυπλοκότητα του ελέγχου της συγχυτικής επίδρασης των εποχικών τάσεων (Analitis et al., 2008).

Οι επιδράσεις της θερμοκρασίας στην υγεία παρουσιάζονται και άμεσα και με υστέρηση στο χρόνο (lag effects) (Anderson & Bell, 2009; Michelozzi et al., 2007). Αυτό σημαίνει ότι η επίδραση της θερμοκρασίας σήμερα μπορεί να οφείλεται όχι μόνο στη σημερινή έκθεση (lag 0) αλλά και σε αυτή της προηγούμενης ημέρας (lag 1), των δύο προηγούμενων (lag 2) ή και περισσότερων ημερών καθώς και στη μέση έκθεση σε μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο. Η χρονική υστέρηση μπορεί αντίστοιχα να ερμηνευτεί και ως το χρονικό διάστημα που διαρκεί η επίδραση της σημερινής έκθεσης (Gasparrini & Armstrong, 2010). Η γνώση της υστέρησης μεταξύ της έκθεσης σε υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες και των αρνητικών αποτελεσμάτων

της υγείας είναι σημαντική για την ανάπτυξη και τον σχεδιασμό μέτρων πρόληψης που αναφέρονται στη δημόσια και ατομική υγεία. Σύμφωνα μάλιστα με επιδημιολογικές μελέτες, οι επιδράσεις της θερμοκρασίας διαρκούν περισσότερο τη χειμερινή περίοδο σε σχέση με την εαρινή (Rodopoulou et al., 2015), με την επίδραση της χαμηλής θερμοκρασίας στη θνησιμότητα να οφείλεται σε έκθεση έως και εβδομάδες πριν (Braga et al., 2002; Anderson and Bell, 2009) σε αντίθεση με την επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών που περιορίζεται στην ημέρα του θανάτου ή την αμέσως προηγούμενη (Baccini et al., 2008; Michelozzi et al., 2007; Anderson and Bell, 2009).

## 2.2 Συγχυτικοί Παράγοντες

Δυνητικά συγχυτικό παράγοντα αποτελεί οποιοσδήποτε παράγοντας συσχετίζεται τόσο με την έκθεση όσο και με την έκβαση και επηρεάζει (ανεξάρτητα από την επίδραση όλων των υπόλοιπων παραγόντων) την επίδραση της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα είτε υπερεκτιμώντας είτε υποτιμώντας την σχέση μεταξύ τους, δημιουργώντας έτσι πλασματικές σχέσεις. Έτσι, η πραγματική σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και θνησιμότητας μπορεί να εκτιμηθεί μόνο εφόσον οι συγχυτικοί παράγοντες έχουν ληφθεί υπόψη στα μοντέλα με τη θερμοκρασία. Σύμφωνα με τα επιδημιολογικά ευρήματα, βασικοί μετεωρολογικοί παράγοντες για τους οποίους υπάρχουν υποψίες συγχυτικής επίδρασης στην παραπάνω σχέση αποτελούν η σχετική υγρασία, η ατμοσφαιρική πίεση και η ταχύτητα του ανέμου (Analitis et al., 2008). Άλλες μεταβλητές, όπως είναι οι μέρες της εβδομάδας, οι αργίες ή οι περίοδοι των διακοπών, πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση καθώς αποδεικνύονται συγχυτικοί παράγοντες στη σχέση εκβάσεων υγείας με τη θερμοκρασία (Katsouyanni et al. 1996). Ο λόγος για τον οποίο πρέπει να ληφθούν υπόψη είναι πως το Σάββατο και την Κυριακή ή σε περιόδους διακοπών παρατηρείται μείωση του αριθμού θανάτων ή των νοσοκομειακών εισαγωγών σε αντίθεση με τις υπόλοιπες ημέρες της εβδομάδας. Έτσι δίνεται λανθασμένα η εντύπωση πως ο αριθμός των θανάτων εκείνες τις μέρες είναι μειωμένος σε σχέση με τις υπόλοιπες μέρες (που δεν είναι ούτε αργίες, ούτε Σάββατο) παρόλου που η θερμοκρασία μπορεί να είναι εξίσου υψηλή. Μία επαρκής αιτιολόγηση είναι πως τις ημέρες αυτές, η παροχή υπηρεσιών υγείας είναι συχνά χαμηλότερου επιπέδου και η ανταπόκριση των ατόμων στο αίσθημα κακουχίας είναι εξίσου μικρή (συνήθως αποφεύγεται η προσέλευση σε ιατρεία το Σαββατοκύριακο με τους ασθενείς να περιμένουν μια μέρα ή και περισσότερο). Επιπλέον, έχει παρατηρηθεί πως ο αριθμός των εκτεθέντων διαφέρει τις ημέρες αυτές λόγω διαφορετικών μοτίβων συμπεριφοράς. Τέλος, οι ιώσεις που κάνουν την εμφάνισή τους τη χειμερινή περίοδο φαίνεται ότι επηρεάζουν την επίδραση των χαμηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα (Anderson and Bell, 2009).

Στις χρονοσειρές, η καταγραφή των δεδομένων τόσο της θνησιμότητας όσο και των μετεωρολογικών μεταβλητών γίνεται συνήθως σε ημερήσια βάση ή ανά τακτά χρονικά

διαστήματα (για παράδειγμα κάθε εβδομάδα, μήνα κ.ο.κ.). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να δημιουργούνται σειρές δεδομένων κατά τη διάρκεια της χρονικής περιόδου της χρονοσειράς οι οποίες παρουσιάζουν τάσεις (μακροχρόνια κατεύθυνση της χρονοσειράς) και εποχικότητα (επαναλαμβανόμενα μοτίβα της χρονοσειράς κατά τη διάρκεια του έτους και από έτος σε έτος). Η συσχέτιση αυτή τόσο της έκβασης όσο και της έκθεσης με το χρόνο τον καθιστούν ένα σημαντικό συγχυτικό παράγοντα στη μελέτη της σχέσης θερμοκρασίας και θνησιμότητας. Ένα μεγάλο μέρος της αυτοσυσχέτισης των καταλοίπων του μοντέλου (στην οποία θα αναφερθούμε παρακάτω και την οποία προφανώς προσπαθούμε να εξαλείψουμε) εξαφανίζεται λαμβάνοντας υπόψη σωστά τον παράγοντα της εποχικότητας στο μοντέλο.

Δεδομένου ότι τόσο οι μετεωρολογικές μεταβλητές όσο και οι συγκεντρώσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων ποικίλουν σε καθημερινή βάση, είναι λογικό διάφοροι ατμοσφαιρικοί ρύποι να εξετάζονται ως πιθανοί συγχυτικοί παράγοντες σε μελέτες που αφορούν τη βραχυχρόνια επίδραση των μετεωρολογικών παραγόντων στην υγεία. Οι ρύποι που έχει βρεθεί ότι συνδέονται με τη θνησιμότητα και συχνά συσχετίζονται με την υψηλή θερμοκρασία είναι τα ατμοσφαιρικά σωματίδια αεροδυναμικής διαμέτρου μικρότερης ή ίσης των 10 μm (particulate matter, PM<sub>10</sub> και PM<sub>2.5</sub>) και το όζον (O<sub>3</sub>) (Analitis et al., 2014). Σύμφωνα μάλιστα με τα αποτελέσματα του ευρωπαϊκού προγράμματος EuroHEAT (Analitis et al., 2014), ο καύσωνας και κατ' επέκταση η υψηλή θερμοκρασία έχει εντονότερη επίδραση στη θνησιμότητα (από όλες τις αιτίες) τις ημέρες με αυξημένα επίπεδα PM<sub>10</sub> και όζοντος στην ατμόσφαιρα. Ανάλογα είναι τα αποτελέσματα πολλών ερευνών που μαρτυρούν την ύπαρξη αλληλεπίδρασης και ειδικότερα συνέργειας μεταξύ της υψηλής θερμοκρασίας και διάφορων ατμοσφαιρικών ρύπων (Katsouyanni et al., 1993), κυρίως του όζοντος (Sartor et al, 1997; Parodi et al, 2005; Ren et al, 2008) και των ατμοσφαιρικών σωματιδίων (Roberts S., 2004; Ren et al, 2006; 25 Qian et al, 2008; Stafoggia et al, 2008). Ωστόσο δεν είναι λίγες και οι έρευνες που έρχονται σε διαφωνία με τα παραπάνω συμπεράσματα και δεν επιβεβαιώνουν την ύπαρξη μιας τέτοιας αλληλεπίδρασης (Hales et al., 2000; Basu et al., 2008; Zanobetti and Schwartz , 2008). Άλλοι ρύποι που χρησιμοποιούνται συχνά είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO<sub>2</sub>) καθώς αποτελεί τον βασικότερο δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οφείλεται στην κυκλοφορία οχημάτων (Analitis et al. 2008; Chiusolo et al. 2011; Katsouyanni et al. 2001) , ο μαύρος καπνός και το διοξείδιο του θείου (SO<sub>2</sub>).

Ο καθορισμός της σχέσης μεταξύ των ατμοσφαιρικών ρύπων και της θερμοκρασίας αποτελεί ζήτημα μέγιστης σημασίας στον καθορισμό των απαραίτητων μέτρων προστασίας και πρόληψης που πρέπει να ληφθούν. Για παράδειγμα, τις ημέρες που προβλέπεται αύξηση της θερμοκρασίας, ενδέχεται να είναι κατάλληλα πρόσθετα μέτρα για τη μείωση των συγκεντρώσεων διάφορων ρύπων στον αέρα.

## Μεθοδολογία στατιστικής ανάλυσης

### 3.1 Ανάλυση Χρονοσειρών

Μαθηματικά, μία χρονοσειρά  $\{y_t\}_{t=1}^T = \{y_1, \dots, y_T\}$  ορίζεται ως το σύνολο των παρατηρήσεων  $y_1, y_2, \dots$  κάποιας μεταβλητής  $Y$  (π.χ. αριθμός θανάτων) κατά τις διαδοχικά ισαπέχουσες χρονικές στιγμές ή διαστήματα  $t_1, t_2, \dots, t_T$ . Επομένως το  $Y$  είναι μια συνάρτηση του  $t$ , και για αυτό συμβολίζεται ως  $Y = F(t)$ . Έτσι για παράδειγμα, η συλλογή του ημερήσιου αριθμού θανάτων στην πόλη της Αθήνας για ένα έτος αποτελεί μια ακολουθία χρονοσειράς. Η γραφική παράσταση της συνάρτησης  $Y = F(t)$  παρουσιάζει την εξέλιξη της μεταβλητής  $Y$  στο χρόνο. Ουσιαστικά, πρόκειται για μία γραφική παράσταση που περιγράφει τη συμπεριφορά των τιμών της μεταβλητής  $Y$  στη διάρκεια του χρόνου με βάση τη χρονική περίοδο στην οποία αναφέρονται, π.χ. έτος, μήνας, ημέρα κ.α. Η “συμπεριφορά” αυτή μπορεί να οφείλεται σε ένα συνδυασμό διαφόρων παραγόντων. Η ανάλυση χρονοσειρών αποσκοπεί κυρίως στην ανεύρεση των παραγόντων εκείνων που συμβάλουν στην κατανόηση της συμπεριφοράς της μεταβλητής  $Y$  και επιτρέπουν την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών της. Στόχος είναι λοιπόν η επιλογή και προσαρμογή ενός κατάλληλου μοντέλου που να προσεγγίζει ικανοποιητικά τα δεδομένα, καθώς και η χρησιμοποίησή του για την πρόβλεψη μελλοντικών τιμών. Πρόσφατα, εκτός από την εφαρμογή των μεθόδων στη πρόγνωση, η ανάλυση χρονοσειρών άρχισε να αξιοποιείται σε επιδημιολογικές μελέτες για την εκτίμηση της σχέσης μεταξύ μίας έκβασης και μίας ή περισσότερων σειρών έκθεσης (Touloumi et al., 2006). Έτσι πλέον στις Βιο - ιατρικές επιστήμες, οι χρονοσειρές χρησιμοποιούνται για τη μελέτη βραχυχρόνιων και μακροχρόνιων επιδράσεων χρησιμοποιώντας ως μονάδα παρατήρησης τη μονάδα του χρόνου γεγονός που καθιστά τη μορφή των δεδομένων αθροιστική με τη μέτρηση τόσο της έκθεσης όσο και της έκβασης να πραγματοποιείται σε επίπεδο πληθυσμού.

Μερικά βασικά χαρακτηριστικά των χρονοσειρών είναι:

- Η τάση (trend): Είναι η συστηματική μεταβολή (γραμμική ή μη) των τιμών της μεταβλητής στη μονάδα του χρόνου. Δηλαδή ελέγχεται εάν, σε γενικές γραμμές, οι παρατηρήσεις τείνουν είτε να αυξάνονται, είτε να μειώνονται, είτε να παραμένουν σταθερές στη μονάδα του χρόνου.

- Η περιοδικότητα (periodicity): Είναι ένα επαναλαμβανόμενο μοτίβο είτε υψηλών είτε χαμηλών παρατηρηθεισών τιμών της μεταβλητής, το οποίο σχετίζεται με συγκεκριμένες χρονικές στιγμές. Όταν αυτή η περιοδικότητα αναφέρεται σε συγκεκριμένες περιόδους που σχετίζονται με φυσικές εποχές του έτους (μήνα, τρίμηνο, τετράμηνο) λέγεται και εποχικότητα (seasonality), π.χ. οι τιμές της θερμοκρασίας στην ατμόσφαιρα υπόκεινται σε εποχικές διακυμάνσεις (αύξηση θερμοκρασίας το καλοκαίρι και μείωση το χειμώνα) πέραν των διακυμάνσεων που μπορεί να οφείλονται στην εξέλιξη του οικοσυστήματος.
- Η συσχέτιση (autocorrelation) μεταξύ των παρατηρήσεων: Σε μία χρονολογική σειρά, οι παρατηρήσεις που βρίσκονται κοντά στο χρόνο συνήθως είναι πιο στενά συνδεδεμένες από τις παρατηρήσεις που διαχωρίζονται περαιτέρω και αυτή η χρονική εξάρτηση μεταξύ των παρατηρήσεων είναι και το βασικό χαρακτηριστικό που την διαχωρίζει από άλλους ερευνητικούς σχεδιασμούς. Σκοπός της ανάλυσης είναι να ληφθεί υπόψη η συσχέτιση μεταξύ των τιμών  $y_t$  και των χρονικά υστερειμένων τιμών (lagged values)  $y_{t-1}$  ( $lag(1)$ , για χρονική υστέρηση μιας χρονικής μονάδας πριν),  $y_{t-2}$  ( $lag(2)$ , για χρονική υστέρηση δύο χρονικών μονάδων πριν), κ.ο.κ.
- Οι ακραίες τιμές (outliers): Είναι κάποιες παρατηρηθείσες τιμές της μεταβλητής, οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από τη μέση τιμή των υπόλοιπων τιμών του. Καθώς αυτές οι ακραίες τιμές ενδείκνυται να εντοπίζονται και να απομακρύνονται από τα δεδομένα.

Συμπερασματικά, η ανάλυση χρονοσειρών επιδημιολογικών δεδομένων εκτιμά τη μεταβολή στην έκβαση (για παράδειγμα της θνησιμότητας) για μία μονάδα μεταβολής της έκθεσης (για παράδειγμα της θερμοκρασίας) λαμβάνοντας υπόψη τη πιθανή χρονική υστέρηση μεταξύ των δύο παραπάνω αλλαγών, τη περιοδική συμπεριφορά και την τάση στις σειρές της έκθεσης και της έκβασης καθώς και τη συσχέτιση μεταξύ των παρατηρήσεων στις σειρές αυτές (Ροδοπούλου, Διπλωματική Εργασία, 2013).

### 3.2 Η κατανομή Poisson

Η κατανομή Poisson είναι μία διακριτή συνάρτηση κατανομής που εκφράζει την πιθανότητα να συμβεί ενός δεδομένος αριθμός “σπάνιων” γεγονότων σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα αν αυτά τα γεγονότα συμβαίνουν με ένα γνωστό μέσο ρυθμό  $\lambda$  και είναι ανεξάρτητα από το χρονικό διάστημα από την τελευταία περίπτωση. Η χρήση των μοντέλων Poisson είναι κατάλληλη, μεταξύ άλλων, για διακριτές μεταβλητές  $Y$  με θετικές τιμές των οποίων η κατανομή είναι κυρτή. Στις μελέτες επιδημιολογικών χρονοσειρών, οι εκβάσεις αποτελούν συνήθως αριθμό σπάνιων γεγονότων (counts) κάποιου δείκτη υγείας, στην περίπτωσή μας τον αριθμό ημερήσιων θανάτων (ο οποίος είναι διακριτός και θετικός με κυρτή κατανομή), συνεπώς περιγράφονται από τη στοχαστική διαδικασία Poisson και η ανάλυσή τους βασίζεται στη χρήση των αντίστοιχων γενικευμένων μοντέλων παλινδρόμησης.

Η συνάρτηση πυκνότητας πιθανότητας του  $Y$ , στην περίπτωσή μας η πιθανότητα εμφάνισης  $y$  θανάτων σε μία μέρα  $t$ , δίνεται από τον τύπο:

$$f(y; \lambda_t) = \Pr(Y_t = y) = \frac{\lambda_t^y e^{-\lambda_t}}{y!}, \text{ για } y = 0, 1, 2, \dots$$

όπου  $Y_t$  μία διακριτή τυχαία μεταβλητή (στην περίπτωσή μας ο αριθμός θανάτων την ημέρα  $t$ ),  $\lambda_t > 0$  η παράμετρος που δηλώνει τη μέση τιμή αριθμού εμφανίσεων ενός γεγονότος (στην περίπτωσή μας το ρυθμό θανάτων την ημέρα  $t$ ) οι οποίες είναι ανεξάρτητες της τελευταίας χρονικής στιγμής εμφάνισης του γεγονότος,  $e$  ο αριθμός του Euler ( $e = 2.71828$ ) και  $y!$  το παραγοντικό του  $y$ .

#### 3.2.1 Μοντέλα Poisson

Όπως σε κάθε γενικευμένο γραμμικό μοντέλο, έτσι και στα μοντέλα Poisson που ανήκουν σε αυτή την κατηγορία, η αναμενόμενη τιμή της μεταβλητής  $Y$  συνδέεται γραμμικά με τις ανεξάρτητες μεταβλητές  $X$  μέσω μιας συνάρτησης δεσμού (link function)  $g$  :

$$g[E(Y_i)] = g(\lambda_i) = \sum_{i=1}^n X_{ii} \cdot \beta_i.$$

Καθώς το  $\lambda_t$  είναι πάντοτε θετικός αριθμός, τη συνάρτηση δεσμού αποτελεί ο φυσικός λογάριθμος  $\ln(\cdot)$  έτσι ώστε ο γραμμικός συνδυασμός  $g(\lambda_t) = \eta$  (linear predictor), ο οποίος μπορεί να πάρει οποιαδήποτε τιμή, να αντιστοιχεί σε θετικούς πραγματικούς αριθμούς. Έτσι τελικά, η γενική μορφή των μοντέλων Poisson δίνεται από το τύπο:

$$\ln(\lambda_t) = \ln[E(Y_t)] = \sum_{i=1}^n X_{it} \cdot \beta_i,$$

όπου  $Y_t$  ο παρατηρούμενος αριθμός θανάτων την ημέρα  $t$ ,  $E(Y_t)$  η αναμενόμενη ή μέση τιμή του αριθμού των θανάτων την ημέρα  $t$ ,  $X_{it}$  ο πίνακας των  $n$  ανεξάρτητων επεξηγηματικών μεταβλητών και  $\beta_i$  το διανυσμάτων αντίστοιχων συντελεστών εξάρτησης.

Στα μοντέλα Poisson, υπάρχει η παραδοχή πως όλα τα άτομα του υπό μελέτη πληθυσμού έχουν την ίδια πιθανότητα εμφάνισης της υπό μελέτης έκβασης (στην περίπτωσή μας την ίδια πιθανότητα να προκληθεί ο θάνατός τους λόγω έκθεσης) και είναι μοντέλα σχετικού κινδύνου. Με τον όρο μοντέλα σχετικού κινδύνου υποδηλώνεται η αναλογία του αριθμού του υποκείμενου πληθυσμού με τον αριθμό των γεγονότων λόγω της έκθεσης, εφόσον οι παράγοντες κινδύνου και όλα τα χαρακτηριστικά του παραμείνουν σταθεροί (Σαμόλη, Διδακτορική Διατριβή, 2005).

### 3.2.2 Ερμηνεία συντελεστών εξάρτησης

Τα μοντέλα Poisson είναι πολλαπλασιαστικά. Οι συντελεστές  $\beta_1, \dots, \beta_n$  εκφράζουν την μεταβολή στη λογαριθμισμένη μέση τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής για μία μονάδα μεταβολής της αντίστοιχης ανεξάρτητης μεταβλητής  $X_1, \dots, X_n$  εφόσον οι υπόλοιπες μεταβλητές παραμένουν σταθερές. Πιο απλά, με την προϋπόθεση ότι στο μοντέλο δεν έχουμε εισάγει αλληλεπιδράσεις, για  $c$  μονάδες αύξησης της ανεξάρτητης μεταβλητής  $X_i$ , δοθέντων όλων των υπολοίπων μεταβλητών  $X_1, \dots, X_n$  η εξαρτημένη μεταβλητή μεταβάλλεται κατά μέσο όρο κατά  $e^{c \cdot \beta_i}$ . Ως παράδειγμα, έστω ότι ο αριθμός θανάτων είναι η εξαρτημένη μεταβλητή η θερμοκρασία αποτελεί τον παράγοντα της έκθεσης. Έστω, ενώ όλες οι υπόλοιπες μεταβλητές παραμένουν σταθερές, δύο ημέρες  $t_1, t_2$  διαφέρουν ως προς τη θερμοκρασία κατά  $c$  °C με υψηλότερη τιμή για την ημέρα  $t_2$ . Αν με  $\Theta$  συμβολιστεί η τιμή της θερμοκρασίας τότε θα έχουμε ότι:

$$\ln[E(Y_{t_1})] = \sum_{i=1}^{n-1} (X_{it_1} \cdot \beta_i) + \beta_{\Theta} \cdot \Theta_{t_1} \text{ και } \ln[E(Y_{t_2})] = \sum_{i=1}^{n-1} (X_{it_2} \cdot \beta_i) + \beta_{\Theta} \cdot \Theta_{t_2} .$$

Με αφαίρεση κατά μέλη προκύπτει πως:

$$\begin{aligned} \ln[E(Y_{t_2})] - \ln[E(Y_{t_1})] &= \sum_{i=1}^{n-1} (X_{it_2} \cdot \beta_i) + \beta_{\Theta} \cdot \Theta_{t_2} - \sum_{i=1}^{n-1} (X_{it_1} \cdot \beta_i) + \beta_{\Theta} \cdot \Theta_{t_1} \Rightarrow \\ \ln[E(Y_{t_2})] - \ln[E(Y_{t_1})] &= \beta_{\Theta} \cdot (\Theta_{t_2} - \Theta_{t_1}) = \beta_{\Theta} \cdot (\Theta_{t_1} + c - \Theta_{t_1}) = c \cdot \beta_{\Theta} \Rightarrow \\ \ln \left[ \frac{E(Y_{t_2})}{E(Y_{t_1})} \right] &= c \cdot \beta_{\Theta} \Rightarrow E(Y_{t_2}) = e^{c \cdot \beta_{\Theta}} \cdot E(Y_{t_1}) \end{aligned}$$

Συμπερασματικά, ανεξάρτητα από όλες τις άλλες μεταβλητές, εάν η τιμή της θερμοκρασίας αυξηθεί κατά  $c$  °C, ο αριθμός των θανάτων μεταβάλλεται κατά μέσο όρο κατά  $e^{c \cdot \beta_{\Theta}}$ . Η χρήση των πολλαπλασιαστικών μοντέλων επομένως διευκολύνει τη ποσοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων ερευνών οι οποίες έχουν διεξαχθεί σε διαφορετικές γεωγραφικές περιοχές (Σαμόλη, Διδακτορική Εργασία, 2005)

### 3.3 Υπερδιασπορά

Γνωρίζουμε πως οι μετρήσεις  $Y_t$  ακολουθούν κατανομή Poisson με μέσες τιμές  $\mu_t$ ,  $Y_t \sim \text{Poisson}(\mu_t)$ . Ένα βασικό χαρακτηριστικό της κατανομής Poisson είναι πως οι θετικοί πραγματικοί αριθμοί  $\lambda_t$  είναι ίσοι με την αναμενόμενη τιμή και τη διακύμανση των  $Y_t$ ,

$$\lambda_t = E(Y_t) = \text{VAR}(Y_t).$$

Αυτό σημαίνει ότι οι παρατηρήσεις σε ημέρες με υψηλότερο αριθμό θανάτων από ότι συνήθως παρουσιάζουν μεγαλύτερη διακύμανση από ότι οι παρατηρήσεις σε ημέρες με μικρότερο αριθμό. Στην πραγματικότητα, η ιδιότητα αυτή παραβιάζεται και συνήθως οι μέσες τιμές που υποθέτει το μοντέλο είναι πολύ μικρότερες της παρατηρούμενης διασποράς του  $Y_t$ . Σε αυτή τη περίπτωση, έχουμε υπερδιασπορά (overdispersion). Η υπερδιασπορά αντιμετωπίζεται με τη χρήση είτε των μοντέλων Quasi-Poisson είτε των μοντέλων της Negative Binomial κατανομής, δύο μοντέλα τα οποία αποτελούν γενίκευση των μοντέλων Poisson και τα οποία λαμβάνουν υπόψη την επιπλέον διακύμανση, χρησιμοποιώντας μία επιπλέον παράμετρο διασποράς, την  $\phi$  (quasi-Poisson overdispersion parameter) και την  $\kappa$  (shape parameter of the negative binomial distribution), αντίστοιχα. Πιο συγκεκριμένα, η διακύμανση



ενός μοντέλου Quasi-Poisson είναι μια γραμμική συνάρτηση του μέσου όρου  $Var(Y_t) = \phi \cdot E(Y_t) = \phi \cdot \mu_t$  ενώ η διακύμανση ενός αρνητικού διωνυμικού μοντέλου είναι μια τετραγωνική συνάρτηση του μέσου όρου  $Var(Y_t) = E(Y_t) \cdot (1 + \kappa \cdot E(Y_t))$ . Με αυτόν τον τρόπο επιτρέπεται οι μετρήσεις  $Y_t$  να έχουν διακυμάνσεις που ίσως υπερβαίνουν τις μέσες τιμές  $\mu_t$ . Στην πράξη, με τη χρήση ενός ημι-παραμετρικού μοντέλου που ελέγχει για υπερδιασπορά, η παράμετρος  $\phi$  παίρνει τιμές πολύ κοντά στο 1. Αυτό πιθανώς οφείλεται στο γεγονός πως με την εισαγωγή μιας συνάρτησης εξομάλυνσης του χρόνου, εξαλείφεται ένα μεγάλο μέρος της υπολειπόμενης αυτοσυσχέτισης των καταλοίπων στα δεδομένα.

### 3.4 Αυτοσυσχέτιση

Όπως προαναφέρθηκε, ένα βασικό χαρακτηριστικό των χρονοσειρών είναι η συσχέτιση μεταξύ των παρατηρήσεων με μεγαλύτερη συσχέτιση για αυτές που είναι κοντινότερες χρονικά. Γενικά, σε ένα μοντέλο παλινδρόμησης Poisson

$$\ln(y_t) = \sum_{i=1}^n \hat{\beta}_i \cdot x_{it} + e_t = \ln(\hat{y}_t) + e_t,$$

όπου  $y_t$  οι παρατηρούμενες τιμές,  $\hat{y}_t$  οι εκτιμώμενες τιμές,  $x_{it}$  οι τιμές των  $n$  ανεξάρτητων μεταβλητών και  $\hat{\beta}_i$  οι αντίστοιχοι συντελεστές μερικής εξάρτησης, τα κατάλοιπα του μοντέλου  $e_t$  υπολογίζονται ως οι διαφορές των εκτιμώμενων από τις παρατηρούμενες τιμές μέσω του τύπου:  $e_t = \ln(y_t) - \ln(\hat{y}_t)$ .

Συμπερασματικά, σε μία τέτοια περίπτωση, συνήθως παρατηρείται και συσχέτιση μεταξύ των καταλοίπων του μοντέλου με την πάροδο του χρόνου. Το φαινόμενο αυτό είναι γνωστό ως αυτοσυσχέτιση ή ως σειριακή συσχέτιση (autocorrelation or serial correlation) των καταλοίπων. Η αυτοσυσχέτιση των καταλοίπων προκύπτει αφενός επειδή τόσο οι ανεξάρτητες όσο και οι εξαρτημένες μεταβλητές αποτελούν σειρές διαδοχικών μετρήσεων στο χρόνο αφετέρου επειδή στα αντίστοιχα μοντέλα που εφαρμόζονται δεν ελέγχονται σωστά διάφοροι χρονικά εξαρτώμενοι συγχυτικοί παράγοντες όπως είναι η τάση, η εποχικότητα και οι ατμοσφαιρικοί ρύποι. Η αυτοσυσχέτιση των καταλοίπων παραβιάζει την προϋπόθεση ανεξαρτησίας μεταξύ τους και δημιουργεί προβλήματα μεροληψίας (bias) στην εκτίμηση των τυπικών σφαλμάτων των συντελεστών μερικής εξάρτησης  $\hat{\beta}_i$ . Έτσι, δεν μπορούμε να έχουμε έγκυρη αξιολόγηση της σημαντικότητας των συντελεστών του μοντέλου. Επομένως, το ερώτημα αν μία χρονοσειρά, απαλλαγμένη από τάσεις και περιοδικότητα, είναι ανεξάρτητη

είναι πολύ σημαντικό στην ανάλυση χρονοσειρών και αποτελεί την πρωταρχική μηδενική υπόθεση που πρέπει να απορρίψει κανείς για να προχωρήσει στην ανάλυση της χρονοσειράς και να προσπαθήσει με μοντέλα να εξηγήσει συσχετίσεις. Για τη μηδενική υπόθεση της ανεξαρτησίας έχουν αναπτυχθεί διάφοροι έλεγχοι, όπως οι έλεγχοι Durbin-Watson, Ljung-Box Q ή τα γραφήματα (μερικής) αυτοσυσχέτισης (STAT 462, The Pennsylvania University) στα οποία θα αναφερθούμε παρακάτω.

### 3.4.1 Συνάρτηση αυτοσυσχέτισης (Autocorrelation function, ACF)

Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης ορίζεται σε (ασθενώς) στάσιμες χρονοσειρές.

*(Ασθενώς) Στάσιμες χρονοσειρές ((Weakly) Stationary Series)*

Μία χρονοσειρά  $Y_t$  λέγεται (ασθενώς) στάσιμη εάν ικανοποιεί τα παρακάτω κριτήρια:

- Η μέση τιμή της  $E(Y_t)$  παραμένει σταθερή στο χρόνο
- Η διασπορά της  $Var(Y_t)$  παραμένει σταθερή στο χρόνο
- Η συμμεταβλητότητα και η αυτοσυσχέτιση μεταξύ δύο τιμών  $y_t$  και  $y_{t-k}$  παραμένει σταθερή στο χρόνο.

Με λίγα λόγια, στις στάσιμες χρονοσειρές, η αυτοσυσχέτιση μεταξύ δύο τιμών δεν εξαρτάται από τον χρόνο αλλά μόνο από την χρονική διαφορά κτων δύο τιμών (lagk).

Ο συντελεστής αυτοσυσχέτισης μεταξύ δύο τιμών  $y_t$  και  $y_{t-k}$  μιας χρονοσειράς  $Y_t$  ονομάζεται συνάρτηση αυτοσυσχέτισης  $\rho(k)$  (autocorrelation function (ACF)) και δίνεται από τον τύπο:

$$\rho(k) = \text{Corr}(y_t, y_{t-k}) = \frac{\text{Cov}(y_t, y_{t-k})}{\text{Std.Dev}(y_t) \cdot \text{Std.Dev}(y_{t-k})} = \frac{\text{Cov}(y_t, y_{t-k})}{\text{Variance}(y_t)}, k = 1, 2, \dots$$

όπου η τιμή  $k$  είναι η χρονική διαφορά μεταξύ των δύο παρατηρήσεων η οποία ονομάζεται χρονική υστέρηση (lagk) και ως  $\text{Cov}(y_t, y_{t-k})$  συμβολίζεται η συμμεταβλητότητα ή

συνδιακύμανση των δύο παρατηρήσεων. Η αυτοσυσχέτιση δυο παρατηρήσεων με χρονική υστέρηση μίας ( $k=1$ ) χρονικής μονάδας (lag1 autocorrelation) είναι ουσιαστικά η συσχέτιση μεταξύ των τιμών οι οποίες διαφέρουν χρονικά κατά μία μονάδα. Η συνάρτηση αυτοσυσχέτισης, λοιπόν, είναι ένας τρόπος εξέτασης τυχόν γραμμικής σχέσης μεταξύ μιας παρατήρησης που συνέβη στον χρόνο  $t$  και των παρατηρήσεων που συνέβησαν τις  $t-k$  χρονικές στιγμές (STAT 462, The Pennsylvania University).

### 3.4.2 Συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης (Partial autocorrelation function, PACF)

Μία επέκταση της ACF αποτελεί η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης partial autocorrelation function (PACF) η οποία επιτρέπει την εξέταση της γραμμικής σχέσης μεταξύ δύο παρατηρήσεων που συνέβησαν την χρονική στιγμή  $t$  και  $t-k$  αντίστοιχα, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση των ενδιάμεσων παρατηρήσεων  $y_{t-1}, y_{t-2}, \dots, y_{t-(k-1)}$ . Η συνάρτηση μερικής αυτοσυσχέτισης δίνεται από τον τύπο:

$$Corr(y_t, y_{t-k}) = \frac{Cov(y_t, y_{t-k} | y_{t-1}, \dots, y_{t-(k-1)})}{Std.Dev(y_t | y_{t-1}, \dots, y_{t-(k-1)}) \cdot Std.Dev(y_{t-k} | y_{t-1}, \dots, y_{t-(k-1)})}, \quad k = 1, 2, \dots$$

Αντίστοιχες μέθοδοι των παραπάνω μεθόδων εφαρμόζονται και στα κατάλοιπα θεωρώντας ότι η σειρά των καταλοίπων ενός μοντέλου που εφαρμόζεται στα δεδομένα είναι ασθενώς στατική. Παρά την παραβίαση της ανεξαρτησίας τους, εξακολουθεί να ισχύει πως τα κατάλοιπα ακολουθούν μία κατανομή με μέση τιμή 0 και σταθερή διασπορά. Ωστόσο, η συνδιακύμανση μεταξύ των καταλοίπων  $\varepsilon_t$  και  $\varepsilon_{t-k}$  δίνεται από τον τύπο:

$$Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}) = \rho(k) \cdot Var(\varepsilon_t),$$

γεγονός που οδηγεί στον παρακάτω τύπο για την συσχέτιση μεταξύ τους

$$\rho(k) = Corr(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k}) = \frac{Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k})}{Var(\varepsilon_t)} = \frac{Cov(\varepsilon_t, \varepsilon_{t-k})}{Std.Dev(\varepsilon_t) \cdot Std.Dev(\varepsilon_{t-k})},$$

στη συνάρτηση αυτοσυσχέτισης δηλαδή που αναφέρθηκε νωρίτερα.

Το διάγραμμα αυτοσυσχέτισης είναι το γράφημα της συνάρτησης αυτοσυσχέτισης  $\rho(k)$  σε σχέση με τις υστερημένες χρονικές στιγμές (lag) ενώ το διάγραμμα μερικής αυτοσυσχέτισης είναι το γράφημα της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης σε σχέση με τις υστερημένες χρονικές στιγμές, αντίστοιχα. Όταν ο αριθμός των παρατηρήσεων  $n$  είναι μεγάλος, οι δύο

συναρτήσεις προσεγγίζουν την κανονική κατανομή με μέση τιμή 0 και διακύμανση  $\frac{1}{n}$  και συνεπώς, σε επίπεδο στατιστικής σημαντικότητας  $\alpha\%$ , το  $(1-\alpha)\times 100\%$  διάστημα εμπιστοσύνης για το συντελεστή μερικής αυτοσυσχέτισης, δίνεται από τον τύπο:

$\left( \frac{-z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{n}}, \frac{z_{1-\frac{\alpha}{2}}}{\sqrt{n}} \right)$ . Οι τιμές εκτός του διαστήματος εμπιστοσύνης φανερώνουν την ύπαρξη

στατιστικά σημαντικής αυτοσυσχέτισης μεταξύ των αντίστοιχων τιμών (STAT 462, The Pennsylvania University).

### 3.4.3 Έλεγχος Durbin-Watson

Υποθέτοντας την αυτοσυσχέτιση πρώτης τάξεως μεταξύ δύο τιμών, το τεστ Durbin-Watson αποτελεί έναν επίσημο έλεγχο των υποθέσεων:

$$\begin{aligned} H_0 : \rho(1) &= 0 \\ H_1 : \rho(1) &\neq 0 \end{aligned}$$

όπου η μηδενική υπόθεση υποδεικνύει την ανεξαρτησία μεταξύ των τιμών ενώ η εναλλακτική τη θετική ή αρνητική εξάρτησή τους. Εάν υπάρχουν υποψίες για θετική ή αρνητική αυτοσυσχέτιση, μπορούν φυσικά να γίνουν και οι μονόπλευροι έλεγχοι με εναλλακτική υπόθεση την  $H_1 : \rho < 0$  για αρνητική αυτοσυσχέτιση και την  $H_1 : \rho > 0$  για θετική αυτοσυσχέτιση, αντίστοιχα. Για τα κατάλοιπα, ο έλεγχος αυτός για δείγμα μεγέθους  $n$  ορίζεται από τον τύπο:

$$DW = \frac{\sum_{t=2}^n (e_t - e_{t-1})^2}{\sum_{t=1}^n e_t^2},$$

όπου  $e_t$  είναι οι εκτιμήσεις των καταλοίπων της πολλαπλής εξάρτησης. Προσεγγιστικά ισχύει ότι  $DW = 2(1 - \rho(1))$  με  $\rho(1)$  να συμβολίζει την αυτοσυσχέτιση τάξης 1 των καταλοίπων. Τιμές του DW κοντά στο 2 είναι ένδειξη ανεξάρτητων καταλοίπων γιατί τότε  $\rho(1) \rightarrow 0$ , τιμές του DW κοντά στο μηδέν υποδηλώνουν υψηλή θετική αυτοσυσχέτιση, ενώ αντίθετα τιμές του DW κοντά στο 4 την υψηλή αρνητική αυτοσυσχέτιση (Ροδοπούλου, Διπλωματική Εργασία,

2013). Ο συγκεκριμένος έλεγχος έχει το μειονέκτημα ότι λαμβάνει υπόψη μόνο την αυτοσυσχέτιση τάξης 1, δηλαδή μόνο στο χρόνο t-1.

#### 3.4.4 *Ljung-Box Q ή Portmanteau test*

Ο συγκεκριμένος έλεγχος χρησιμοποιείται για να ελέγξει εάν οι παρατηρήσεις είναι τυχαίες και ανεξάρτητες. Πιο συγκεκριμένα, για δεδομένο k, ο έλεγχος:

$H_0$  : Όλες οι παρατηρήσεις μεταξύ των χρονικών στιγμών 1 και k είναι ανεξάρτητες

$H_1$  : Μία ή περισσότερες παρατηρήσεις μεταξύ των χρονικών στιγμών 1 και k δεν είναι ανεξάρτητες

ορίζεται από τον τύπο:

$$Q_k = n(n+2) \sum_{j=1}^k \frac{\rho(j)^2}{n-j} \sim \chi_k^2.$$

Στην περίπτωση που παρατηρείται αυτοσυσχέτιση μεταξύ των καταλοίπων, ως πρώτο βήμα διερευνάται η παράλειψη κάποιου συγχυτικού παράγοντα. Εάν, παρά την εισαγωγή και σωστή μοντελοποίηση των συγχυτικών παραγόντων, η αυτοσυσχέτιση συνεχίζει να υπάρχει, τότε πραγματοποιούνται διάφοροι μετασχηματισμοί των μεταβλητών. Τα είδη μετασχηματισμών που υπάρχουν είναι τρία (μέθοδος Cochrane-Orcutt, Μέθοδος Hildreth-Lu και Μέθοδος των Πρώτων Διαφορών) και εφαρμόζονται μόνο σε περιπτώσεις αυτοσυσχέτισης πρώτης τάξεως. Οι μέθοδοι για αυτοσυσχέτιση k-τάξης δεν υπάρχουν στη βιβλιογραφία (STAT 462, The Pennsylvania University).

### 3.5 Γενικευμένα Προσθετικά Μοντέλα (Generalized Additive Models, GAM)

Όταν εξετάζεται η σχέση μεταξύ μιας έκβασης υγείας και μιας έκθεσης θα πρέπει να εξετάζονται και άλλοι παράγοντες που ίσως συγχέουν τη σχέση μεταξύ εξαρτημένης και ανεξάρτητης μεταβλητής. Στην ανάλυση χρονοσειρών, τέτοιοι παράγοντες ποικίλλουν χρονικά όμοια με την έκβαση και την έκθεση. Στις περιπτώσεις που τα δεδομένα τέτοιων παραγόντων είναι διαθέσιμα, λαμβάνονται υπόψη στην ανάλυση ενώ σε αντίθετες περιπτώσεις, εισάγεται στο μοντέλο και η μεταβλητή του χρόνου. Συνήθως, όσο διαθέσιμες και αν είναι οι πληροφορίες για τους πιθανούς συγχυτικούς παράγοντες, παραμένει πάντα η πιθανότητα να υπάρχει ακόμη ένας που δεν έχει ληφθεί υπόψη στην ανάλυση και για αυτό η εισαγωγή του χρόνου στο μοντέλο καθίσταται απαραίτητη.

Όταν η σχέση μεταξύ της εξαρτημένης μεταβλητής και ενός ανεξάρτητου παράγοντα δεν είναι γραμμική, τότε προτείνεται η εισαγωγή μιας συνάρτησης εξομάλυνσης. Η εξομάλυνση μπορεί να επιτευχθεί με παραμετρικές ή μη παραμετρικές συναρτήσεις με τις δεύτερες να είναι καταλληλότερες για την αποτύπωση τοπικών διακυμάνσεων. Σε τέτοιες περιπτώσεις το μοντέλο που εφαρμόζεται αποτελεί επέκταση των γενικευμένων γραμμικών μοντέλων με το προνόμιο της εισαγωγής παραμετρικών και/ή μη παραμετρικών συναρτήσεων εξομάλυνσης του κάθε ανεξάρτητου παράγοντα. Καλείται Γενικευμένο Προσθετικό Μοντέλο Poisson (Generalized Additive Models, GAM) και είναι της μορφής:

$$Y_t \sim \text{Poisson}(\mu_t)$$

$$\log(\mu_t) = \log[E(Y_t)] = \beta_0 + \sum_{i=1}^p f_i(X_{it}; \lambda_i) + \eta' Z_t + \varepsilon_t$$

όπου  $\mu_t$  είναι ο μέσος όρος του αριθμού των παρατηρήσεων για την ημέρα  $t$ ,  $f_i$  είναι οι συναρτήσεις εξομάλυνσης (smooth functions) που περιγράφουν τη σχέση ανάμεσα στη μέση τιμή της μετασχηματισμένης εξαρτημένης μεταβλητής και στην  $X_i$  ανεξάρτητη μεταβλητή και είναι το διάνυσμα των υπόλοιπων ανεξάρτητων παραγόντων που λαμβάνονται υπόψη στο μοντέλο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης αποτελεί η χρήση μιας συνάρτησης εξομάλυνσης του χρόνου στο μοντέλο ώστε να ληφθεί υπόψη η υπολειπόμενη - μη μετρήσιμη- συγχυτική επίδραση των χρονικά μεταβαλλόμενων πιθανών συγχυτικών παραγόντων. Η “συμπεριφορά” της συνάρτησης  $f$  καθορίζεται από την παράμετρο εξομάλυνσης  $\lambda$ , η οποία είναι άμεσα συνυφασμένη με τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας της συνάρτησης. Μεγάλες τιμές της παραμέτρου εξομάλυνσης υποθέτουν μικρό αριθμό βαθμών ελευθερίας και αυτοί με τη σειρά τους συνεπάγονται “ομαλότερη” προσαρμογή στα δεδομένα σε αντίθεση με μικρές

τιμές της παραμέτρου  $\lambda$  όπου η προσαρμογή γίνεται πιο “τραχιά”. Εν κατακλείδι, τα βασικά ερωτήματα που πρέπει να αντιμετωπίσουμε για να συμπεριλάβουμε μια συνάρτηση εξομάλυνσης σε ένα μοντέλο είναι δύο: 1. Ποια θα είναι η μορφή της συνάρτησης εξομάλυνσης και 2. πόσο “ομαλή” ή “τραχιά” θα είναι η προσαρμογή στα δεδομένα δηλαδή ο καθορισμός της παραμέτρου εξομάλυνσης  $\lambda$ . Ωστόσο, η μορφή που θα χρησιμοποιηθεί έχει μικρότερο αντίκτυπο στη διαμόρφωση των τελικών εκτιμήσεων σε σχέση με τον αριθμό των βαθμών ελευθερίας που θα έχει η συνάρτηση.

### 3.6 Συναρτήσεις Εξομάλυνσης

#### 3.6.1 Μορφές της συνάρτησης εξομάλυνσης $f$

Στη βιβλιογραφία (Peng & Dominici, 2008), προτείνονται διάφορες μορφές της συνάρτησης εξομάλυνσης με σκοπό την καλύτερη εφαρμογή στα δεδομένα, συμπεριλαμβανομένων της πολυωνυμικής συνάρτησης  $k^{\text{ου}}$  βαθμού (η οποία αποτελεί παραμετρική μέθοδο που εξομαλύνει τα δεδομένα ομοιόμορφα σε όλο το εύρος των τιμών τους), των φυσικών πολυωνύμων παρεμβολής (*natural splines*) (επίσης παραμετρική μέθοδος), των ημι-παραμετρικών πολυωνύμων παρεμβολής με περιορισμό (*penalized splines*), των *smoothing splines* και των μη-παραμετρικών συναρτήσεων *loess* (*locally weighted regression*, τοπικά σταθμισμένη παλινδρόμηση). Οι πιο συνηθισμένες μορφές της συνάρτησης εξομάλυνσης είναι τα φυσικά (κυβικά) πολυώνυμα παρεμβολής (*natural cubic splines*) και τα ημι-παραμετρικά πολυώνυμα παρεμβολής με περιορισμό (*penalized splines*).

Τα **φυσικά κυβικά πολυώνυμα** είναι τμηματικά κυβικά πολυώνυμα τα οποία ορίζονται από κόμβους που καλύπτουν το σύνολο των δεδομένων. Η συνάρτηση, καθώς και η δεύτερη παράγωγός της, είναι συνεχής σε όλο το εύρος των δεδομένων με βασικό περιορισμό ότι είναι γραμμική πέρα από τους τελικούς κόμβους. Η ομαλότητα με την οποία προσαρμόζεται ένα φυσικό πολυώνυμο στα δεδομένα καθορίζεται από τον αριθμό των κόμβων που χρησιμοποιούνται. Όσο λιγότεροι οι κόμβοι τόσο πιο ομαλή είναι η καμπύλη ενώ μεγάλος αριθμός κόμβων οδηγεί σε *overfitting*. Οι κόμβοι συνήθως αποτελούν υπάρχουσες τιμές της ανεξάρτητης μεταβλητής οι οποίες έχουν μια καθορισμένη απόσταση μεταξύ τους, όμως υπάρχει η ευελιξία τοποθέτησής τους οπουδήποτε.

