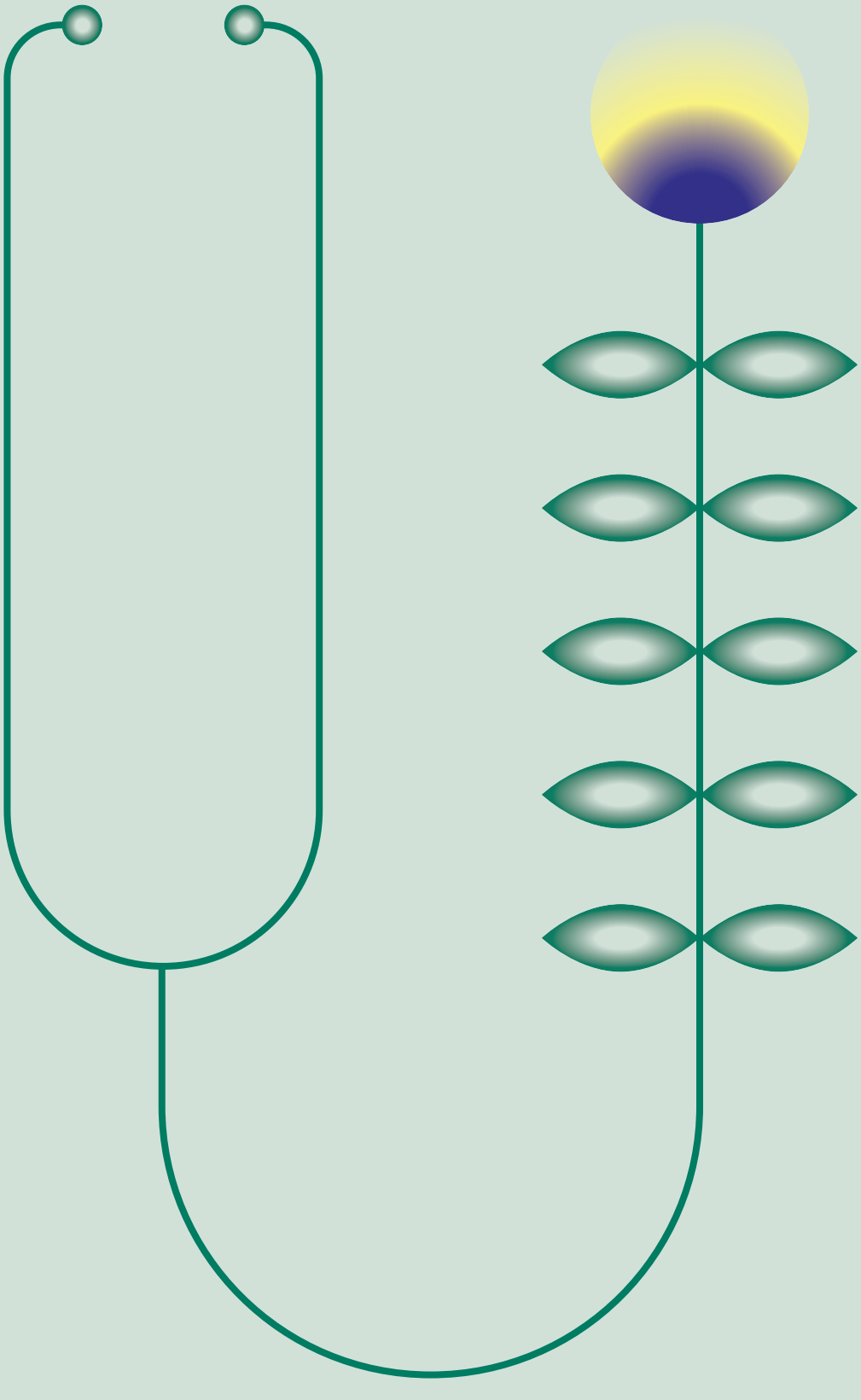
Περιβάλλον & Υγεία 2019

ΕΚΠΑΑ



Περιβάλλον & Υγεία 2019

ΕΚΠΑΑ

ISBN: 978-618-84787-7-0

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
& ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ (Ε.Κ.Π.Α.Α.) 2020

Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος & Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΚΠΑΑ)
Έπαυλη Καζούλη, Λεωφ. Κηφισίας 241
Κηφισιά, Τ.Κ. 14561, Αθήνα
T +30 210 8089271, 3, F +30 210 8084707, E info-ekpaa@prv.ypeka.gr
http://ekpaa.ypeka.gr/