Τα **ημι-παραμετρικά πολυώνυμα παρεμβολής με περιορισμό** λύνουν το πρόβλημα της επιλογής της θέσης των κόμβων. Τυπικά, αρχικά κατασκευάζεται ένα σύνολο συναρτήσεων

βάσης πολυώνυμα  $b_j(x)$  (*B-spline basis*)  $f(x) = \sum_{j=1}^m \gamma_j b_j(x)$  ή, πιο διαδεδομένα, ένα φυσικό

κυβικό πολυώνυμο παρεμβολής ( $b_j(x) = |x - x_j^*|^3$ , όπου  $x_j^*$  οι κόμβοι) χρησιμοποιώντας έναν μεγάλο αριθμό κόμβων και έπειτα συρρικνώνονται οι αντίστοιχοι συντελεστές  $\gamma_j$  με σκοπό να μειωθούν οι βαθμοί ελευθερίας και να αυξηθεί η ομαλότητα της καμπύλης. Εδώ, η ομαλότητα της εκτιμώμενης καμπύλης καθορίζεται από τη χρήση του περιορισμού  $\lambda$ . Δεδομένης της γραμμικότητας της συνάρτησης  $f$  ως προς τους αντίστοιχους συντελεστές της, όταν  $\lambda \downarrow 0$ , η ομαλότητά της μειώνεται ενώ όταν  $\lambda \uparrow \infty$ , η ομαλότητά της αυξάνεται και η εκτιμώμενη καμπύλη προσεγγίζει πολυώνυμο.

Η πιο ακραία επιλογή κόμβων σε ένα ημι-παραμετρικό πολυώνυμο παρεμβολής με περιορισμό είναι να επιλεχθεί ο μέγιστος δυνατός αριθμός, γεγονός που σημαίνει πως κάθε παρατήρηση ορίζει και έναν κόμβο. Ως αποτέλεσμα προκύπτει η λεγόμενη **smoothing spline**. Τα δεδομένα χρονοσειρών αποτελούνται από διατεταγμένες σε ίσες αποστάσεις παρατηρήσεις και έτσι η τεχνική αυτή έχει ως κατάληξη  $n$  κόμβους τοποθετημένους σε ίσες αποστάσεις μεταξύ τους καθ' όλη την χρονική περίοδο του συνόλου δεδομένων. Καθώς η smoothing spline είναι μια ειδική περίπτωση των πολυωνύμων παρεμβολής με περιορισμό, τα αποτελέσματα των δύο μορφών θεωρούνται συνήθως παρόμοια (Peng & Dominici, 2008).

### 3.6.2 Διαλέγοντας βαθμούς ελευθερίας ( $df$ ) για την συνάρτηση εξομάλυνσης $f$

Θεωρώντας δεδομένη την μορφή της συνάρτησης εξομάλυνσης  $f$ , είναι αναγκαίο να καθοριστεί και ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας από τους οποίους εξαρτάται ο βαθμός ομαλότητας της καμπύλης της  $f$ .

Ο καθορισμός αυτός συνήθως γίνεται μέσω κριτηρίων καλής εφαρμογής του μοντέλου. Πιο συγκεκριμένα, ελέγχονται πολλά γενικευμένα γραμμικά μοντέλα Poisson τα οποία διαφέρουν μόνο ως προς τους βαθμούς ελευθερίας της συνάρτησης  $f$  και ο βέλτιστος αριθμός βαθμών ελευθερίας για τα συγκεκριμένα δεδομένα επιλέγεται ως εκείνος που ελαχιστοποιεί το συγκεκριμένο κριτήριο καλής προσαρμογής. Σε μελέτες όπου εμπλέκονται πολλές πόλεις, αυτή η τεχνική οδηγεί σε διαφορετικό αριθμό βαθμών ελευθερίας για κάθε πόλη επιτρέποντας σε γεωγραφικά χαρακτηριστικά να επηρεάσουν τον εκτιμώμενο βαθμό ομαλότητας της καμπύλης  $f$ . Αναλυτικότερα, η μέθοδος αυτή αποτελείται από δύο τεχνικές: η μία βασίζεται στην πρόβλεψη της εξαρτημένης μεταβλητής (εδώ, της θνησιμότητας) και η άλλη στην πρόβλεψη του υπό-μελέτη παράγοντα (εδώ, της θερμοκρασίας). Η πρώτη τεχνική περιλαμβάνει μεθόδους κατά τις οποίες διαλέγεται το βέλτιστο μοντέλο με κριτήρια όπως το κριτήριο της πληροφορίας του Akaike (*Akaike's Information Criterion, AIC*), το κριτήριο της συνάρτησης μερικής αυτοσυσχέτισης (*Partial Autocorrelation function, PACF Criterion*) ή το Μπεϋζιανό κριτήριο πληροφορίας (*Schwarz Bayes' information criterion, BIC*). Στη δεύτερη τεχνική, όπως προτάθηκε από τον Peng, Dominici και Louis (2006), χρησιμοποιούνται κριτήρια όπως η γενικευμένη διασταυρωμένη επικύρωση (*generalized cross validation, GCV*) ή το κριτήριο



πληροφορίας του Akaike για να επιλεγεί το βέλτιστο μοντέλο πρόβλεψης του βασικού ανεξάρτητου παράγοντα. Η πρώτη τεχνική, παρά τη συχνή χρήση της, αποδεικνύεται ελλαττωματική καθώς σε μελέτες έκβασης-έκθεσης ο κύριος στόχος είναι η δημιουργία ενός μοντέλου που στοχεύει στην ακρίβεια της εκτίμησης της σχέσης μεταξύ τους και όχι στη δημιουργία ενός μοντέλου πρόβλεψης της έκβασης. Σύμφωνα με τον Peng, η δεύτερη τεχνική δίνει πιο αμερόληπτους εκτιμητές σε σχέση με την πρώτη. Περισσότερες πληροφορίες σχετικά με τις δύο τεχνικές παρέχονται από τους Dominici, McDermott και Hastie (2004).

Ένας άλλος τρόπος να καθοριστεί ο αριθμός των βαθμών ελευθερίας είναι η χρήση καθορισμένου αριθμού (*fixed df*) όπως προτείνονται από προηγούμενες μελέτες ή από τη βιβλιογραφία. Αυτός ο τρόπος οδηγεί στη χρήση ίδιων μοντέλων για κάθε πόλη.

Η επιλογή των κατάλληλων βαθμών ελευθερίας είναι σημαντική καθώς επηρεάζει όλους τους συντελεστές του μοντέλου. Σε περιπτώσεις *over-smoothing* δεν ελέγχεται σωστά η εποχικότητα και έτσι μέρος της αποδίδεται στην επίδραση του βασικού υπό μελέτη παράγοντα ενώ σε περιπτώσεις *under-smoothing* λαμβάνονται υπόψιν τοπικές διακυμάνσεις που πιθανώς οφείλονται στην επίδραση του βασικού παράγοντα και έτσι μέρος της επίδρασής του αποδίδεται στην εποχικότητα.

### 3.7 Μοντέλα με Χρονικά Κατανεμημένες Μη Γραμμικές Επιδράσεις (DNLM)

Σε κάποιες περιπτώσεις, εκτός από τη διερεύνηση της σχέσης μιας εξαρτημένης με μία ανεξάρτητη μεταβλητή θα πρέπει να προσδιοριστεί και η χρονική δομή της εξάρτησης. Ο προσδιορισμός της χρονικής δομής προκύπτει αναγκαστικά καθώς στις περιπτώσεις αυτές η επίδραση του ανεξάρτητου παράγοντα συνήθως δεν είναι άμεση αλλά παρουσιάζει υστέρηση στο χρόνο. Σε αυτή τη περίπτωση, η τιμή του μία συγκεκριμένη ημέρα επηρεάζει την εξαρτημένη μεταβλητή για μια συγκεκριμένη περίοδο στο μέλλον ή με άλλα λόγια η τιμή της εξαρτημένης μεταβλητής μία συγκεκριμένη χρονική στιγμή επηρεάζεται από τις τιμές προηγούμενων στιγμών της ανεξάρτητης, μέχρι μία μέγιστη χρονική υστέρηση (*maximum lag*). Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τα μοντέλα με χρονικά κατανεμημένες μη γραμμικές επιδράσεις (*Distributed Lag Non Linear Models, DLNM*), μέσω των οποίων, εκτός από τον προσδιορισμό της σχέσης (γραμμικής ή και μη) μεταξύ έκθεσης και έκβασης, προσδιορίζεται και η χρονική δομή αυτής της εξάρτησης.

Από άποψη μεθοδολογίας, ουσιαστικά επιλέγεται μια διασταυρωμένη βάση (*cross-basis*) μέσω της οποίας ορίζεται τόσο η συνάρτηση περιγραφής της σχέσης του εξαρτημένου με τον ανεξάρτητο παράγοντα όσο και η συνάρτηση που προσδιορίζει τη μορφή της χρονικής υστέρησης καθώς και το μέγιστο όριο της χρονικής υστέρησης της επίδρασης και έπειτα αυτή

η βάση μπαίνει ως γραμμικός όρος στο γενικευμένο γραμμικό μοντέλο εκπροσωπώντας τον αντίστοιχο ανεξάρτητο παράγοντα.

### 3.8 Αλγόριθμος του Muggeo

Υπάρχουν περιπτώσεις όπου οι σχέσεις μεταξύ της έκβασης και ενός ή παραπάνω προγνωστικών παραγόντων είναι τμηματικές γραμμικές συναρτήσεις. Αυτά τα τμηματικά μοντέλα παλινδρόμησης (*segmented models*) ή μοντέλα παλινδρόμησης ασυνεχούς γραμμής (*broken line models*) εκπροσωπούνται από μία ή περισσότερες γραμμές οι οποίες ενώνονται σε άγνωστες τιμές. Αυτές οι τιμές συνήθως ονομάζονται σημεία τομής (*breakpoints*), σημεία αλλαγής (*changerpoints*) ή ακόμα και ως σημεία ένωσης (*joinpoints*). Στις επιδημιολογικές μελέτες θνησιμότητας, η σχέση μεταξύ θνησιμότητας και θερμοκρασίας παρουσιάζει μία V μορφή, οπότε η εκτίμηση της καταλληλότερης θερμοκρασίας όπου η θνησιμότητα λαμβάνει τη μικρότερη τιμή της μπορεί να ενδιαφέρει τους ερευνητές. Σε αυτές τις περιπτώσεις, η μικρότερη αυτή τιμή της θερμοκρασίας καλείται όριο – κατώφλι (*threshold*). Ο αλγόριθμος που προτάθηκε από τον Muggeo (2003, 2008) προσφέρει ευκολίες στην εκτίμηση και τη σύνοψη γενικευμένων γραμμικών μοντέλων με τμηματικές σχέσεις, όπως αυτή της θερμοκρασίας και της θνησιμότητας. Για την εκτίμηση του ορίου απαιτούνται μόνο οι αρχικές τιμές για τα σημεία τομής, οι οποίες συνήθως προσδιορίζονται από τα γραφήματα που περιγράφουν τη σχέση της θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα.

### 3.9 Μετα-ανάλυση Μελετών

Με τον όρο «Μετα-Ανάλυση» εννοούμε μια ποσοτική ανασκόπηση και σύνθεση αποτελεσμάτων, όμοιων αλλά ανεξάρτητων μελετών (Normand, Stat Med 1999). Μία «Μετα-Ανάλυση» αποτελεί έρευνα παρατήρησης, όπου μονάδα είναι η κάθε μελέτη που περιλαμβάνεται. Για την διεξαγωγή μίας μετα-ανάλυσης καθίσταται απαραίτητο να γνωρίζουμε τόσο την εκτίμηση της επίδρασης (*effect size*) του κάθε παράγοντα που μελετάται στην τελική έκβαση από την εκάστοτε μελέτη όσο και την ακρίβεια του υπολογισμού της, συνήθως μέσω της διακύμανσης. Ως στάθμη (*relative weight*) (%) ορίζεται η ποσοστιαία βαρύτητα που δίνεται σε κάθε μία μελέτη σε σχέση με το συνθετικό δείκτη. Κατά βάση δίνεται μεγαλύτερο βάρος στις μελέτες που παρέχουν περισσότερη πληροφορία δηλαδή στις μελέτες με μεγάλο αριθμό παρατηρήσεων (N) και μικρότερη διακύμανση του εκτιμώμενου δείκτη. Άρα ένας γενικός κανόνας είναι ότι όσο μικρότερο είναι το πιθανό σφάλμα της εκτίμησης μιας μελέτης, τόσο μεγαλύτερη συνεισφορά θα έχει αυτή στην τελική συνδυασμένη εκτίμηση. Τα βάρη σχετίζονται άμεσα με το εύρος των 95% ορίων αξιοπιστίας του εκτιμώμενου δείκτη σε κάθε μελέτη (όσο μεγαλύτερο το διάστημα εμπιστοσύνης τόσο

μικρότερο το βάρος της μελέτης). Συμπερασματικά, ο σταθμισμένος μέσος όρος ή συνθετικός δείκτης (*pooled effect*) ορίζεται ως το πηλίκο της διαίρεσης του αθροίσματος των γινομένων του βάρους της κάθε μελέτης με τον εκτιμώμενο δείκτη της προς το άθροισμα των επιμέρους βαρών, δηλαδή:

$$\text{Συνθετικός δείκτης} = \frac{\sum (\text{weight}_i \cdot Y_i)}{\sum (\text{weight}_i)} .$$

Ωστόσο, ο τρόπος υπολογισμού της βαρύτητας (*weight*) κάθε μελέτης διαφέρει αναλόγως των υποθέσεων που αφορούν το εκτιμώμενο μέγεθος επίδρασης (το οποίο αντιπροσωπεύει το πραγματικό μέγεθος επίδρασης του πληθυσμού,  $\theta$ ). Εν κατακλείδι, αναλόγως των υποθέσεων ορίζονται δύο μοντέλα μετα-ανάλυσης, το μοντέλο σταθερών επιδράσεων (*Fixed-Effect Model*) και το μοντέλο τυχαίων επιδράσεων (*Random-Effect Model*) (Borenstein et al., 2009).

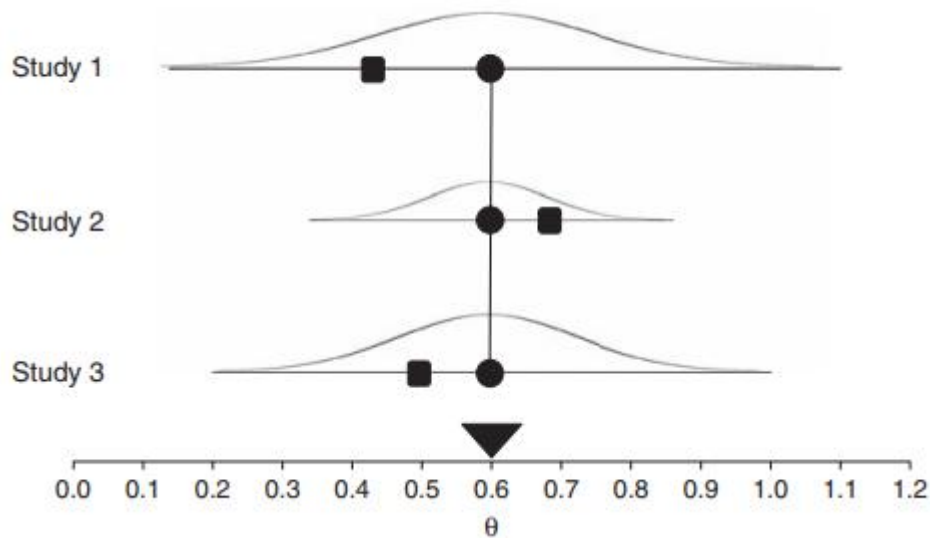
### 3.9.1 Δενδρόγραμμα (*Forest Plot*)

Το γράφημα στο οποίο απεικονίζονται το μέγεθος επίδρασης (*effect size*), η βαρύτητα (*weight*) και το διάστημα εμπιστοσύνης κάθε μελέτης παράλληλα με τον συνοπτικό δείκτη (*pooled effect*) της μετα-ανάλυσης και το αντίστοιχο διάστημα εμπιστοσύνης του καλείται δενδρόγραμμα (*Forest Plot*). Στο αντίστοιχο δενδρόγραμμα με τετράγωνο συμβολίζεται το μέγεθος επίδρασης της κάθε μελέτης και το μέγεθος του είναι ανάλογο της βαρύτητάς της. Οι γραμμές που επεκτείνονται δεξιά και αριστερά αυτού αποτελούν το διάστημα εμπιστοσύνης του μεγέθους επίδρασης. Τέλος, ο συνοπτικός δείκτης (το συνολικό μέγεθος επίδρασης) συμβολίζεται με μορφή ρόμβου, οι άκρες του οποίου αποτελούν το διάστημα εμπιστοσύνης του.

### 3.9.2 Μοντέλο σταθερών επιδράσεων (*Fixed-Effect Model*)

Στα μοντέλα σταθερών επιδράσεων θεωρούμε πως οι μελέτες εκτιμούν μια συγκεκριμένη πραγματική επίδραση  $\theta$ , που είναι σταθερή (η ίδια) μεταξύ τους. Ουσιαστικά μέσω των μοντέλων αυτών βρίσκουμε την καλύτερη εκτίμηση της επίδρασης της έκθεσης (Σχήμα 1). Επομένως, το εκτιμώμενο μέγεθος επίδρασης  $Y_i$  της  $i$ -οστής μελέτης υπολογίζεται ως το άθροισμα του πραγματικού μεγέθους επίδρασης με το τυχαίο σφάλμα (δειγματοληπτικό σφάλμα)  $\varepsilon_i$  αυτής και δίνεται από την παρακάτω σχέση:

$$Y_i = \theta + \varepsilon_i .$$



Σχήμα 1. Μοντέλο σταθερών επιδράσεων, όπου με κύκλο συμβολίζεται η πραγματική επίδραση κάθε μελέτης (study true effect), με τετράγωνο η εκτιμώμενη επίδραση κάθε μελέτης (study observed effect) και με βελάκι προς τα κάτω το πραγματικό μέγεθος επίδρασης ως αποτέλεσμα της μετα-ανάλυσης (combined true effect). (Πηγή: Borenstein M et al., 2009. West Sussex, UK: John Wiley.)

Έτσι, με σκοπό την πιο ακριβή συνολική εκτίμηση υπολογίζεται ένας σταθμισμένος μέσος όρος, όπου η βαρύτητα της κάθε μελέτης είναι αντιστρόφως ανάλογη της ακρίβειάς της, δηλαδή:

$$W_i = \frac{1}{var(Y_i)}$$

Όπου  $var(Y_i)$  είναι η διακύμανση του εκτιμώμενου δείκτη της μελέτης  $i$  (within-study variance). Κατά αυτόν τον τρόπο, αποδίδεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις μελέτες με την μικρότερη διασπορά δηλαδή στις μελέτες με τον μεγαλύτερο αριθμό παρατηρήσεων. Ο σταθμισμένος μέσος όρος ( $M$ ) ή αλλιώς συνθετικός δείκτης  $k$  μελετών υπολογίζεται ως εξής:

$$M = \frac{\sum_{i=1}^k Y_i W_i}{\sum_{i=1}^k W_i}$$

και η διακύμανσή του δίνεται από τον τύπο:

$$Var(M) = \frac{1}{\sum_{i=1}^k W_i}$$

### 3.9.3 Μοντέλο τυχαίων επιδράσεων (Random-Effect Model)

Το μοντέλο σταθερών επιδράσεων, που αναλύθηκε παραπάνω, υποθέτει πως το πραγματικό μέγεθος της επίδρασης είναι ίδιο σε όλες τις μελέτες. Σε μελέτες που έχουν αρκετά κοινά στοιχεία ώστε να μπου στην ίδια μετα-ανάλυση, αλλά δεν είναι όμοιες ως προς τους πληθυσμούς και την μεθοδολογία τους έτσι ώστε να θεωρηθεί πως εκτιμούν όλες μία τιμή, αυτή του πραγματικού μεγέθους επίδρασης, εφαρμόζονται τα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων. Στα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων θεωρούμε πως οι έρευνες που συμπεριλαμβάνονται στην μετα-ανάλυση είναι ένα τυχαίο δείγμα κάποιου ολικού πληθυσμού μελετών και η κάθε μελέτη έχει το δικό της πραγματικό μέγεθος επίδρασης,  $\theta_i$ . Ουσιαστικά μέσω των μοντέλων αυτών βρίσκουμε την μέση επίδραση της έκθεσης υποθέτοντας πως η πραγματική επίδραση δεν είναι σταθερή αλλά ακολουθεί κάποια κατανομή, συνήθως την κανονική, με μέσο  $\mu$  (Σχήμα 2). Σε αυτήν την περίπτωση, το εκτιμώμενο μέγεθος επίδρασης  $Y_i$  της  $i$ -οστής μελέτης υπολογίζεται ως το άθροισμα του πραγματικού μεγέθους επίδρασης  $\mu$  της κατανομής των  $\theta_i$ , της απόκλισης  $\zeta_i$  του πραγματικού μεγέθους επίδρασης  $\theta_i$  της  $i$ -μελέτης από το  $\mu$  και της απόκλισης  $\varepsilon_i$  του εκτιμώμενου μεγέθους επίδρασης  $Y_i$  από το πραγματικό μέγεθος επίδρασης  $\theta_i$  της  $i$ -μελέτης. Με άλλα λόγια, το εκτιμώμενο μέγεθος επίδρασης  $Y_i$  της  $i$ -οστής μελέτης υπολογίζεται ως εξής:

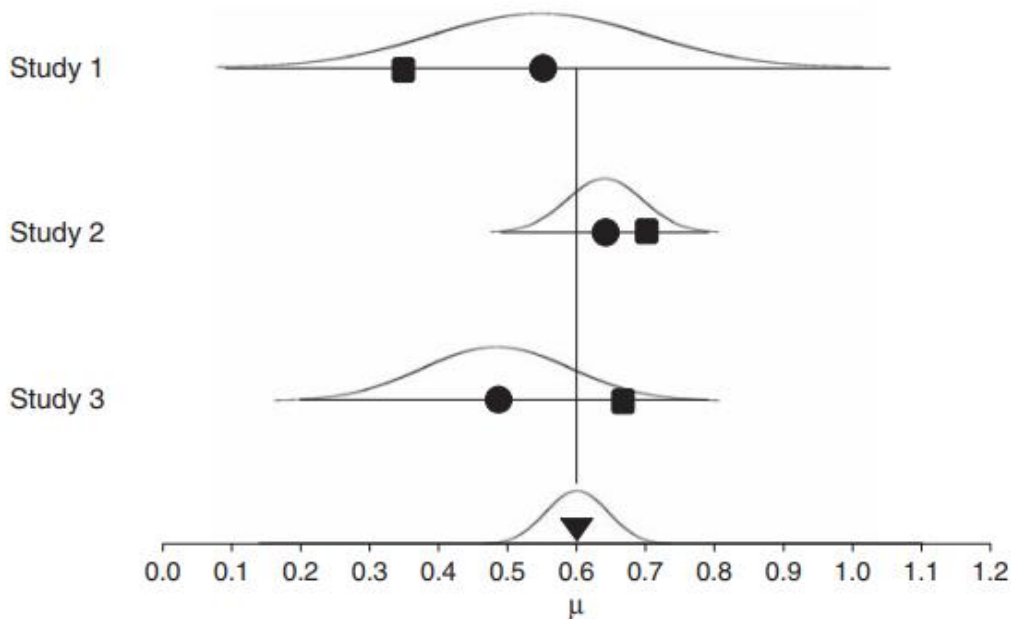
$$Y_i = \mu + \zeta_i + \varepsilon_i.$$

Ο παραπάνω τύπος υποδηλώνει πως η ακρίβεια της εκτίμησης μιας μελέτης, εξαρτάται από δύο διακυμάνσεις, από τη διακύμανση εντός της μελέτης (within-study variance) που εκφράζει το τυχαίο σφάλμα (δειγματοληπτικό σφάλμα) αυτής και από τη διακύμανση μεταξύ των μελετών (between-studies variance) η οποία συμβολίζεται με  $T^2$ . Το  $T^2$  αποτελεί εκτίμηση της πραγματικής διασποράς των  $\theta_i$ , η οποία θα συμβολίζεται με  $\tau^2$ . Η πιο γνωστή εκτίμηση του  $\tau^2$  είναι αυτή που προτάθηκε από τους DerSimonian και Laird (DerSimonian & Laird, 1986), για την οποία ισχύει:

$$T^2 = \frac{Q - df}{C}$$

όπου  $df = k - 1$ ,  $k$  ο αριθμός των μελετών,  $C = \sum_{i=1}^k (W_i) - \frac{\sum_{i=1}^k W_i^2}{\sum_{i=1}^k W_i}$  και

$$Q = \sum_{i=1}^k W_i Y_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^k W_i Y_i)^2}{\sum_{i=1}^k W_i}.$$



Σχήμα 2. Μοντέλο τυχαίων επιδράσεων, όπου με κύκλο συμβολίζεται η πραγματική επίδραση κάθε μελέτης  $\theta_i$  (study true effect), με τετράγωνο η εκτιμώμενη επίδραση κάθε μελέτης  $Y_i$  (study observed effect) και με βελάκι προς τα κάτω το πραγματικό μέγεθος επίδρασης  $\mu$ . (Πηγή: Borenstein M et al., 2009. West Sussex, UK: John Wiley.)

Έτσι, στα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων, η βαρύτητα της κάθε μελέτης ορίζεται ως:

$$W_i^* = \frac{1}{\text{var}^*(Y_i)}$$

Όπου σε αυτήν την περίπτωση  $\text{var}^*(Y_i)$  είναι το άθροισμα της διακύμανσης της μελέτης  $i$  (within-study variance) με τη διακύμανση μεταξύ των μελετών  $T^2$ :

$$\text{Var}^*(Y_i) = \text{Var}(Y_i) + T^2.$$

Ο σταθμισμένος μέσος όρος ( $M^*$ ) ή αλλιώς συνθετικός δείκτης  $k$  μελετών υπολογίζεται ως εξής:

$$M^* = \frac{\sum_{i=1}^k Y_i W_i^*}{\sum_{i=1}^k W_i^*}$$

και η διακύμανσή του δίνεται από τον τύπο:

$$\text{Var}(M^*) = \frac{1}{\sum_{i=1}^k W_i^*}$$

(Borenstein et al., 2009).

### 3.9.4 Επιλογή μεταξύ μοντέλου σταθερών και μοντέλου τυχαίων επιδράσεων

Το αν τελικά για την μετα-ανάλυση θα χρησιμοποιηθεί μοντέλο σταθερών ή τυχαίων επιδράσεων εξαρτάται από τους εξής παράγοντες:

#### 1. Ο αριθμός $k$ των μελετών

Όσο μικρότερος είναι ο αριθμός των μελετών, τόσο ανακριβής είναι η εκτίμηση του  $\tau^2$ . Επομένως είναι προτιμότερο να χρησιμοποιείται μοντέλο τυχαίων επιδράσεων όταν ο αριθμός των μελετών είναι μεγάλος.

#### 2. Η ομοιογένεια των μελετών

Σε περιπτώσεις που οι μελέτες διαφέρουν ως προς διάφορες παραμέτρους, όπως είναι ο ορισμός της έκβασης, ο τόπος και ο χρόνος που διεξήχθησαν ή ο πληθυσμός στον οποίο αναφέρονται τότε η χρήση μοντέλου τυχαίων επιδράσεων μοιάζει καλύτερη. Όταν όμως τα χαρακτηριστικά των μελετών είναι όμοια και οι πληθυσμοί δεν διαφέρουν σημαντικά, τότε η εφαρμογή μοντέλου σταθερών επιδράσεων είναι θεωρητικά η καλύτερη επιλογή. Η ετερογένεια ανάμεσα στις μελέτες μπορεί να ποσοτικοποιηθεί και να ελεγχθεί μέσω στατιστικών τεστ, τα οποία δεν θα πρέπει να αποτελούν απόλυτα κριτήρια επιλογής του κατάλληλου μοντέλου (Borenstein et al., 2009).

### 3.9.5 Ετερογένεια

Οποιαδήποτε μεταβλητότητα μεταξύ των μελετών σε μία συστηματική ανασκόπηση μπορεί να ονομαστεί ετερογένεια (heterogeneity). Με τον όρο «στατιστική ετερογένεια» εννοούμε «διαφορές» στους εκτιμώμενους επιμέρους δείκτες των μελετών όπως διαφορετικές κατευθύνσεις, μεγάλες αποκλίσεις στις σημειακές εκτιμήσεις κτλ. Η στατιστική ετερογένεια είναι αποτέλεσμα γνωστών κλινικών διαφορών, μεθοδολογικών διαφορών των επιμέρους μελετών ή αγνώστων παραμέτρων των επιμέρους μελετών. Η ετερογένεια είναι το μέγεθος που εκτιμά το πόσο διαφέρουν τα εκτιμώμενα μεγέθη επίδρασης ανάμεσα στις μελέτες υπό το μοντέλο τυχαίων επιδράσεων. Το ερώτημα που τίθεται είναι το κατά πόσο η μεταβλητότητα μεταξύ των εκτιμώμενων επιμέρους δεικτών είναι μεγαλύτερη από ότι μπορεί να θεωρηθεί τυχαία μεταβλητότητα. Για τον έλεγχο της ετερογένειας χρησιμοποιείται ένας περιγραφικός δείκτης ετερογένειας καλούμενος ως  $I^2$  (Higgins et al., 2002, 2003) και δίνεται από τον τύπο:

$$I^2 = \frac{Q - df}{Q} \cdot 100\%$$

Το  $I^2$  εκφράζει στην ουσία το ποσοστό μεταβλητότητας των εκτιμήσεων που οφείλεται στην ετερογένεια δηλαδή στη διαφορά των πραγματικών μεγεθών επίδρασης και όχι σε δειγματοληπτικό σφάλμα (0-40%: μη σημαντική ετερογένεια, 30-60% μέτρια ετερογένεια, 50-90% μεγάλη ετερογένεια, 75-100% σημαντική ετερογένεια).

Η διερεύνηση της ετερογένειας μπορεί και καλό είναι να επιτευχθεί και με άλλους τρόπους όπως τη χρήση γραφημάτων (Galbraith's plot, L'abbe plot) και την ανάλυση ευαισθησίας (ανάλυση κατά υπο-ομάδες, ανάλυση χωρίς «ακραίες» μελέτες).

Σε περίπτωση που υπάρχει ετερογένεια είναι ιδιαίτερα συζητήσιμο εάν θα πρέπει να εκτιμηθεί ένας συνοπτικός δείκτης. Η εφαρμογή του μοντέλου τυχαίων επιδράσεων δεν αναιρεί την ετερογένεια, ούτε υποκαθιστά τη διερεύνησή της. Οι μέθοδοι που βασίζονται σε τυχαίες επιδράσεις, στην πράξη δίνουν μεγάλη βαρύτητα στις μικρές μελέτες. Όταν υπάρχει ένδειξη ετερογένειας, πρέπει να γίνεται σύγκριση μεταξύ των δύο συνθετικών εκτιμήσεων των δύο μοντέλων. Αν τα αποτελέσματα είναι παρόμοια τότε οι μικρές μελέτες δεν έχουν σημαντική επίδραση στο συνοπτικό δείκτη.

## **B. Ειδικό Μέρος**

### **Σκοπός της Μελέτης**

Τη τελευταία δεκαετία, οι περισσότερες επιδημιολογικές έρευνες που έχουν πραγματοποιηθεί με στόχο τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της θνησιμότητας και των μετεωρολογικών μεταβλητών βασίζονται στην ανάλυση χρονοσειρών για τη διεξαγωγή των συμπερασμάτων τους. Η παρούσα μελέτη αποτελεί μία ακόμη μελέτη χρονοσειρών με σκοπό τη διερεύνηση των βραχυχρόνιων επιδράσεων των μετεωρολογικών παραγόντων στην ημερήσια θνησιμότητα από διάφορες αιτίες των κατοίκων 10 πόλεων της Ελλάδας, την περίοδο 2008-2016. Επιπροσθέτως, πέραν της ποσοτικοποίησης του μεγέθους της επίδρασης που έχει η θερμοκρασία στη θνησιμότητα ξεχωριστά για κάθε πόλη, θα διερευνηθεί η όποια ετερογένεια μεταξύ τους, και αν δεν υπάρχει, θα πραγματοποιηθεί η αποτίμηση των συνολικών αποτελεσμάτων. Πιο συγκεκριμένα, τις πόλεις για τις οποίες θα διεξαχθεί η συγκεκριμένη ανάλυση αποτελούν η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, ο Βόλος, η Λάρισα, το Ηράκλειο, τα Ιωάννινα, η Καβάλα, η Λαμία και η Χαλκίδα.



## Υλικό και Μέθοδος

### 5.1 Δεδομένα

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελεί μελέτη χρονοσειρών για τις βραχυχρόνιες επιδράσεις των μετεωρολογικών παραγόντων στη συνολική θνησιμότητα σε 10 πόλεις της Ελλάδας. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν ημερήσιο αριθμό θανάτων, ημερήσια μετεωρολογικά δεδομένα και ημερήσια δεδομένα ατμοσφαιρικών ρύπων ξεχωριστά για τις 10 ελληνικές πόλεις: Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Βόλο, Λάρισα, Ηράκλειο, Ιωάννινα, Καβάλα, Λαμία και Χαλκίδα. Επιπροσθέτως, τα δεδομένα αφορούν 8 συνεχόμενα έτη για κάθε πόλη (από την 1<sup>η</sup> Ιανουαρίου του 2008 έως και την 31<sup>η</sup> Δεκεμβρίου του 2016), που σημαίνει πως το συνολικό μήκος των χρονοσειρών (συμπεριλαμβανομένων των ελλειπουσών τιμών) είναι 3288 παρατηρήσεις.

#### 5.1.1 Θνησιμότητα

Για τη παρούσα έρευνα, τα δεδομένα για τον ημερήσιο αριθμό θανάτων διατέθηκαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛ.ΣΤΑΤ.) μετά από αίτημα. Οι χρονοσειρές, για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις, περιέχουν τον ημερήσιο αριθμό θανάτων, αναφορικά με την αιτία του κάθε θανάτου ζητήσαμε τις παρακάτω αιτίες: 1. Ημερήσιος αριθμός θανάτων από όλες τις αιτίες, εξαιρουμένων αυτών που οφείλονται σε ατυχήματα ή σε εξωτερικούς παράγοντες (Διεθνής Ταξινόμηση Νόσων και Συναφών Προβλημάτων Υγείας, 10η Αναθεώρηση, International Classification of Disease, 10th Revision, ICD-10: group A-R) για όλες τις ηλικίες. 2. Ημερήσιος αριθμός θανάτων από νοσήματα του καρδιαγγειακού συστήματος (Διεθνής Ταξινόμηση Νόσων και Συναφών Προβλημάτων Υγείας, 10η Αναθεώρηση, International Classification of Disease, 10th Revision, ICD-10: group I) για όλες τις ηλικίες και 3. Ημερήσιος αριθμός θανάτων από παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος (Διεθνής Ταξινόμηση Νόσων και Συναφών Προβλημάτων Υγείας, 10η Αναθεώρηση, International Classification of Disease, 10th Revision, ICD-10: group J) για όλες τις ηλικίες.

### 5.1.2 Μετεωρολογικοί παράγοντες

Τα μετεωρολογικά δεδομένα αφορούν τις τιμές της μέσης, ελάχιστης και μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας (°C) καθώς και αυτών της μέσης σχετικής υγρασίας (%) όπως έχουν καταγραφεί από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (ΕΜΥ) για την ίδια χρονική περίοδο όπως τα δεδομένα των θανάτων. Πιο συγκεκριμένα τα δεδομένα προέρχονται από τους εξής σταθμούς για κάθε πόλη: Αθήνα, Μακεδονίας (για τη Θεσσαλονίκη), Άραξος (για την Πάτρα), Αγχίαλος (για το Βόλο), Λάρισας (για τη Λάρισα), Ηρακλείου (για το Ηράκλειο), Ιωαννίνων (για τα Ιωάννινα), Καβάλας (για την Καβάλα), Λαμίας (για τη Λαμία) και Τανάγρας (για τη Χαλκίδα).

Καθώς το ποσοστό των ελλειπουσών τιμών σε κάποιες περιπτώσεις ξεπερνούσε το 50% των τιμών της χρονιάς, πραγματοποιήθηκε επιπλέον στατιστική ανάλυση που αφορούσε τα εξής:

#### ❖ Για τη Θεσσαλονίκη:

- ◆ Εξαίρεση του έτους 2012 από τη θερμή περίοδο
- ◆ Αντικατάσταση των ελλειπουσών τιμών της μέσης θερμοκρασίας (και της μέσης σχετικής υγρασίας, αντιστοίχως) μίας ημέρας με τον μέσο όρο των τιμών της προηγούμενης και της επόμενης ημέρας για τη ψυχρή περίοδο

#### ❖ Για την Πάτρα:

- ◆ Αντικατάσταση των ελλειπουσών τιμών της μέσης θερμοκρασίας μίας ημέρας με τον μέσο όρο των τιμών της προηγούμενης και της επόμενης ημέρας για τη ψυχρή περίοδο

#### ❖ Για τη Χαλκίδα:

- ◆ Εξαίρεση του έτους 2012 από τη θερμή περίοδο
- ◆ Αντικατάσταση των ελλειπουσών τιμών της μέσης θερμοκρασίας μίας ημέρας με τον μέσο όρο των τιμών της προηγούμενης και της επόμενης ημέρας για τη ψυχρή περίοδο

#### ❖ Για την Καβάλα:

- ◆ Αντικατάσταση των ελλειπουσών τιμών της μέσης θερμοκρασίας (και της μέσης σχετικής υγρασίας, αντιστοίχως) μίας ημέρας με τον μέσο όρο των τιμών της προηγούμενης και της επόμενης ημέρας για τη ψυχρή περίοδο
- ◆ Εξαίρεση του έτους 2015 από τη θερμή περίοδο

#### ❖ Για τη Λαμία:

- ◆ Εξαίρεση των ετών 2012-2016 από τη θερμή περίοδο
- ◆ Εξαίρεση των ετών 2012-2016 και για τις υπόλοιπες χρονιές αντικατάσταση των ελλειπουσών τιμών της μέσης θερμοκρασίας (και της μέσης σχετικής υγρασίας, αντιστοίχως) μίας ημέρας με τον μέσο όρο των τιμών της προηγούμενης και της επόμενης ημέρας για τη ψυχρή περίοδο

#### ❖ Για τα Ιωάννινα:

- ◆ Εξαίρεση των ετών 2012-2016 από τη θερμή περίοδο
  - ◆ Εξαίρεση των ετών 2013-2016 και για τις υπόλοιπες χρονιές αντικατάσταση των ελλειπουσών τιμών της μέσης θερμοκρασίας (και της μέσης σχετικής υγρασίας, αντιστοίχως) μίας ημέρας με τον μέσο όρο των τιμών της προηγούμενης και της επόμενης ημέρας για τη ψυχρή περίοδο
- ❖ **Για τη Λάρισα:**
- ◆ Εξαίρεση των ετών 2008-2011, για τις υπόλοιπες χρονιές αντικατάσταση των ελλειπουσών τιμών της μέσης θερμοκρασίας (και της μέσης σχετικής υγρασίας, αντιστοίχως) μίας ημέρας με τον μέσο όρο των τιμών της προηγούμενης και της επόμενης ημέρας και συγκεκριμένα για το έτος 2012 αντικατάσταση των ελλειπουσών τιμών της μέσης θερμοκρασίας μιας ημέρας με τον μέσο όρο των τιμών της μέσης θερμοκρασίας της ίδιας ημέρας προηγούμενων ετών για τη θερμή περίοδο.
  - ◆ Εξαίρεση των ετών 2008-2011 και για τις υπόλοιπες χρονιές αντικατάσταση των ελλειπουσών τιμών της μέσης θερμοκρασίας μίας ημέρας με τον μέσο όρο των τιμών της προηγούμενης και της επόμενης ημέρας για τη ψυχρή περίοδο

### 5.1.3 *Ατμοσφαιρικοί ρύποι*

Για τον έλεγχο της πιθανής συγχυτικής επίδρασης των ατμοσφαιρικών ρύπων στη σχέση της ολικής θνησιμότητας με την μέση θερμοκρασία συγκεντρώθηκαν δεδομένα σχετικά με τις ημερήσιες τιμές της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου, NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>), όπως αυτές καταγράφηκαν από τους σταθερούς σταθμούς μέτρησης σε κάθε πόλη το διάστημα 2008-2016 (για την ίδια χρονική περίοδο όπως τα δεδομένα των θανάτων και της μέσης θερμοκρασίας). Το διοξείδιο του αζώτου αποτελεί τον βασικότερο δείκτη ατμοσφαιρικής ρύπανσης που οφείλεται στην κυκλοφορία οχημάτων (Analitis et al. 2008; Chiusolo et al. 2011; Katsouyanni et al. 2001) και επιλέχθηκε μεταξύ των ατμοσφαιρικών ρύπων λόγω της πληρότητας των δεδομένων στα χρόνια της μελέτης σε 3 πόλεις, την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη και την Πάτρα. Στο Βόλο υπήρχαν δεδομένα μόνο για τα αιωρούμενα σωματίδια διαμέτρου 10 μm ή και μικρότερης (PM<sub>10</sub> (μg/m<sup>3</sup>)) και για αυτό το λόγο χρησιμοποιήθηκαν στην ανάλυση αντί του διοξειδίου του αζώτου. Δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την ατμοσφαιρική ρύπανση για τις υπόλοιπες πόλεις. Τα δεδομένα των ατμοσφαιρικών ρύπων διατέθηκαν για τη συγκεκριμένη έρευνα από το Υπουργείο Περιβάλλοντος & Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ), ύστερα από αίτημα.

## 5.2 Στατιστική Ανάλυση

### 5.2.1 Προσδιορισμός μοντέλων για κάθε πόλη

Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε ξεχωριστά για του μήνες Οκτώβριο με Μάρτιο, περίοδος που χαρακτηρίστηκε ως ψυχρή (Cold period), και για τους μήνες Απρίλιο με Σεπτέμβριο, περίοδος που χαρακτηρίστηκε ως θερμή (Warm period) καθώς, όπως αναφέρθηκε, η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών ακολουθεί μία διαφορετική συμπεριφορά από αυτή των χαμηλών (Anderson & Bell, 2009; Armstrong, 2006; Braga et al., 2001).

Ο δείκτης της θερμοκρασίας που επιλέχθηκε είναι η μέση θερμοκρασία με έλεγχο για τη μέση σχετική υγρασία για καθεμία από τις πόλεις της μελέτης καθώς σύμφωνα με τα αποτελέσματα μελέτης τριών Ευρωπαϊκών πόλεων (συμπεριλαμβανομένης και της Αθήνας) η εισαγωγή της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας ξεχωριστά ως παράγοντες στο μοντέλο προσαρμόζεται καλύτερα στα δεδομένα. Στα μοντέλα, για κάθε πόλη, λήφθηκαν υπόψιν πιθανοί συγχυτικοί παράγοντες, όπως η ημέρα της εβδομάδας ως κατηγορική μεταβλητή (0: Σάββατο, 1: Κυριακή κ.ο.κ.), οι αργίες του κάθε χρόνου ως κατηγορική μεταβλητή (1: αργία, 0: ημέρα που δεν είναι αργία), ο μήνας ως κατηγορική μεταβλητή (1: Ιανουάριος κ.ο.κ.) καθώς και γραμμικοί και τετραγωνικοί όροι του χρόνου για τον έλεγχο της μακροχρόνιας τάσης. Για κάθε πόλη υπολογίστηκαν 3 ειδών μοντέλα.

Αρχικά, πρώτο βήμα ήταν ο υπολογισμός του ορίου (threshold) της μέσης θερμοκρασίας που αφορά τη θερμή περίοδο για κάθε πόλη. Για τον υπολογισμό του συγκεκριμένου ορίου κάθε πόλης, η σχέση της ολικής θνησιμότητας και της μέσης θερμοκρασίας περιγράφηκε από δύο ευθείες γραμμές με ένα κοινό σημείο τομής, το ζητούμενο όριο. Με πιο απλά λόγια, η σχέση θεωρήθηκε V μορφής με το ζητούμενο όριο να αποτελεί εκείνη την τιμή της μέσης θερμοκρασίας για την οποία παρατηρείται η μικρότερη θνησιμότητα. Η τιμή του ορίου διέφερε σε κάθε πόλη και εκτιμήθηκε μέσω ενός αλγορίθμου που προτάθηκε από τον Muggeo (2003, 2008).

Δεύτερο βήμα αποτέλεσε η επιλογή της χρονικής δομής της επίδρασης της θερμοκρασίας στην ολική θνησιμότητα. Η επιλογή των δομών χρονικής υστέρησης (lags) βασίστηκε στην υπάρχουσα βιβλιογραφία (Analitis et al., 2008, Baccini et al., 2008, Rodopoulou et al., 2015, Armstrong et al., 2019). Έτσι, για τη ψυχρή περίοδο, η επίδραση της μέσης θερμοκρασίας εκφράστηκε από τη μέση τιμή των τιμών της μέσης θερμοκρασίας της ίδιας ημέρας (*lag0*) και των 13 προηγούμενων συνεχόμενων ημερών (*lags1-13*) ενώ για τη θερμή περίοδο, από τη μέση τιμή των τιμών της μέσης θερμοκρασίας της ίδιας ημέρας (*lag 0*) και των 3 προηγούμενων συνεχόμενων μερών (*lags 1-3*). Η καταλληλότητά τους για τις ανάγκες της παρούσας μελέτης ελέγχθηκε με την εφαρμογή μοντέλων με χρονικά κατανεμημένες μη γραμμικές επιδράσεις (*Distributed Lag Non Linear Models, DLNM*) όπως αυτά προτάθηκαν από τον Gasparrini et al. (2010). Αξίζει να σημειωθεί, πως αν και θα ήταν καλύτερο να

προσδιοριστεί ένα μοντέλο *DLNM* για κάθε πόλη ξεχωριστά, γιατί ίσως οι χρονικές δομές να διαφέρουν από πόλη σε πόλη, κρίναμε ορθότερο, στα πλαίσια αυτής της διπλωματικής, να προσδιοριστεί ένα μοντέλο *DLNM* που θα περιλαμβάνει όλες τις υπό μελέτη πόλεις. Η εισαγωγή των δεδομένων κάθε πόλης σε ένα μοντέλο *DLNM* μας δίνει δύο πλεονεκτήματα. Το ένα είναι η μεγαλύτερη ισχύ στα αποτελέσματα και το άλλο είναι ο καθορισμός μιας και μοναδικής χρονικής δομής που θα αφορά κάθε πόλη ξεχωριστά και θα επιτρέπει τη σύγκριση μεταξύ τους.

Έπειτα, εφόσον προσδιορίστηκε τόσο η οριακή τιμή της μέσης θερμοκρασίας της θερμής περιόδου (από τον αλγόριθμο του Mugges) για κάθε πόλη όσο και η χρονική δομή της σχέσης ξεχωριστά για τη θερμή και ψυχρή περίοδο (επιβεβαιωμένη από τα μοντέλα με χρονικά καταναμημένες μη γραμμικές επιδράσεις (*DLNM*)), ελέγχθηκε η μορφή της σχέσης που περιγράφει την μέση θερμοκρασία με την ολική θνησιμότητα. Για το σκοπό αυτό, εφαρμόστηκαν γενικευμένα προσθετικά μοντέλα (*Generalized Additive Models, GAM*).

Τέλος, καταλήγοντας και στην μορφή της σχέσης της μέσης θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο (από τα γραφήματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων) εφαρμόστηκαν τα τελικά μοντέλα για την διερεύνηση της επίδρασης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στην ημερήσια θνησιμότητα.

Όλα τα παραπάνω μοντέλα, αναλύονται εκτενέστερα στο κεφάλαιο 6 που αφορά τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας. Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό στατιστικής ανάλυσης R version 3.6.3.

### 5.2.2 Σύνθεση των αποτελεσμάτων (Μετα-ανάλυση)

Σε δεύτερο στάδιο, πραγματοποιήθηκε μετα-ανάλυση των τελικών εκτιμήσεων των σχετικών κινδύνων θανάτου (*Relative Risk, RR*) που υπολογίστηκαν από κάθε πόλη ξεχωριστά για την κάθε περίοδο με σκοπό τη διερεύνηση της όποιας ετερογένειας μεταξύ των αποτελεσμάτων κάθε πόλης και την αποτίμηση ενός συνολικού αποτελέσματος. Και στις δέκα πόλεις που περιελήφθησαν στην μετα-ανάλυση εφαρμόστηκε το ίδιο τελικό μοντέλο *Poisson* με υπερδιασπορά ελέγχοντας (*adjustment*) για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση και τη μέση σχετική υγρασία. Ο παράγοντας της έκθεσης αφορούσε την μέση ημερήσια θερμοκρασία (μέσος όρος των lags 0-13 και lags 0-3, για τη ψυχρή και θερμή περίοδο, αντίστοιχα) και ο παράγοντας της έκβασης την ημερήσια θνησιμότητα από όλες τις αιτίες. Για τη σύνθεση των εκτιμήσεων κάθε πόλης χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα Σταθερών (*Fixed-Effects Model*) και Τυχαίων (*Random-Effects Model*) Επιδράσεων. Εάν  $b_i$  είναι ο εκτιμώμενος συντελεστής της μέσης θερμοκρασίας του τελικού μοντέλου για κάθε πόλη  $i$ , τότε στα μοντέλα σταθερών επιδράσεων θεωρήθηκε πως  $b_i \sim N(b, V_i)$  ενώ στα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων υποθέσαμε πως  $b_i \sim N(b, V_i + T^2)$ , όπου το  $b$  αποτελεί το συνολικό εκτιμώμενο συντελεστή της θερμοκρασίας, το  $V_i$  την εκτιμώμενη διασπορά του συντελεστή της θερμοκρασίας του τελικού μοντέλου κάθε πόλης  $i$  (*in-study variance*) και το  $T^2$  την εκτιμώμενη

διασπορά ανάμεσα στις πόλεις (between-study variance). Για τη θερμή περίοδο, εκτιμήθηκε επιπλέον, μέσω των μοντέλων σταθερών και τυχαίων επιδράσεων, η τιμή του συνοπτικού ορίου κατωφλίου πέραν του οποίου 1°C αύξησης της θερμοκρασίας επιφέρει την εκτιμώμενη αλλαγή του αριθμού των θανάτων συνολικά για όλες τις πόλεις. Για τη στατιστική ανάλυση χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό στατιστικής ανάλυσης STATA (Version 12).

## Αποτελέσματα

### 6.1 Περιγραφικά Χαρακτηριστικά

Οι πίνακες 5.1.1. και Π5.1.1., Π5.1.2. του Παραρτήματος δίνουν τα περιγραφικά χαρακτηριστικά του ημερήσιου αριθμού θανάτων από όλες τις αιτίες και ανά αιτία για τη συνολική, τη ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και τη θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο μελέτης για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις. Ο αριθμός των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες για τη συνολική περίοδο μελέτης κυμαινόταν, κατά μέσο όρο, από 1.44 στη Χαλκίδα έως 84.24 στην Αθήνα. Για τη συνολική περίοδο, το 37-47%, κατά προσέγγιση, όλων των θανάτων οφειλόταν σε νοσήματα του κυκλοφορικού συστήματος ενώ ένα μικρότερο ποσοστό της τάξης 7-11% σε παθήσεις του αναπνευστικού συστήματος. Ο μέσος αριθμός των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες, από καρδιαγγειακά και από αναπνευστικά αίτια ήταν υψηλότερος για όλες τις πόλεις τη ψυχρή περίοδο. Αξιοσημείωτο αποτελεί το γεγονός πως το ποσοστό των θανάτων που αποδίδεται σε καρδιαγγειακά προβλήματα ήταν για κάθε πόλη ελαφρώς μεγαλύτερο τη ψυχρή παρά τη θερμή περίοδο.

**Πίνακας 5.1.1.** Μέση τιμή και διασπορά ημερήσιου αριθμού θανάτων από όλες τις αιτίες για τη συνολική περίοδο μελέτης, τη ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και τη θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις.

Πόλη	Χρονική περίοδος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τεταρτημόρια		
						1 <sup>ο</sup>	Διάμεσος	3 <sup>ο</sup>
Αθήνα								
	2008-2015	84.24	13.50	44	153	75	83	92
	Ψυχρή Περίοδος	88.21	13.74	50	153	79	87	97
	Θερμή περίοδος	80.28	12.00	44	127	72	79	88
Βόλος								
	2008-2016	2.36	1.53	0	10	1	2	3
	Ψυχρή Περίοδος	2.44	1.57	0	10	1	2	3
	Θερμή περίοδος	2.29	1.48	0	8	1	2	3
Ηράκλειο								

	2008-2016	2.70	1.70	0	11	1	2	4
	Ψυχρή Περίοδος	2.81	1.72	0	10	2	3	4
	Θερμή περίοδος	2.60	1.68	0	11	1	2	4
Θεσσαλονίκη								
	2008-2016	9.86	3.24	2	27	8	10	12
	Ψυχρή Περίοδος	10.29	3.28	2	24	8	10	12
	Θερμή περίοδος	9.43	3.16	2	27	7	9	12
Ιωάννινα								
	2008-2016	1.64	1.3	0	9	1	1	2
	Ψυχρή Περίοδος	1.72	1.32	0	9	1	2	2
	Θερμή περίοδος	1.57	1.27	0	7	1	1	2
Καβάλα								
	2008-2016	1.67	1.31	0	8	1	1	2
	Ψυχρή Περίοδος	1.75	1.33	0	8	1	2	3
	Θερμή περίοδος	1.58	1.30	0	8	1	1	2
Λαμία								
	2008-2016	1.45	1.22	0	7	1	1	2
	Ψυχρή Περίοδος	1.53	1.27	0	7	1	1	2
	Θερμή περίοδος	1.34	1.16	0	6	0	1	2
Λάρισα								
	2008-2016	2.85	2.05	0	13	1	3	4
	Ψυχρή Περίοδος	2.96	2.11	0	13	1	3	4
	Θερμή περίοδος	2.75	1.98	0	11	1	2	4
Πάτρα								
	2008-2016	4.10	2.09	0	14	3	4	5
	Ψυχρή Περίοδος	4.29	2.16	0	14	3	4	6
	Θερμή περίοδος	3.91	2.01	0	11	2	4	5



Χαλκίδα

2008-2016	1.44	1.23	0	8	1	1	2
Ψυχρή Περίοδος	1.55	1.25	0	8	1	1	2
Θερμή περίοδος	1.34	1.20	0	7	0	1	2

Στον πίνακα 5.1.2. δίνονται περιγραφικά μεγέθη για τη θέση και διασποράς (μέση τιμή, τυπική απόκλιση, ελάχιστη, μέγιστη τιμή και τεταρτημόρια) των μετεωρολογικών μεταβλητών ανά πόλη, για τη συνολική περίοδο μελέτης, τη ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και τη θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο. Η μέση θερμοκρασία κυμαινόταν, κατά μέσο όρο, από 8.46 °C στα Ιωάννινα μέχρι 15.58 °C στο Ηράκλειο, τη ψυχρή περίοδο και από 21.11 °C στα Ιωάννινα έως 24.52 °C στην Αθήνα, τη θερμή.

**Πίνακας 5.1.2.** Μέση τιμή και διασπορά μετεωρολογικών μεταβλητών για τη συνολική περίοδο μελέτης, τη ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και τη θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις.

Μετεωρ. μεταβλ.	Χρονική περίοδος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τεταρτημόρια		
						1°	Διάμεσος	3°

**Αθήνα**

Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C)

2008-2015	18.98	7.31	-1.78	35	13.19	18.17	25.58
Ψυχρή Περίοδος	13.42	4.42	-1.78	27.1	10.49	13.29	16.15
Θερμή περίοδος	24.52	5.07	8.63	35	21.05	25.49	28.63

Σχετική υγρασία (%)

2008-2015	60.79	14.10	25	95	50	61	72
Ψυχρή Περίοδος	70.13	10.00	35	95	63	71	78
Θερμή περίοδος	51.55	11.19	25	90	43	51	59

### Ιωάννινα

Μέση ημερήσια  
θερμοκρασία (°C)

2008-2016	14.49	8.01	-3.85	33.05	7.83	13.83	21.10
Ψυχρή Περίοδος	8.46	4.59	-3.85	21.55	5.15	8	11.8
Θερμή περίοδος	21.11	5.29	8	33.05	16.97	21.38	25.55

Σχετική υγρασία (%)

2008-2016	68.92	15.99	26	100	56.33	69.62	81.63
Ψυχρή Περίοδος	77.09	13.93	26	100	68.67	79.23	87.79
Θερμή περίοδος	60.85	13.62	26	98	51.33	59.67	70.33

### Ηράκλειο

Μέση ημερήσια

Θερμοκρασία (°C)

2008-2016	19.64	5.65	4.05	31.2	14.85	19.35	25
Ψυχρή Περίοδος	15.58	3.92	4.05	28.2	12.8	15	18.1
Θερμή περίοδος	23.68	3.96	11.55	31.2	21.05	24.9	26.6

Σχετική υγρασία (%)

2008-2016	68.72	9.08	20.39	92.7	63.52	69	74.6
Ψυχρή Περίοδος	70.69	9.20	26.47	92.7	64.97	70.86	77.43
Θερμή περίοδος	66.77	8.53	20.39	92.46	62.16	67.36	72.28

**Καβάλα**

Μέση ημερήσια  
θερμοκρασία (°C)

2008-2016	16.20	7.99	-3	32	9.8	15.8	23.45
Ψυχρή Περίοδος	9.90	4.86	-3	23.15	6.3	9.9	13.25
Θερμή περίοδος	22.64	4.79	8.8	32	19.37	23.5	26.55

Σχετική υγρασία (%)

2008-2016	70.13	12.23	26.9	99	61.3	69.91	79.33
-----------	-------	-------	------	----	------	-------	-------

Ψυχρή Περίοδος	75.86	11.47	36	99	68.51	77.32	84.38
Θερμή περίοδος	64.48	10.15	26.9	95.66	58.08	64.22	71

### Λαμία

Μέση ημερήσια  
θερμοκρασία (°C)

2008-2016	16.93	7.84	-0.7	34.1	10.65	15.9	23.73
Ψυχρή Περίοδος	11.06	4.51	-0.7	23.8	7.9	10.85	14.07
Θερμή περίοδος	23.26	5.35	8.45	34.1	19.15	24.08	27.7

Σχετική υγρασία (%)

2008-2016	63.69	16	22	99.33	50.67	63.67	76.33
Ψυχρή Περίοδος	73.21	12.85	32.33	99.33	64.66	74.33	82.66
Θερμή περίοδος	54.99	13.42	22	97.33	45.33	52.82	63.48

### Λάρισα

Μέση ημερήσια  
θερμοκρασία (°C)

2008-2016	16.56	8.6	-15.05	34.8	9.4	15.88	24.4
Ψυχρή Περίοδος	9.90	4.97	-15.05	24.6	6.5	9.55	13.15
Θερμή περίοδος	23.6	5.45	8.35	34.8	19.65	24.6	28.08

Σχετική υγρασία (%)

2012-2016	61.21	20.24	14.33	100	43.33	61.68	77
Ψυχρή Περίοδος	74.88	14.45	30	100	66	75.67	85.67
Θερμή περίοδος	47.76	15.56	14.33	100	35.67	44	57

**Πάτρα**

Μέση ημερήσια  
θερμοκρασία (°C)

2008-2016	18.81	6.99	1.65	33.35	12.9	18.1	25.1
Ψυχρή Περίοδος	13.31	4.11	1.65	24.25	10.5	12.85	16.05
Θερμή περίοδος	24.08	4.74	11.45	33.35	20.5	24.85	27.75

Σχετική υγρασία (%)

2008-2016	69.35	13.07	23.67	99	61	70.67	79
Ψυχρή		10.88	35.35	99	69.67	77.67	83.67

Περίοδος	75.80						
Θερμή περίοδος	63.08	11.93	23.67	95.67	55.66	64.82	71.49

### Θεσσαλονίκη

Μέση ημερήσια  
θερμοκρασία (°C)

2008-2016	16.49	8.31	-2.4	32.85	9.7	15.7	24.05
Ψυχρή Περίοδος	10.25	5	-2.4	23.85	6.65	10	13.55
Θερμή περίοδος	23.57	5.11	9.75	32.85	20.15	24.6	27.75

Σχετική υγρασία (%)

2008-2016	62.89	15.6	26.67	97.65	50.1	61.50	74.75
Ψυχρή Περίοδος	71.46	13.89	33.38	97.65	61.67	72.67	82.51
Θερμή περίοδος	54.31	12	26.67	95.87	46.67	53	61

### Βόλος

Μέση ημερήσια  
θερμοκρασία (°C)

2008-2016	17.17	8.02	-2.05	32.6	10.6	16.4	24.55
-----------	-------	------	-------	------	------	------	-------

Ψυχρή Περίοδος	10.85	4.69	-2.05	24.7	7.65	10.65	13.9
Θερμή περίοδος	23.53	5.13	7.35	32.6	20	24.6	27.65

Σχετική υγρασία (%)

2008-2016	64.16	15.48	23	96.76	52	64.67	76.64
Ψυχρή Περίοδος	73.26	11.77	35.33	96.76	65.33	74.33	81.81
Θερμή περίοδος	55.07	13.23	23	95	45.35	53.85	63.67

**Χαλκίδα**

Μέση ημερήσια  
θερμοκρασία (°C)

2008-2016	17	7.97	-4.65	33.8	10.5	16	24.16
Ψυχρή Περίοδος	11.26	4.77	-4.65	24.3	7.9	11.05	14.35
Θερμή περίοδος	23.51	5.47	7.15	33.8	19.45	24.65	27.95

Σχετική υγρασία (%)

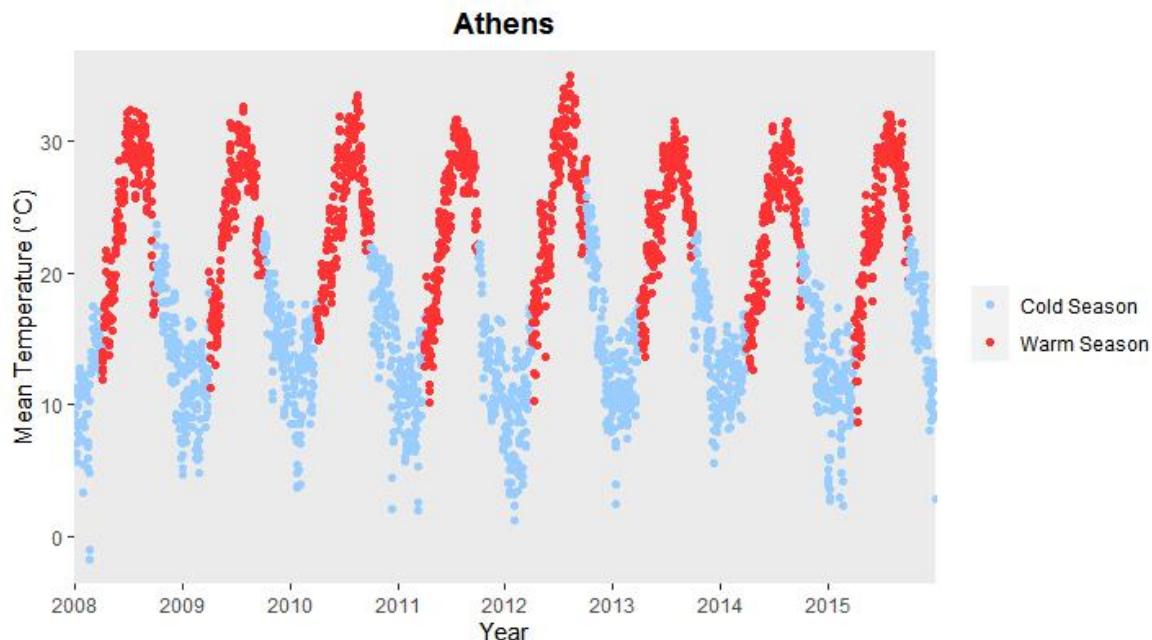
2008-2016	60.44	18.09	13	99.67	44.79	61.33	75
Ψυχρή Περίοδος	72.84	12.02	30.33	99.67	64.3	73	81.67

Θερμή περίοδος	48.08	14.27	13	95.86	37.33	45	56
-------------------	-------	-------	----	-------	-------	----	----

Τα Γραφήματα 5.1.1. (α) - 5.1.11. (α) παρουσιάζουν τη διακύμανση της μέσης θερμοκρασίας ενώ τα Γραφήματα 5.1.1. (β) - 5.1.11. (β) τη διακύμανση της μέσης σχετικής υγρασίας για το χρονικό διάστημα μελέτης ανά ψυχρή (Οκτώβριο με Μάρτιο) και θερμή (Απρίλιο με Σεπτέμβριο) περίοδο σε κάθε πόλη. Αντίστοιχα, το Γράφημα 5.1.1. (γ) απεικονίζεται η διακύμανση της ολικής ημερήσιας θνησιμότητας για το χρονικό διάστημα μελέτης ανά ψυχρή (Οκτώβριο με Μάρτιο) και θερμή (Απρίλιο με Σεπτέμβριο) περίοδο στην Αθήνα. Για τις υπόλοιπες πόλεις προτιμήσαμε να μην παρουσιάσουμε τα γραφήματα που αφορούν τη διακύμανση της ολικής ημερήσιας θνησιμότητας για το χρονικό διάστημα μελέτης καθώς τα αποτελέσματα που προκύπτανε δεν γινόταν εύκολα αντιληπτά μέσω των γραφημάτων.

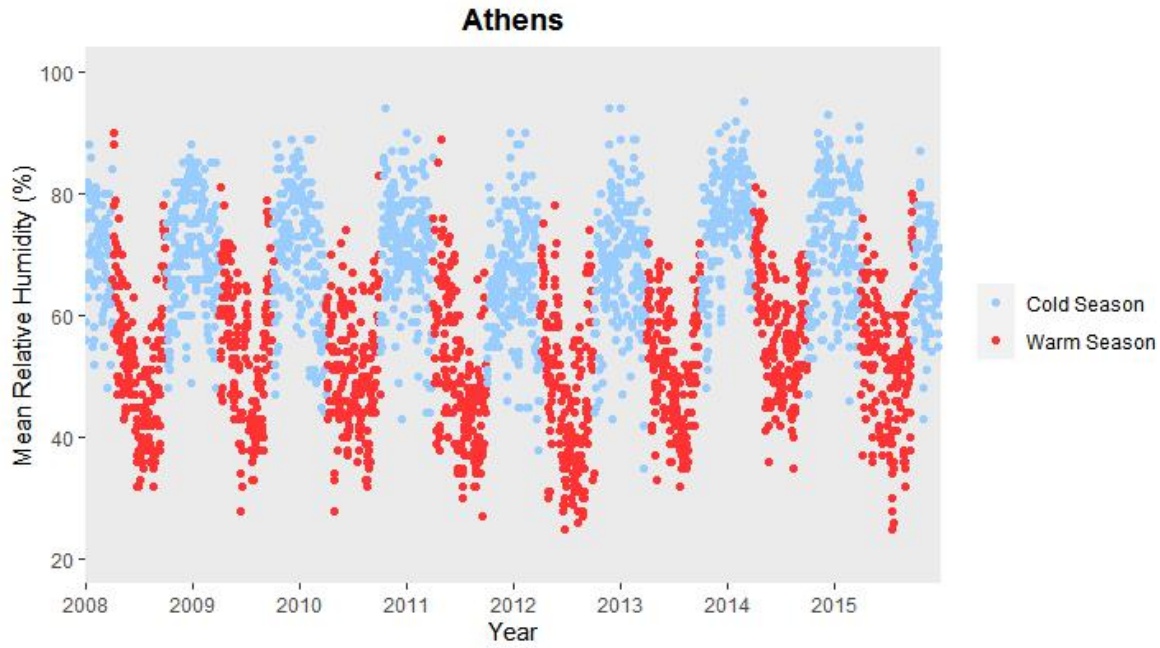
Τα γραφήματα (α) και (β) της μέσης θερμοκρασίας και της μέσης σχετικής υγρασίας στο χρόνο φανερώνουν την αρνητική σχέση των δύο μεταβλητών την οποία θα αναλύσουμε εκτενώς παρακάτω μέσω των διαγραμμάτων της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία και μέσω του συντελεστή συσχέτισης Pearson.

**Γράφημα 5.1.1. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για την Αθήνα το χρονικό διάστημα 2008-2015.

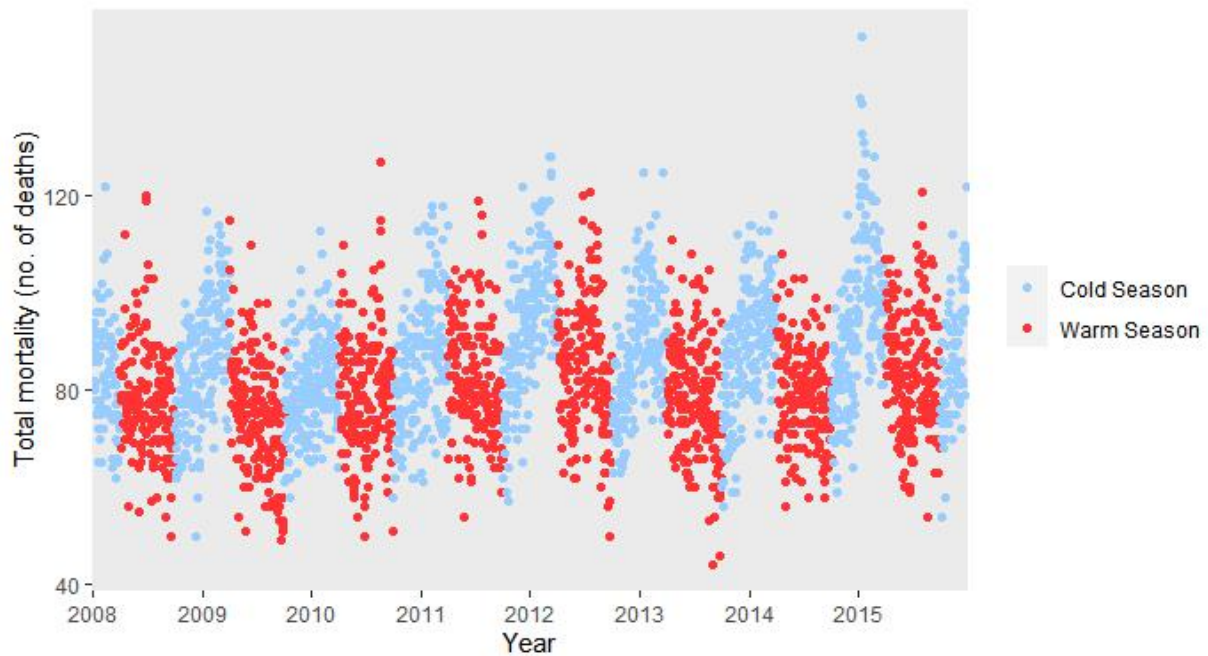




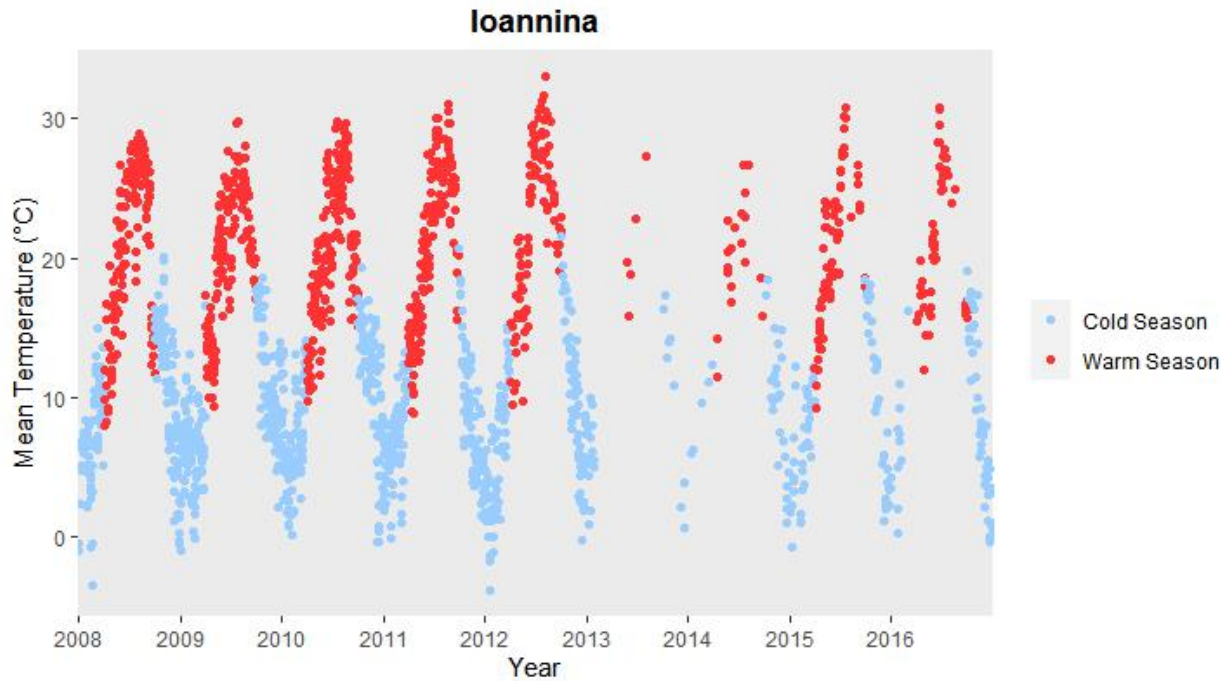
**Γράφημα 5.1.1. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για την Αθήνα το χρονικό διάστημα 2008-2015.



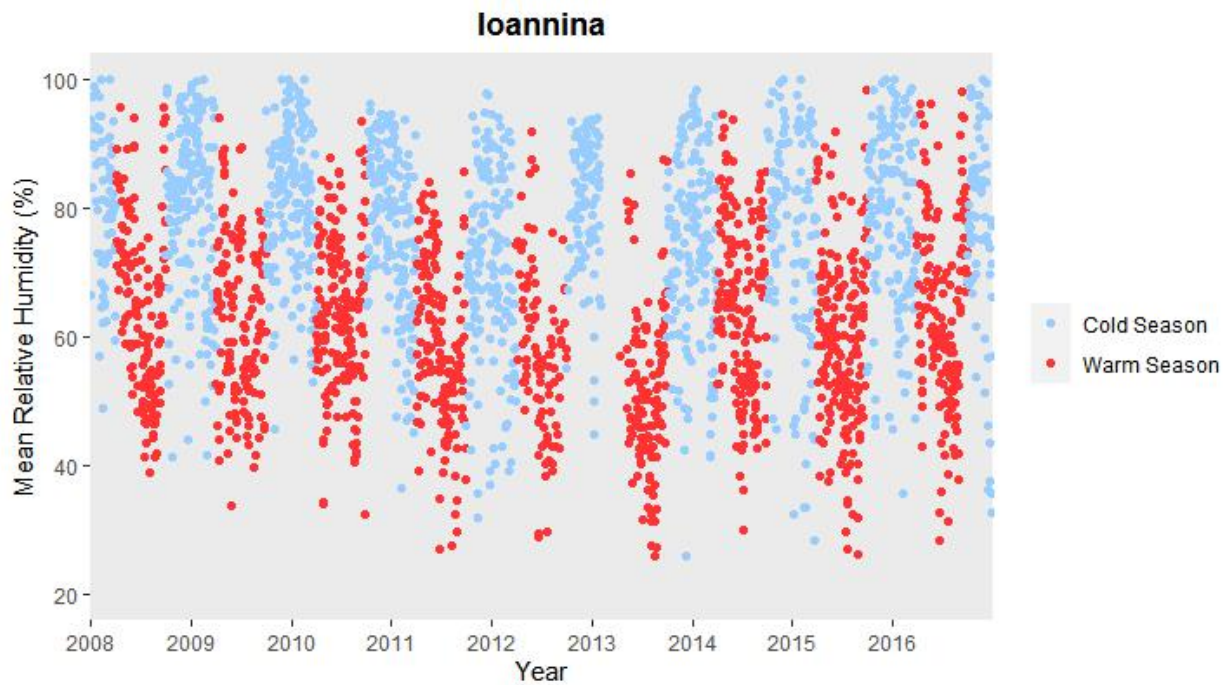
**Γράφημα 5.1.1. (γ)** Ημερήσιος αριθμός θανάτων από όλες τις αιτίες ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για την Αθήνα το χρονικό διάστημα 2008-2015.



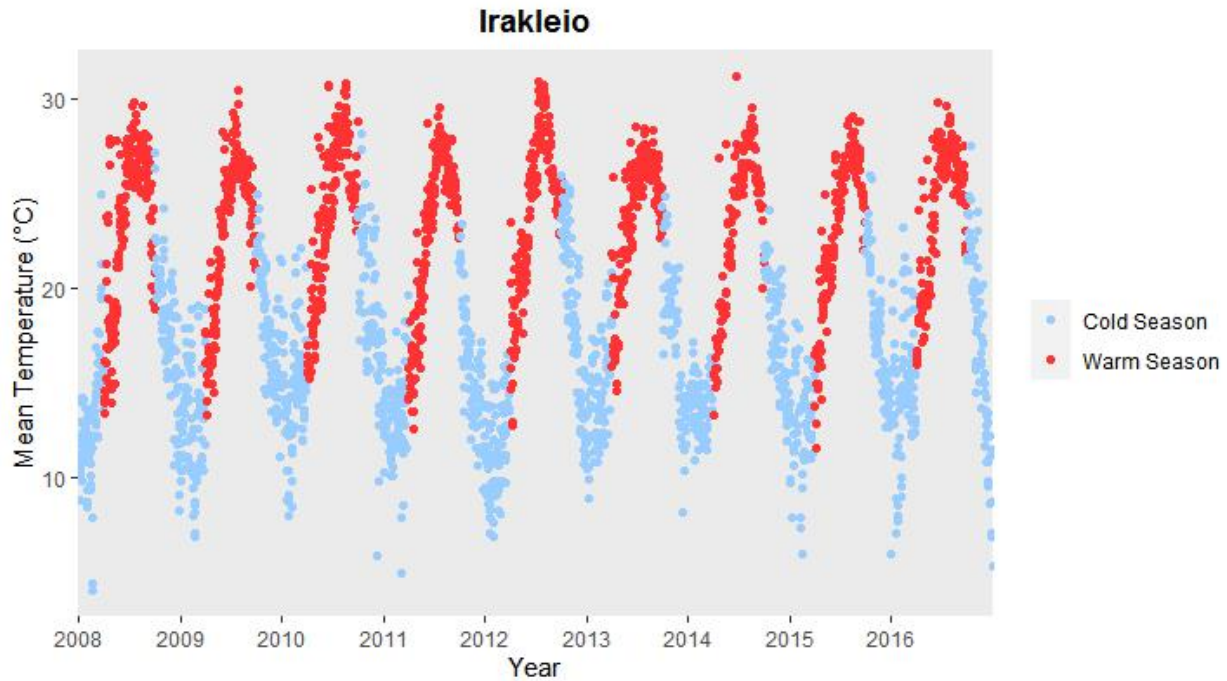
**Γράφημα 5.1.2. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τα Ιωάννινα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



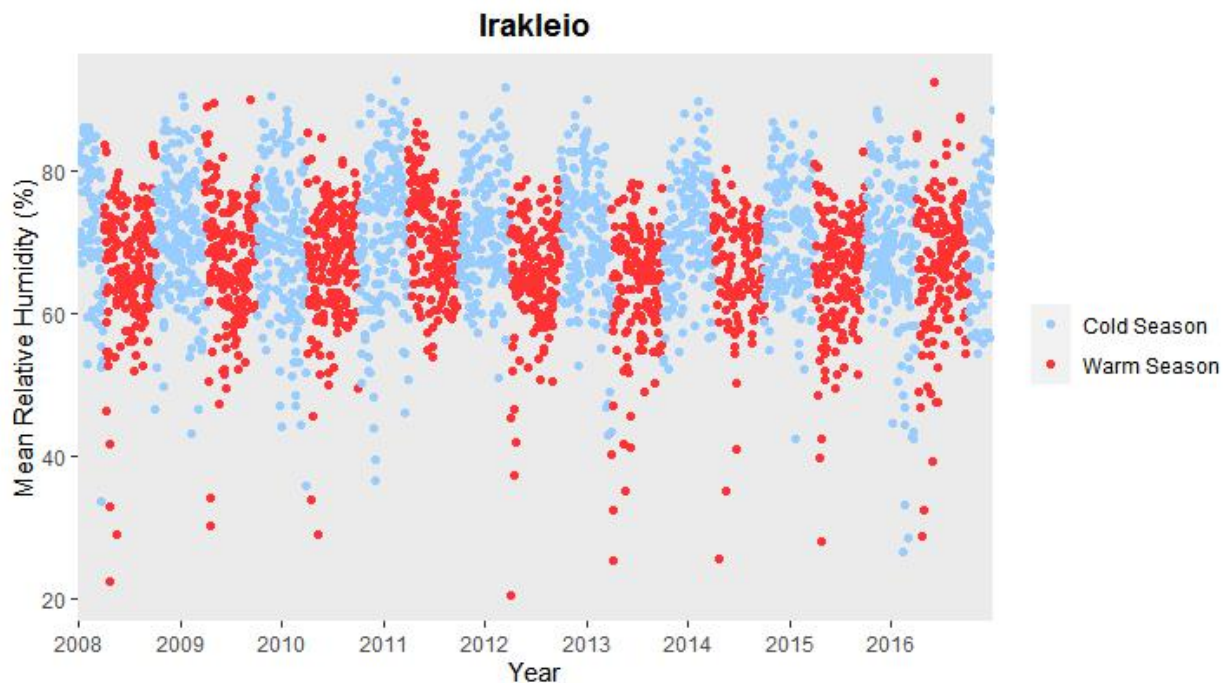
**Γράφημα 5.1.2. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τα Ιωάννινα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



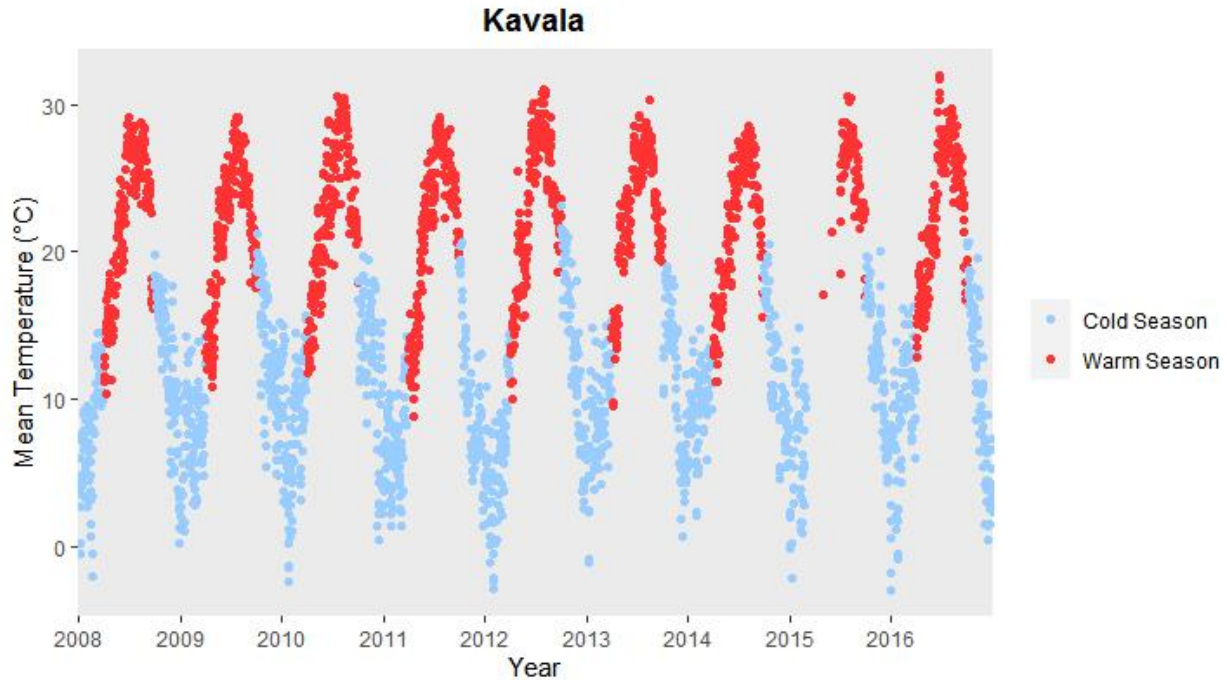
**Γράφημα 5.1.3. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για το Ηράκλειο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



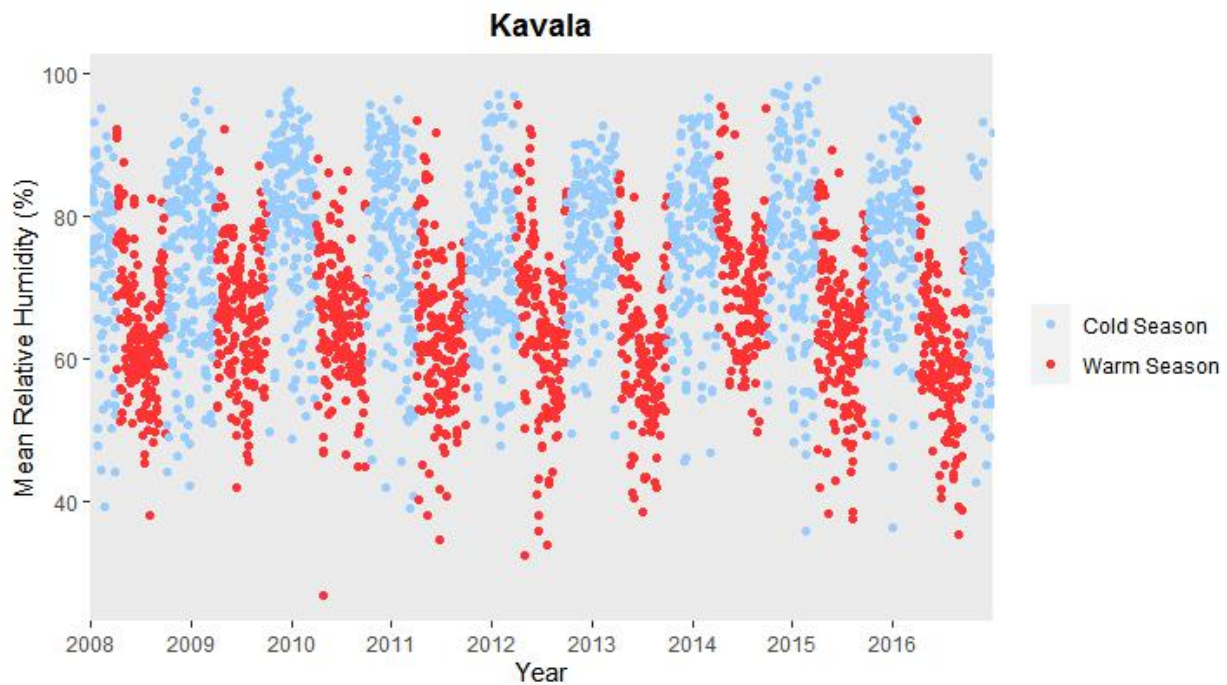
**Γράφημα 5.1.3. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για το Ηράκλειο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



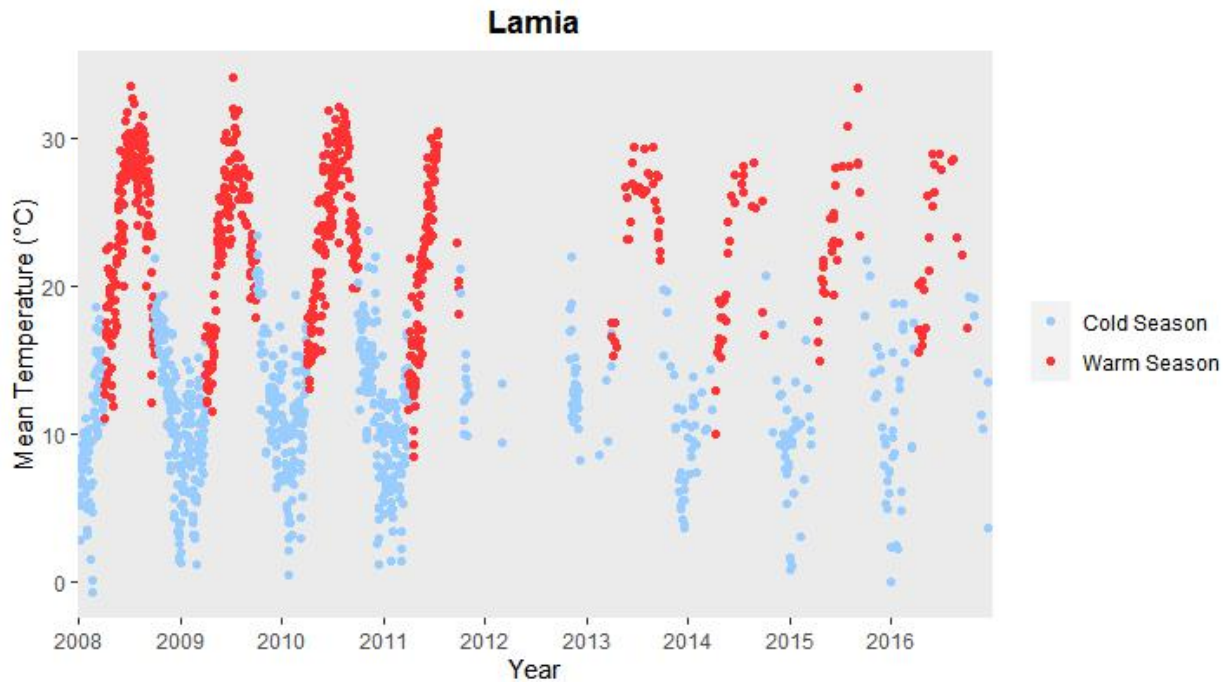
**Γράφημα 5.1.4. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για την Καβάλα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



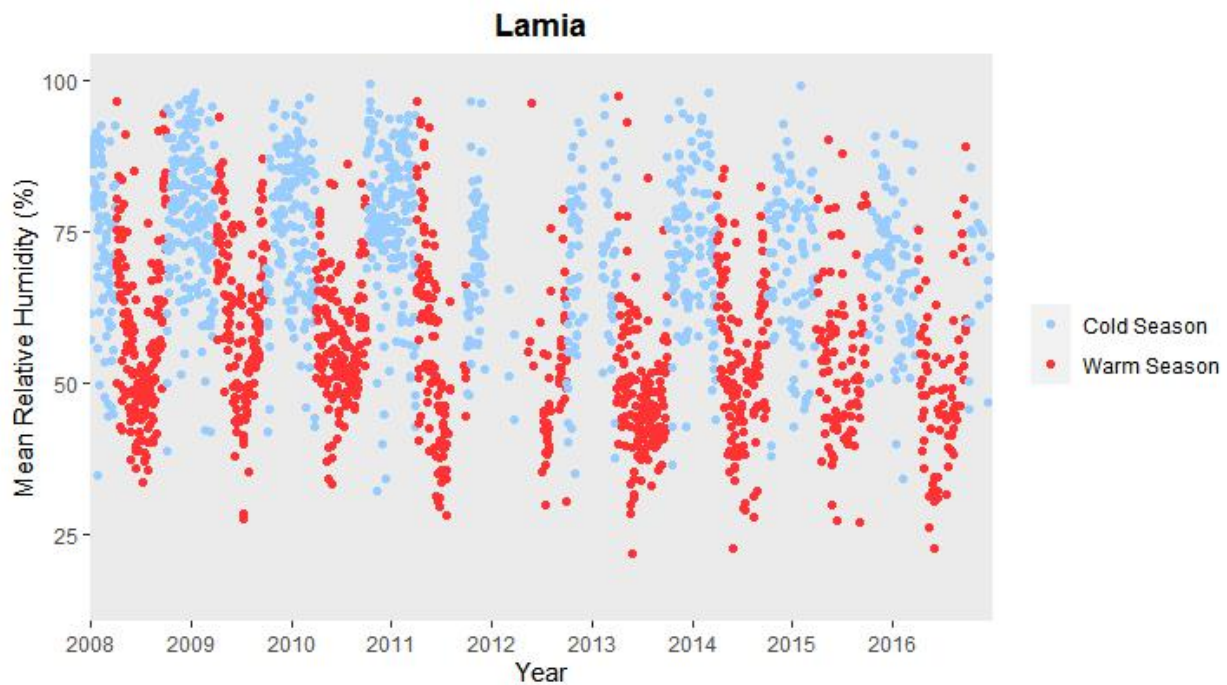
**Γράφημα 5.1.4. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για την Καβάλα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



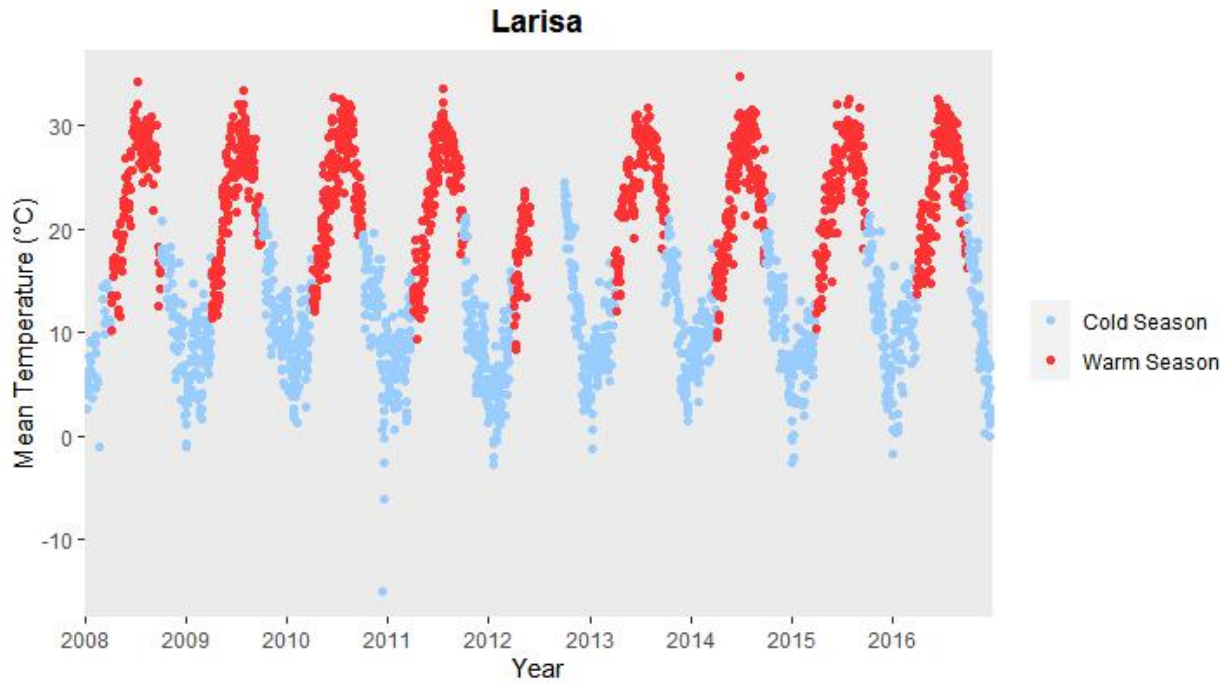
**Γράφημα 5.1.5. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τη Λαμία το χρονικό διάστημα 2008-2016.