Πίνακας Περιεχομένων

Πρόλογος 6

Εισαγωγή στην Έκδοση Περιβάλλον και Υγεία 7

Κεφάλαιο Α
Επιδράσεις στην υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα 16

Σύνοψη 17

Εισαγωγή 22

Α. Βάση δεδομένων 23

Α.1. Δεδομένα Ατμοσφαιρικής Ρύπανσης 23

Α.1.1. Μετρήσεις από σταθερούς σταθμούς του ΥΠΕΚΑ στην Ελλάδα για το διάστημα 2012-2018 24

Α.1.2. Δεδομένα από μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και στο Ηράκλειο στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ESCAPE 33

Α.1.3. Εκτιμήσεις επιπέδων ατμοσφαιρικών ρύπων σύμφωνα με τα αποτελέσματα μοντέλου που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο του έργου του ΥΠΕΚΑ 35

Α.2. Δεδομένα πληθυσμιακής κατανομής και υγείας 41

Α.3. Συναρτήσεις έκθεσης-έκβασης 51

Α.4. Αποτίμηση της επιβάρυνσης της υγείας του ελληνικού πληθυσμού από την έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση 53

Α.4.1.	Αποτίμηση της επιβάρυνσης από τη μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην ολική θνησιμότητα από φυσικές αιτίες	54
Α.4.2.	Αποτίμηση της επιβάρυνσης από τη μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικά σωματίδια στην κατά αιτία θνησιμότητα	59
Α.4.3.	Αποτίμηση της επιβάρυνσης λόγω βραχυχρόνιας έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην θνησιμότητα στα αστικά κέντρα	67
Α.4.4.	Αποτίμηση της επιβάρυνσης από τη βραχυχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην καρδιαγγειακή και αναπνευστική νοσηρότητα στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας	71
Α.5.	**Συμπεράσματα**	72
Κεφάλαιο Β **Κλιματική αλλαγή και υγεία**		74
	Σύνοψη Κλιματική αλλαγή και υγεία	75
	Εισαγωγή	85
Β.	**Θερμική άνεση**	89
Β.1.	Ομοιόσταση και θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί	89
Β.1.2.	Προσαρμογή και εγκλιματισμός	90
Β.1.3.	Θερμική άνεση, αίσθηση, επιβάρυνση και ένταση	91
Β.1.4.	Θερμικοί δείκτες (ή βιοκλιματικοί δείκτες)	93
Β.1.5.	Μοντέλα και εξίσωση θερμικού ισοζυγίου	94
Β.2.	**Σύνδεση ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος με τη θνησιμότητα, τη νοσηρότητα και τη θερμική άνεση**	95
Β.3.	**Θνησιμότητα, νοσηρότητα και θερμική άνεση κατά τη διάρκεια επεισοδίων καύσωνα**	112
Β.4.	**Προβολή των επιπέδων δυσφορίας στο μέλλον**	118
Β.5.	**Μέτρα πρόληψης**	127
Β.6.	**Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε ασθένειες που σχετίζονται με κουνούπια φορείς**	129

Β.6.1.	Κουνούπια εισβολείς στην Ελλάδα και την Ευρώπη	129
Β.6.2.	Περιγραφή ασθενειών των οποίων η μετάδοση συνδέεται με κουνούπια διαβιβαστές	133
Β.6.3.	Η επίδραση αβιοτικών παραγόντων στους πληθυσμούς των κουνουπιών και στη μετάδοση ασθενειών στον κόσμο και την Ελλάδα	135
Β.6.4.	Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα και την Ευρώπη σε είδη κουνουπιών που αποτελούν δυνητικούς φορείς ασθενειών για τον άνθρωπο	140
Β.6.4.1.	Πιθανές μεταβολές στη γεωγραφική συμβατότητα συγκεκριμένων ειδών κουνουπιών σε διάφορα κλιματικά σενάρια	140
Β.6.4.2.	Πιθανές μεταβολές στη δυνητική ετήσια διάρκεια της δραστηριότητας του κουνουπιού Aedes albopictus με βάση το σενάριο κλιματικής αλλαγής SRES-A1B	146
Β.6.5.	Εκτίμηση της διάδοσης ασθενειών από κουνούπια φορείς με βάση σενάρια κλιματικής αλλαγής	148
Β.6.5.1.	Ιός του Δυτικού Νείλου	148
Β.6.5.2.	Ιός Chikungunya	151
Β.6.5.3.	Δάγγειος ιός	155
Β.6.5.4.	Σύνοψη των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στη μετάδοση ασθενειών από κουνούπια διαβιβαστές στην Ελλάδα	159
Β.6.6.	Μέτρα πρόληψης/αντιμετώπισης των κουνουπιών	160
Β.7.	**Εκτίμηση των διαχρονικών μεταβολών και των προβολών στο μέλλον της θερμικής επιβάρυνσης στον πληθυσμό της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης**	162
Β.7.1.	**Εισαγωγή**	162
Β.7.2.	**Δεδομένα – Μεθοδολογία**	163
Β.7.2.1	Περιοχές μελέτης και μετεωρολογικά δεδομένα	163
Β.7.2.2	Δεδομένα για μελλοντικές εκτιμήσεις	164
Β.7.2.3.	Δείκτες εκτίμησης της θερμικής επιβάρυνσης	164
Β.8.	**Αποτελέσματα στην περιοχή της Αθήνας**	168
Β.8.1.	Ενδο-δεκαετή και πολύ-δεκαετή κατανομή της θερμής επιβάρυνσης στην Αθήνα	168

Β.8.2. Διαχρονικές διακυμάνσεις και τάσεις του χρόνου έκθεσης υπό θερμή επιβάρυνση στην Αθήνα 172

Β.8.3. Διακυμάνσεις και τάσεις της περιόδου εμφάνισης συνθηκών θερμής επιβάρυνσης στην Αθήνα 175

Β.8.4. Εκτίμηση των επιπέδων θερμής επιβάρυνσης στο μέλλον για την Αθήνα 178

Β.8.5. Συζήτηση και συμπεράσματα για την Αθήνα 183

Β.9. Αποτελέσματα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης 185

Β.9.1. Ενδο-δεκαετή και πολύ-δεκαετή κατανομή της θερμής επιβάρυνσης στη Θεσσαλονίκη 185

Β.9.2. Διαχρονικές διακυμάνσεις και τάσεις του χρόνου έκθεσης υπό θερμή επιβάρυνση στη Θεσσαλονίκη 189

Β.9.3. Διακυμάνσεις και τάσεις της περιόδου εμφάνισης συνθηκών 192

Β.9.4. Εκτίμηση των επιπέδων θερμής επιβάρυνσης στο μέλλον για τη Θεσσαλονίκη 195

Β.9.5. Συζήτηση και συμπεράσματα για τη Θεσσαλονίκη 201

Β.10. Συμπεράσματα 202

Βιβλιογραφία 203

Πρόλογος

Η έκδοση του Εθνικού Κέντρου Περιβάλλοντος και Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΚΠΑΑ) «Περιβάλλον και Υγεία» συμπίπτει με μια πρωτόγνωρη συγκυρία για την παγκόσμια κοινότητα. Η πανδημία του COVID-19 έφερε τα θέματα του αγαθού της υγείας στο προσκήνιο και μας κάλεσε να αναθεωρήσουμε σχετικά με την τρωτότητά μας στο εξωτερικό περιβάλλον.

Η νέα έκδοση του ΕΚΠΑΑ αναδεικνύει την άρρηκτη σχέση μεταξύ του περιβάλλοντος και της υγείας μας συνεχίζοντας το έργο του με την παροχή ανεξάρτητης περιβαλλοντικής πληροφόρηση σε όλους τους πολίτες. Δίνει έτσι ένα ακόμα σήμα στην ελληνική πολιτεία για την ανάγκη τερματισμού της συνεχόμενης υποβάθμισης του περιβάλλοντος που επικρατεί στη χώρα. Οι μέχρι τώρα ρυθμίσεις περιβαλλοντικής προστασίας αντιμετωπίζουν το περιβάλλον και τη φύση ως εμπόδιο ευημερίας. Αντίθετα η έκδοση αυτή τονίζει οτι η λήψη ουσιαστικών μέτρων περιβαλλοντικής προστασίας είναι μέρος της λύσης. Σε μια περίοδο όπου το περιβάλλον αντιμετωπίζεται περισσότερο ως μέσο πλουτισμού παρά ως αυτόνομο στοιχείο πλούτου και ευημερίας, και ενώ η υγεία βρίσκεται στο επίκεντρο των μέτρων πολιτικής και των κοινωνικών συζητήσεων, οφείλουμε να αναγνωρίσουμε οτι η ευημερία και η υγεία μας είναι άμεσα συνδεδεμένη με το περιβάλλον.