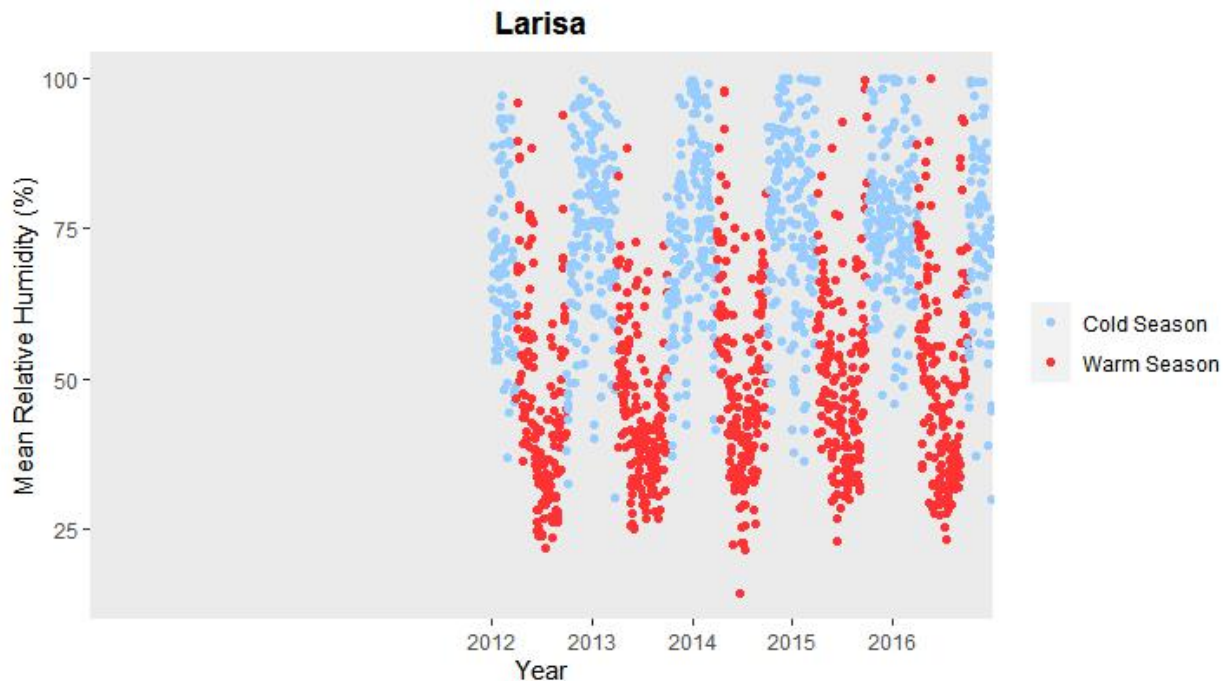
**Γράφημα 5.1.5. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τη Λαμία το χρονικό διάστημα 2008-2016



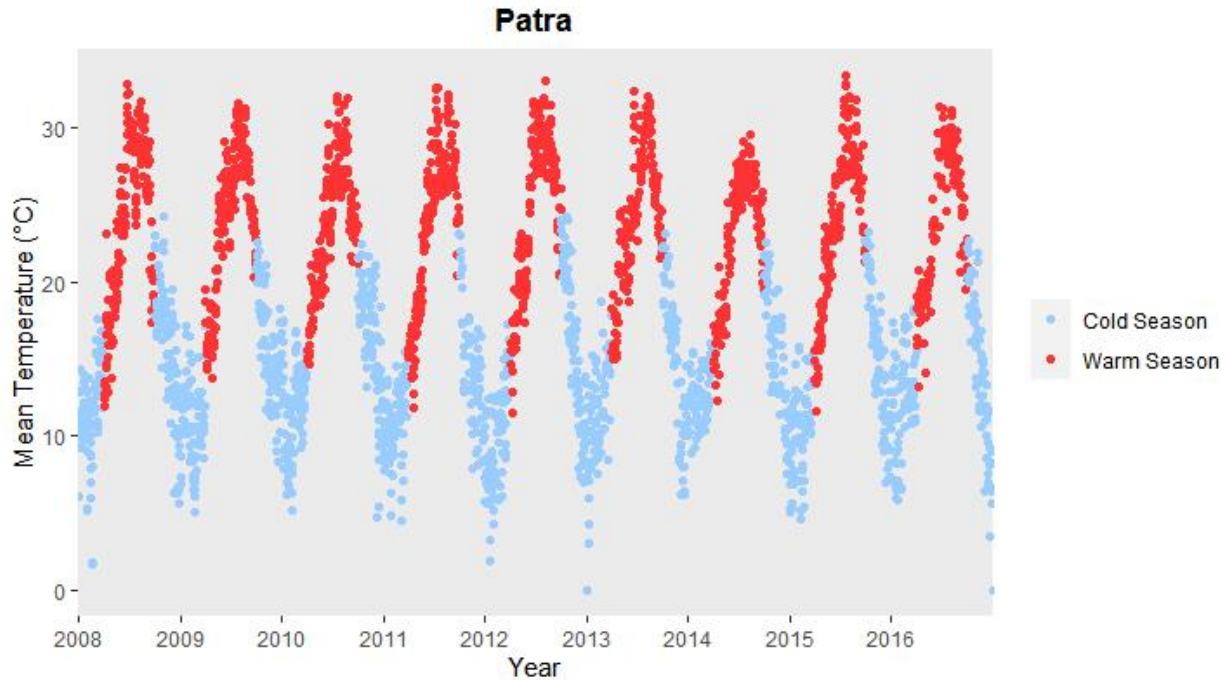
**Γράφημα 5.1.6. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τη Λάρισα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



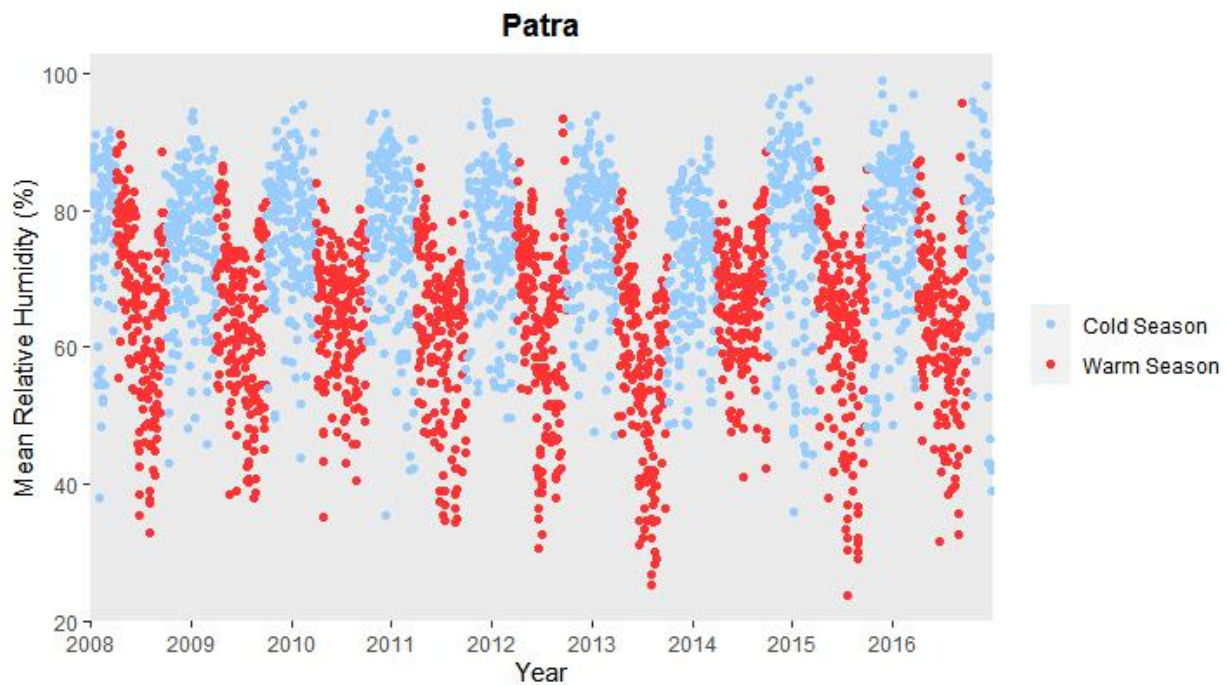
**Γράφημα 5.1.6. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τη Λάρισα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



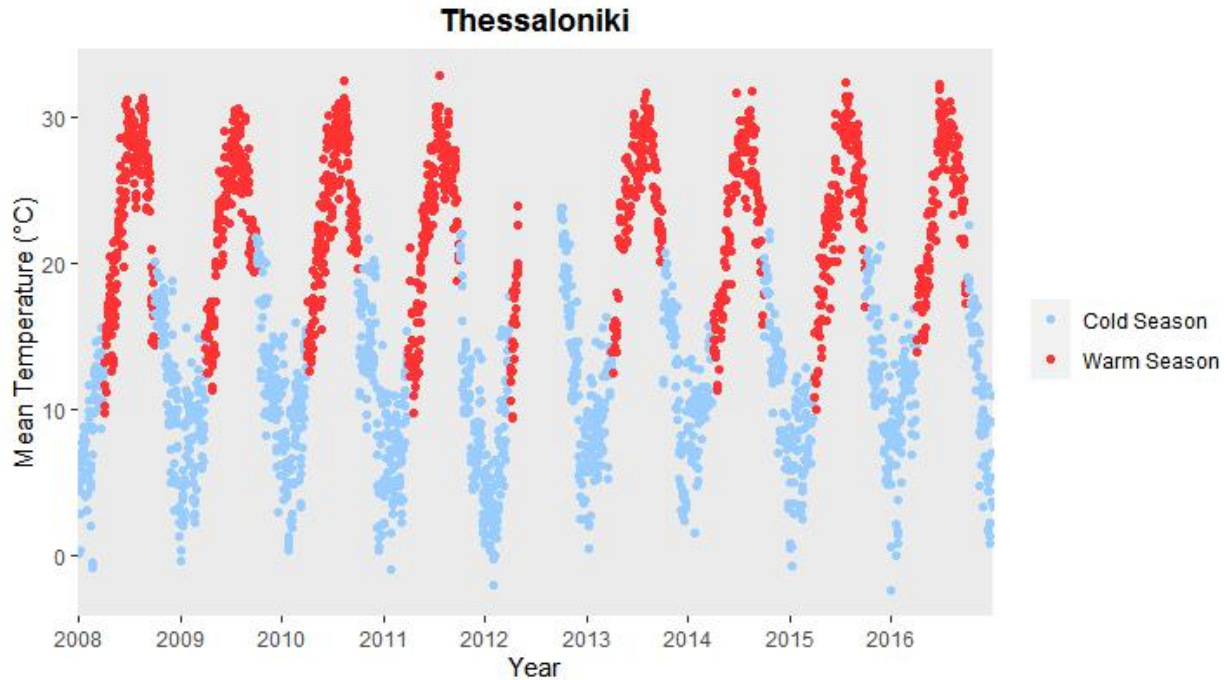
**Γράφημα 5.1.7. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για την Πάτρα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



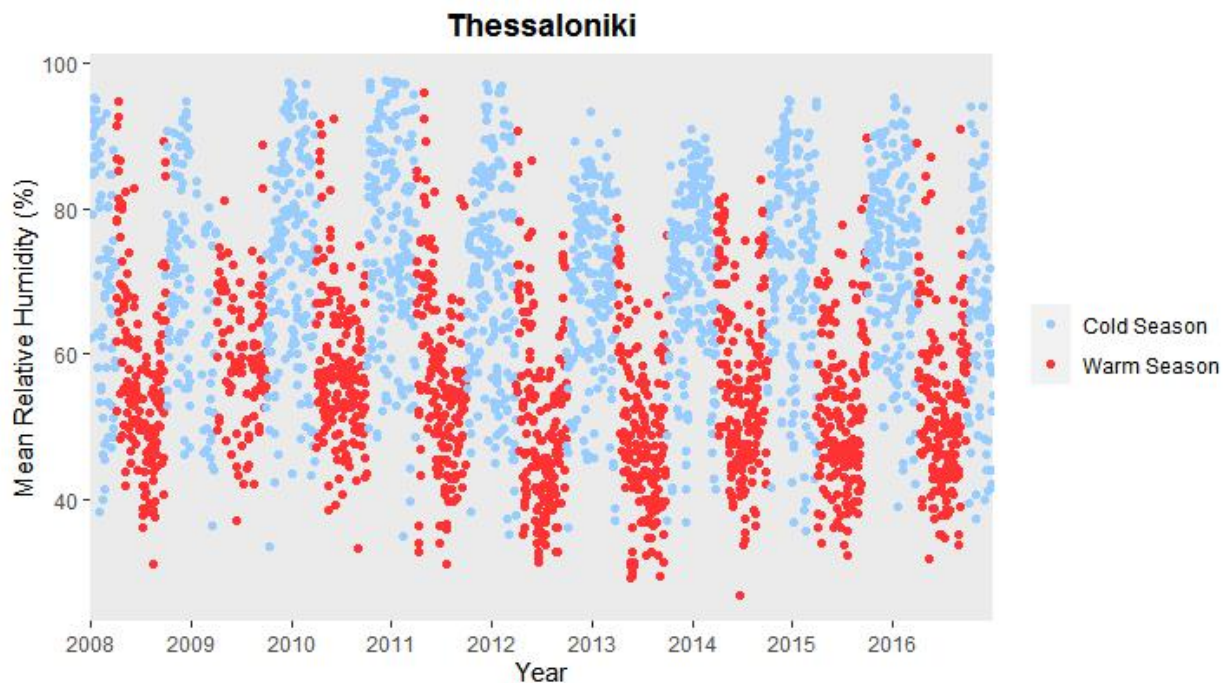
**Γράφημα 5.1.7. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για την Πάτρα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



**Γράφημα 5.1.8. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τη Θεσσαλονίκη το χρονικό διάστημα 2008-2016.

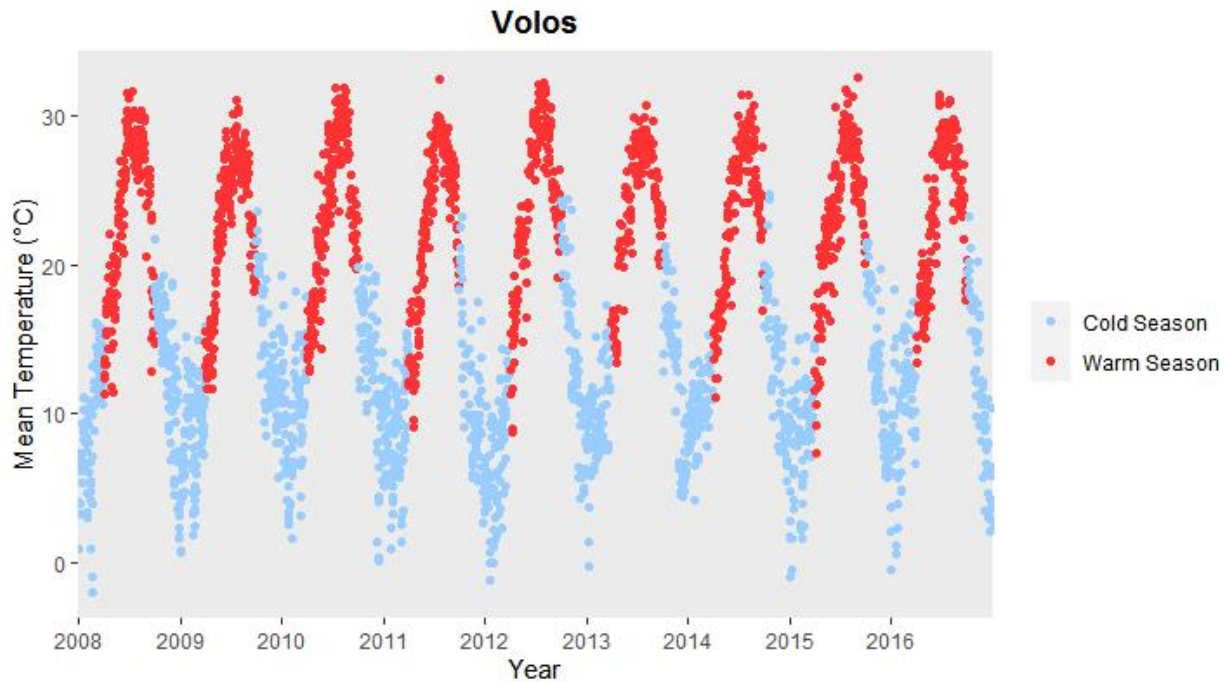


**Γράφημα 5.1.8. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τη Θεσσαλονίκη το χρονικό διάστημα 2008-2016.

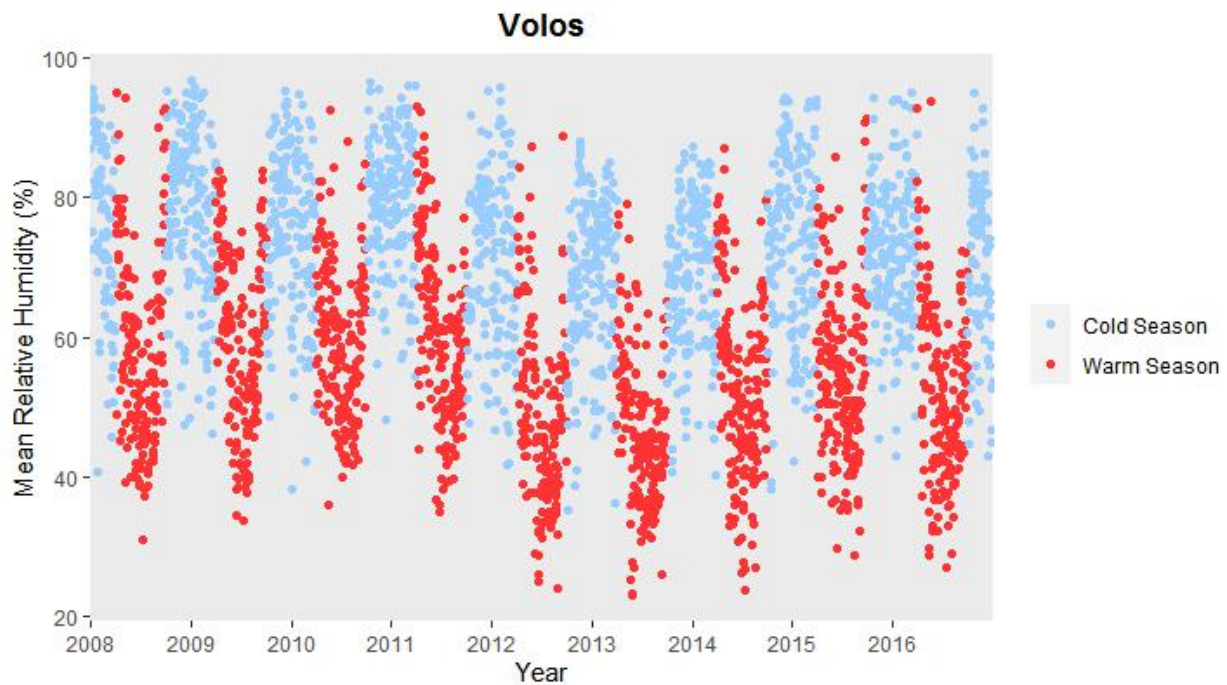




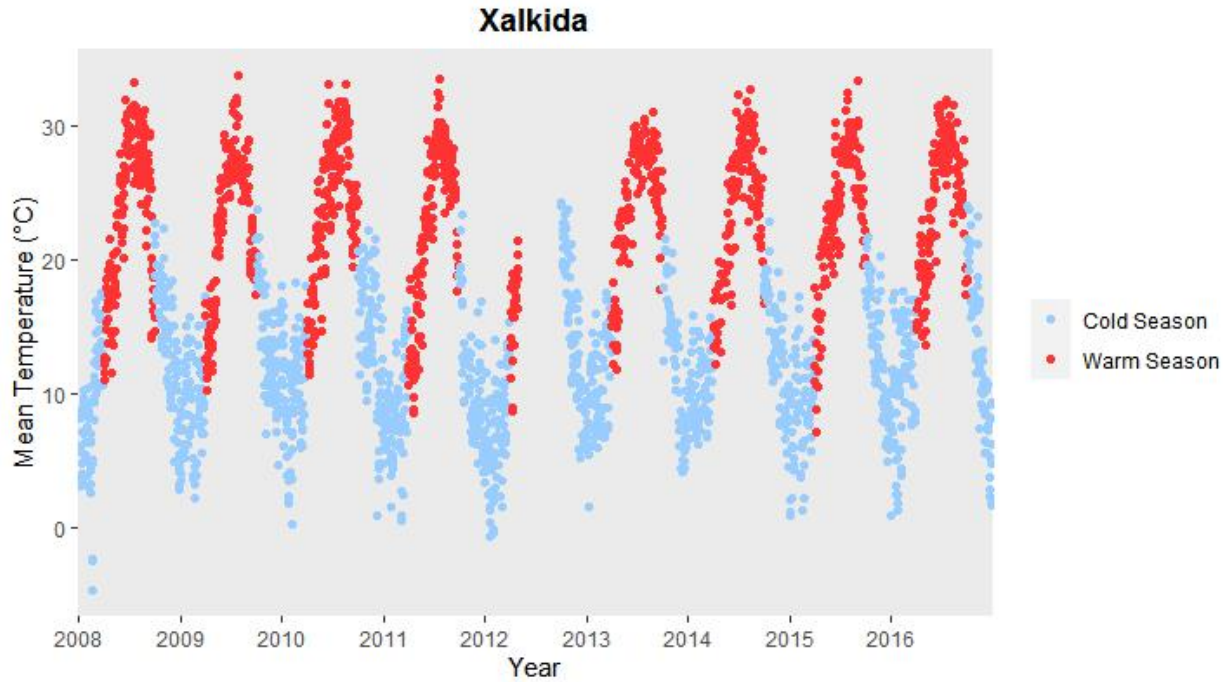
**Γράφημα 5.1.9. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για το Βόλο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



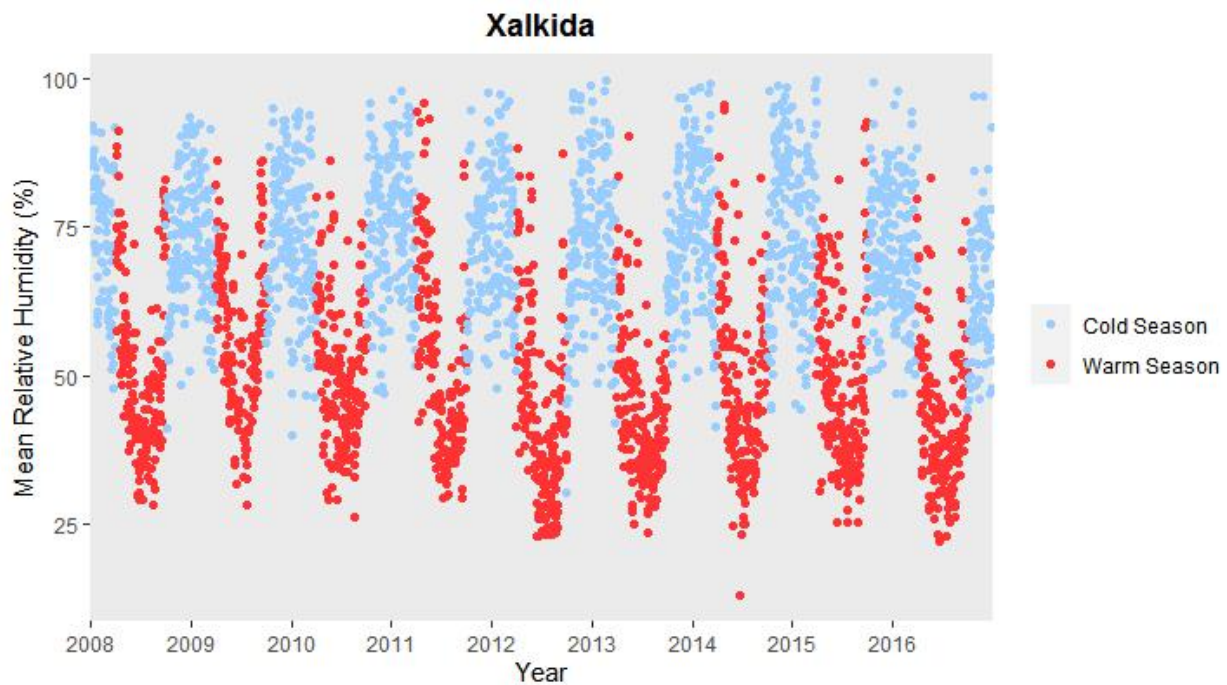
**Γράφημα 5.1.9. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για το Βόλο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



**Γράφημα 5.1.10. (α)** Μέση ημερήσια θερμοκρασία (°C) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τη Χαλκίδα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



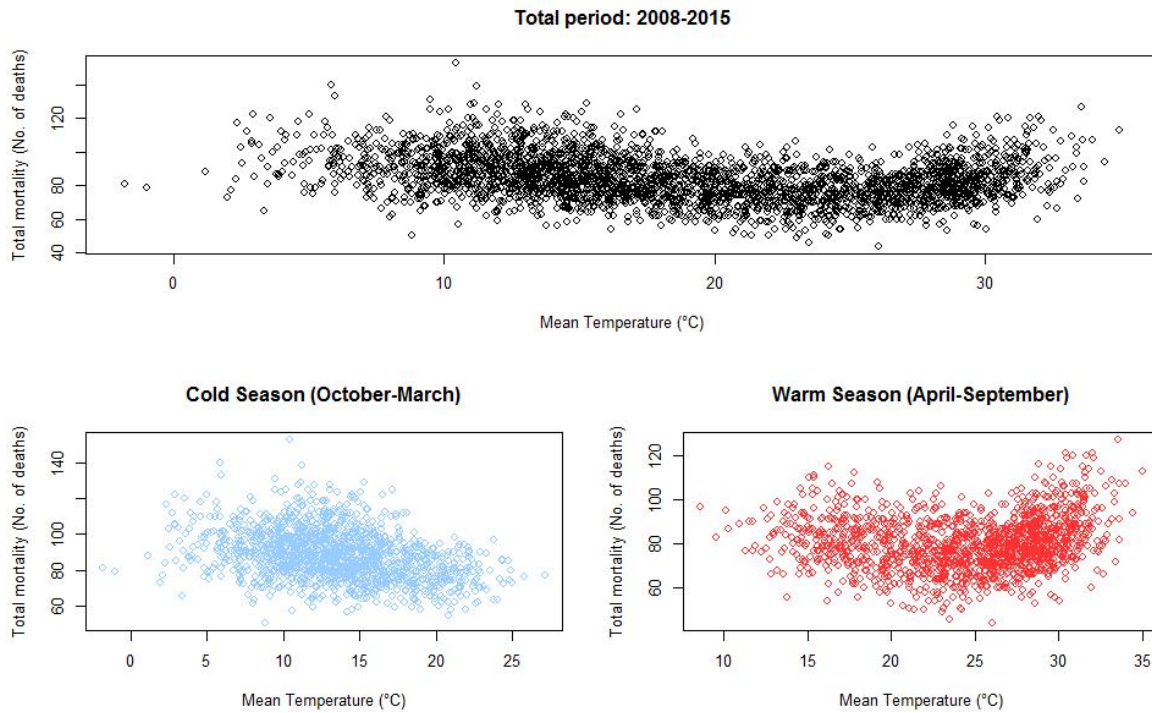
**Γράφημα 5.1.10. (β)** Μέση ημερήσια σχετική υγρασία (%) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για τη Χαλκίδα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



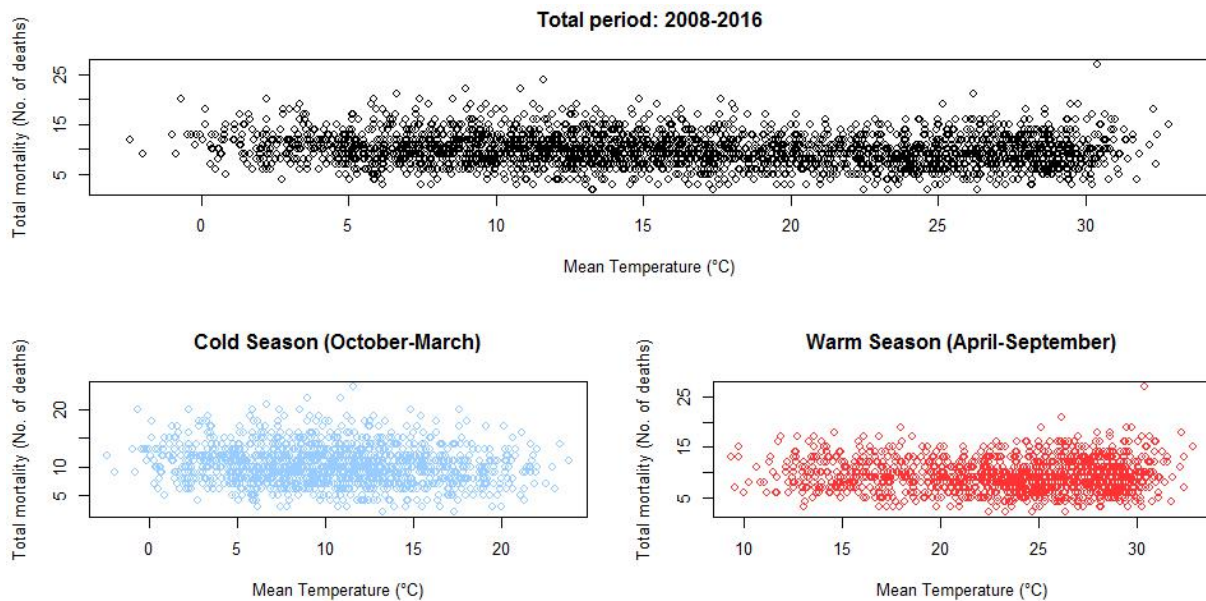
Τα γραφήματα 5.1.11. - 5.1.20. περιγράφουν τη σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για καθεμία από τις 10 πόλεις. Αντίστοιχα, στα Γραφήματα Π5.1.3. - 5.1.12. του Παραρτήματος απεικονίζεται η σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία, ενώ στα Γραφήματα Π5.1.13. - 5.1.22. η σχέση της μέσης θερμοκρασίας με τη μέση σχετική υγρασία.

Τα παρακάτω γραφήματα επαληθεύουν τα συμπεράσματα προηγούμενων μελετών καθώς η σχέση της ολικής θνησιμότητας και μέσης θερμοκρασίας φαίνεται να είναι γραμμική για τη ψυχρή περίοδο και να περιγράφεται από μια σχέση τύπου J για τη θερμή. Ωστόσο, σε πόλεις όπως είναι τα Ιωάννινα δεν υπάρχουν επαρκή δεδομένα ώστε να αποτυπωθεί κάποιου είδους σχέση μεταξύ των δύο παραγόντων. Από την άλλη, για τη μέση σχετική υγρασία, από τα αντίστοιχα γραφήματα, δε φαίνεται να υπάρχει σχέση μεταξύ αυτής και του αριθμού των θανάτων. Από τα γραφήματα που απεικονίζουν τη μορφή της σχέσης της μέσης σχετικής υγρασίας με τη μέση θερμοκρασία φαίνεται φανερά η αρνητική και στατιστικά σημαντική (από τα αποτελέσματα του συντελεστή συσχέτισης Pearson) σχέση της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία τη θερμή περίοδο για κάθε πόλη ενώ για τη ψυχρή περίοδο δεν διακρίνεται κάποια μορφή σχέσης μεταξύ τους. Παρόλα αυτά, μέσω του συντελεστή συσχέτισης Pearson υπάρχει στατιστικά σημαντική και ελαφρώς αρνητική σχέση μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας και της μέσης σχετικής υγρασίας και τη ψυχρή περίοδο στο Ηράκλειο ( $r = -0.3$ ), τη Λαμία ( $r = -0.2$ ), τη Λάρισα ( $r = -0.12$ ), το Βόλο ( $r = -0.15$ ) και τη Χαλκίδα ( $r = -0.34$ ) ενώ για την Καβάλα ( $r = 0.25$ ) η σχέση είναι θετική. Στις υπόλοιπες πόλεις, τα αποτελέσματα δεν έδειξαν στατιστικά σημαντική συσχέτιση.

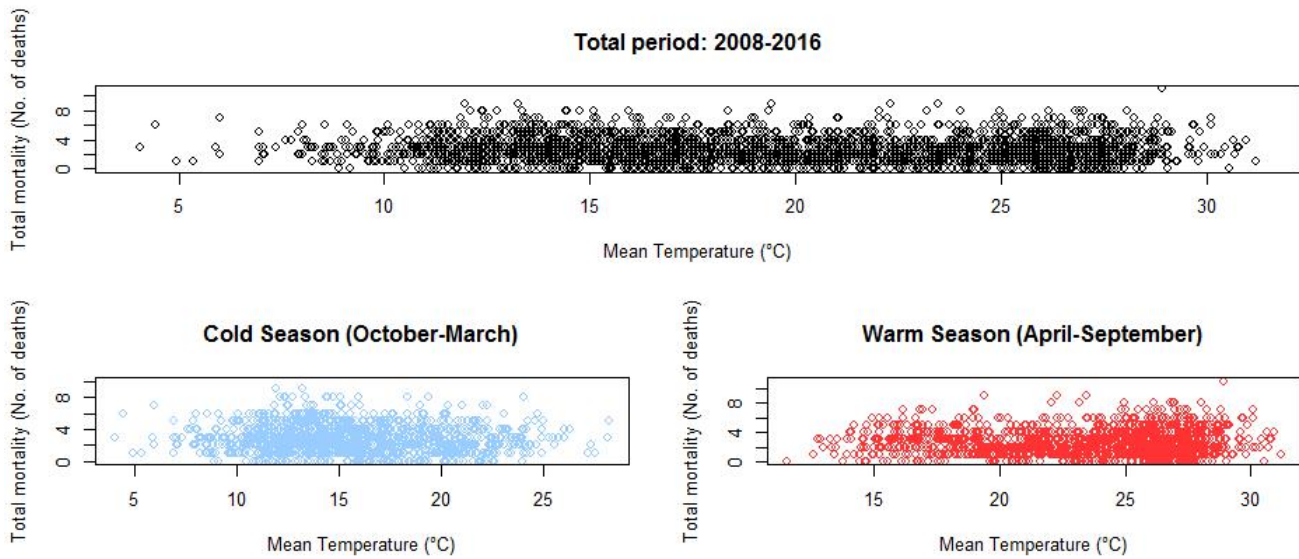
**Γράφημα 5.1.11.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, καθώς και για τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο χωριστά για την Αθήνα το χρονικό διάστημα 2008- 2015



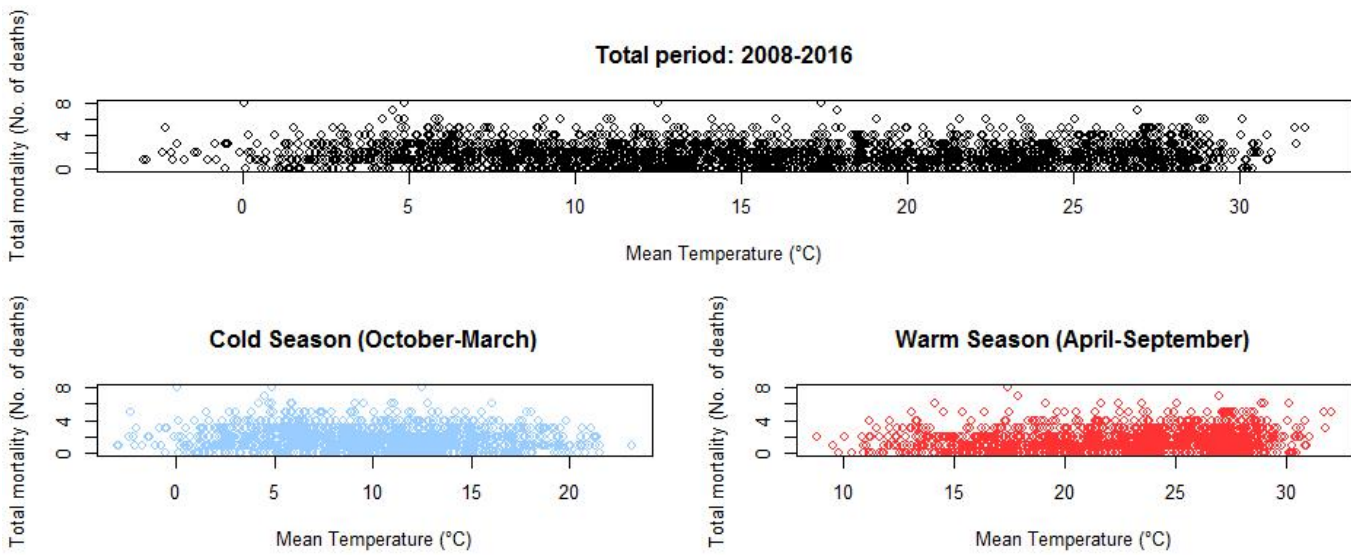
**Γράφημα 5.1.12.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Θεσσαλονίκη το χρονικό διάστημα 2008- 2016.



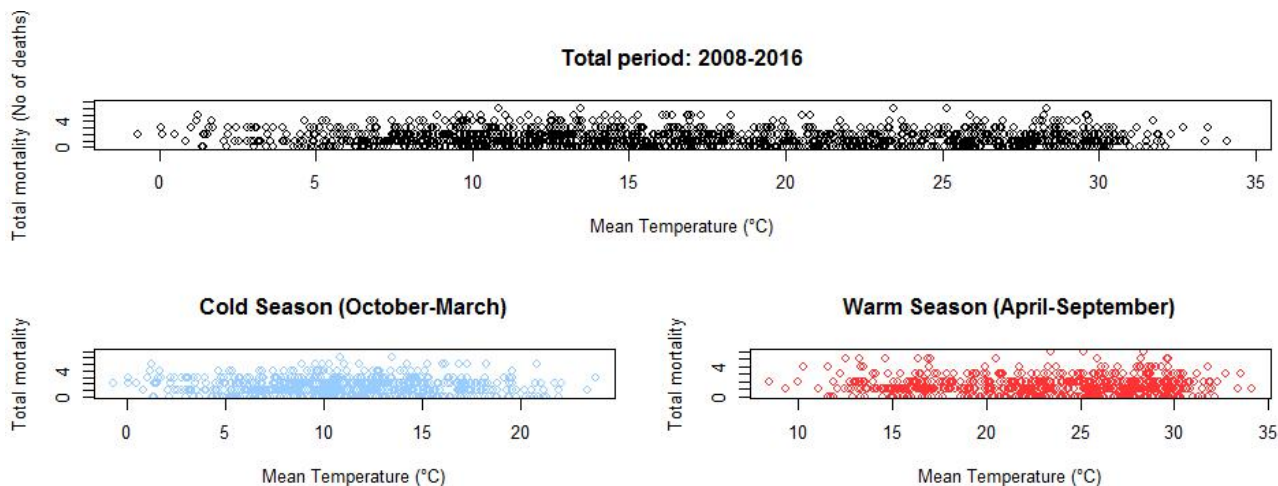
**Γράφημα 5.1.13.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για το Ηράκλειο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



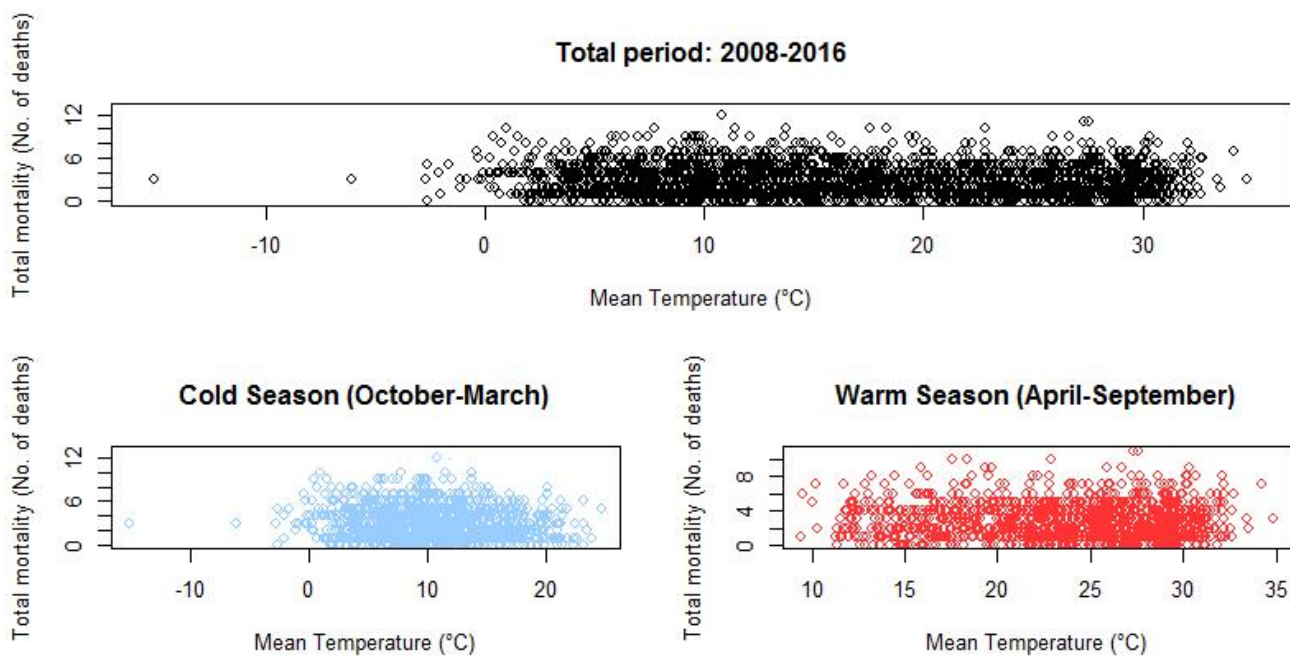
**Γράφημα 5.1.14.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Καβάλα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



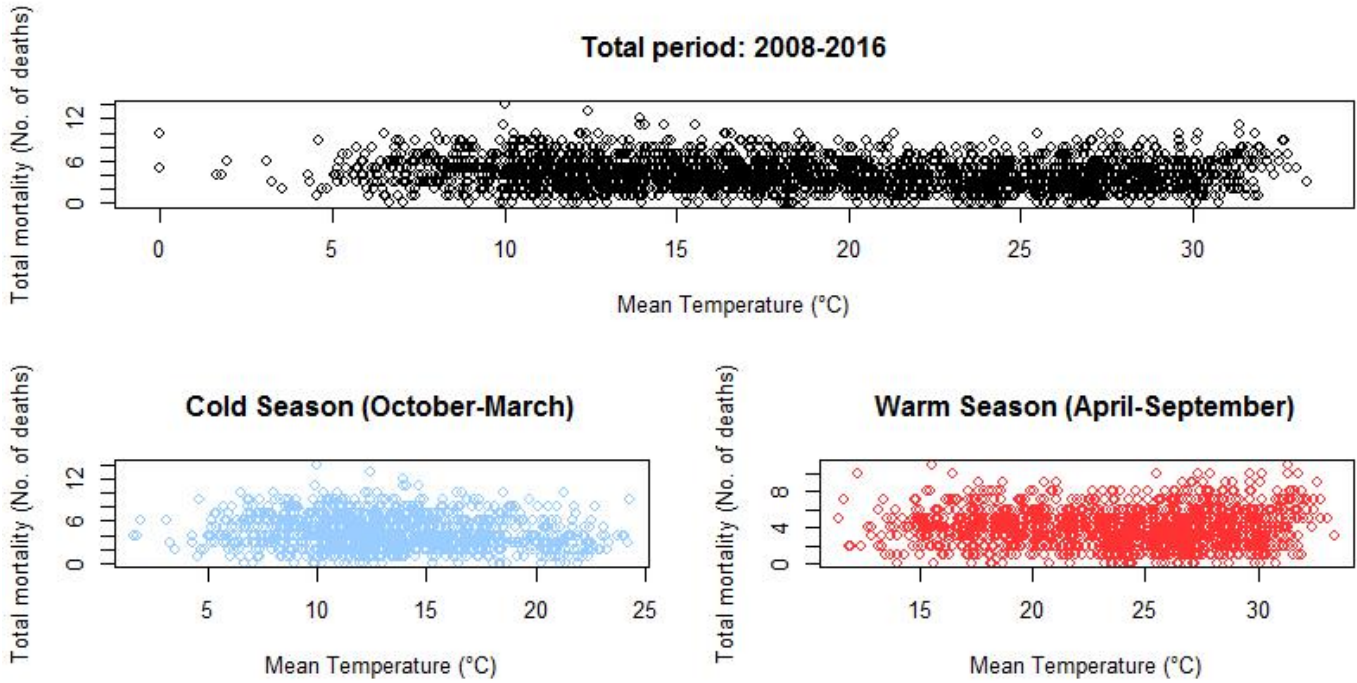
**Γράφημα 5.1.15.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Λαμία το χρονικό διάστημα 2008-2016.