Συγκεκριμένα, η έκδοση του ΕΚΠΑΑ για το Περιβάλλον και Υγεία αναλύει τις επιπτώσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής στην ανθρώπινη υγεία. Κύριοι συντελεστές είναι φορείς με μεγάλη σχετική εμπειρία, όπως το Πανεπιστήμιο Αθηνών και το Εθνικό Αστεροσκοπείο.

Σε αυτή τη κατεύθυνση η έκδοση παραθέτει επιστημονικά στοιχεία που καταδεικνύουν ότι η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης θα οδηγήσει σε χιλιάδες λιγότερους θανάτους κάθε χρόνο (π.χ. από νοσήματα του καρδιαγγειακού και αναπνευστικού συστήματος). Η έκθεση εκτιμά ότι περίπου 8600 ανθρώπινες ζωές μπορεί να σωθούν μέσα από την αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Χιλιάδες θάνατοι μπορούν να αποφευχθούν κάθε χρόνο αν η κοινωνία λάβει τα απαραίτητα μέτρα για να μειωθούν οι συγκεντρώσεις στο μισό από τα σημερινά τους επίπεδα.

Επιπλέον, η έκδοση παραθέτει επιστημονικά στοιχεία σχετικά με τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία. Η κλιματική αλλαγή αποτελεί αναμφίβολα τη μεγάλη πρόκληση της εποχής μας, αφού επεμβαίνει σε όλους του τομείς ζωής του πλανήτη, με ακραία καιρικά φαινόμενα, ξηρασία, πλημμύρες, καταστροφή των ακτών και της βιοποικιλότητας και άλλες πρωτοφανείς για την κοινωνία μας επιπτώσεις. Στη χώρα μας, η κλιματική αλλαγή συνδέεται άμεσα με τη δημόσια υγεία μέσω της θερμικής δυσφορίας η οποία μπορεί να προκαλέσει θανάτους που συνδέονται με καρδιαγγειακά και αναπνευστικά προβλήματα. Επιπλέον, ευνοεί τις συνθήκες για μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο μέσω οργανισμών διαβιβαστών, ιδίως κουνουπιών. Οι επιπτώσεις αυτές αναλύονται με επιστημονικό τρόπο στην παρούσα έκδοση.

Ο τρόπος αντιμετώπισης των αυξανόμενων περιβαλλοντικών προκλήσεων είναι πλέον γνωστός. Η επιστημονική κοινότητα έχει εδώ και χρόνια προτείνει μέτρα για την αντιμετώπισή των δυσμενών επιπτώσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και της κλιματικής αλλαγής. Οι αλλαγές που απαιτούνται είναι λιγότερο επεμβατικές από αυτές που χρειάστηκαν κατά την πρόσφατη εμπειρία μας με τον COVID-19, τόσο σε συλλογικό όσο και σε ατομικό επίπεδο. Ταυτόχρονα όμως απαίτουν μια συστημική αλλαγή προς διαφορετικά πρότυπα παραγωγής και κατανάλωσης, περιλαμβάνοντας μεταξύ άλλων την μετάβαση στην βιώσιμη κινητικότητα, τη ριζική μείωση χρήσης ορυκτών καυσίμων, την μετάβαση σε ένα βιώσιμο διατροφικό μοντέλο, την επανάχρηση υλικών κ.α.

Στο χέρι μας είναι να αντιληφθούμε ότι το περιβάλλον είναι ο σύμμαχός μας για μια καλύτερη ζωή, είναι το σπίτι μας, είναι η ανάσα μας. Ας μην περιμένουμε την πανδημία της καταστροφής του περιβάλλοντος για να δράσουμε.

Ζωή Βροντίση

Πρόεδρος ΔΣ ΕΚΠΑΑ
Αθήνα, Μάϊος 2020

Εισαγωγή στην Έκδοση Περιβάλλον και Υγεία

Εισαγωγή

Το περιβάλλον αποτελεί το σύνολο των φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων που βρίσκονται σε αλληλεπίδραση και επηρεάζουν την οικολογική ισορροπία, την ποιότητα της ζωής, την υγεία των κατοίκων, την ιστορική και πολιτιστική παράδοση και τις αισθητικές αξίες (Ν. 1650/1986). Στην αναπόσπαστη σχέση που συνδέει τον άνθρωπο με το περιβάλλον και στην αμοιβαία επίδραση του ενός πάνω στον άλλο, η διαφύλαξη της ποιότητας του περιβάλλοντος αποτελεί προϋπόθεση για την προστασία της ανθρώπινης υγείας. Από τη δεκαετία του 70', λόγω των ιδιαίτερα αυξημένων επιπέδων ρύπανσης, της μείωσης των φυσικών πόρων και της συνακόλουθης ενεργειακής κρίσης, η προστασία του περιβάλλοντος αποτελεσεένα από τα φλέγοντα θέματα της πολιτικής σε διεθνές και ευρωπαϊκό επίπεδο και τυγχάνει πλέον αξιοσημείωτης νομικής προστασίας.

Η διασφάλιση της ποιότητας του περιβάλλοντος συνδέεται άμεσα με την προστασία της ανθρώπινης υγείας, καθότι οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι για την υγεία σχετίζονται με τις παθογόνες επιδράσεις βιολογικών, χημικών και φυσικών παραγόντων. Χαρακτηριστικό διεθνές κείμενο που συνδέει την ανθρώπινη υγεία με το περιβάλλον είναι η Σύμβαση του Άαρχους που αναγνωρίζει ως στόχο «την προστασία του δικαιώματος κάθε πολίτη, της παρούσας και των επερχόμενων γενεών να ζει σε ένα περιβάλλον κατάλληλο για τη υγεία του και τη σωστή του διαβίωση». Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), το περιβάλλον είναι καθοριστικός παράγοντας για την υγεία που εκτιμάται ότι συντελεί στο 20% της θνησιμότητας στην Ευρώπη. Βασικοί περιβαλλοντικοί κίνδυνοι που έχουν αναγνωριστεί ως επιδρώντες στην υγεία είναι η κλιματική αλλαγή, η ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα, το μη ασφαλές πόσιμο νερό και χαμηλό επίπεδο υγιεινής,η ρύπανση του εδάφους καιο θόρυβος. Ταυτόχρονα, πρόσφατα έχουν αναλυθεί οι θετικές επιπτώσεις του περιβάλλοντος στην ανθρώπινη υγεία, μέσω των οικοσυστημικών υπηρεσιών και των δασών.

Ο όρος «οικοσυστημικές υπηρεσίες» αναφέρεται στα οφέλη που παρέχει το φυσικό περιβάλλον στον άνθρωπο, συμβάλλοντας στη διατήρηση της υγείας και της ευημερίας του καθώς και στη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Οι υπηρεσίες αυτές κατατάσσονται σε τέσσερις κύριες κατηγορίες ζωτικής σημασίας και είναι οι εξής: α) οι υπηρεσίες παροχής, μέσω των οποίων απολαμβάνουμε αγαθά όπως τροφή, νερό, ξυλεία και υφαντικές ίνες, β) οι υπηρεσίες ρύθμισης, οι οποίες ρυθμίζουν το κλίμα και τις βροχοπτώσεις, τα ύδατα (π.χ. πλημμύρες), τα απόβλητα και την εξάπλωση ασθενειών, γ) οι πολιτιστικές υπηρεσίες, οι οποίες καλύπτουν τη φυσική ομορφιά, την έμπνευση και την αναψυχή, και συμβάλλουν στην πνευματική μας ευημερία και δ) οι υποστηρικτικές υπηρεσίες, όπως η εδαφογένεση, η φωτοσύνθεση και ο κύκλος των θρεπτικών ουσιών, που υποστηρίζουν την ανάπτυξη και παραγωγή. Η βιοποικιλότητα, ως συστατικό στοιχείο των λειτουργιών των οικοσυστημάτων, παίζει πρωταρχικό ρόλο στην ικανότητά τους να παρέχουν αυτές τις υπηρεσίες (ΕΕ, 2009).