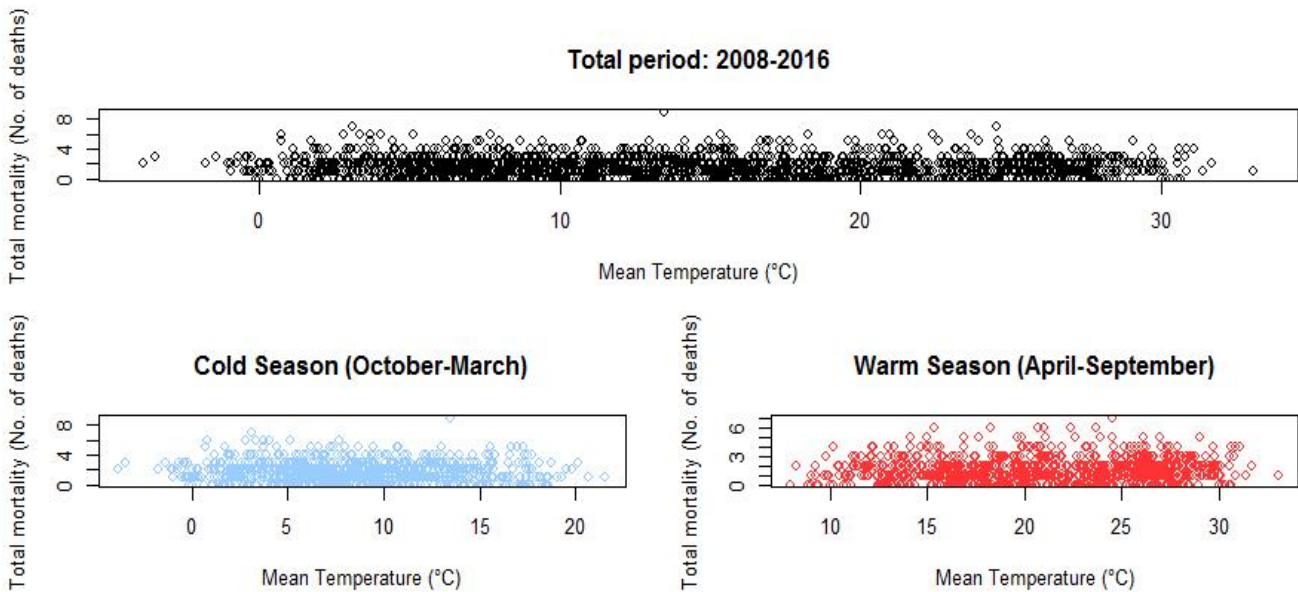
**Γράφημα 5.1.16.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Λάρισα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



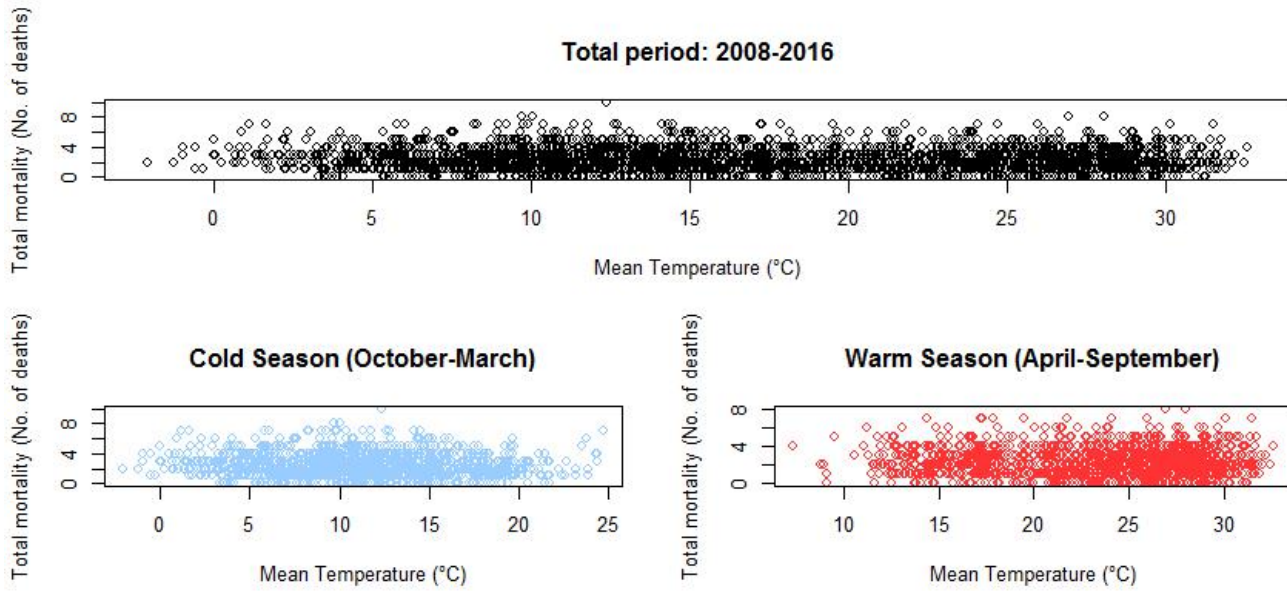
**Γράφημα 5.1.17.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για την Πάτρα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



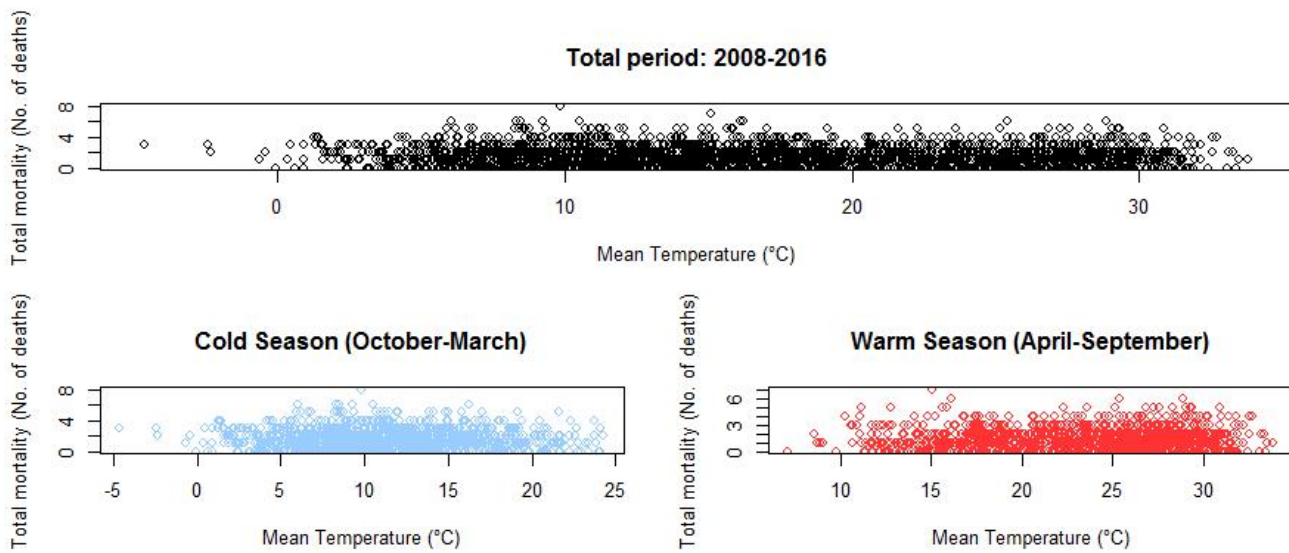
**Γράφημα 5.1.18.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τα Ιωάννινα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



**Γράφημα 5.1.19.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για το Βόλο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



**Γράφημα 5.1.20.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Χαλκίδα το χρονικό διάστημα 2008-2016.





Στον Πίνακα 5.1.3. περιγράφονται οι συγκεντρώσεις της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου NO<sub>2</sub> ανά πόλη (αντίστοιχα του PM10 για το Βόλο), συνολικά για όλη τη περίοδο μελέτης αλλά και για τη ψυχρή και θερμή περίοδο ξεχωριστά.

**Πίνακας 5.1.3** Μέση τιμή και διασπορά της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του διοξειδίου του αζώτου, NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>) (αντίστοιχως του PM10 για το Βόλο) για τη συνολική περίοδο μελέτης, τη ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και τη θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για κάθε μία από τις 4 ελληνικές πόλεις.

Μετεωρ. μεταβλ.	Χρονική περίοδος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τεταρτημόρια		
						1 <sup>ο</sup>	Διάμεσος	3 <sup>ο</sup>

### Αθήνα

Μέση 24ωρη  
συγκέντρωση του  
διοξειδίου του αζώτου,  
NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>)

2008-2015	37.05	13.26	10.36	99.03	27.35	35.43	45.09
Ψυχρή Περίοδος	38.61	13.29	10.97	99.03	29.11	37.58	47.02
Θερμή περίοδος	35.48	13.05	10.36	83.85	26.06	33.32	43.06

### Θεσσαλονίκη

Μέση 24ωρη  
συγκέντρωση του  
διοξειδίου του αζώτου,

NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>)

2008-2016	20.88	11.38	2	67.95	12.59	18.33	27.26
Ψυχρή Περίοδος	24.42	11.43	2.60	62.5	15.54	22.18	32.23
Θερμή περίοδος	17.45	10.23	1.98	67.95	10.5	15.20	21.49

### Πάτρα

Μέση 24ωρη  
συγκέντρωση του  
διοξειδίου του αζώτου,  
NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>)

2008-2016	34.40	12.11	6.58	98.66	25.45	33.58	41.91
Ψυχρή Περίοδος	39.40	11.62	9.16	98.66	32.14	38.97	46.12
Θερμή περίοδος	29.38	10.40	6.58	77.86	22.08	27.83	35.25

### Βόλος

Μέση 24ωρη  
συγκέντρωση του PM10  
(μg/m<sup>3</sup>)

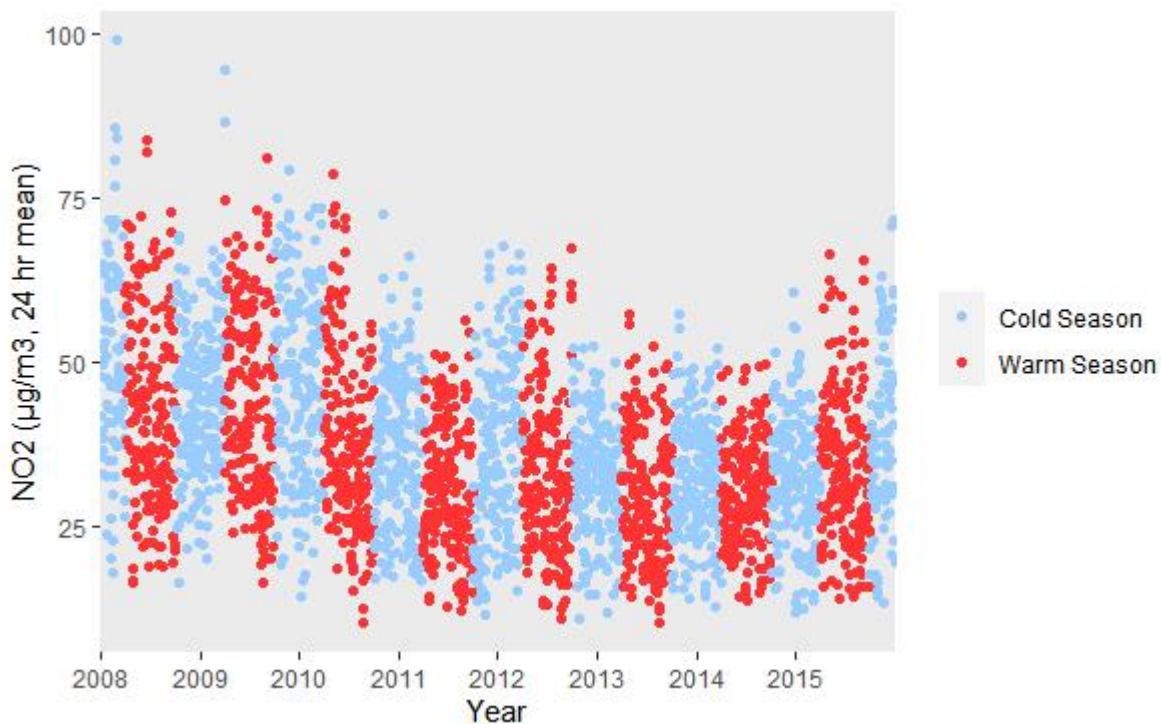
2008-2016	33.53	16.97	4	168	22	30	41
Ψυχρή Περίοδος	37.71	18.82	5	132	24	34	47

Θερμή περίοδος	29.06	13.35	4	168	22	27	35
-------------------	-------	-------	---	-----	----	----	----

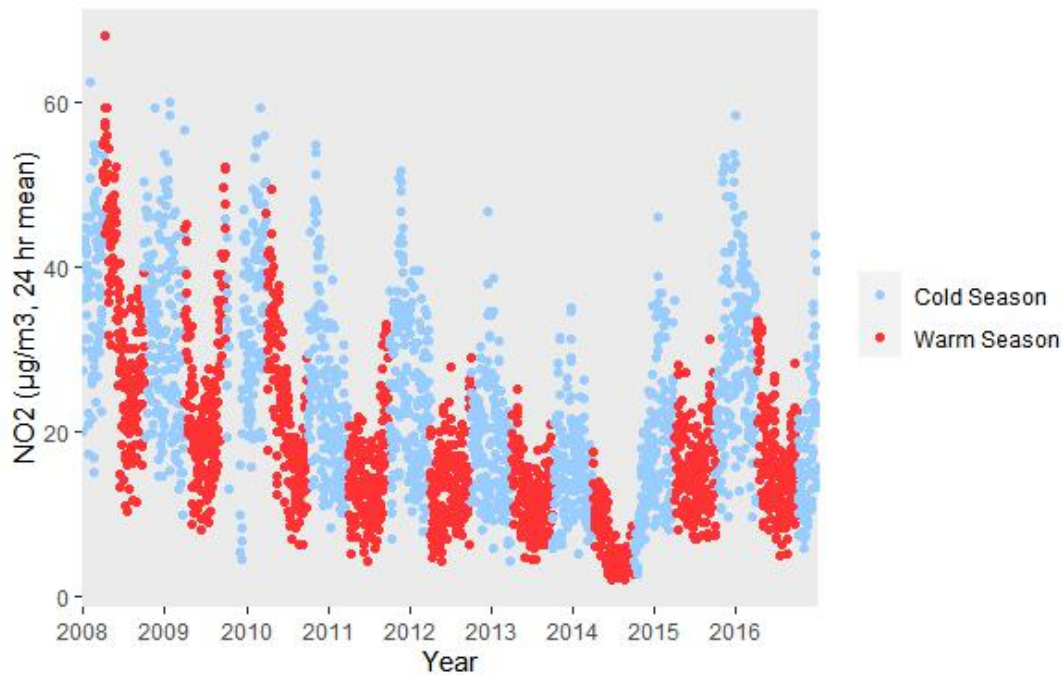
Τα Γραφήματα 5.1.21 - 5.1.24 παρουσιάζουν τη διακύμανση της μέσης 24ωρης συγκέντρωσης του NO<sub>2</sub> (αντίστοιχα του PM10 για το Βόλο) για τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο κατά το χρονικό διάστημα που αντιστοιχεί σε καθεμιά από τις τέσσερις πόλεις της μελέτης.

Από τα γραφήματα διαπιστώνουμε πως η μέση 24ωρη συγκέντρωση των ατμοσφαιρικών ρύπων είναι υψηλότερη τη ψυχρή περίοδο σε σχέση με τη θερμή με συνεχή πτωτική τάση διαχρονικά.

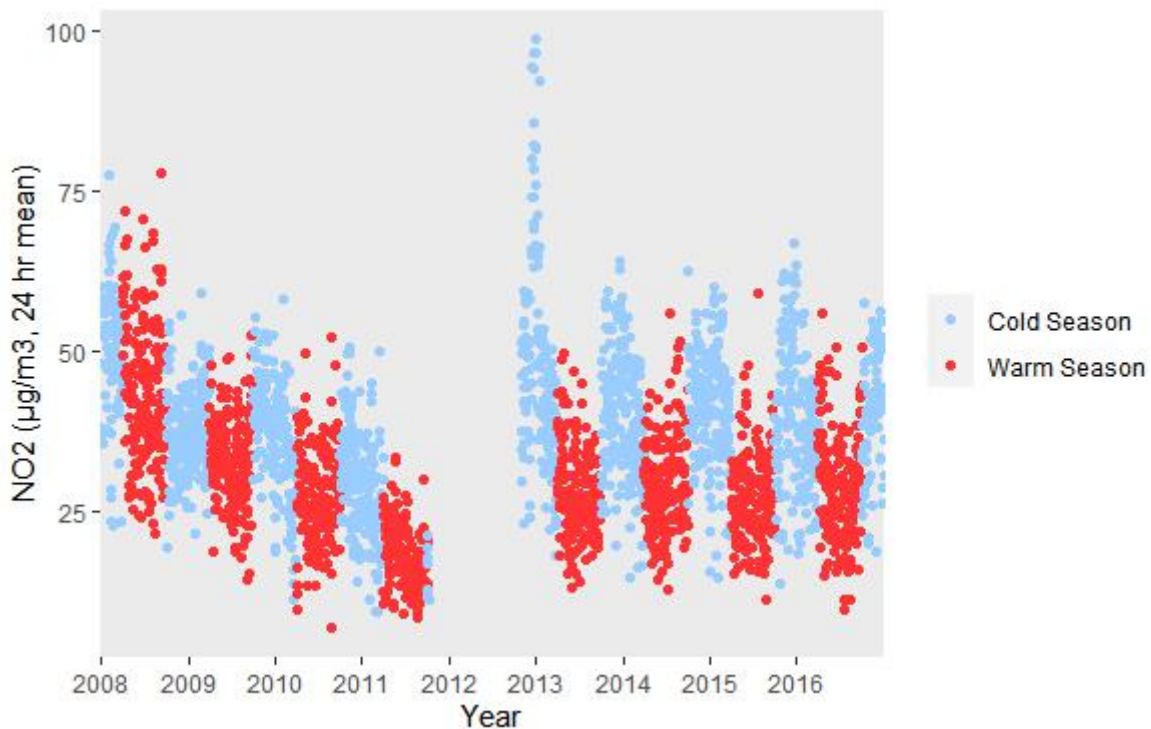
**Γράφημα 5.1.21. (γ)** Μέση 24ωρη συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου, NO<sub>2</sub> (μg/m<sup>3</sup>) στο χρόνο ανά ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για την Αθήνα το χρονικό διάστημα 2008-2015.



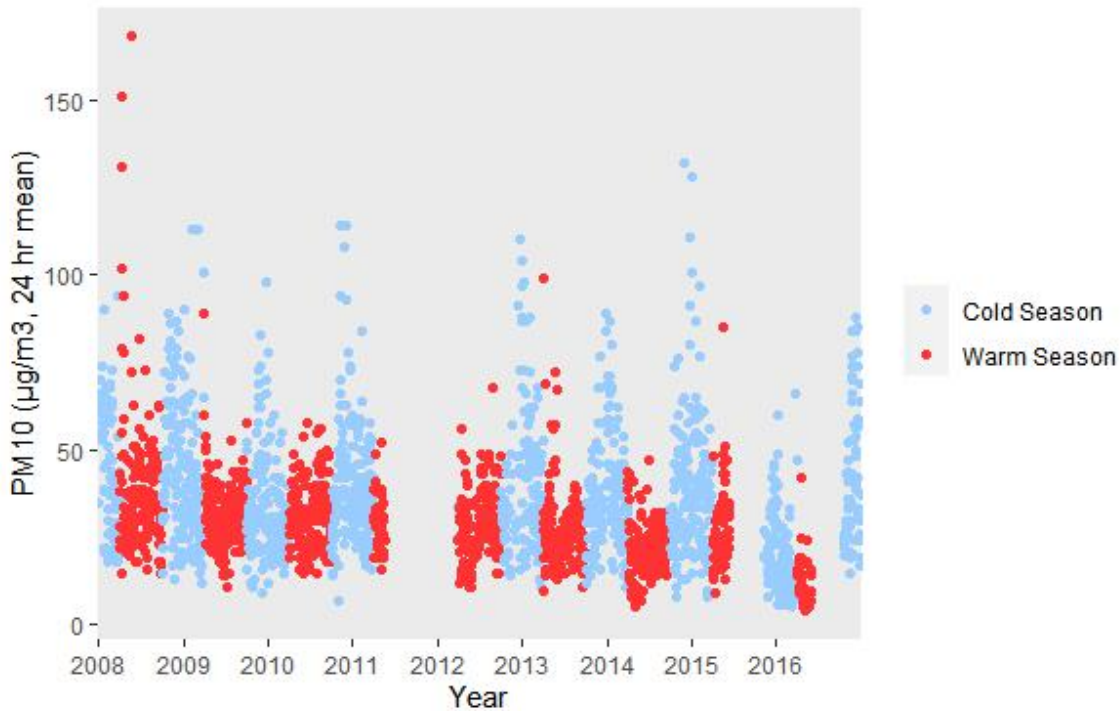
**Γράφημα 5.1.22. (γ)** Μέση 24ωρη συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου,  $\text{NO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) στο χρόνο ανά ψυχρή και θερμή περίοδο για τη Θεσ/νίκη το χρονικό διάστημα 2008-2016.



**Γράφημα 5.1.23.** Μέση 24ωρη συγκέντρωση του διοξειδίου του αζώτου,  $\text{NO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) στο χρόνο ανά ψυχρή και θερμή περίοδο για την Πάτρα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



**Γράφημα 5.1.24.** Μέση 24ωρη συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων, PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) στο χρόνο ανά ψυχρή και θερμή περίοδο για το Βόλο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



## 6.2 Αποτελέσματα μοντέλων με Χρονικά Καταναμημένες Μη Γραμμικές επιδράσεις (*Distributed Lag Non-Linear Models, DLNM*)

Στα μοντέλα με χρονικά καταναμημένες μη γραμμικές επιδράσεις, η επίδραση σε μία ημέρα θεωρήθηκε ως το αποτέλεσμα των 15 (το πολύ) προηγούμενων συνεχόμενων ημερών έκθεσης. Η σχέση της ολικής θνησιμότητας και της μέσης θερμοκρασίας θεωρήθηκε γραμμική για τη ψυχρή περίοδο, και μηδενική πριν από ένα όριο-κατώφλι (*threshold*) και γραμμική μετά από αυτό για τη θερμή περίοδο σύμφωνα με τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών (Analitis et al., 2008, Vaccini et al., 2008) καθώς και τα περιγραφικά γραφήματα της παρούσας διπλωματικής, όπως προκύπτουν από τα μοντέλα με χρονικά καταναμημένες μη γραμμικές επιδράσεις του κεφαλαίου 6.2. Η επίδραση της μέσης θερμοκρασίας στην ολική θνησιμότητα αντιπροσωπεύτηκε από ένα πολυώνυμο 5<sup>ου</sup> βαθμού στο χρόνο τόσο για τη θερμή όσο και για τη ψυχρή περίοδο. Η επίδραση της μέσης σχετικής υγρασίας θεωρήθηκε γραμμική και εκφράστηκε από τη μέση τιμή των τιμών της την ίδια ημέρα (*lag0*) και των 13 προηγούμενων συνεχόμενων ημερών (*lags1-13*) για τη ψυχρή περίοδο ενώ για τη θερμή περίοδο από τη μέση τιμή των τιμών της την ίδια ημέρα (*lag 0*) και των 3 προηγούμενων συνεχόμενων ημερών (*lags 1-3*). Όπως νωρίτερα ειπώθηκε στο κεφάλαιο που αφορά τη Στατιστική Ανάλυση (κεφάλαιο 5),

ακριβώς επειδή είναι μικρός ο αριθμός των θανάτων θεωρήθηκε καταλληλότερο να υπολογιστεί ένα DLNM για όλες τις πόλεις μαζί και να παρθεί ένα ενιαίο όριο μέσω του αλγορίθμου του Muggeo.

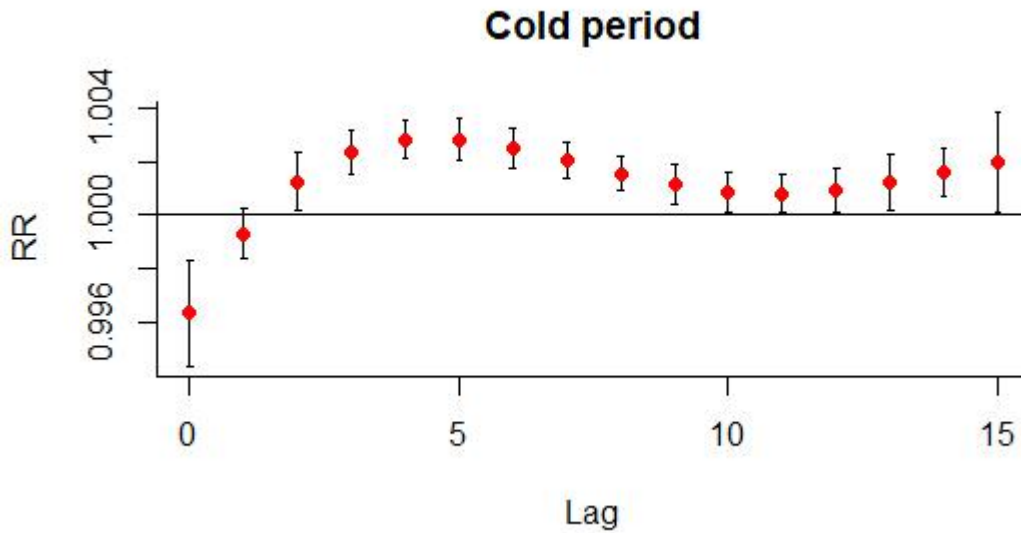
Η γενική μορφή του μοντέλου DLNM ήταν η εξής:

$$\log(E[Y_t]) = \beta_0 + t + (t)^2 + month_t + l_k RH_t + HOL_t + DOW_t + p\left(\sum_{i=0}^{15} f(temp_{it}), 5\right) + City_t,$$

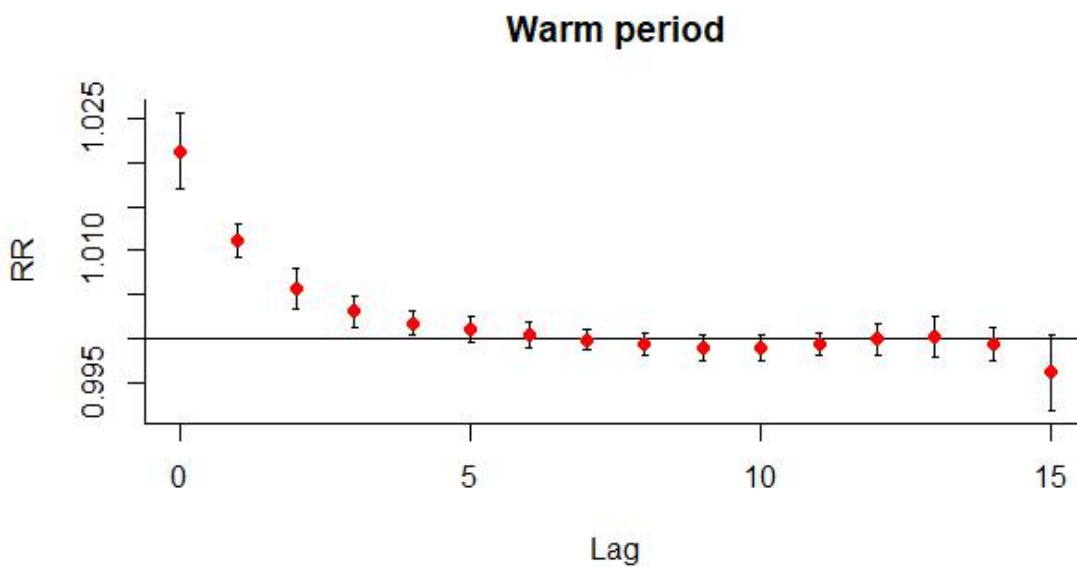
όπου RH η μέση σχετική υγρασία, HOL η δίτιμη μεταβλητή για τις αργίες (1: αργία, 0: ημέρα που δεν είναι αργία), DOW η κατηγορηματική μεταβλητή για τις ημέρες της εβδομάδας (0: Σάββατο, 1: Κυριακή κ.ο.κ.), City η κατηγορηματική μεταβλητή για κάθε πόλη (1: Αθήνα, 2: Θεσσαλονίκη κ.ο.κ.), temp η μέση θερμοκρασία για την ημέρα t, κ ο δείκτης που εκφράζει τη χρονική δομή της μέσης σχετικής υγρασίας ( $l_{0-13}$  για τη ψυχρή και  $l_{0-3}$  για τη θερμή περίοδο), p το πολυώνυμο 5ου βαθμού με μέγιστο αριθμό ημερών χρονικής υστέρησης τις 15 ημέρες, f η συνάρτηση που περιγράφει τη σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία, διαφορετική για κάθε περίοδο.

Τα Γραφήματα 5.2.1., 5.2.2. παρουσιάζουν τα αποτελέσματα του μοντέλου με χρονικά κατανεμημένες μη γραμμικές επιδράσεις (DLNM) για όλες τις πόλεις της μελέτης. Στα γραφήματα παρακάτω, με τον όρο lag εννοούμε την ημέρα της χρονικής υστέρησης και με τον όρο RR το σχετικό κίνδυνο θανάτου για μία μονάδα μεταβολής της μέσης θερμοκρασίας (για τη ψυχρή περίοδο, η μεταβολή αντιστοιχεί σε μείωση κατά 1°C, ενώ για την θερμή περίοδο η μεταβολή αντιστοιχεί σε αύξηση κατά 1°C πάνω από τη τιμή του ορίου, που υπολογίστηκε μέσω του αλγορίθμου του Muggeo, συνολικά για όλες τις πόλεις).

**Γράφημα 5.2.1** Επίδραση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στην ολική ημερήσια θνησιμότητα σε διάστημα 15 ημερών κατά τη ψυχρή περίοδο συνολικά και στις 10 πόλεις. Αποτελέσματα των μοντέλων με χρονικά καταναμημένες μη γραμμικές επιδράσεις (Distributed Lag Non Linear Models, DLNM).



**Γράφημα 5.2.2** Επίδραση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στην ολική ημερήσια θνησιμότητα σε διάστημα 15 ημερών κατά τη θερμή περίοδο συνολικά και στις 10 πόλεις. Αποτελέσματα των μοντέλων με χρονικά καταναμημένες μη γραμμικές επιδράσεις (Distributed Lag Non Linear Models, DLNM). Τιμή ορίου για τη θερμή περίοδο που αφορά όλες τις πόλεις συνολικά: 24°C



Από τα παραπάνω διαγράμματα συμπεραίνουμε πως τη θερμή περίοδο, η μέση θερμοκρασία επιδρά στην ολική θνησιμότητα από την ημέρα της έκθεσης έως τις επόμενες 4 ημέρες το πολύ, με συνεχή πτωτική τάση στον βαθμό επίδρασης της. Η επίδραση της μέσης θερμοκρασίας στον ημερήσιο αριθμό θανάτων κατά τη ψυχρή περίοδο εμφανίζεται με χρονική υστέρηση δύο ημερών, ενώ παραμένει για τις επόμενες 14 ημέρες χωρίς, ωστόσο, να διατηρείται και η ένταση της.

Με βάση τα παραπάνω αποτελέσματα οι δομές της χρονικής υστέρησης που θα χρησιμοποιηθούν στην περαιτέρω ανάλυση είναι εκείνες που προτείνονται από τη βιβλιογραφία. Έτσι, όπως προαναφέρθηκε, για τη ψυχρή περίοδο, η επίδραση της μέσης θερμοκρασίας θα εκφραστεί από τη μέση τιμή των τιμών της μέσης θερμοκρασίας της ίδιας ημέρας (*lag 0*) και των 13 προηγούμενων συνεχόμενων ημερών (*lags 1-13*) ενώ για τη θερμή περίοδο, από τη μέση τιμή των τιμών της μέσης θερμοκρασίας της ίδιας ημέρας (*lag 0*) και των 3 προηγούμενων συνεχόμενων μερών (*lags 1-3*) (Analitis et al., 2008, Baccini et al., 2008, Rodopoulou et al., 2015, Armstrong et al., 2019).

### 6.3 Αποτελέσματα Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων (GAM)

Στα γενικευμένα προσθετικά μοντέλα (*Generalized Additive Models, GAM*), η μέση θερμοκρασία συμπεριλήφθηκε σε μορφή ενός πολυωνύμου παρεμβολής με περιορισμό το οποίο είχε μέχρι 6 βαθμούς ελευθερίας και συναρτήσεις βάσης κυβικά πολυώνυμα παρεμβολής (*cubic splines*). Στην παράμετρο εξομάλυνσης δεν δόθηκε κάποια συγκεκριμένη τιμή και εκτιμήθηκε από το ίδιο το μοντέλο με βάση το κριτήριο της γενικευμένης διασταυρωμένης επικύρωσης (*Generalized Cross – Validation*).

Ο όρος της μέσης σχετικής υγρασίας ήταν γραμμικός και η υστέρηση της επίδρασης της ήταν ίδια με αυτή της μέσης θερμοκρασίας. Η γενική μορφή των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων *Poisson* με υπερ-διασπορά ήταν η παρακάτω:

$$\log(E[Y_t]) = \beta_0 + t + (t)^2 + month_t + l_{0-13}RH_t + HOL_t + DOW_t + s(l_{0-13}temp_t, k),$$
για τη ψυχρή περίοδο και

$$\log(E[Y_t]) = \beta_0 + t + (t)^2 + month_t + l_{0-3}RH_t + HOL_t + DOW_t + s(l_{0-3}temp_t, k),$$
για τη θερμή όπου  $l_{0-13}$ ,  $l_{0-3}$  είναι η μέση τιμή των τιμών των αντίστοιχων *lags* της μεταβλητής και  $s$  είναι το πολυώνυμο παρεμβολής με περιορισμό με  $k$  βαθμούς ελευθερίας.

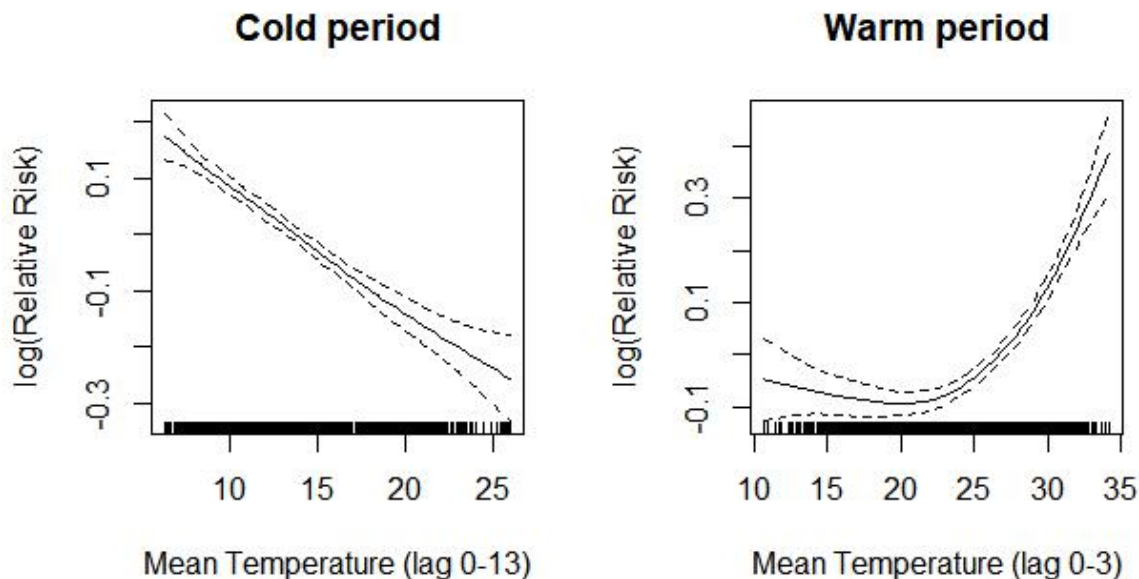


Στα Γραφήματα 5.2.11. - 5.2.20 απεικονίζεται η μορφή της σχέσης της μέσης θερμοκρασίας με την ολική θνησιμότητα για καθεμία από τις πόλεις της μελέτης έτσι όπως αυτή προέκυψε από τα αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.

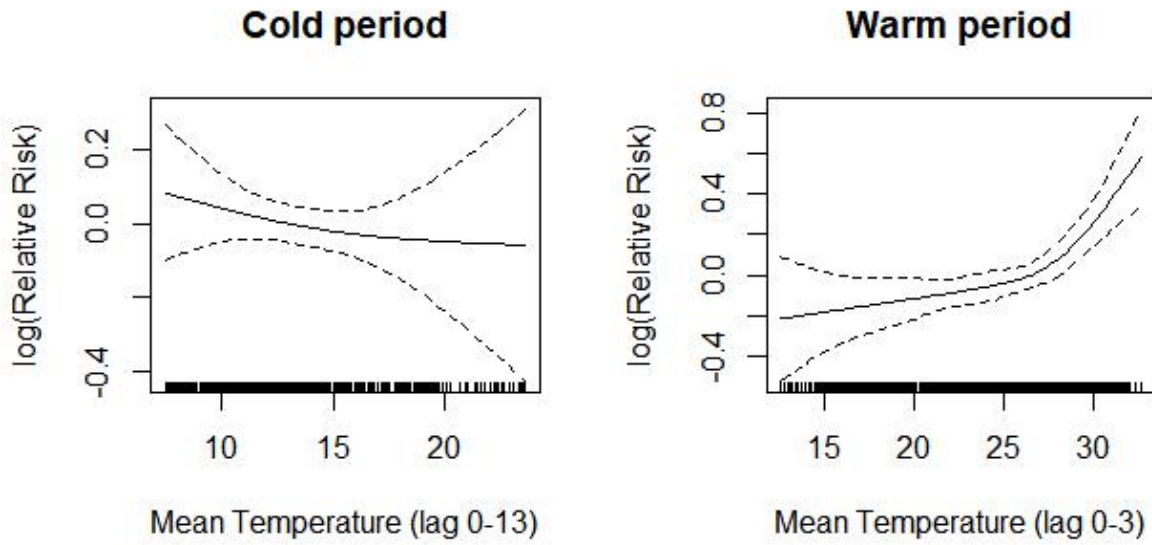
Με βάση τα παρακάτω αποτελέσματα, τα γραφήματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων επιβεβαιώνουν πως για κάθε πόλη, η σχέση της μέσης θερμοκρασίας με την ολική θνησιμότητα είναι γραμμική, τη ψυχρή περίοδο, ενώ έχει τη μορφή ανάστροφου J, δηλαδή είναι επίπεδη πριν από ένα όριο - κατώφλι (*threshold*) και γραμμική μετά από αυτό, τη θερμή περίοδο. Τυχόν αποκλίσεις από τις συγκεκριμένες μορφές συναρτήσεων (όπως παρατηρούνται στα γραφήματα που αφορούν τη ψυχρή περίοδο στο Ηράκλειο, στο Βόλο και στα Ιωάννινα και τη θερμή περίοδο στη Λαμία) ίσως οφείλονται στον μικρό αριθμό των παρατηρήσεων, σε ακραίες τιμές της μέσης θερμοκρασίας καθώς και στο γεγονός πως η παράμετρος εξομάλυνσης των πολυωνύμων παρεμβολής με περιορισμό εκτιμήθηκε από το ίδιο το πρόγραμμα.

Συμπερασματικά, οι συναρτήσεις για την περιγραφή της σχέσης της ολικής θνησιμότητας με την μέση θερμοκρασία στην παρούσα διπλωματική είναι σύμφωνες με τη βιβλιογραφία (Analitis et al., 2008, Baccini et al., 2008, Rodopoulou et al., 2015).

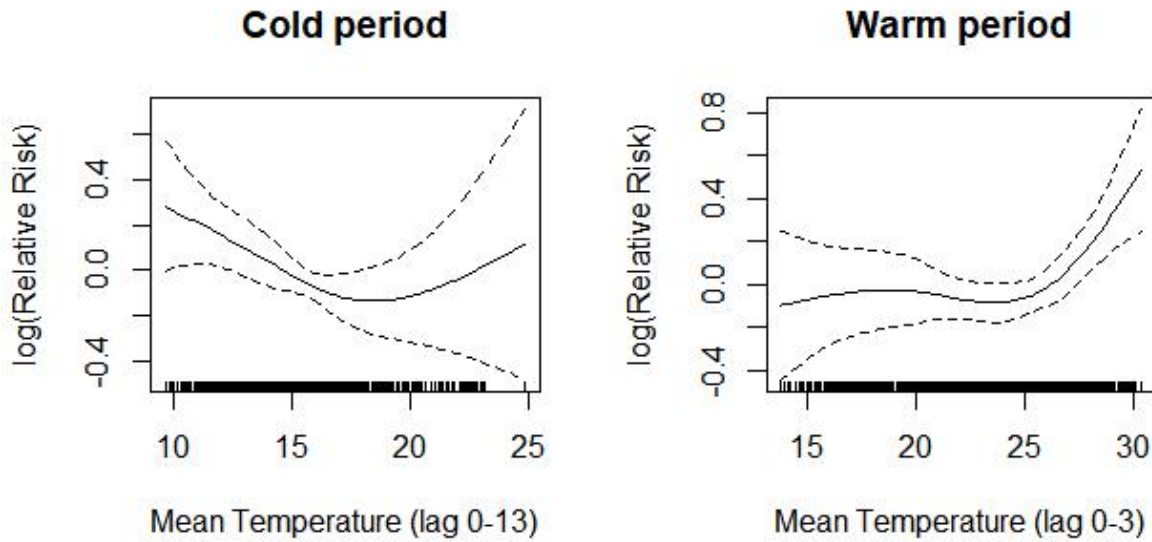
**Γράφημα 5.2.11.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στην Αθήνα. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



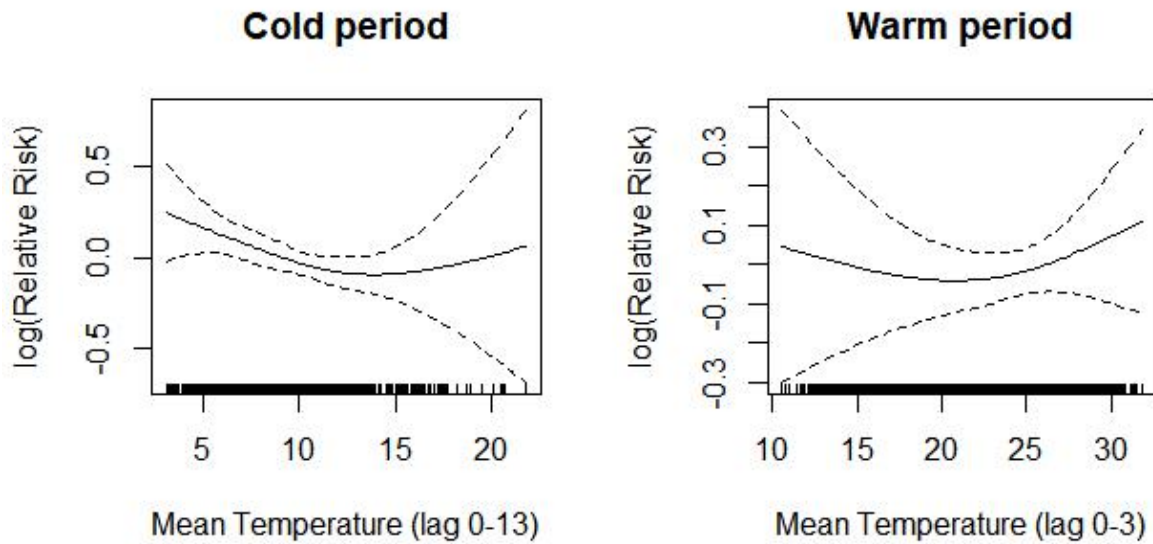
**Γράφημα 5.2.12.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στην Πάτρα. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



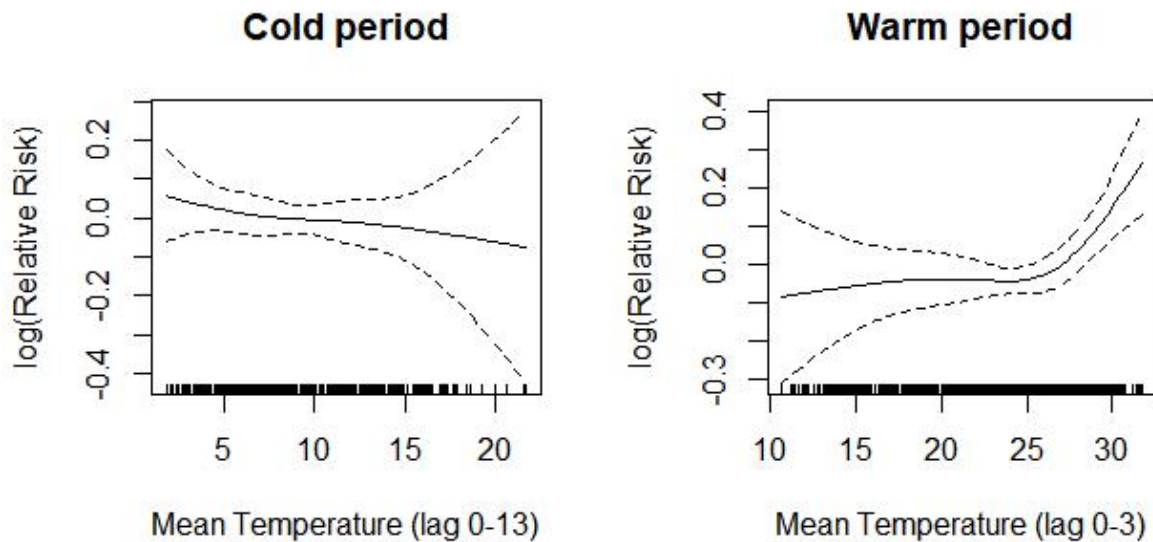
**Γράφημα 5.2.13.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στο Ηράκλειο. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



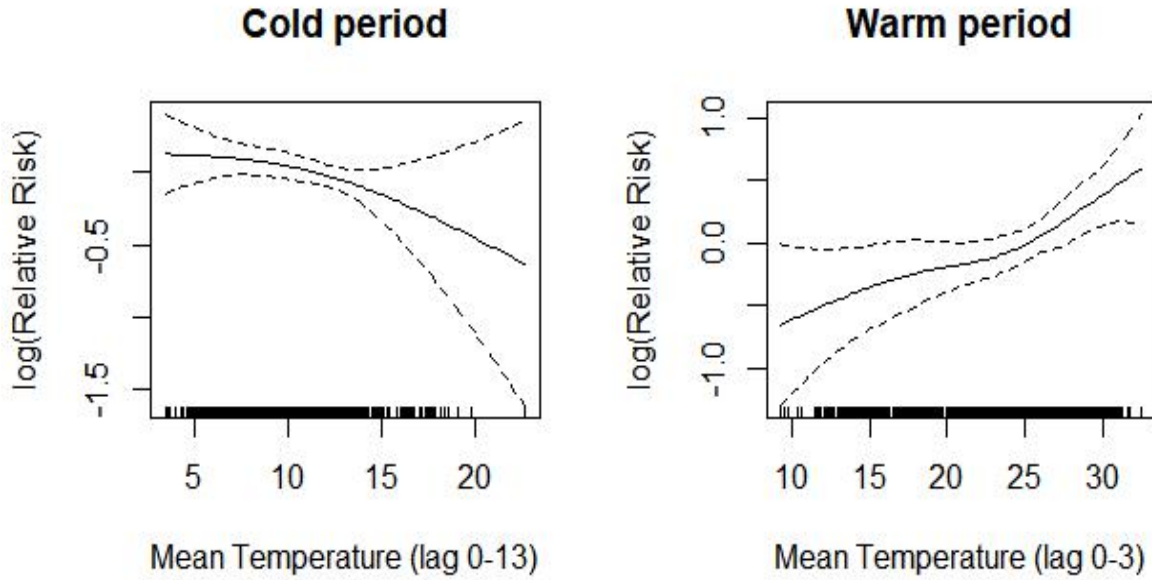
**Γράφημα 5.2.14.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στο Βόλο. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



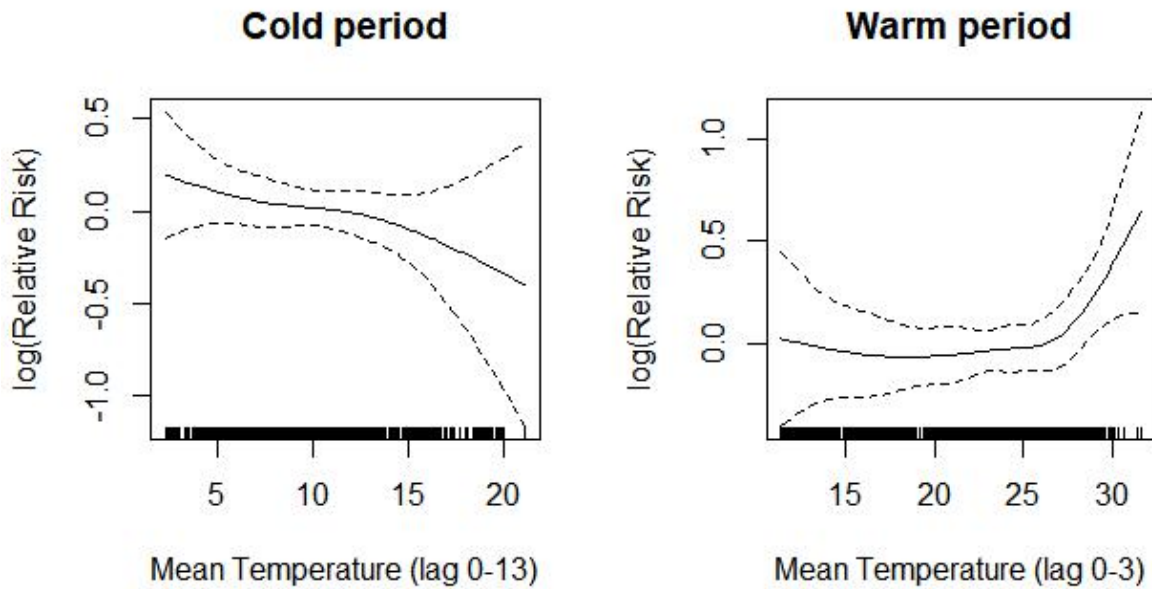
**Γράφημα 5.2.15.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στη Θεσσαλονίκη. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



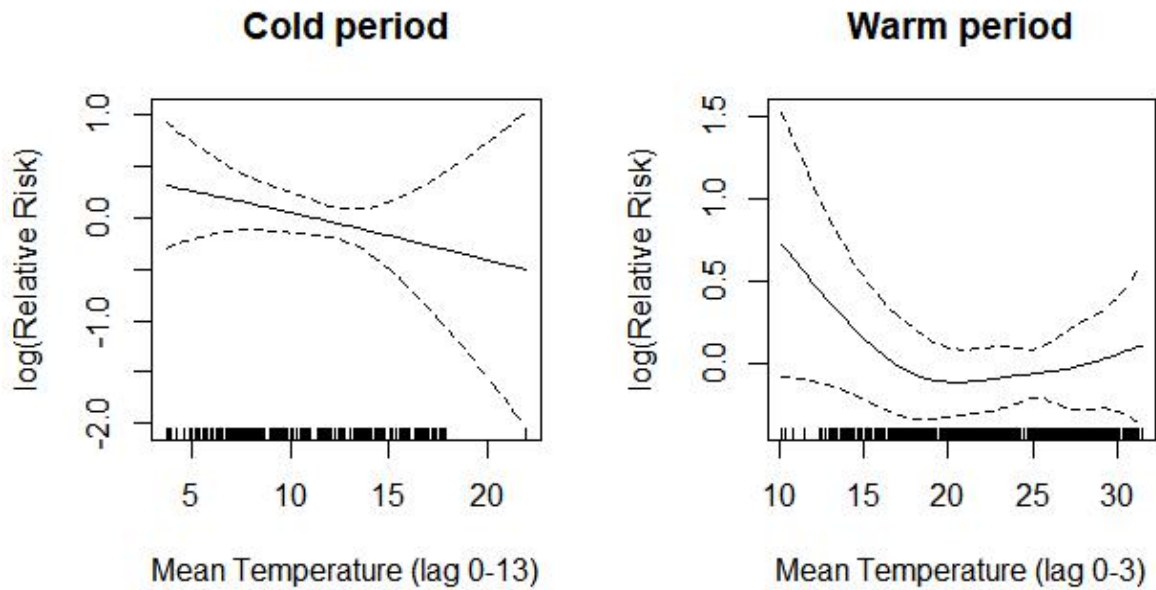
**Γράφημα 5.2.16.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στη Χαλκίδα. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



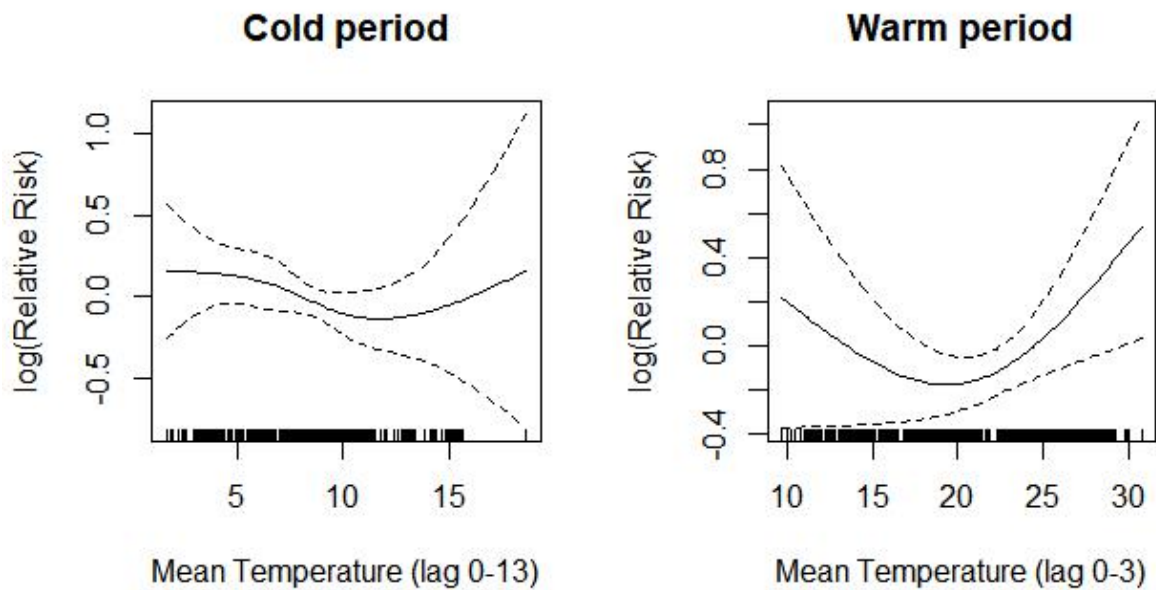
**Γράφημα 5.2.17.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στην Καβάλα. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



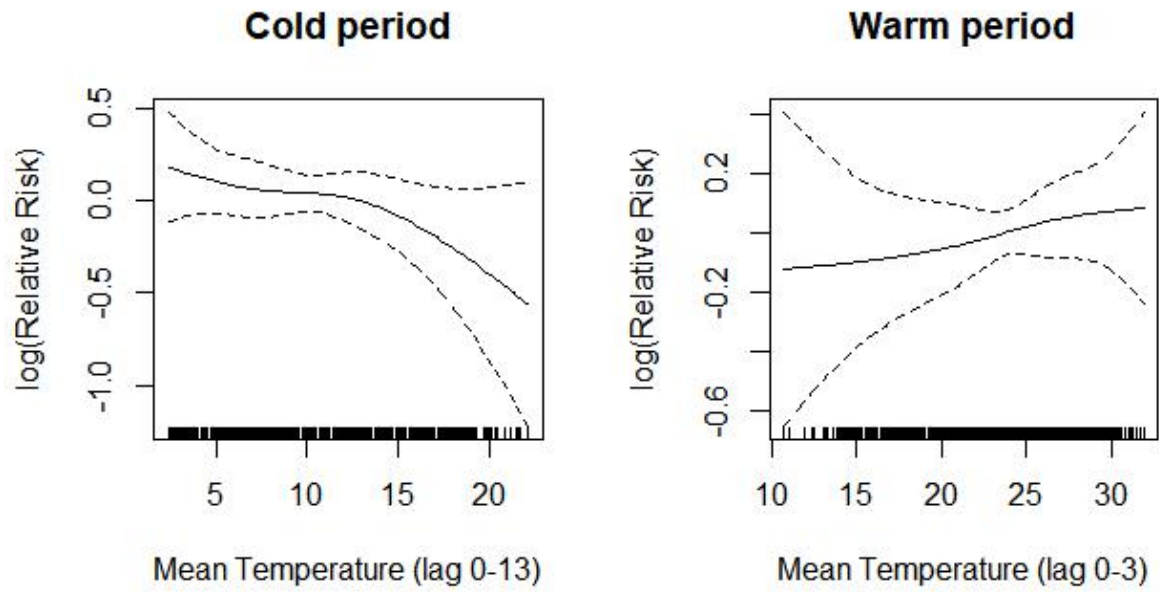
**Γράφημα 5.2.18.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στην Λαμία. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



**Γράφημα 5.2.19.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στα Ιωάννινα. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



**Γράφημα 5.2.20.** Σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο στη Λάρισα. Αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων.



#### 6.4 Αποτελέσματα τελικών μοντέλων

Τα γραφήματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων επιβεβαιώνουν πως η σχέση της μέσης θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα είναι γραμμική, τη ψυχρή περίοδο, μηδενική πριν από ένα όριο-κατώφλι (*threshold*) και γραμμική μετά από αυτό, τη θερμή περίοδο. Τα τελικά μοντέλα που εφαρμόστηκαν ήταν γενικευμένα γραμμικά μοντέλα *Poisson* με υπερ-διασπορά και η γενική τους μορφή για κάθε πόλη ήταν η εξής:

$$\log(E[Y_t]) = \beta_0 + t + (t)^2 + month_t + l_{0-13}RH_t + HOL_t + DOW_t + l_{0-13}temp_t,$$

για τη ψυχρή περίοδο και

$$\log(E[Y_t]) = \beta_0 + t + (t)^2 + month_t + l_{0-3}RH_t + HOL_t + DOW_t + (l_{0-3}temp_t - thr.)_+,$$

για τη θερμή όπου *thr.* είναι το όριο, όπως υπολογίστηκε από τον αλγόριθμο του Muggeo, διαφορετικό για κάθε πόλη και  $(l_{0-3}temp_t - thr.)_+$  ο γραμμικός όρος που αφορά τη σχέση της ολικής θνησιμότητας με τη μέση θερμοκρασία και παίρνει την τιμή 0 για τιμές της μέσης θερμοκρασίας πριν το όριο.

Τα αποτελέσματα των τελικών μοντέλων συνοψίζονται στους παρακάτω πίνακες, Πίνακας 5.4.1 για τη θερμή και Πίνακας 5.4.3 για τη ψυχρή περίοδο. Η επίδραση της μέσης θερμοκρασίας εκφράζεται ως σχετικός κίνδυνος θανάτου για μία μονάδα μεταβολής στις τιμές αυτής. Κατά τη ψυχρή περίοδο η μεταβολή αντιστοιχεί σε μείωση κατά 1 °C ενώ κατά τη θερμή περίοδο η μεταβολή αντιστοιχεί σε αύξηση κατά 1 °C πάνω από τη τιμή του ορίου κατωφλίου που ορίστηκε για κάθε πόλη. Οι τιμές των ορίων για κάθε πόλη δίνονται στον Πίνακα 5.4.1. Για τα Γιάννενα, το Βόλο και τη Λαμία οι εκτιμώμενες τιμές του ορίου ήταν κάτω από 22 °C ενώ για όλες τις υπόλοιπες πόλεις πάνω από 24 °C.

Στους Πίνακες 5.4.2 και 5.4.4 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα μιας δεύτερης στατιστικής ανάλυσης κατά την οποία, για κάθε πόλη, εφαρμόστηκαν οι αλλαγές που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.1.2 για τους μετεωρολογικούς παράγοντες.

**Πίνακας 5.4.1.** Ποσοστιαία αύξηση (95% διάστημα εμπιστοσύνης δ.ε.) του αριθμού των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες για 1°C αύξησης της μέσης θερμοκρασίας (Μέσος όρος των χρονικά υστερημένων επιδράσεων των ημερών 0–3, Average of Lags 0–3) πάνω από το όριο της κάθε πόλης κατά τη θερμή περίοδο (Απρ. – Σεπτ.) για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις, 2008-2016

Πόλη	Όριο	Μοντέλο 1 <sup>α</sup>	Μοντέλο 2 <sup>β</sup>
		% αύξηση (95% δ.ε.)	% αύξηση (95% δ.ε.)
Αθήνα	24.5	4.18 (3.63, 4.74)	4.04 (3.48, 4.61)
Θεσσαλονίκη	24	3.13 (1.23, 5.06)	3.15 (1.24, 5.09)
Πάτρα	27	9.53 (5.54, 13.64)	9.95 (5.45, 14.62)
Ηράκλειο <sup>γ</sup>	25.4	11.98 (6.54, 17.62)	
Βόλος	21.9	2.1 (-0.99, 5.27)	2.3(-1.87, 6.63)
Ιωάννινα	20	7.44 (2, 13.16)	
Λάρισα <sup>γ</sup>	25	-1.58 (-6.93, 4.07)	
Καβάλα <sup>γ</sup>	27.2	13.9 (3.99, 24.32)	
Λαμία <sup>γ</sup>	21.7	3.36 (-2.44, 9.46)	
Χαλκίδα <sup>γ</sup>	26	10.08 (3.95, 16.49)	

<sup>α</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση και τη μέση σχετική υγρασία.

<sup>β</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση, τη μέση σχετική υγρασία και το διοξείδιο του αζώτου (για την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη και την Πάτρα) ή τα PM10 (για το Βόλο).

<sup>γ</sup> Δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την ατμοσφαιρική ρύπανση.



**Πίνακας 5.4.2.** Ποσοστιαία αύξηση (95% διάστημα εμπιστοσύνης δ.ε.) του αριθμού των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες για 1°C αύξησης της μέσης θερμοκρασίας (Μέσος όρος των χρονικά υστερημένων επιδράσεων των ημερών 0–3, Average of Lags 0–3) πάνω από το όριο της κάθε πόλης κατά τη θερμή περίοδο (Απρ. – Σεπτ.) εξαιρώντας τα έτη με μεγάλο αριθμό ελλειπουσών τιμών στις βασικές μεταβλητές.

Πόλη	Όριο	Μοντέλο 1 <sup>α</sup>	Μοντέλο 2 <sup>β</sup>
		% αύξηση (95% δ.ε.)	% αύξηση (95% δ.ε.)
Θεσσαλονίκη	24	3.14 (1.23, 5.07)	3.13 (1.22, 5.08)
Ιωάννινα	20	9.3 (3.13, 15.84)	
Λάρισα <sup>γ</sup>	25	0.77 (-3.81, 5.57)	
Καβάλα <sup>γ</sup>	27.2	13.85 (4.43, 23.71)	
Λαμία <sup>γ</sup>	21.7	3.67 (-2.32, 9.98)	
Χαλκίδα <sup>γ</sup>	26	9.77 (3.64, 16.19)	

<sup>α</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση και τη μέση σχετική υγρασία.

<sup>β</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση, τη μέση σχετική υγρασία και το διοξείδιο του αζώτου (για την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη και την Πάτρα) ή τα PM10 (για το Βόλο).

<sup>γ</sup> Δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την ατμοσφαιρική ρύπανση.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τη θερμή περίοδο με βάση τις αλλαγές που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.1.2 δεν ήταν διαφορετικά από εκείνα της πρώτης ανάλυσης, όπου οι ελλείπουσες τιμές δεν αντιμετωπίστηκαν με κάποια μέθοδο. Κατά τη θερμή περίοδο, η ποσοστιαία αύξηση του αριθμού των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες για 1°C αύξησης της μέσης θερμοκρασίας (Average of Lags 0–3) πάνω από το όριο της κάθε πόλης κυμαινόταν από 0.77% (με διάστημα εμπιστοσύνης από -3.81% έως 5.57%) στη Λάρισα (μη στατιστικά σημαντική εκτίμηση) έως 13.9% (με διάστημα εμπιστοσύνης από 3.99% έως 24.32%) στην Καβάλα. Όπως διαπιστώνεται, η εισαγωγή του όρου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα μοντέλα δεν αλλάζει τις εκτιμήσεις, καθώς για κάθε μία πόλη η εκτίμηση του ενός μοντέλου ανήκει στο διάστημα εμπιστοσύνης του άλλου.

Τα αποτελέσματα της στατιστικής ανάλυσης για τη ψυχρή περίοδο με βάση τις αλλαγές που περιγράφονται στο κεφάλαιο 4.1.2 ήταν για ορισμένες πόλεις στατιστικά σημαντικά σε σχέση με αυτά της πρώτης ανάλυσης, όπου οι ελλείπουσες τιμές δεν αντιμετωπίστηκαν με κάποια μέθοδο. Κύριος λόγος ήταν η αύξηση του αριθμού των παρατηρήσεων μέσω της αντικατάστασης των ελλειπουσών τιμών στις βασικές μεταβλητές. Πιο συγκεκριμένα, στη Θεσσαλονίκη, στη Λάρισα, στην Καβάλα και στη Χαλκίδα το μέγεθος του αριθμού των παρατηρήσεων αυξήθηκε αρκετά ούτως ώστε πλέον τα ευρήματά μας να έχουν στατιστικά σημαντική ισχύ. Για τις πόλεις της Πάτρας, των Ιωαννίνων και της Λαμίας η μέθοδος της αντικατάστασης δεν φάνηκε αρκετή ώστε να αυξηθεί ο αριθμός των παρατηρήσεων. Κατά τη ψυχρή περίοδο, η ποσοστιαία αύξηση του αριθμού των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες για 1°C μείωσης της μέσης θερμοκρασίας (Average of Lags 0–13) κυμαινόταν από 1.16% (με διάστημα εμπιστοσύνης από 0.33% έως 2%) στη Θεσσαλονίκη έως 4.08% (με διάστημα εμπιστοσύνης από 0.06% έως 8.28%) στη Λάρισα. Όπως διαπιστώνεται, η εισαγωγή του όρου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα μοντέλα δεν αλλάζει τις εκτιμήσεις, καθώς για κάθε μία πόλη η εκτίμηση του ενός μοντέλου ανήκει στο διάστημα εμπιστοσύνης του άλλου.

**Πίνακας 5.4.3.** Ποσοστιαία αύξηση (95% διάστημα εμπιστοσύνης δ.ε.) του αριθμού των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες για 1°C μείωσης της μέσης θερμοκρασίας (Μέσος όρος των χρονικά υστερημένων επιδράσεων των ημερών 0–13, Average of Lags 0–13) κατά τη ψυχρή περίοδο (Οκτ. – Μαρτ.) για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις, 2008-2016

Πόλη	Μοντέλο 1 <sup>α</sup>	Μοντέλο 2 <sup>β</sup>
	% αύξηση (95% δ.ε.)	% αύξηση(95% δ.ε.)
Αθήνα	2.29 (1.98, 2.6)	2.26 (1.95, 2.58)
Θεσσαλονίκη	0.58 (-0.6 ,1.77)	0.55 (-0.67, 1.78)
Πάτρα	0.28 (-2.24, 2.88)	0.97 (-1.89, 3.92)
Ηράκλειο <sup>γ</sup>	3.82 (0.05, 7.71)	
Βόλος	2.94 (0.49, 5.44)	4.03 (1.12, 7.01)
Ιωάννινα <sup>γ</sup>	0.86 (-3.7, 5.66)	
Λάρισα	2.86 (-5.78, 12.24)	
Καβάλα <sup>γ</sup>	2.08 (-1.17, 5.44)	
Λαμία <sup>γ</sup>	4.53 (-2.41, 11.96)	
Χαλκίδα <sup>γ</sup>	2.59 (-0.67, 5.93)	

<sup>α</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση και τη μέση σχετική υγρασία.

<sup>β</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση, τη μέση σχετική υγρασία και το διοξείδιο του αζώτου (για την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη και την Πάτρα) ή τα PM10 (για το Βόλο).

<sup>γ</sup> Δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την ατμοσφαιρική ρύπανση.

**Πίνακας 5.4.4.** Ποσοστιαία αύξηση (95% διάστημα εμπιστοσύνης δ.ε.) του αριθμού των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες για 1°C μείωσης της μέσης θερμοκρασίας (Μέσος όρος των χρονικά υστερημένων επιδράσεων των ημερών 0–13, Average of Lags 0–13) κατά τη ψυχρή περίοδο (Οκτ. – Μαρτ.) ύστερα από την εφαρμογή της μεθόδου αντικατάστασης των ελλειπουσών τιμών στις βασικές μεταβλητές.

Πόλη	Μοντέλο 1 <sup>α</sup>	Μοντέλο 2 <sup>β</sup>
	% αύξηση (95% δ.ε.)	% αύξηση (95% δ.ε.)
Θεσσαλονίκη	1.16 (0.33, 2)	1.20 (0.35, 2.06)
Πάτρα	1.32 (-0.75, 3.44)	1.69 (-0.71, 4.15)
Ιωάννινα <sup>γ</sup>	1.35 (-1.73, 4.54)	
Λάρισα	4.08 (0.06, 8.28)	
Καβάλα <sup>γ</sup>	2.72 (0.56, 4.93)	
Λαμία <sup>γ</sup>	1.38 (-2.55, 5.43)	
Χαλκίδα <sup>γ</sup>	3.02 (0.27, 5.82)	

<sup>α</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση και τη μέση σχετική υγρασία.

<sup>β</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση, τη μέση σχετική υγρασία και το διοξείδιο του αζώτου (για την Αθήνα, τη Θεσσαλονίκη και την Πάτρα) ή τα PM10 (για το Βόλο).

<sup>γ</sup> Δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την ατμοσφαιρική ρύπανση.

## 6.5 Αποτελέσματα μετα-ανάλυσης

Στους πίνακες 5.5.2, 5.5.4 συνοψίζονται τα αποτελέσματα των τελικών μοντέλων κάθε πόλης καθώς και τα αποτελέσματα των μοντέλων σταθερών (Fixed-Effects Model) και τυχαίων (Random-Effects Model) επιδράσεων για τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο, αντίστοιχα. Η επίδραση της μέσης θερμοκρασίας εκφράζεται ως σχετικός κίνδυνος θανάτου για μία μονάδα μεταβολής στις τιμές αυτής. Κατά τη ψυχρή περίοδο η μεταβολή αντιστοιχεί σε μείωση κατά 1 °C ενώ κατά τη θερμή περίοδο η μεταβολή αντιστοιχεί σε αύξηση κατά 1 °C πάνω από τη τιμή του ορίου κατωφλίου που εκτιμήθηκε για κάθε πόλη ή πάνω από την τιμή του συνοπτικού ορίου κατωφλίου όπως εκτιμήθηκε από την μετα-ανάλυση εφόσον αναφερόμαστε στα συνολικά αποτελέσματα. Η αντίστοιχη βαρύτητα που είχε κάθε πόλη στον υπολογισμό της συνοπτικής εκτίμησης του σχετικού κινδύνου, όπως προκύπτει από τα μοντέλα σταθερών και τυχαίων επιδράσεων, δίνεται στους πίνακες 5.5.1 για τη ψυχρή και 5.5.3 για τη θερμή περίοδο. Αρχικά, για τη θερμή περίοδο ήταν απαραίτητο να υπολογιστεί ένα συνοπτικό όριο (threshold) πάνω από την τιμή του οποίου αναφέρεται η συνοπτική εκτίμηση του σχετικού κινδύνου θνησιμότητας (από όλες τις αιτίες) για όλες τις υπό μελέτη πόλεις. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκαν πάλι μοντέλα σταθερών και τυχαίων επιδράσεων, τα οποία αυτή τη φορά εκτιμούσαν αυτό το συνοπτικό όριο (threshold) μέσω της μετα-ανάλυσης των επιμέρους εκτιμήσεων των ορίων κάθε πόλης. Στον πίνακα 5.5.5 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα και των δύο μοντέλων αυτής της μετα-ανάλυσης καθώς και τα αντίστοιχα όρια (thresholds) για κάθε μία πόλη ξεχωριστά αναφερόμενοι πάντα στη θερμή περίοδο. Καθώς από τη συγκεκριμένη μετα-ανάλυση υπήρξε ένδειξη για ύπαρξη στατιστικά σημαντικής ετερογένειας μεταξύ των ορίων κάθε πόλης (Δοκιμασία ετερογένειας, Heterogeneity chi-squared=33.68, ποσοστό ετερογένειας  $I^2=73.3\%$ ) προτιμήθηκε να χρησιμοποιηθεί η συνοπτική εκτίμηση του ορίου όπως προέκυψε από το μοντέλο τυχαίων επιδράσεων. Στα γραφήματα του Παραρτήματος 5.5.1 και 5.5.2 παρουσιάζονται τα αντίστοιχα δενδροδιαγράμματα της μετα-ανάλυσης με τις δύο μεθόδους και δίνεται και οι αντίστοιχη βαρύτητα που δόθηκε στην επιμέρους εκτίμηση κάθε πόλης για τον υπολογισμό του συνοπτικού ορίου.

**Πίνακας 5.5.1.** Βαρύτητα (weight) της εκάστοτε πόλης σε εκατοστιαίο ποσοστό (%) όπως προκύπτει από την μετα-ανάλυση των τελικών εκτιμήσεων των σχετικών κινδύνων θανάτου από όλες τις αιτίες (Relative Risk, RR) όπως υπολογίστηκαν από τα τελικά μοντέλα κάθε πόλης για τη διερεύνηση της επίδρασης της μέσης θερμοκρασίας στη θνησιμότητα από όλες τις αιτίες κατά τη ψυχρή περίοδο (Οκτ. – Μαρτ.). Αποτελέσματα μοντέλων σταθερών και τυχαίων επιδράσεων.

Πόλη	Βαρύτητα (%)	
	Μοντέλο σταθερών επιδράσεων	Μοντέλο τυχαίων επιδράσεων
Αθήνα	80.75	64.89
Θεσσαλονίκη	11.13	18.83
Πάτρα	1.77	3.51
Ηράκλειο	0.56	1.13
Βόλος	1.31	2.63
Ιωάννινα	0.79	1.60
Λάρισα	0.49	0.99
Καβάλα	1.67	3.32
Λαμία	0.49	1.00
Χαλκίδα	1.04	2.10

Δοκιμασία ετερογένειας (Heterogeneity  $\chi^2$ ) = 9.64 (p-value= 0.380) , Δείκτης ετερογένειας  $I^2$  = 6.7%

Εκτιμώμενη ετερογένεια μεταξύ πόλεων (between-study variance)  $T^2=0$

**Πίνακας 5.5.2.** Ποσοστιαία αύξηση (95% διάστημα εμπιστοσύνης δ.ε.) του αριθμού των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες για 1°C μείωσης της μέσης θερμοκρασίας<sup>α</sup> (μέσος όρος των υστερημένων επιδράσεων, average of Lags 0–13) κατά τη ψυχρή περίοδο (Οκτ. – Μαρτ.) για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις ξεχωριστά και συνδυαστικά όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των μοντέλων σταθερών και τυχαίων επιδράσεων, 2008-2016.

<b>Μετα-ανάλυση</b>	<b>% αύξηση (95% δ.ε.)</b>
Συνθετικός δείκτης (μοντέλου σταθερών επιδράσεων)	2.2 <sup>β</sup> (1.9, 2.5)
Συνθετικός δείκτης (μοντέλου τυχαίων επιδράσεων)	2.1 (1.7, 2.5)
<b>Πόλη</b>	
Αθήνα	2.29 (1.98, 2.6)
Θεσσαλονίκη	1.16 (0.33, 2)
Πάτρα	1.32 (-0.75, 3.44)
Ηράκλειο	3.82 (0.05, 7.71)
Βόλος	2.94 (0.49, 5.44)
Ιωάννινα	1.35 (-1.73, 4.54)
Λάρισα	4.08 (0.06, 8.28)
Καβάλα	2.72 (0.56, 4.93)
Λαμία	1.38 (-2.55, 5.43)
Χαλκίδα	3.02 (0.27, 5.82)

<sup>α</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση και τη μέση σχετική υγρασία.

<sup>β</sup> Μη στατιστικά σημαντική ετερογένεια.

**Πίνακας 5.5.3.** Βαρύτητα (weight) της εκάστοτε πόλης σε εκατοστιαίο ποσοστό (%) όπως προκύπτει από την μετα-ανάλυση των τελικών εκτιμήσεων των σχετικών κινδύνων θανάτου από όλες τις αιτίες (Relative Risk, RR) όπως υπολογίστηκαν από τα τελικά μοντέλα κάθε πόλης για τη διερεύνηση της επίδρασης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στη θνησιμότητα από όλες τις αιτίες κατά τη θερμή περίοδο (Απρ. – Σεπτ.). Αποτελέσματα μοντέλων σταθερών και τυχαίων επιδράσεων.

Πόλη	Βαρύτητα (%)	
	Μοντέλο σταθερών επιδράσεων	Μοντέλο τυχαίων επιδράσεων
Αθήνα	84.17	19.20
Θεσσαλονίκη	6.94	16.30
Πάτρα	1.76	10.98
Ηράκλειο	0.98	8.17
Βόλος	2.56	6.69
Ιωάννινα	0.71	12.73
Λάρισα	1.11	8.75
Καβάλα	0.34	3.85
Λαμία	0.68	6.51
Χαλκίδα	0.74	6.83

Δοκιμασία ετερογένειας (Heterogeneity  $\chi^2$ )= 29.87 (p-value<10<sup>-3</sup>) , Δείκτης ετερογένειας I<sup>2</sup>= 69.9%  
 Εκτιμώμενη ετερογένεια μεταξύ πόλεων (between-study variance)  
 T<sup>2</sup>= 0.0005



**Πίνακας 5.5.4.** Ποσοστιαία αύξηση (95% διάστημα εμπιστοσύνης δ.ε.) του αριθμού των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες για 1°C αύξησης της μέσης θερμοκρασίας<sup>α</sup> (μέσος όρος των υστερημένων επιδράσεων, average of Lags, 0–3) πάνω από το όριο της κάθε πόλης ή πάνω από το συνοπτικό όριο για όλες τις πόλεις (όπως εκτιμήθηκε από την μετα-ανάλυση) κατά τη θερμή περίοδο (Απρ. – Σεπτ.) για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις ξεχωριστά και συνδυαστικά όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των μοντέλων σταθερών και τυχαίων επιδράσεων, 2008-2016.

<b>Μετα-ανάλυση</b>	<b>Όριο</b>	<b>% αύξηση (95% δ.ε.)</b>
Συνθετικός δείκτης (μοντέλου σταθερών επιδράσεων) <sup>β</sup>	25.1	4.3 (3.8, 4.8)
Συνθετικός δείκτης (μοντέλου τυχαίων επιδράσεων)	25.1	5.7 (3.7, 7.6)
<b>Πόλη</b>		
Αθήνα	24.5	4.18 (3.63, 4.74)
Θεσσαλονίκη	24	3.14 (1.23, 5.07)
Πάτρα	27	9.53 (5.54, 13.64)
Ηράκλειο	25.4	11.98 (6.54, 17.62)
Βόλος	21.9	2.1 (-0.99, 5.27)
Ιωάννινα	20	9.3 (3.13, 15.84)
Λάρισα	25	0.77 (-3.81, 5.57)
Καβάλα	27.2	13.85 (4.43, 23.71)
Λαμία	21.7	3.67 (-2.32, 9.98)
Χαλκίδα	26	9.77 (3.64, 16.19)

<sup>α</sup> Ελέγχοντας για τον μήνα, την ημέρα της εβδομάδας, τις αργίες, την μακροχρόνια τάση και τη μέση σχετική υγρασία.

<sup>β</sup> Στατιστικά σημαντική ετερογένεια.

**Πίνακας 5.5.5.** Όριο-Κατώφλι (95% διάστημα εμπιστοσύνης δ.ε.) για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις ξεχωριστά και συνδυαστικά όπως προκύπτει από τα αποτελέσματα των μοντέλων σταθερών και τυχαίων επιδράσεων

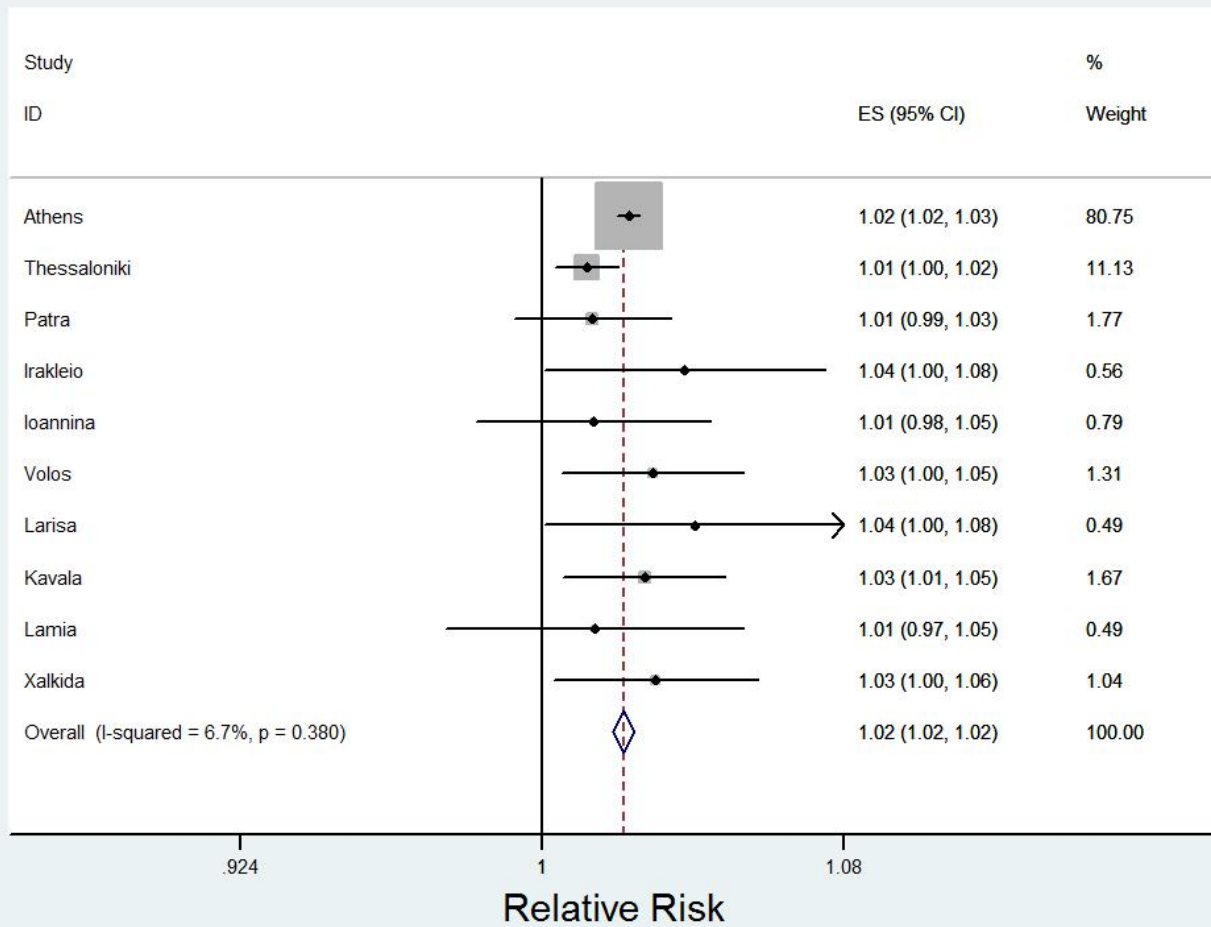
<b>Μετα-ανάλυση</b>	<b>Όριο (95% δ.ε.)</b>
Συνθετικός δείκτης (μοντέλου σταθερών επιδράσεων) <sup>α</sup>	25 (24.6, 25.5)
Συνθετικός δείκτης (μοντέλου τυχαίων επιδράσεων)	25.1 (24, 26.1)
<b>Πόλη</b>	
Αθήνα	24.5 (24, 25)
Θεσσαλονίκη	24 (21.8, 26.3)
Πάτρα	27 (25.7, 28.4)
Ηράκλειο	25.4 (24.2, 26.6)
Βόλος	21.9 (16.6, 27.2)
Ιωάννινα	20 (16.2, 23.8)
Λάρισα	25 (22.8, 27.2)
Καβάλα	27.2 (25.9, 28.5)
Λαμία	21.7 (15.8, 27.6)
Χαλκίδα	26 (23, 28.9)

<sup>α</sup> Στατιστικά σημαντική ετερογένεια.

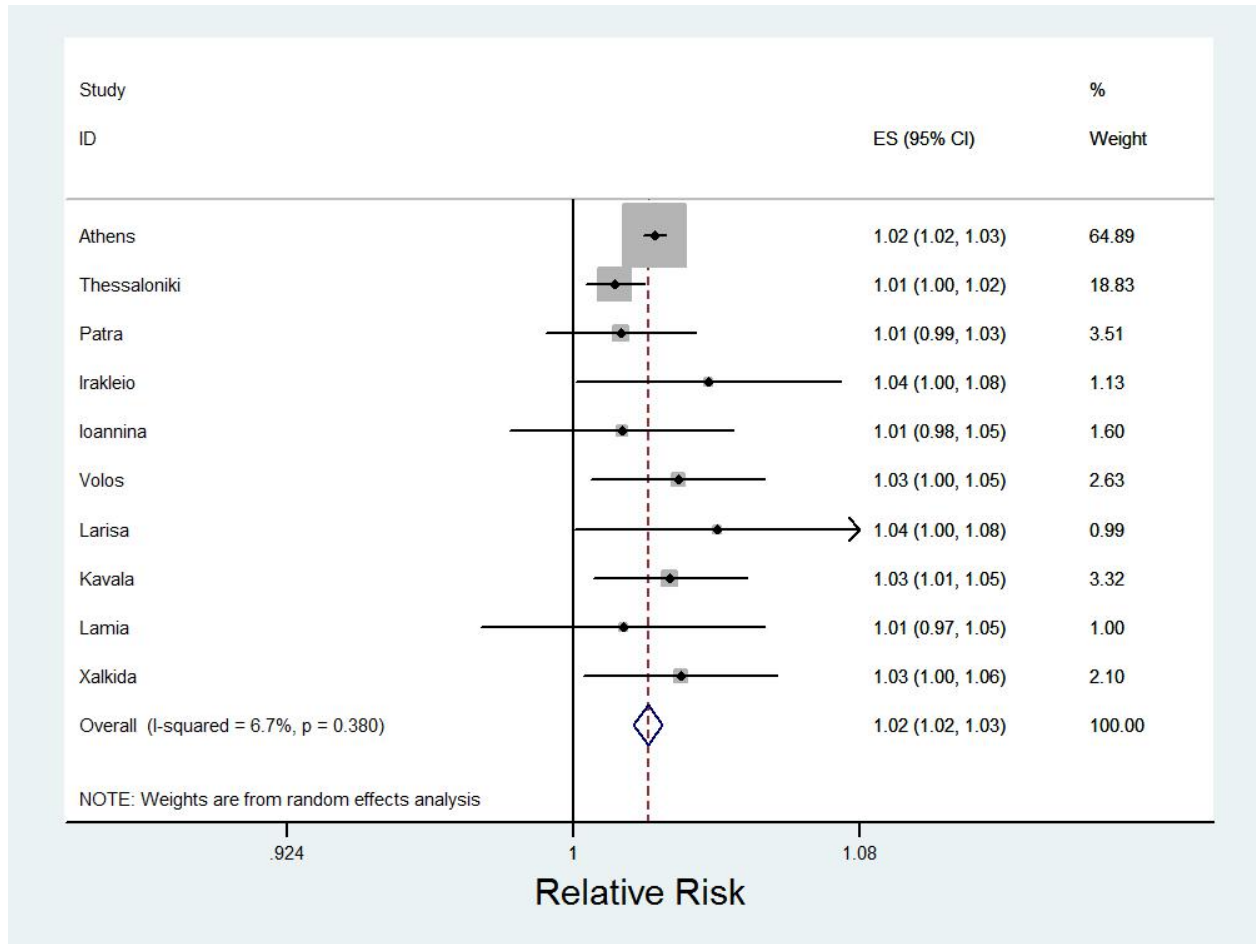
Όπως αντιλαμβανόμαστε, τόσο στα μοντέλα που αφορούν τη ψυχρή όσο και στα μοντέλα που αφορούν τη θερμή περίοδο, η πόλη της Αθήνας λόγω του μεγάλου δείγματος παρατηρήσεων έχει και την μεγαλύτερη επίδραση στη συνοπτική εκτίμηση του σχετικού κινδύνου θνησιμότητας (από όλες τις αιτίες). Αυτό σημαίνει πως ο συνοπτικός εκτιμητής RR για τη ψυχρή περίοδο βασίζεται κατά 81% (αντίστοιχα για τη θερμή περίοδο κατά 85%) στα τελικά αποτελέσματα της Αθήνας. Ωστόσο, στο μοντέλο τυχαίων επιδράσεων, η βαρύτητα που δίνεται στα αποτελέσματα της Αθήνας μειώνεται στο 65% για τη ψυχρή και στο 20% για τη θερμή περίοδο. Η μείωση αυτή είναι λογική και αναμενόμενη καθώς τα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων λαμβάνουν υπόψιν την ετερογένεια μεταξύ των πόλεων στην ανάλυση και έτσι η βαρύτητα κάθε πόλης δεν είναι απλώς αντιστρόφως ανάλογη της διασποράς της κάθε πόλης (within-study variance) αλλά του αθροίσματος της διασποράς της κάθε πόλης (within-study variance) με την εκτίμηση για τη μεταξύ των πόλεων διασπορά (between-study variance). Δεύτερη από άποψη βαρύτητας έρχεται η Θεσσαλονίκη με 12% για τη ψυχρή και 7% για τη θερμή περίοδο. Σε αντίθεση βέβαια με την Αθήνα, στα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων η βαρύτητα που αποδίδεται στη Θεσσαλονίκη αυξάνεται συγκριτικά με τα μοντέλα σταθερών επιδράσεων και φτάνει το 19% για τη ψυχρή και 17% για τη θερμή περίοδο. Ανάλογη συμπεριφορά με αυτή της Θεσσαλονίκης παρατηρείται σε όλες τις άλλες πόλεις, διακρίνοντας στα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων μία αύξηση της βαρύτητας που αποδίδεται σε κάθε πόλη. Αυτό που συμπεραίνουμε στα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων είναι πως οι πόλεις με πολύ μεγάλο μέγεθος δείγματος, όπως η Αθήνα, συνεχίζουν να έχουν μεγάλη βαρύτητα, όχι πλέον όμως τόσο ακραία καθώς πλέον η βαρύτητα αποδίδεται πιο ομοιόμορφα μεταξύ των πόλεων. Καθώς, στα μοντέλα μετα-ανάλυσης που αφορούν τη ψυχρή περίοδο, δεν υπάρχει στατιστικά σημαντική ετερογένεια μεταξύ των πόλεων (Δοκιμασία ετερογένειας, Heterogeneity chi-squared = 9.64, p-value= 0.380 <20%), οι εκτιμήσεις του συνοπτικού δείκτη των δύο μοντέλων (σταθερών και τυχαίων επιδράσεων) είναι παρόμοιες. Από την άλλη μεριά, από την μετα-ανάλυση που αφορά τη θερμή περίοδο υπήρξε ένδειξη για ύπαρξη στατιστικά σημαντικής ετερογένειας μεταξύ των αποτελεσμάτων κάθε πόλης (Δοκιμασία ετερογένειας, Heterogeneity chi-squared = 29.87, p-value<10<sup>-3</sup>). Το γεγονός αυτό καθιστά το μοντέλο τυχαίων επιδράσεων ικανότερο να εκτιμήσει το συνθετικό δείκτη καθώς πλέον οι εκτιμήσεις των δύο μοντέλων δεν είναι ίδιες. Παρόλα αυτά, στον πίνακα 5.5.4 δίνονται τα αποτελέσματα και των δύο μοντέλων μετα-ανάλυσης για τη θερμή περίοδο.

Στα γραφήματα 5.5.1 - 5.5.4 δίνονται τα δενδρογράμματα (Forest Plot) της μετα-ανάλυσης που αφορούν τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο με τη χρήση μοντέλων σταθερών και τυχαίων επιδράσεων, αντίστοιχα. Γενικά, αυτό που παρατηρείται και από τα δεντρογράμματα είναι πως οι εκτιμήσεις κάθε πόλης είναι πολύ κοντά στον συνοπτικό δείκτη. Όπως ειπώθηκε και νωρίτερα, στα μοντέλα τυχαίων επιδράσεων, η συνοπτική εκτίμηση (RR) καθορίζεται πιο ομοιόμορφα από το σύνολο των πόλεων.

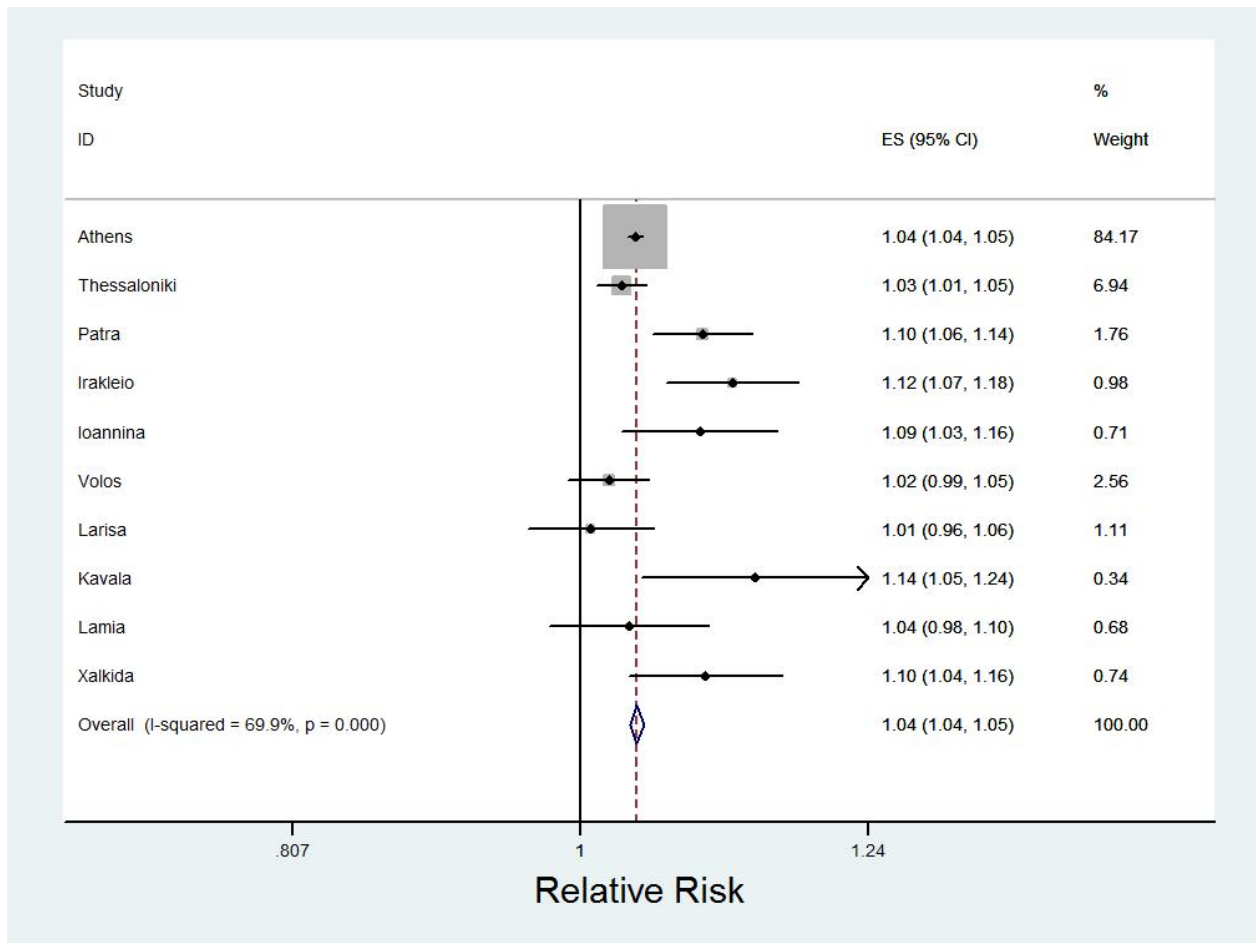
**Διάγραμμα 5.5.1** Δενδροδιάγραμμα της μετα-ανάλυσης των 10 ελληνικών πόλεων για την εκτίμηση της επίδρασης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (μέσος όρος των υστερημένων επιδράσεων, average of Lags, 0–13) στη θνησιμότητα από όλες τις αιτίες κατά τη ψυχρή περίοδο (Οκτ.–Μαρτ.) των ετών 2008-2016 με χρήση μοντέλου σταθερών επιδράσεων.



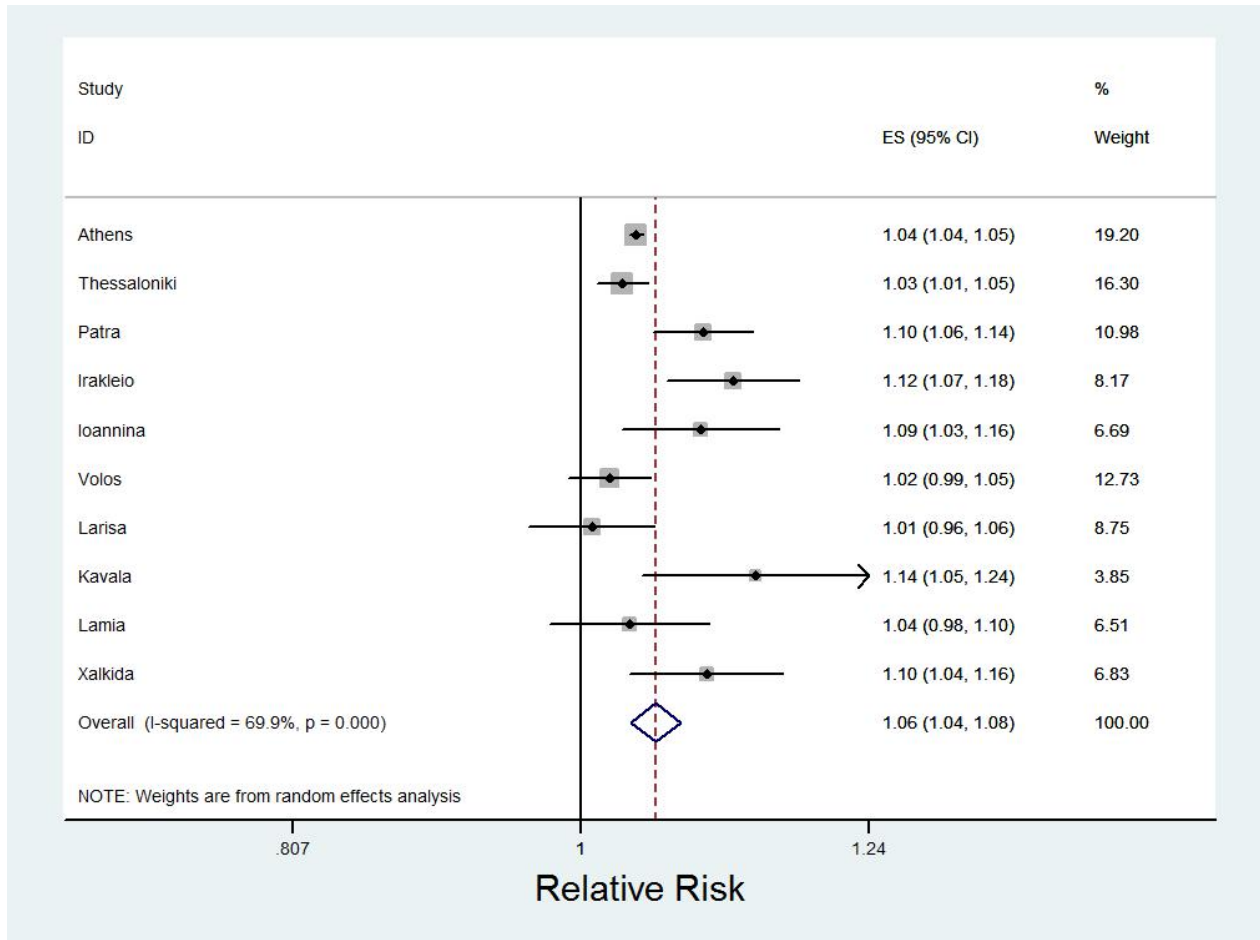
**Διάγραμμα 5.5.2** Δενδροδιάγραμμα της μετα-ανάλυσης των 10 ελληνικών πόλεων για την εκτίμηση της επίδρασης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (μέσος όρος των υστερημένων επιδράσεων, average of Lags, 0–13) στη θνησιμότητα από όλες τις αιτίες κατά τη ψυχρή περίοδο (Οκτ.–Μαρτ.) των ετών 2008-2016 με χρήση μοντέλου τυχαίων επιδράσεων.



**Διάγραμμα 5.5.3** Δενδροδιάγραμμα της μετα-ανάλυσης των 10 ελληνικών πόλεων για την εκτίμηση της επίδρασης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (μέσος όρος των υστερημένων επιδράσεων, average of Lags, 0–3) στη θνησιμότητα από όλες τις αιτίες κατά τη θερμή περίοδο (Απρ.–Σεπτ.) των ετών 2008-2016 με χρήση μοντέλου σταθερών επιδράσεων.



**Διάγραμμα 5.5.4** Δενδροδιάγραμμα της μετα-ανάλυσης των 10 ελληνικών πόλεων για την εκτίμηση της επίδρασης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας (μέσος όρος των υστερημένων επιδράσεων, average of Lags, 0–3) στη θνησιμότητα από όλες τις αιτίες κατά τη θερμή περίοδο (Απρ.–Σεπτ.) των ετών 2008-2016 με χρήση μοντέλου τυχαίων επιδράσεων.



## Συμπεράσματα - Συζήτηση

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας για την αρνητική επίδραση της θερμοκρασίας στη θνησιμότητα είναι σύμφωνα με τα αποτελέσματα προηγούμενων μελετών (Braga et al., 2001, Analitis et al., 2008, Baccini et al., 2008). Τα ευρήματά μας επιβεβαιώνουν πως σχέση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας με την ημερήσια ολική θνησιμότητα είναι γραμμική, τη ψυχρή περίοδο, ενώ έχει τη μορφή ανάστροφου J, δηλαδή είναι επίπεδη πριν από ένα όριο (threshold) και γραμμική μετά από αυτό, τη θερμή περίοδο. Επιπροσθέτως, επιβεβαιώνεται ότι οι επιδράσεις της μέσης θερμοκρασίας διαρκούν περισσότερο κατά τη ψυχρή σε σύγκριση με τη θερμή περίοδο, όπου η επίδραση της θερμοκρασίας είναι πιο άμεση.

Τα αποτελέσματα της μετα-ανάλυσης έδειξαν μη στατιστικά σημαντική ετερογένεια μεταξύ των εκτιμήσεων του σχετικού κινδύνου θανάτου (RR) κάθε πόλης για τη ψυχρή περίοδο και στατιστικά σημαντική αναφορικά με τις εκτιμήσεις της θερμής περιόδου. Τα αποτελέσματά μας για την ύπαρξη στατιστικά σημαντικής ετερογένειας είναι σύμφωνα με την μελέτη 15 Ευρωπαϊκών πόλεων (Baccini et al., 2008) και πιθανολογείται ότι αυτή η ετερογένεια οφείλεται τόσο στη κλιματική μεταβλητότητα όσο και σε δημογραφικούς, πολιτιστικούς και κοινωνικο-οικονομικούς παράγοντες κάθε πόλης. Σχετικά με τη ψυχρή περίοδο, το μικρό μέγεθος των παρατηρήσεων κάθε πόλης ίσως αποτέλεσε καθοριστικό παράγοντα της ανικανότητας ένδειξης στατιστικά σημαντικής ετερογένειας μεταξύ των εκτιμήσεων κάθε πόλης. Το ζήτημα αυτό χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση και προτείνεται σε άλλους ερευνητές η χρήση περισσότερων ετών στην ανάλυση ούτως ώστε οι επιμέρους εκτιμήσεις του σχετικού κινδύνου κάθε πόλης να είναι πιο ακριβείς. Ο λόγος άλλωστε που στη συγκεκριμένη εργασία προχωρήσαμε σε μετα-ανάλυση ήταν η αύξηση της ισχύος των ευρημάτων καθώς το μέγεθος δείγματος κάθε πόλης ήταν σχετικά μικρό.

Μία πηγή σφάλματος που μπορεί να εντοπισθεί στη μεθοδολογία της παρούσας εργασίας είναι πως, σε αντίθεση με παλαιότερες αντίστοιχες μελέτες (Baccini et al., 2008), δε λήφθηκαν υπόψιν πιθανοί συγχυτικοί παράγοντες όπως η ατμοσφαιρική πίεση και η ταχύτητα του ανέμου. Επιπλέον, μία ακόμη πηγή σφάλματος αποτελεί η χρήση του αλγορίθμου του Muggeo (2003, 2008) για την εκτίμηση των ορίων στις συναρτήσεις περιγραφής της σχέσης μεταξύ θνησιμότητας και θερμοκρασίας όσον αφορά τη θερμή περίοδο. Ο αλγόριθμος αυτός μπορεί να είναι ασταθής για μικρά δείγματα και η εκτίμηση των ορίων μπορεί να εξαρτάται πλήρως από τις αρχικές τιμές του αλγορίθμου (Armstrong, 2006, Baccini et al., 2008). Ωστόσο, σε κάθε πόλη δοκιμάστηκαν πολλές αρχικές τιμές και από τα αποτελέσματα που προέκυψαν επιλέχθηκε ο μέσος όρος των εκτιμήσεων με γνώμονα πάντα και τα γραφήματα των αντίστοιχων γενικευμένων προσθετικών μοντέλων κάθε πόλης. Παλαιότερες μελέτες έδειξαν πως το σημείο της θερμοκρασίας όπου παρατηρείται η μικρότερη θνησιμότητα διαφέρει από πόλη σε πόλη και εξαρτάται από το τοπικό κλίμα κάθε μίας (Curriero et al, 2002, Michelozzi et al., 2006, Baccini et al., 2008). Τα ευρήματά μας έδειξαν στατιστικά σημαντική ετερογένεια μεταξύ των ορίων (threshold) κάθε πόλης και σε γενικές γραμμές θα μπορούσαμε να



ισχυρισθούμε πως οι κάτοικοι των πόλεων με μικρότερο μέσο όρο μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας σε όλη τη διάρκεια των ετών είναι πιο ευαίσθητοι σε υψηλές θερμοκρασίες καθώς το εκτιμώμενο όριο αυτών των πόλεων πέραν του οποίου παρατηρείται αύξηση του αριθμού των θανάτων είναι μικρότερο σε σχέση με τις πόλεις όπου η μέση τιμή της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας ήταν γενικά υψηλότερη.

Δεδομένου ότι η συγγυτική επίδραση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη σχέση της θερμοκρασίας με εκβάσεις υγείας (αλλά και το αντίστροφο) υποστηρίζεται βιβλιογραφικά (Katsouyianni et al., 1993, 2001, O'Neill et al., 2005, Ren et al., 2008, Stafoggia et al., 2008, Cheng & Kan, 2011) η απουσία ενός όρου ατμοσφαιρικής ρύπανσης στα ενδιάμεσα μοντέλα πέραν του τελικού μπορεί να αποτελεί μειονέκτημα της μεθοδολογίας αυτής της εργασίας. Όπως όμως διαπιστώνεται, στα τελικά μοντέλα, η εισαγωγή του όρου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης (στις πόλεις που ήταν διαθέσιμη) δεν άλλαξε τις εκτιμήσεις. Ο μικρός αριθμός του δείγματος των παρατηρήσεων κάθε πόλης ίσως και σε αυτή τη περίπτωση αποτελεί αίτιο που η εισαγωγή του όρου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης δεν επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό τις εκτιμήσεις.

Μέχρι σήμερα, δεν υπάρχει κάποια συμφωνία μεταξύ των ερευνητών για τη βέλτιστη έκφραση (δείκτη) της θερμοκρασίας στη διερεύνηση των επιδράσεων της στη θνησιμότητα. Στη συγκεκριμένη μελέτη ως δείκτης έκφρασης της θερμοκρασίας χρησιμοποιήθηκε η μέση θερμοκρασία με έλεγχο για την μέση σχετική υγρασία. Η επιλογή του συγκεκριμένου δείκτη μας δίνει την ευελιξία να εκτιμήσουμε την επίδραση της μέσης θερμοκρασίας και της μέσης σχετικής υγρασίας στην ολική θνησιμότητα ξεχωριστά και ανεξάρτητα της μίας από την άλλη. Σύμφωνα με αποτελέσματα μελέτης σε 12 πόλεις της Αμερικής (Braga et al., 2002), η εισαγωγή των δύο αυτών όρων ξεχωριστά στο μοντέλο δείχνει πως η μέση σχετική υγρασία παίζει έναν μικρό και μη στατιστικά σημαντικό ρόλο στη θνησιμότητα. Τα ευρήματά μας είναι σύμφωνα με την παραπάνω μελέτη.

Εν κατακλείδι, τα συμπεράσματά μας δείχνουν πως οι υψηλές όσο και οι χαμηλές θερμοκρασίες αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία στην Ελλάδα. Οι δημόσιες υπηρεσίες της χώρας λοιπόν θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις στην υγεία των πολιτών από την εμφάνιση πολύ χαμηλών ή υψηλών θερμοκρασιών και συστήνεται η ενημέρωση και η λήψη μέτρων προφύλαξης του κοινού τις ημέρες εκείνες.

## Παράρτημα

**Πίνακας 5.1.1.** Μέση τιμή και διασπορά ημερήσιου αριθμού θανάτων από από καρδιαγγειακές αιτίες για τη συνολική περίοδο μελέτης, τη ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και τη θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις.

Πόλη	Χρονική περίοδος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τεταρτημόρια		
						1 <sup>ο</sup>	Διάμεσος	3 <sup>ο</sup>
Αθήνα	2008-2015	35.38	8	14	71	30	35	40
	Ψυχρή Περίοδος	38	8	16	71	32	38	43
	Θερμή περίοδος	32.82	7.05	14	63	28	32	37
Βόλος	2008-2016	0.98	0.99	0	6	0	1	2
	Ψυχρή Περίοδος	1.04	1.01	0	6	0	1	2
	Θερμή περίοδος	0.93	0.97	0	6	0	1	1
Ηράκλειο	2008-2016	0.99	1.02	0	6	0	1	2
	Ψυχρή Περίοδος	1.07	1.04	0	5	0	1	2
	Θερμή περίοδος	0.93	1	0	6	0	1	1
Θεσσαλονίκη	2008-2016	4.17	2.15	0	14	3	4	5
	Ψυχρή Περίοδος	4.42	2.18	0	14	3	4	6
	Θερμή περίοδος	3.91	2.10	0	14	2	4	5
Ιωάννινα	2008-2016	0.7	0.85	0	6	0	0	1
	Ψυχρή Περίοδος	0.76	0.87	0	6	0	1	1
	Θερμή περίοδος	0.65	0.82	0	5	0	0	1
Καβάλα	2008-2016	0.75	0.89	0	5	0	1	1
	Ψυχρή Περίοδος	0.81	0.92	0	5	0	1	1
	Θερμή περίοδος	0.70	0.85	0	5	0	0	1
Λαμία	2008-2016	0.67	0.84	0	5	0	0	1
	Ψυχρή Περίοδος	0.74	0.88	0	5	0	1	1
	Θερμή περίοδος	0.61	0.79	0	5	0	0	1
Λάρισα	2008-2016	1.1	1.23	0	8	0	1	2
	Ψυχρή Περίοδος	1.17	1.26	0	7	0	1	2
	Θερμή περίοδος	1.03	1.19	0	8	0	1	1
Πάτρα	2008-2016	1.69	1.35	0	8	1	1	3
	Ψυχρή Περίοδος	1.81	1.38	0	8	1	2	3
	Θερμή περίοδος	1.57	1.31	0	7	1	1	2

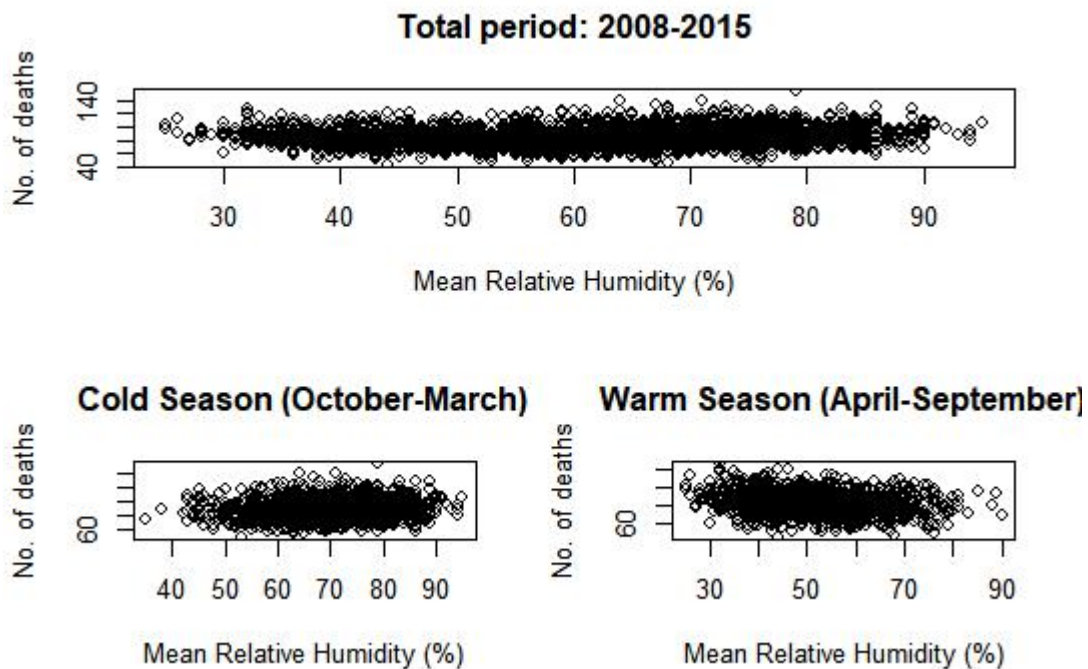
Χαλκίδα	2008-2016	0.57	0.76	0	5	0	0	1
	Ψυχρή Περίοδος	0.62	0.80	0	5	0	0	1
	Θερμή περίοδος	0.51	0.71	0	4	0	0	1

**Πίνακας 5.1.2.** Μέση τιμή και διασπορά ημερήσιου αριθμού θανάτων από αναπνευστικά αίτια για τη συνολική περίοδο μελέτης, τη ψυχρή (Οκτ. – Μαρτ.) και τη θερμή (Απρ. – Σεπτ.) περίοδο για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις.

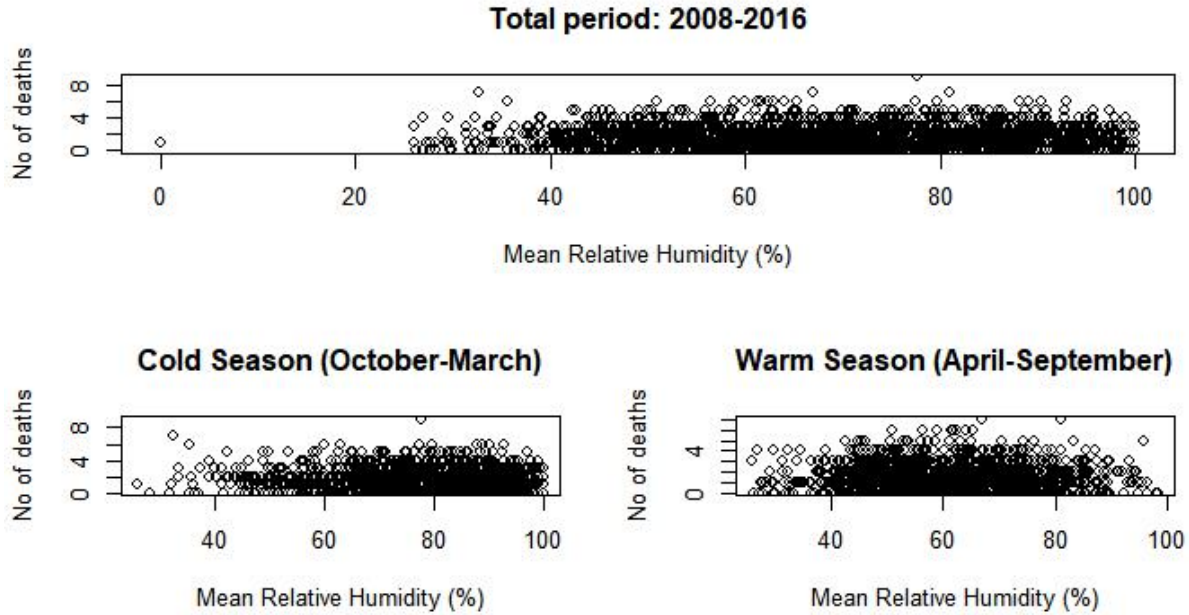
Πόλη	Χρονική περίοδος	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση	Ελάχιστη τιμή	Μέγιστη τιμή	Τεταρτημόρια		
						1 <sup>ο</sup>	Διάμεσος	3 <sup>ο</sup>
Αθήνα	2008-2015	9.91	3.94	0	32	7	9.5	12
	Ψυχρή Περίοδος	10.54	4.07	2	32	8	10	13
	Θερμή περίοδος	9.27	3.70	0	25	7	9	11
Βόλος	2008-2016	0.23	0.48	0	4	0	0	0
	Ψυχρή Περίοδος	0.26	0.51	0	4	0	0	0
	Θερμή περίοδος	0.20	0.45	0	3	0	0	0
Ηράκλειο	2008-2016	0.30	0.55	0	4	0	0	1
	Ψυχρή Περίοδος	0.30	0.55	0	3	0	0	1
	Θερμή περίοδος	0.30	0.55	0	4	0	0	1
Θεσσαλονίκη	2008-2016	0.97	1.02	0	7	0	1	2
	Ψυχρή Περίοδος	1.06	1.05	0	7	0	1	2
	Θερμή περίοδος	0.89	0.99	0	5	0	1	1
Ιωάννινα	2008-2016	0.16	0.41	0	4	0	0	0
	Ψυχρή Περίοδος	0.18	0.42	0	3	0	0	0
	Θερμή περίοδος	0.14	0.40	0	4	0	0	0
Καβάλα	2008-2016	0.13	0.36	0	3	0	0	0
	Ψυχρή Περίοδος	0.14	0.36	0	2	0	0	0
	Θερμή περίοδος	0.12	0.35	0	3	0	0	0
Λαμία	2008-2016	0.11	0.33	0	3	0	0	0
	Ψυχρή Περίοδος	0.11	0.34	0	3	0	0	0
	Θερμή περίοδος	0.10	0.32	0	2	0	0	0
Λάρισα	2008-2016	0.24	0.53	0	6	0	0	0
	Ψυχρή Περίοδος	0.27	0.58	0	6	0	0	0
	Θερμή περίοδος	0.21	0.47	0	4	0	0	0

Πάτρα	2008-2016	0.46	0.70	0	4	0	0	1
	Ψυχρή Περίοδος	0.49	0.71	0	4	0	0	1
	Θερμή περίοδος	0.43	0.68	0	4	0	0	1
Χαλκίδα	2008-2016	0.16	0.41	0	4	0	0	0
	Ψυχρή Περίοδος	0.17	0.42	0	3	0	0	0
	Θερμή περίοδος	0.16	0.40	0	4	0	0	0

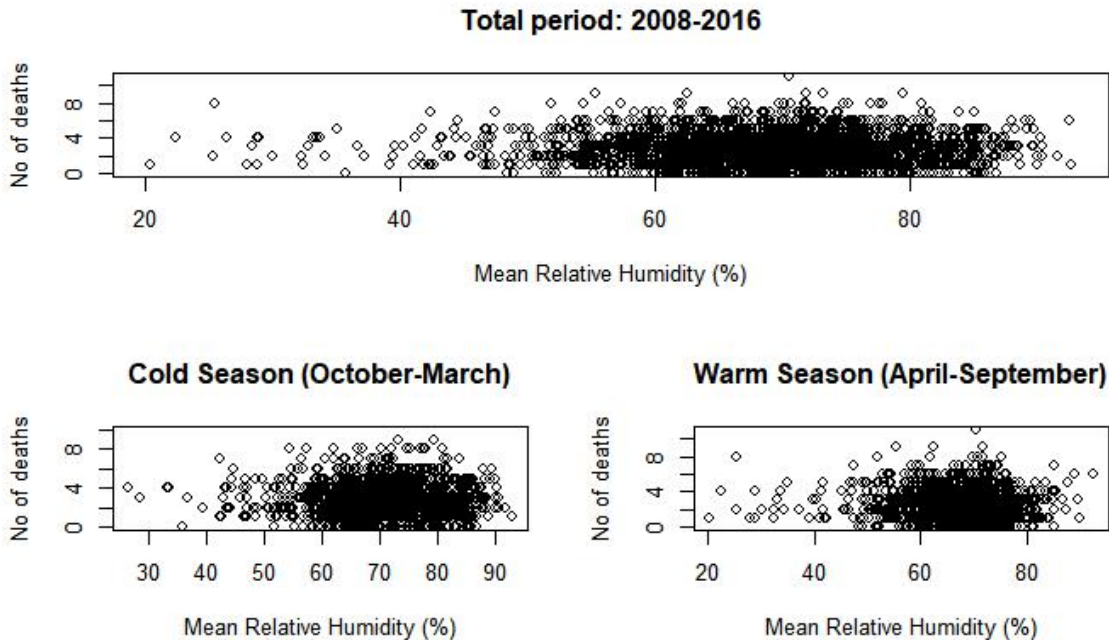
**Γράφημα 5.1.3.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για την Αθήνα το χρονικό διάστημα 2008-2015.



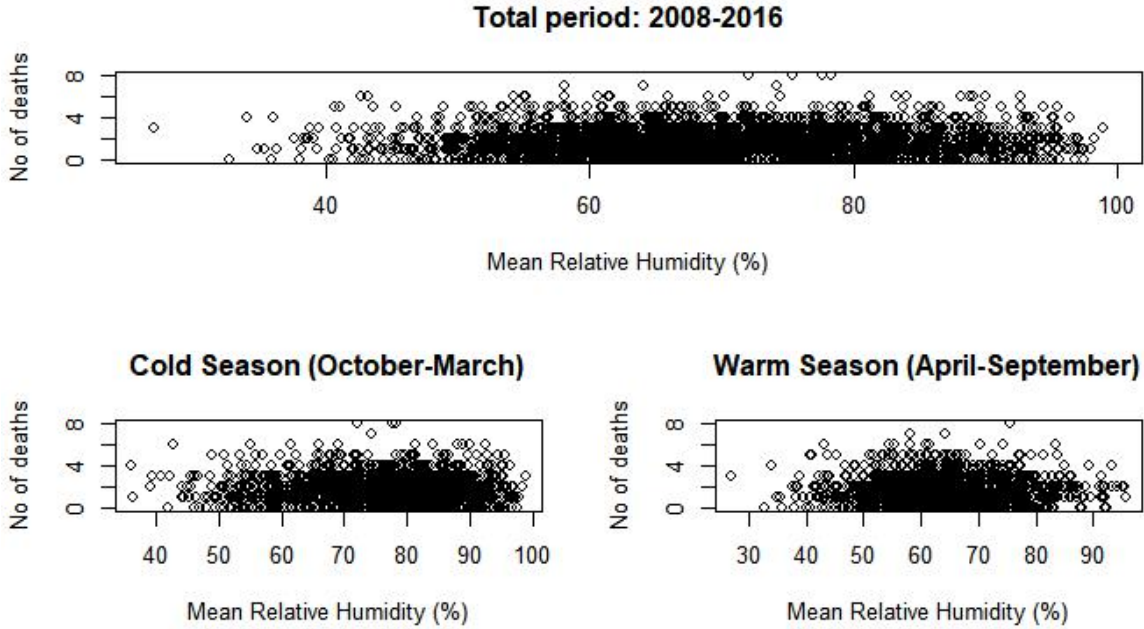
**Γράφημα 5.1.4.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τα Ιωάννινα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



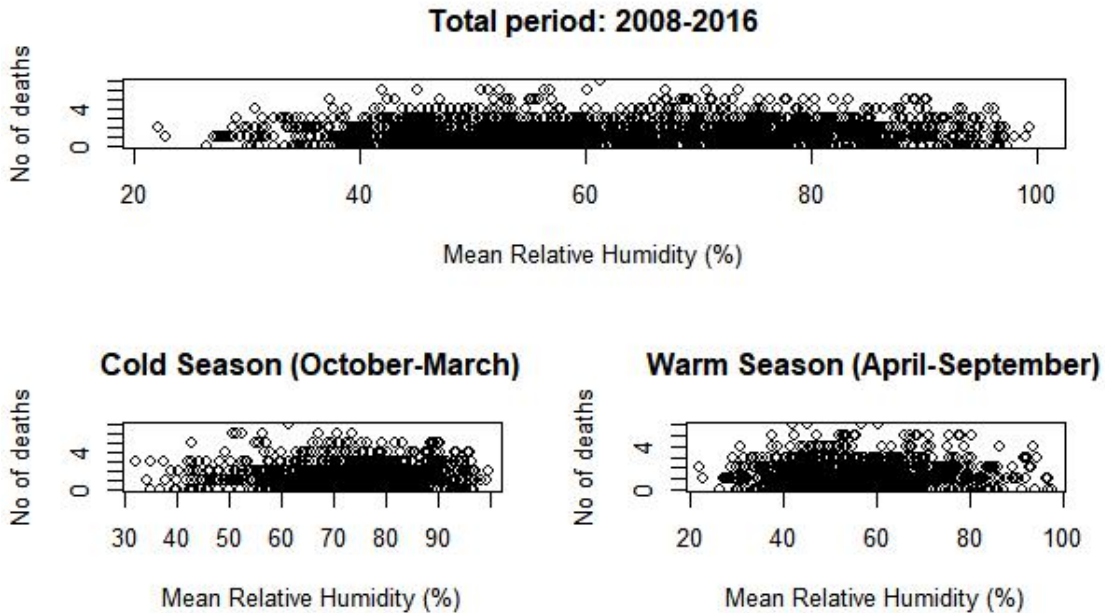
**Γράφημα 5.1.5.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για το Ηράκλειο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



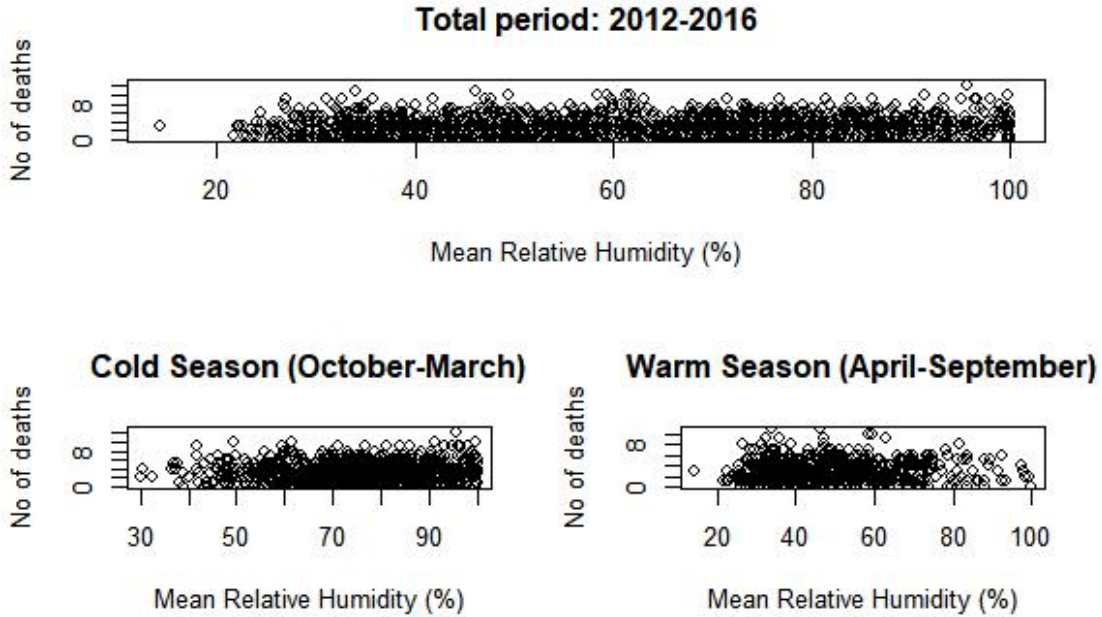
**Γράφημα 5.1.6.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για την Καβάλα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



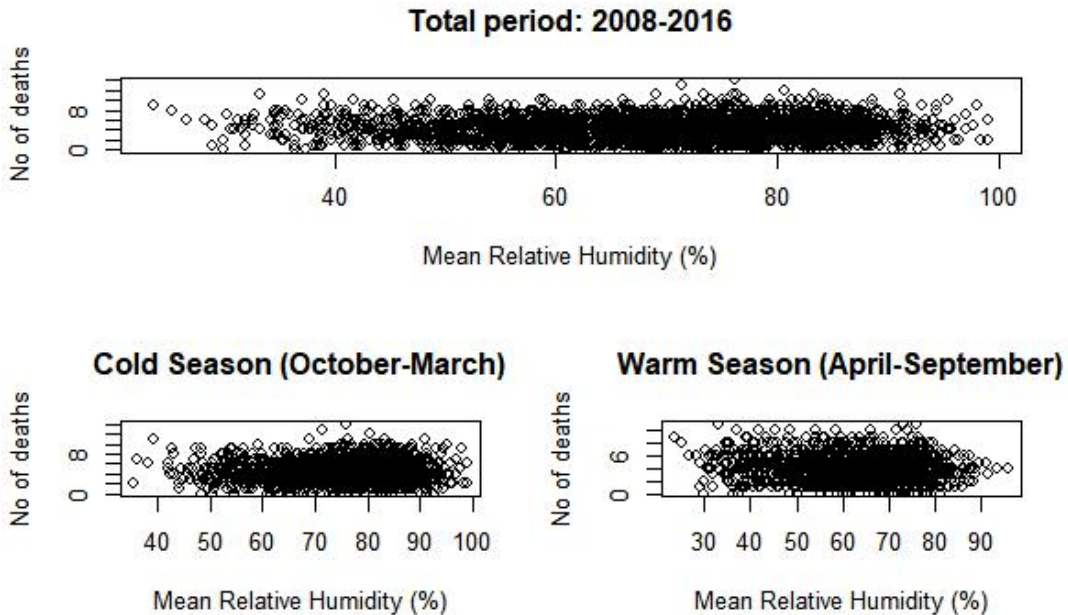
**Γράφημα 5.1.7.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Λαμία το χρονικό διάστημα 2008-2016.



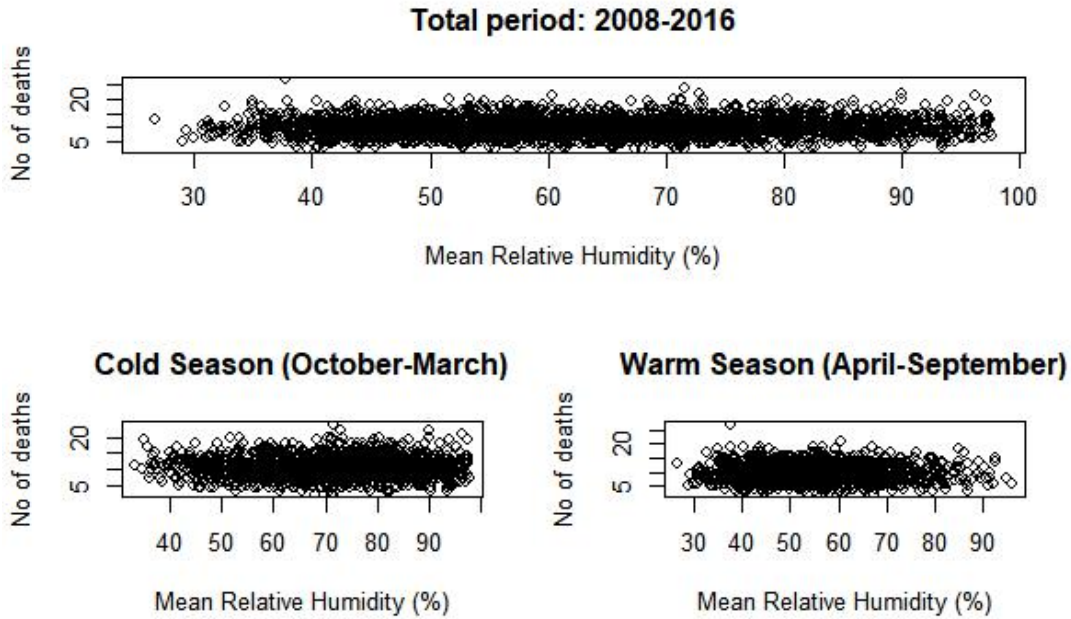
**Γράφημα 5.1.8.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Λάρισα το χρονικό διάστημα 2012-2016.



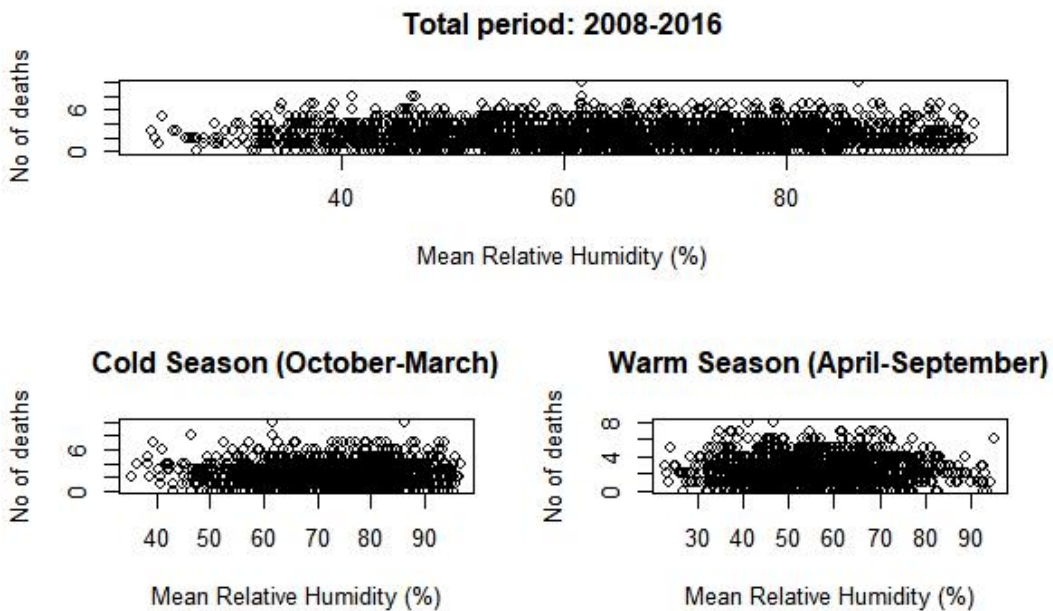
**Γράφημα 5.1.9.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για την Πάτρα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



**Γράφημα 5.1.10.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Θεσσαλονίκη το χρονικό διάστημα 2008-2016.

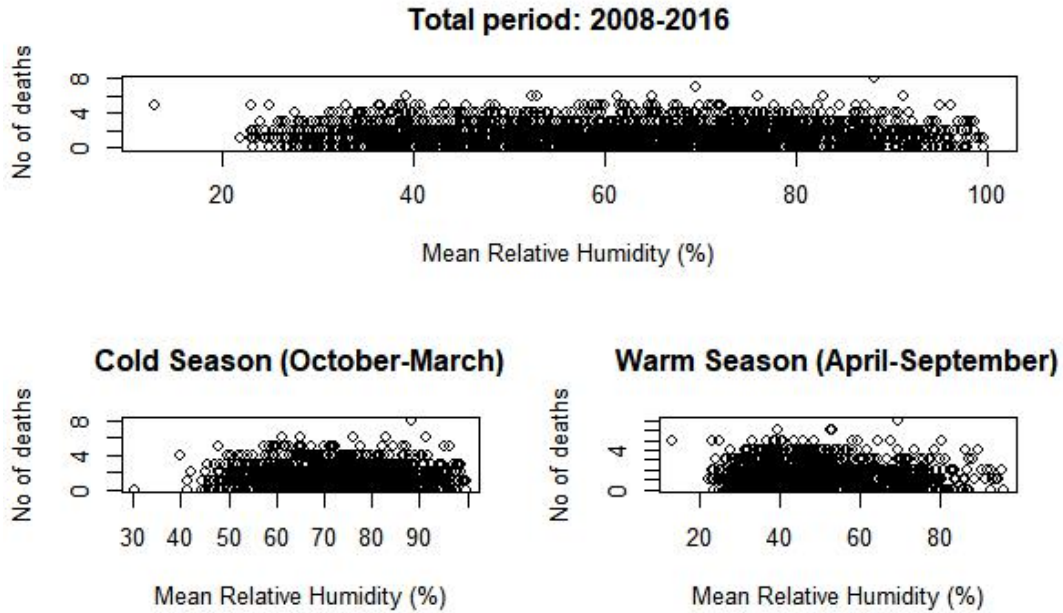


**Γράφημα 5.1.11.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για το Βόλο το χρονικό διάστημα 2008-2016.

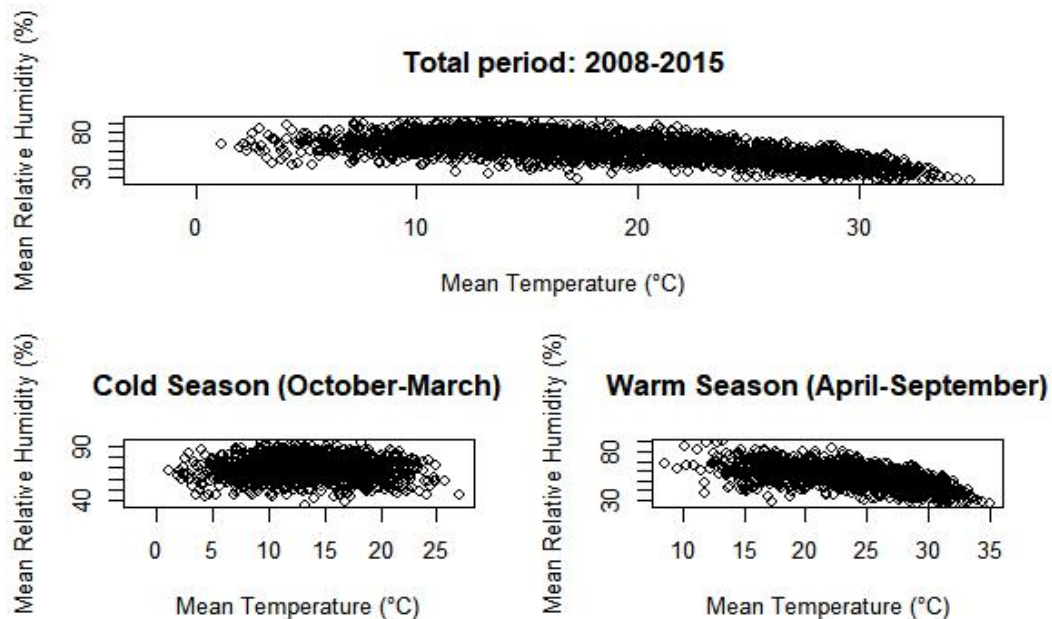




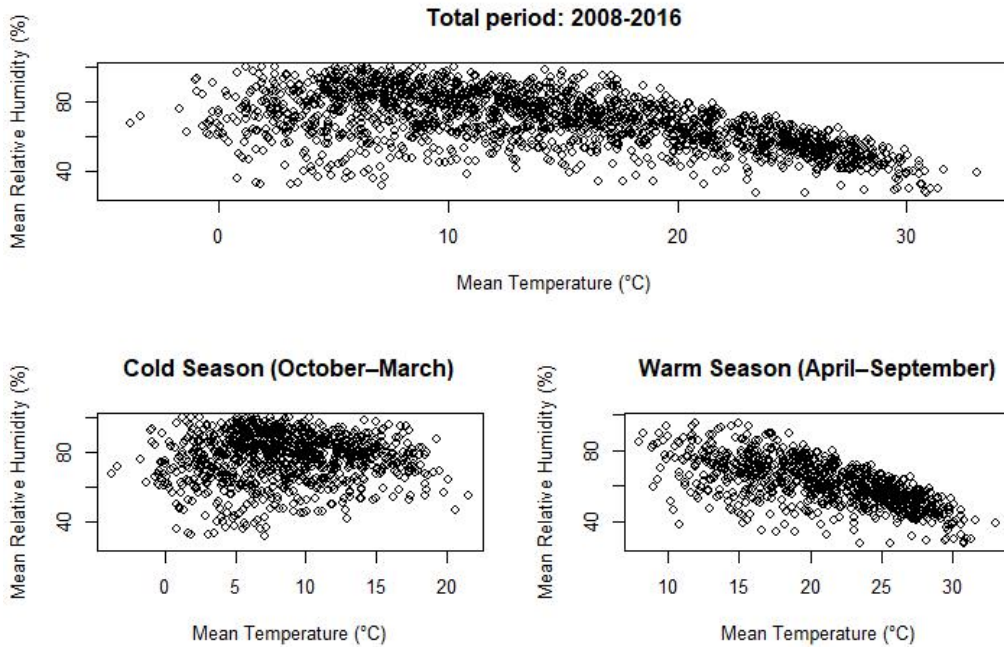
**Γράφημα 5.1.12.** Διάγραμμα της ολικής θνησιμότητας με τη μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Χαλκίδα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



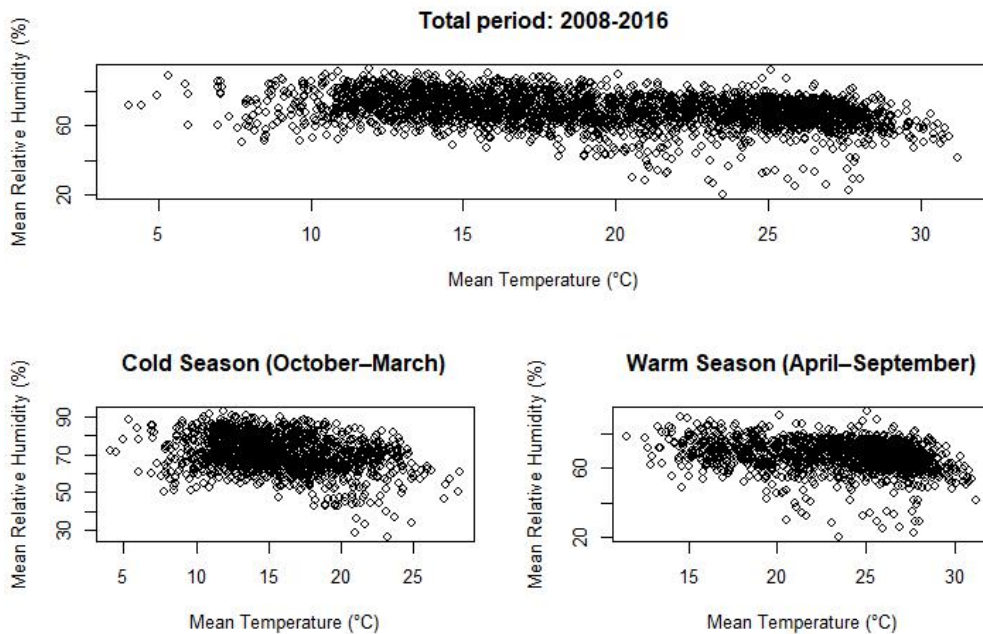
**Γράφημα 5.1.13.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για την Αθήνα το χρονικό διάστημα 2008-2015.



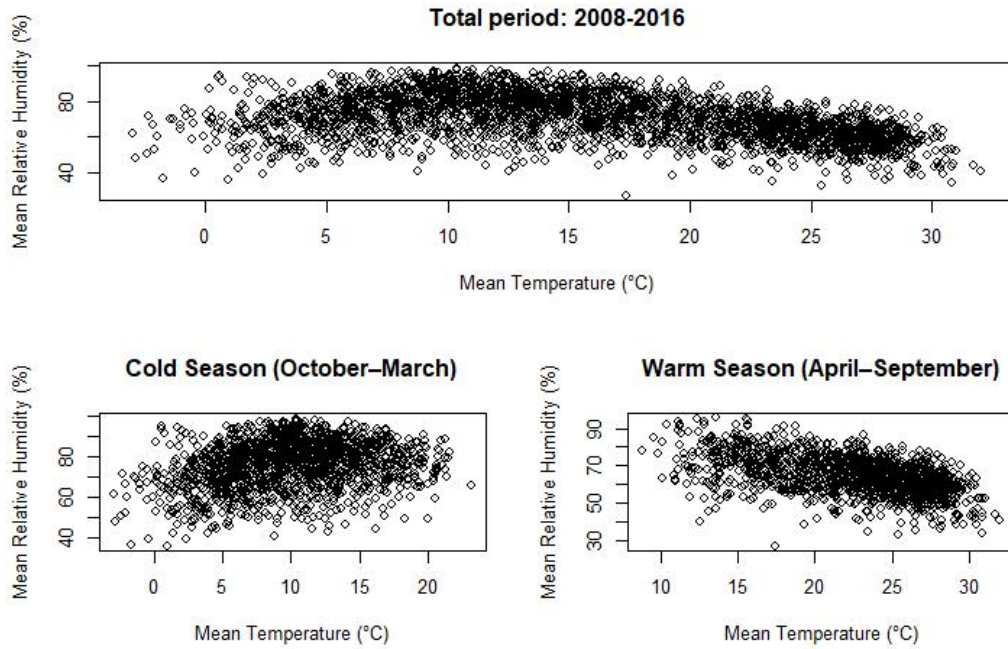
**Γράφημα 5.1.14.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τα Ιωάννινα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



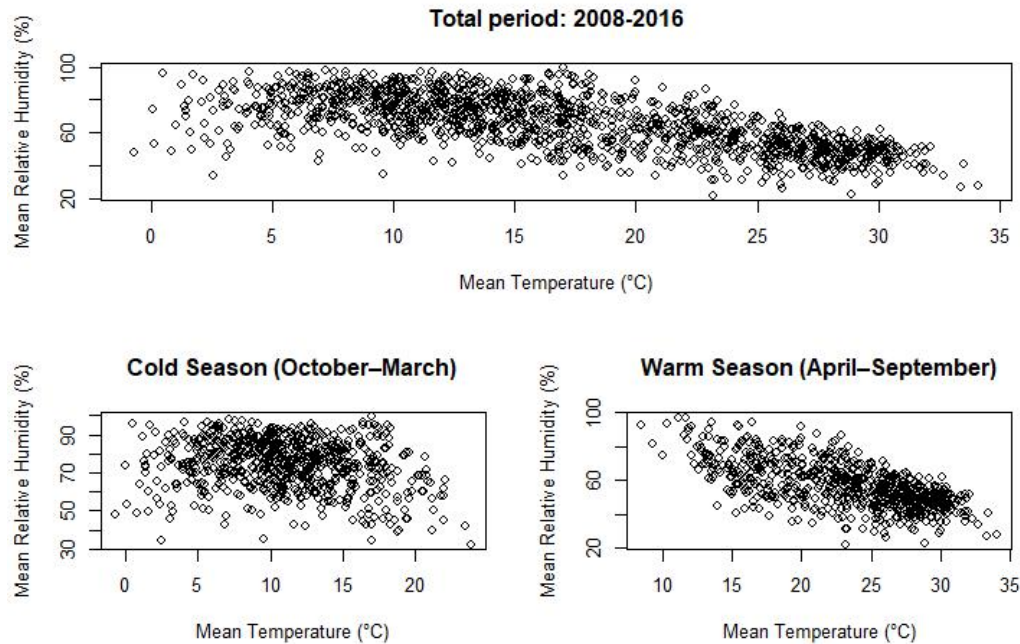
**Γράφημα 5.1.15.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για το Ηράκλειο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



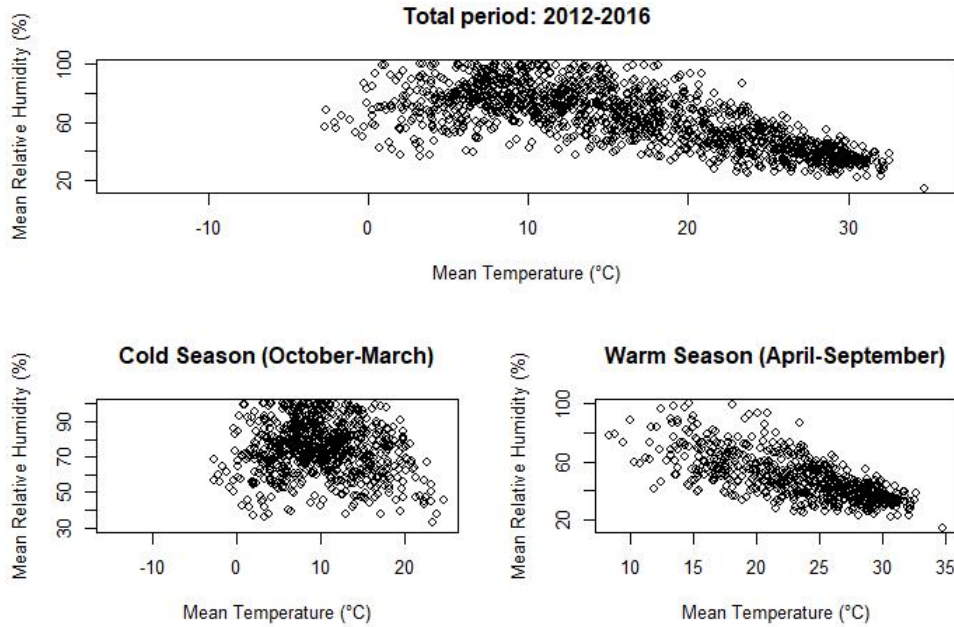
**Γράφημα 5.1.16.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για την Καβάλα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



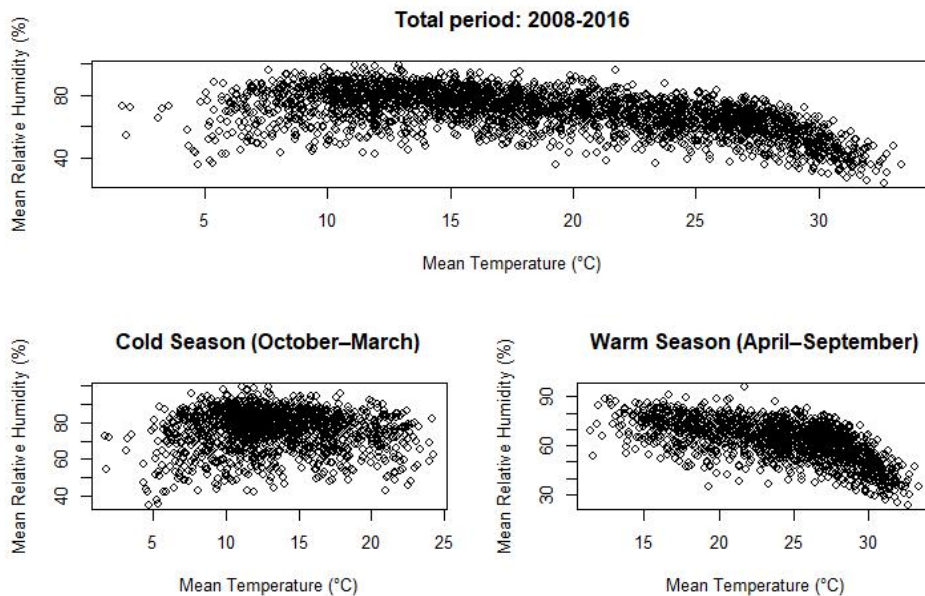
**Γράφημα 5.1.17.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Λαμία το χρονικό διάστημα 2008-2016.



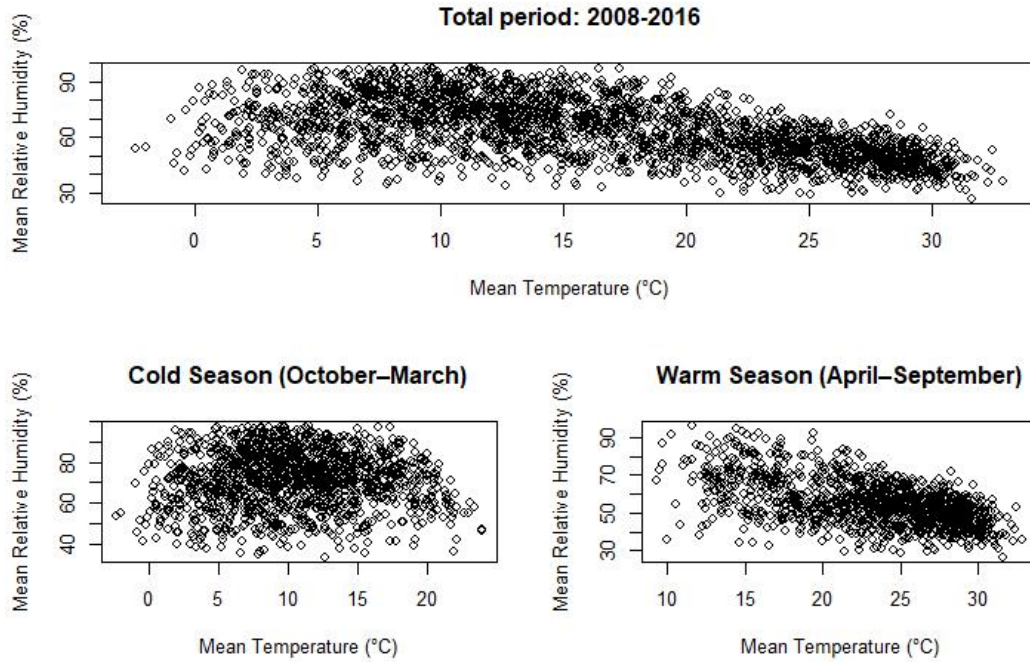
**Γράφημα 5.1.18.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Λάρισα το χρονικό διάστημα 2012-2016.



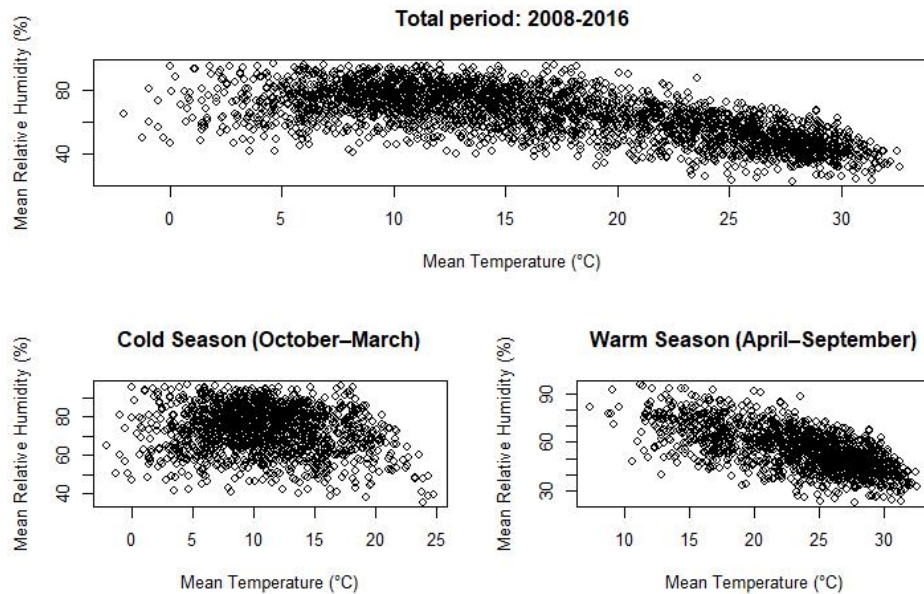
**Γράφημα 5.1.19.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για την Πάτρα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



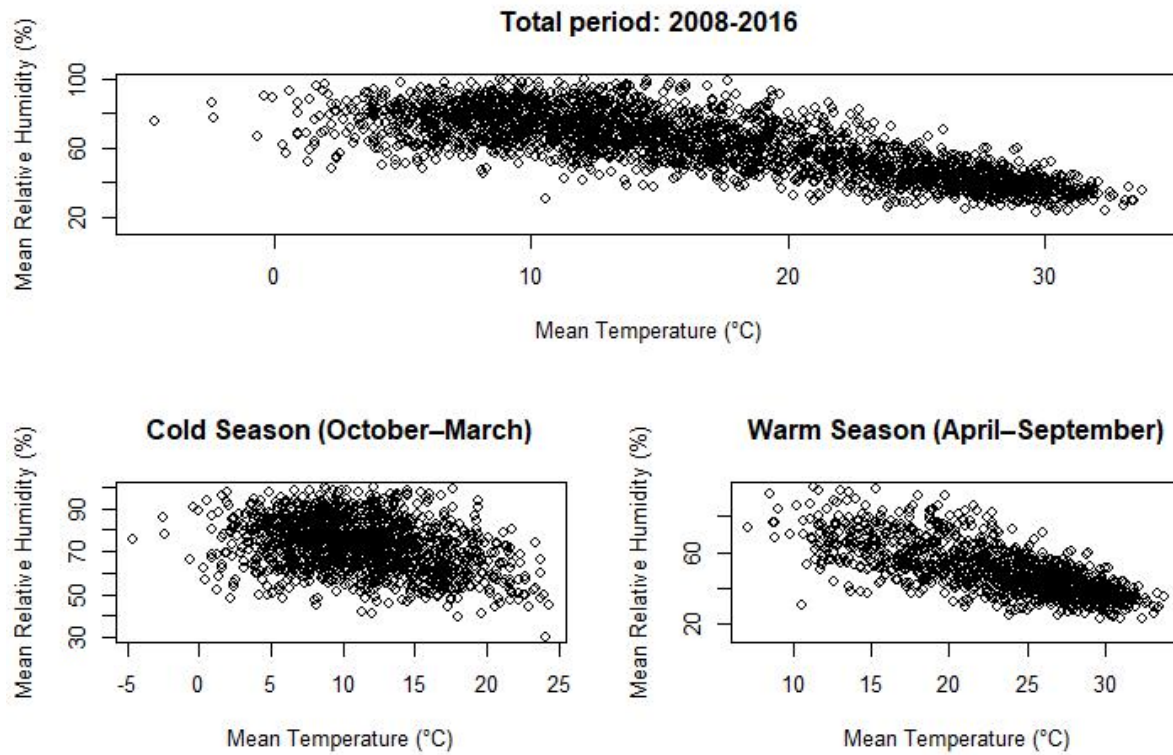
**Γράφημα 5.1.20.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Θεσσαλονίκη το χρονικό διάστημα 2008-2016.



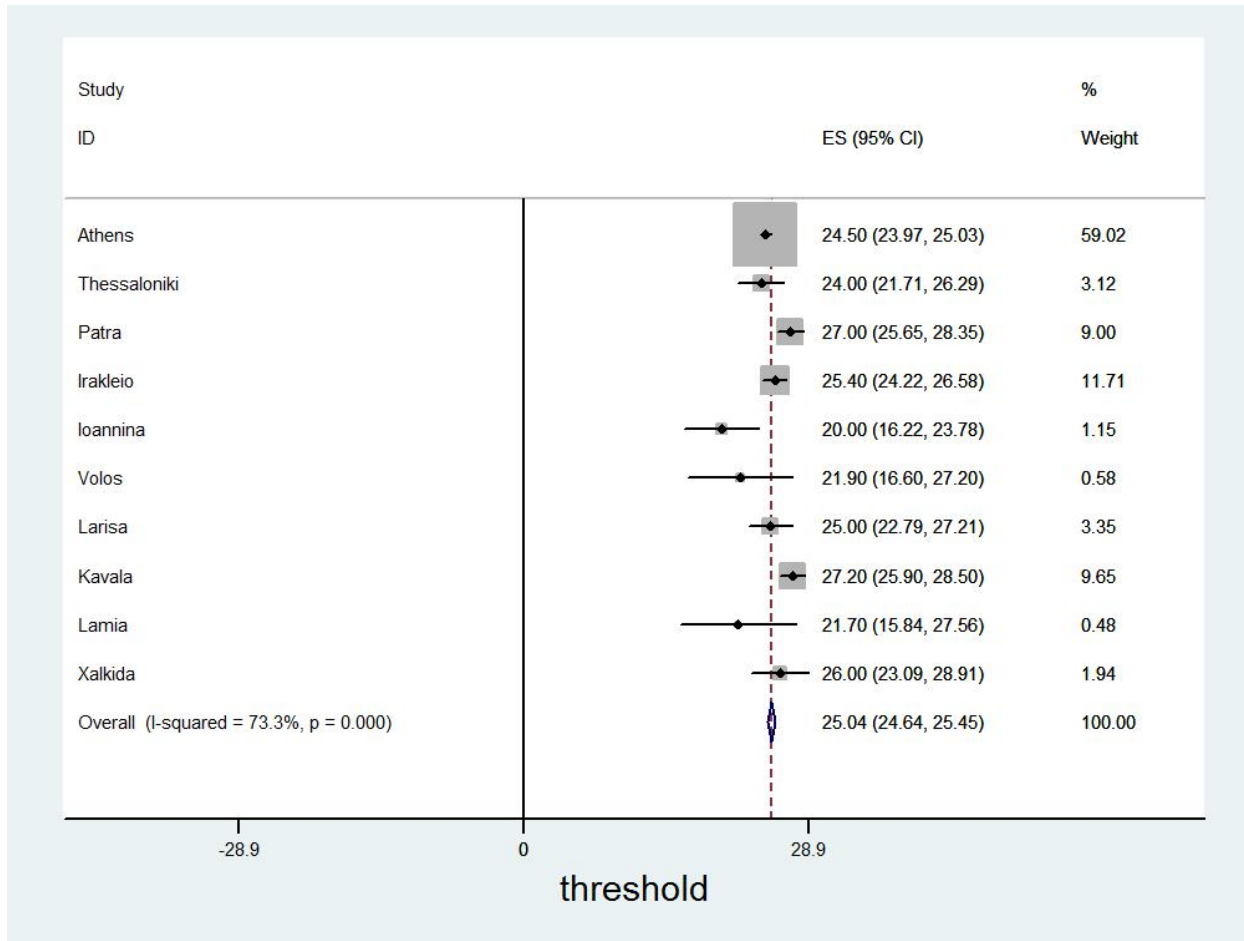
**Γράφημα 5.1.21.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για το Βόλο το χρονικό διάστημα 2008-2016.



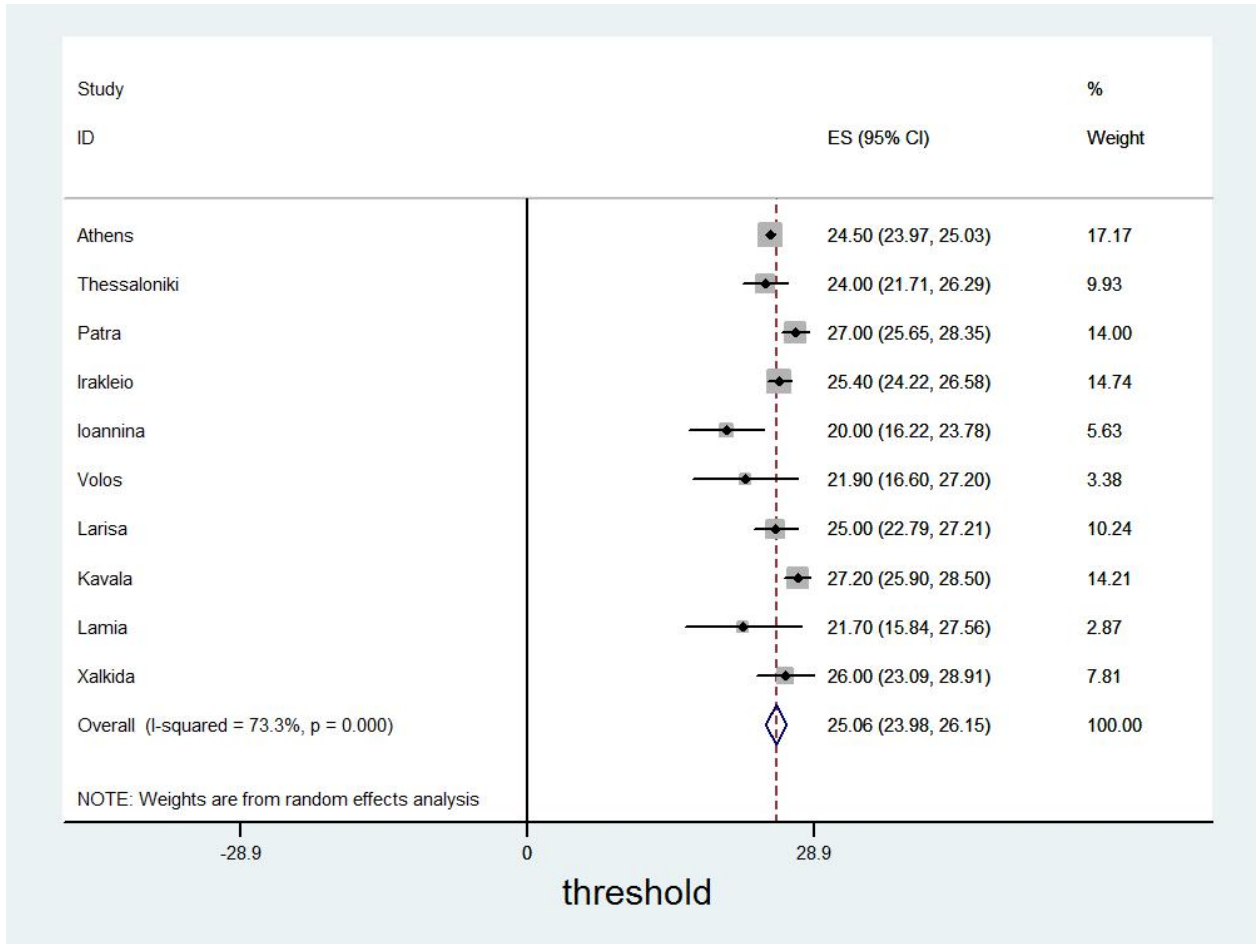
**Γράφημα 5.1.22.** Διάγραμμα της μέσης θερμοκρασίας με την μέση σχετική υγρασία για τη συνολική χρονική περίοδο, τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο για τη Χαλκίδα το χρονικό διάστημα 2008-2016.



**Γράφημα 5.5.1.** Δενδροδιάγραμμα της μετα-ανάλυσης των 10 ελληνικών πόλεων για την εκτίμηση του συνοπτικού ορίου (threshold) της θερμής περιόδου (Απρ.–Σεπτ.) των ετών 2008-2016 με χρήση μοντέλου σταθερών επιδράσεων.



**Γράφημα 5.5.2.** Δενδροδιάγραμμα της μετα-ανάλυσης των 10 ελληνικών πόλεων για την εκτίμηση του συνοπτικού ορίου (threshold) της θερμής περιόδου (Απρ.–Σεπτ.) των ετών 2008-2016 με χρήση μοντέλου τυχαίων επιδράσεων.





## Περίληψη

**Εισαγωγή:** Τα τελευταία χρόνια, οι επιπτώσεις των μετεωρολογικών παραγόντων στην υγεία έχουν ανακύψει ως ένα μείζον ζήτημα λόγω της παρατηρηθείσας και προβλεπόμενης αλλαγής του κλίματος. Μια καλύτερη κατανόηση του τρόπου και του μεγέθους με τον οποίο η θερμοκρασία επηρεάζει τις εκβάσεις υγείας σε επίπεδο περιοχής είναι καθοριστικής σημασίας για την ανάπτυξη πολιτικών προσαρμογής και δράσεων προστασίας των πολιτών από περιβαλλοντικούς κινδύνους για την υγεία και την ευημερία. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν η διερεύνηση των βραχυχρόνιων επιδράσεων των μετεωρολογικών παραγόντων στην ημερήσια θνησιμότητα από φυσικές αιτίες των κατοίκων 10 πόλεων της Ελλάδας, την περίοδο 2008-2016. Επιπροσθέτως, πέραν της ποσοτικοποίησης του μεγέθους της επίδρασης που έχει η θερμοκρασία στη θνησιμότητα ξεχωριστά για κάθε πόλη, διερευνήθηκε η όποια ετερογένεια μεταξύ τους, και τέλος, τα αποτελέσματα αποτιμήθηκαν συνολικά. Πιο συγκεκριμένα, τις 10 αυτές ελληνικές πόλεις αποτελούν η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, ο Βόλος, η Λάρισα, το Ηράκλειο, τα Ιωάννινα, η Καβάλα, η Λαμία και η Χαλκίδα.

**Υλικό και Μέθοδος:** Οι χρονοσειρές, για κάθε μία από τις 10 ελληνικές πόλεις, αποτελούνταν από τον ημερήσιο αριθμό θανάτων από φυσικά αίτια και την ημερήσια τιμή της μέσης θερμοκρασίας και της μέσης σχετικής υγρασίας. Σε κάθε πόλη εφαρμόστηκαν μοντέλα παλινδρόμησης Poisson που επέτρεπαν για την ύπαρξη υπερδιασποράς, ξεχωριστά για τη ψυχρή (Οκτώβριος-Μάρτιος) και τη θερμή περίοδο (Απρίλιος-Σεπτέμβριος) καθώς είναι αποδεδειγμένο πως η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών ακολουθεί μία διαφορετική συμπεριφορά από αυτή των χαμηλών. Αρχικά προσδιορίστηκε η χρονική δομή της σχέσης ξεχωριστά για κάθε περίοδο. Οι δομές χρονικής υστέρησης προσδιορίστηκαν χρησιμοποιώντας Μοντέλα Χρονικά Κατανεμημένων Μη Γραμμικών Επιδράσεων (Distributed Lag Nonlinear Models, DLNM). Τέλος, καταλήγοντας και στην μορφή της σχέσης της μέσης θερμοκρασίας με τη θνησιμότητα τη ψυχρή και τη θερμή περίοδο (από τα γραφήματα των Γενικευμένων Προσθετικών Μοντέλων, Generalized Additive Models) εφαρμόστηκαν τα τελικά μοντέλα για την διερεύνηση της επίδρασης της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας στην ημερήσια θνησιμότητα. Στα μοντέλα για κάθε πόλη λήφθηκαν υπόψιν πιθανοί συγχυτικοί παράγοντες, όπως η ημέρα της εβδομάδας, οι αργίες του κάθε χρόνου, ο μήνας καθώς και γραμμικοί και τετραγωνικοί όροι του χρόνου για τον έλεγχο της μακροχρόνιας τάσης. Σε δεύτερο στάδιο πραγματοποιήθηκε μετα-ανάλυση των τελικών εκτιμήσεων των σχετικών κινδύνων θανάτου (Relative Risk, RR) που υπολογίστηκαν από κάθε πόλη, ξεχωριστά για την κάθε περίοδο. Για τη σύνθεση των εκτιμήσεων κάθε πόλης χρησιμοποιήθηκαν μοντέλα Σταθερών (Fixed-Effects Models) και Τυχαίων (Random-Effects Models) Επιδράσεων.

**Αποτελέσματα:** Με βάση τα αποτελέσματα των Μοντέλων Χρονικά Κατανομημένων Μη Γραμμικών Επιδράσεων (Distributed Lag Nonlinear Models, DLNM), η επίδραση της μέσης θερμοκρασίας εκφράστηκε από τη μέση τιμή των τιμών της μέσης θερμοκρασίας της ίδιας ημέρας (lag 0) και των 13 προηγούμενων συνεχόμενων ημερών (lags 1-13), τη ψυχρή περίοδο και από τη μέση τιμή των τιμών της μέσης θερμοκρασίας της ίδιας ημέρας (lag 0) και των 3 προηγούμενων συνεχόμενων μερών (lags 1-3), τη θερμή. Τα αποτελέσματα των γενικευμένων προσθετικών μοντέλων (Generalized Additive Models, GAM) επιβεβαιώνουν πως η σχέση μεταξύ της μέσης θερμοκρασίας και της θνησιμότητας έχει V μορφή με τη τιμή της θερμοκρασίας για την οποία παρατηρείται η μικρότερη θνησιμότητα να ονομάζεται όριο-κατώφλι (threshold). Για μείωση της μέσης θερμοκρασίας (μέσος όρος των υστερημένων επιδράσεων, average of Lags 0–13) κατά 1°C, ο αριθμός των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες αυξάνεται κατά 2.2% (95% διάστημα εμπιστοσύνης: 1.9, 2.5). Το συνοπτικό όριο (meta-analytic estimate of the threshold) για όλες τις πόλεις, όπως εκτιμήθηκε από την μετα-ανάλυση, ήταν 25.1°C (95% διάστημα εμπιστοσύνης: 24, 26.1). Για αύξηση της μέσης θερμοκρασίας (μέσος όρος των υστερημένων επιδράσεων, average of Lags 0–3) κατά 1°C πάνω από την εκτίμηση του συνοπτικού ορίου για όλες τις πόλεις, ο αριθμός των ημερήσιων θανάτων από όλες τις αιτίες αυξάνεται κατά 5.7% (95% διάστημα εμπιστοσύνης: 3.7, 7.6).

**Συμπεράσματα:** Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας επιβεβαιώνουν την αρνητική επίδραση των υψηλών και χαμηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα. Παρά της πρόσφατης εστίασης στους καύσωνες, οι θάνατοι λόγω ψύχους δε παύουν να αποτελούν σημαντικό πρόβλημα δημόσιας υγείας και έτσι η επίδρασή τους δεν πρέπει να υποτιμάται. Επιπροσθέτως, επιβεβαιώνεται ότι οι επιδράσεις της μέσης θερμοκρασίας διαρκούν περισσότερο τη ψυχρή παρά τη θερμή περίοδο, κατά την οποία η επίδραση της θερμοκρασίας είναι πιο άμεση. Τα συμπεράσματά μας δείχνουν πως τόσο οι υψηλές όσο και οι χαμηλές θερμοκρασίες αποτελούν κίνδυνο για τη δημόσια υγεία στην Ελλάδα. Με βάση τα αποτελέσματα, το μέγεθος της επίδρασης της μέσης θερμοκρασίας στη θνησιμότητα διαφέρει μεταξύ των ελληνικών πόλεων για άγνωστους λόγους. Πιθανολογείται ότι αυτή η ετερογένεια οφείλεται τόσο στη κλιματική μεταβλητότητα όσο και σε δημογραφικούς, πολιτιστικούς και κοινωνικο-οικονομικούς παράγοντες. Ωστόσο το ζήτημα χρειάζεται περισσότερη διερεύνηση. Εν κατακλείδι, οι δημόσιες υπηρεσίες της χώρας θα πρέπει να είναι σε θέση να αντιμετωπίσουν τις επιπτώσεις της εμφάνισης πολύ χαμηλών ή υψηλών θερμοκρασιών στην υγεία των πολιτών και συστήνεται η ενημέρωση και η λήψη μέτρων προφύλαξης του κοινού τις ημέρες εκείνες.

## Abstract

**Introduction:** The impact of weather on human health is a matter of increasing concern, especially in light of the observed and predicted climate change. Optimal health protection requires an understanding of the nature of the effect of weather conditions on health at the level of geographic region. The primary purpose was to investigate the relationship between weather and mortality in 10 greek cities: Athens, Thessaloniki, Patra, Volos, Larisa, Heraklion, Ioannina, Kavala, Lamia and Xalkida. Another purposes was to explore heterogeneity among the cities and summarize the results.

**Data and Methods:** The database included daily counts of all-cause mortality, mean temperature and mean relative humidity for each city assembled for 8 years between 2008 and 2016. City-specific Poisson regression models were fitted separately for warm (April–September) and cold (October–March) periods as it is proved that the effect of high temperatures on mortality follow a different pattern in comparison to the effect of the low ones. The analysis was carried out in 2 stages. In the first stage, individual-city data were analyzed and city-specific effect estimates were obtained, which were subsequently used in a second-stage analysis to investigate heterogeneity and provide overall estimates for cold and warm season, respectively. First step was the investigation of the delayed effect of mean temperature on mortality for each city, separately for cold and warm period. The lag structures for each period and for each city were determined using Distributed Lag Nonlinear Models (DLNM). Second step was to determine the shape of the relationship between mean temperature and mortality for each city for cold and warm period, respectively, using Generalized Additive Models (GAM). A final model was specified for each city, taking into account potential confounders: holidays; day of the week; calendar month; and linear and quadratic terms for time to discern the potentially remaining longterm trend. In the second-stage analysis, fixed- and random- effects meta-analysis was performed to combine the city-specific effect estimates of mean temperature on mortality.

**Results:** The lag structure determined by Distributed Lag Nonlinear Models (DLNM) for the cold period was the average exposure of mean temperature for the same and 13 previous days (lag 0-13) while for the warm period was the average exposure of mean temperature for the same and 3 previous days (lag 0-3). The results of the Generalized Additive Models (GAM) confirmed that the relationship between mean temperature and mortality were V shaped for all the cities with a change-point that varied among cities. This change-point is the value of mean

temperature associated with the minimum mortality rate and it is called city-specific threshold. A 1°C decrease in mean temperature (average of lags 0-13) was associated with a 2.2% (95% confidence interval (CI): 1.9, 2.5) increase in the daily number of total natural deaths. The meta-analytic estimate of the threshold was 25.1°C (95% confidence interval (CI): 24, 26.1) for all the cities. A 1°C increase in mean temperature (average of lags 0-3) above the meta-analytic estimate of the threshold was associated with a 5.7% (95% confidence interval (CI): 3.7, 7.6) increase in the daily number of total natural deaths.

**Conclusions:** The findings provide evidence that high and low values of mean temperature are inversely associated with mortality. Cold-related mortality is also an important public health problem across Greece and it should not be underestimated by public health authorities because of the recent focus on heat-wave episodes. The results also confirm that the effects of temperature are more prolonged in cold period compared to the warm period. This study suggests that the nature of the effects of temperature and humidity on mortality vary between cities for unknown reasons which require further investigation but may relate to city-specific population, socioeconomic, and environmental characteristics. This may have consequences on epidemiological studies and local temperature-related warning systems. Concluding, considering the results, prevention programs should be planned by authorities specifically on days with very high or low temperature in order to reduce the burden of heat- and cold-related mortality.

## Βιβλιογραφία

Analitis, A., Katsouyanni, K., Biggeri, A., Baccini, M. Forsberg, B., Bisanti, L., et al. Effects of cold weather on mortality: results from 15 European cities within the PHEWE Project. *American Journal of Epidemiology*. 2008;168(12):1397-1408.

Analitis A, Michelozzi P, D'Ippoliti D, De'Donato F, Menne B, Matthies F, Atkinson RW, Iñiguez C, Basagaña X, Schneider A, Lefranc A, Paldy A, Bisanti L, Katsouyanni K. Effects of heat waves on mortality: effect modification and confounding by air pollutants. *Epidemiology*. 2014;25(1):15-22.

Anderson, G.B. & Bell, M.L. Weather-related mortality: how heat, cold, and heat waves affect mortality in the United States. *Epidemiology*. 2009;20(2):205–213.

Armstrong B. Models for the relationship between ambient temperature and daily mortality. *Epidemiology*. 2006;17(6)624–631.

Armstrong et al. The Role of Humidity in Associations of High Temperature with Mortality: A Multicountry, Multicity Study. *Environmental Health Perspectives*. 2019;127(9):97007.

Australian Government, Bureau of Meteorology, 2010, Thermal comfort observations, site: [http://www.bom.gov.au/info/thermal\\_stress/](http://www.bom.gov.au/info/thermal_stress/) (visit on 17OCT2019).

Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K. Analitis, A., et al. Heat Effects on Mortality in 15 European Cities. *Epidemiology*. 2008;19(5):711–719.

Ballester F, Michelozzi P, Iñiguez C. Weather, climate, and public health. *J Epidemiol Community Health*. 2003;57(10):759–760.

Basu R, Feng WY, Ostro BD. Characterizing temperature and mortality in nine California counties. *Epidemiology*. 2008;19:138–145.

Borenstein M., Hedges L. V., Higgins J. P. T., & Rothstein H. R. Introduction to meta-analysis. 2009. John Wiley & Sons, Ltd.

Braga, A.L., Zanobetti, A. & Schwartz, J. The time course of weather-related deaths. *Epidemiology*. 2001;12(6):662-667.

Braga ALF, Zanobetti A, Schwartz J. The effect of weather on respiratory and cardiovascular deaths in 12 U.S. cities. *Environ Health Perspect*. 2002;110:859-863.

Chiusolo M, Cadum E, Stafoggia M, Galassi C, Berti G, Faustini A et al. Short-term effects of nitrogen dioxide on mortality and susceptibility factors in 10 Italian cities: the EpiAir Study. *Environ Health Perspect*. 2011;9(9):1233–1238.

DerSimonian R. and Laird N. Meta-Analysis in Clinical Trials. *Control Clinical Trials*, 1986;7(3):177-188.

Dominici F., A. McDermott, and T. Hastie. Improved semiparametric time series models of air pollution and mortality. *J Am Statist Assoc*. 2004;99(468):938-948.

Donaldson GC, Ermakov SP, Komarov YM, et al. Cold related mortalities and protection against cold in Yakutsk, eastern Siberia: observation and interview study. *BMJ*. 1998;317(7164):978–982.

Gasparri A. & Armstrong, B. Time series analysis on the health effects of temperature: advancements and limitations. *Environmental Research*. 2010;110(6): 633- 638.

Gasparri A., Armstrong, B. & Kenward M.G. Distributed lag non-linear Models. *Statistics in Medicine*. 2010;29(21):2224-2234.

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

Hajat, S., O'Connor, M., & Kosatsky, T. Health effects of hot weather: from awareness of risk factors to effective health protection. *The Lancet*. 2010;375(9717):856–863.

Hales S, Salmond C, Town GI, Kjellstrom T, Woodward A. Daily mortality in relation to weather and air pollution in Christchurch, New Zealand. *Aust N Z J Public Health*. 2000;24:89–91.

Higgins JP, Thompson SG. Quantifying heterogeneity in a meta-analysis. *Stat Med*. 2002;21(11):1539-1558.

Higgins, Julian & Thompson, Simon & Deeks, Jonathan & Altman, Douglas. Measuring Inconsistency in Meta-Analyses. *BMJ (Clinical research ed.)*. 2003;3(27): 557-60.

Iliana Magra, Elian Peltier and Constant Méheut. Europe Braces for "Hottest Day of the Year". *New York Times*. Retrieved 25 July 2019.

Kabir, M. I., Rahman, M. B., Smith, W., Lusha, M. A. F., Azim, S., & Milton, A. H. Knowledge and perception about climate change and human health: findings from a baseline survey among vulnerable communities in Bangladesh. *BMC public health*. 2016;16(1):1;

Kalkstein, L.S. & Valimont, K.M. An evaluation of summer discomfort in the United States using a relative climatological index. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1986;67(7):842-842.

Kassomenos, P., Gryparis, A., Samoli, E., Katsouyanni, K., Lykoudis, S. & Flocas H.A. Atmospheric circulation types and daily mortality in Athens, Greece. *Environmental Health Perspectives*. 2001;109(6):591-596.

Katsouyanni K, Pantazopoulou A, Touloumi G, et al. Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality. *Arch Environ Health*. 1993;48:235–242.

Katsouyanni K, Schwartz J, Spix C, Touloumi G, Zmirou D, Zanobetti A et al. Short term effects of air pollution on health: a European approach using epidemiologic time series data: the APHEA protocol. *J Epidemiol Community Health*. 1996;50(1):12–18.

Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopoli Y et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 Project. *Epidemiology*. 2001;12(5):521–531.

Katsouyanni, K., Trichopoulos, D., Zavitsanos, X., & Touloumi, G. The 1987 Athens Heatwave. *The Lancet*. 1988;332(8610):573.

Keatinge WR, Donaldson GC, Bucher K, et al. Winter mortality in relation to climate. *Int J Circumpolar Health*. 2000;59(3-4):154–159.

Michelozzi P, Accetta G, Desario M et al. High temperature and hospitalizations for cardiovascular and respiratory causes in 12 European cities. *American of Respiratory and Critical Care Medicine*. 2008;179(5):383–389

Michelozzi P., Kirchmayer U., Katsouyanni K., Biggeri A., McGregor G., Menne B. et al. Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, the PHEWE Project: background, objectives, design. *Environmental Health*. 2007;6:12.

Muggeo, V.M.R. Estimating regression models with unknown break-points. *Statistics in Medicine*. 2003;22(19):3055-3071.

Muggeo, V.M.R. Segmented: An R package to fit regression models with broken-line relationships. *R News* 2008;8(1):20-25. (site: <http://cran.r-project.org/doc/Rnews/>)

Normand SLT. Meta-analysis: formulating, evaluating, combining and reporting. *Stat Med*. 1999;18:321–359.

Parodi S, Vercelli M, Garrone E, Fontana V, Izzotti A. Ozone air pollution and daily mortality in Genoa, Italy between 1993 and 1996. *Public Health*. 2005;119:844–850.



Peng R.D., Dominici F. Statistical Methods for Environmental Epidemiology with R, a case study in air pollution and health. *Springer*. 2008.

Peng R.D., F. Dominici & T. A. Louis. Model choice in time series studies of air pollution and mortality (with discussion). *Journal of Royal Statistical Society*. 2006;169(2):179-203.

Qian Z, He Q, Lin HM, et al. High temperatures enhanced acute mortality effects of ambient particle pollution in the “oven” city of Wuhan, China. *Environ Health Perspect*. 2008;116:1172–1178.

Robine et al. Death toll exceeded 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C. R. Biologies*. 2008;331.

Ren C, Williams GM, Tong S. Does particulate matter modify the association between temperature and cardiorespiratory diseases? *Environ Health Perspect*. 2006;114: 1690–1696.

Ren C, Williams GM, Morawska L, Mengersen K, Tong S. Ozone modifies associations between temperature and cardiovascular mortality: analysis of the NMMAPS data. *Occup Environ Med*. 2008;65:255–260.

Roberts S. Interactions between particulate air pollution and temperature in air pollution mortality time series studies. *Environ Res*. 2004;96:328–337.

Rodopoulou S. et al. Searching for the best modeling specification for assessing the effects of temperature and humidity on health: a time series analysis in three European cities. *International journal of biometeorology*. 2015;59.

Sartor F, Demuth C, Snacken R, Walckiers D. Mortality in the elderly and ambient ozone concentration during the hot summer, 1994, in Belgium. *Environ Res*. 1997;72:109–117.

Stafoggia M, Schwartz J, Forastiere F, Perucci CA; SISTI Group. Does temperature modify the association between air pollution and mortality? A multicity case-crossover analysis in Italy. *Am J Epidemiol*. 2008;167:1476–1485.

Steadman, R.G. The assessment of sultriness. Part I: a temperature-humidity index based on human physiology and clothing science. *Journal of Applied Meteorology*. 1979a;18:861–873.

Steadman, R.G. The assessment of sultriness. Part II: effects of wind, extra radiation and barometric pressure on apparent temperature. *Journal of Applied Meteorology*. , 1979b;18:874–885.

Steadman, R.G. Norms of apparent temperature in Australia. *Australian Meteorological Magazine*. 1994;43:1-16.

*The Pennsylvania State University*. STAT 462. Lesson 10: Regression Pitfalls

(site: <https://online.stat.psu.edu/stat462/node/88/> )

Touloumi G, Pocock SJ, Katsouyanni K, et al. Short-term effects of air pollution on daily mortality in Athens: a timeseries analysis. *Int J Epidemiol*. 1994;23(5):957–967.

Touloumi G. et al. Seasonal confounding in air pollution and health time-series studies: effect on air pollution effect estimates. *Statistics in Medicine* 2006;25(24):4164-4178.

Wilkinson P, Armstrong B. Housing and excess winter death from cardiovascular disease in England, 1986–1996. Report to Joseph Rowntree Foundation. London, United Kingdom: London School of Hygiene and Tropical Medicine; 2001.

Zanobetti A, Schwartz J. Temperature and mortality in nine US cities. *Epidemiology*. 2008;19:563–570.

Βικιπαιδεία. 2019. Μετεωρολογία (site:

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%84%CE%B5%CF%89%CF%81%CE%BF%CE%BB%CE%BF%CE%B3%CE%AF%CE%B1> )

Βικιπαίδεια. 2018. Θερμοκρασία ατμόσφαιρας (site:

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1\\_%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8C%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B1%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%98%CE%B5%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%BA%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1_%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8C%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B1%CF%82) )

Βικιπαίδεια. 2018. Υγρασία ατμόσφαιρας (site:

[https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1\\_%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8C%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B1%CF%82](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A5%CE%B3%CF%81%CE%B1%CF%83%CE%AF%CE%B1_%CE%B1%CF%84%CE%BC%CF%8C%CF%83%CF%86%CE%B1%CE%B9%CF%81%CE%B1%CF%82) )

Ροδοπούλου Σ. Διερεύνηση και αναζήτηση βέλτιστων μεταβλητών έκφρασης της επίδρασης της θερμοκρασίας στην υγεία. 2013. Διπλωματική Εργασία. *Εργαστήριο Υγιεινής και Επιδημιολογίας, Τομέας Κοινωνικής Ιατρικής -Ψυχιατρικής και Νευρολογίας, Τμήμα Ιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.*

Σαμόλη Ε. Καμπύλες δοσολογικής απόκρισης στη συσχέτιση χρονοσειρών ατμοσφαιρικών ρύπων και θνησιμότητας σε 30 ευρωπαϊκές πόλεις. 2005. Διδακτορική Διατριβή. *Εργαστήριο Υγιεινής και Επιδημιολογίας, Τομέας Κοινωνικής Ιατρικής -Ψυχιατρικής και Νευρολογίας, Τμήμα Ιατρικής, Σχολή Επιστημών Υγείας, Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών.*

Φείδας Χ. Γενική Μετεωρολογία. 2013. *Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ.*

(site: <http://www.geo.auth.gr/courses/gmc/gmc318y/> )