Τα δάση, ιστορικά αποτελούν φυσικό οικότοπο, ο οποίος εκτείνεται σε μεγάλο τμήμα του εδάφους της Ευρώπης και επιτελεί λειτουργίες ζωτικής σημασίας για το περιβάλλον και την ευημερία μας. Ειδικότερα, συμβάλλουν στη ρύθμιση του κλίματος και στη διατήρηση των λεκανών απορροής, εξασφαλίζοντας έτσι καθαρό νερό, το οποίο διαδραματίζει ζωτικής σημασίας ρόλο σε ενα οργανισμό. Επίσης, φιλτράρουν και καθαρίζουν τον αέρα που αναπνέουμε. Η αύξηση της δασικής κάλυψης αυξάνει και τη δέσμευση του διοξειδίου του άνθρακα από την ατμόσφαιρα. Συμβάλλουν επίσης στη διατήρηση και την προστασία της βιοποικιλότητας, καθώς πολλά είδη ζουν και εξαρτώνται από αυτά και αποτελούν σημαντικό οικονομικό πόρο, όχι μόνο λόγω της υλοτομίας, αλλά και ως πηγή πρώτων υλών για φάρμακα και άλλα προϊόντα. Τα δάση επηρεάζουν σημαντικά τομείς όπως η ανθρώπινη ευημερία και η αναψυχή, με ποικίλους τρόπους. (ΕΟΠ)

Η έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος σχετικά με τους περιβαλλοντικούς κινδύνους στις ευάλωτες ομάδες στην Ευρώπη (EEA, 2018) αναφέρει χαρακτηριστικά ότι στην Ευρώπη οι κίνδυνοι που έχουν μεγαλύτερες επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία είναι οι επιπτώσεις των ακραίων θερμοκρασιών στη ζωή των ανθρώπων λόγω της κλιματικής αλλαγής, η ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα και η ηχορρύπανση από την οδική κυκλοφορία. Στην πρόσφατη έκθεσή του για την κατάσταση του περιβάλλοντος στην Ευρώπη (EEA, 2019), ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος σημειώνει ότι απαιτείται επειγόντως αλλαγή κατεύθυνσης για την αντιμετώπιση των προκλήσεων της κλιματικής αλλαγής, την αντιστροφή της περιβαλλοντικής υποβάθμισης και τη διασφάλιση της μελλοντικής ευημερίας. Στο μέλλον, οι προοπτικές μείωσης των περιβαλλοντικών κινδύνων για την υγεία θα βελτιωθούν μόνο μέσω της κατά το δυνατόν μεγαλύτερης ολοκλήρωσης των πολιτικών για το περιβάλλον και την υγεία.

Όπως παρουσιάζεται αναλυτικότερα στα παρακάτω κεφάλαια, η παρούσα έκθεση περιλαμβάνει τις επιπτώσεις στην υγεία που προέρχονται από την κλιματική αλλαγή και τη ρύπανση της ατμόσφαιρας.

Κλιματική Αλλαγή

Οι συνέπειες της κλιματικής αλλαγής είναι ήδη ορατές και αναμένεται να ενταθούν τις επόμενες δεκαετίες, λόγω της υψηλότερης ταχύτητας με την οποία συντελείται τα τελευταία χρόνια (IPCC, 2019). Ειδικότερα, η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας της γης, η τήξη των πάγων, η άνοδος της στάθμης των θαλασσών, η μεγαλύτερη συχνότητα των ακραίων καιρικών φαινομένων και των έντονων βροχοπτώσεων σε ορισμένες περιοχές, αλλά και οι μεγάλης έντασης καύσωνες και ξηρασίες σε άλλες περιοχές, έχουν αρνητικό αντίκτυπο σε όλους τους ζώντες οργανισμούς και τα οικοσυστήματα. Πιο συγκεκριμένα, μπορεί να συνεπάγεται έως και την κατάρρευση των οικοσυστημάτων, την εξαφάνιση πολλών ειδών και τη μείωση της βιοποικιλότητας, ενώ παράλληλα επηρεάζεται άμεσα η υγεία του ανθρώπου (Γκογκόση Π., 2014, Ευρωπαϊκή Επιτροπή).

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) η κλιματική αλλαγή επιφέρει σοβαρές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, οι οποίες σχετίζονται κυρίως με τις ακραίες θερμοκρασίες καθώς και στις αλλαγές στην κατανομή ορισμένων ασθενειών που μεταδίδονται με το νερό καθώς και φορέων νόσων. Ο οργανισμός προβλέπει ότι, από το 2020 και μετά, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να προκαλέσει 250.000 πρόσθετους θανάτους ετησίως που οφείλονται σε υποσιτισμό, ελονοσία, διάρροια και θερμική καταπόνηση (WHO, 2018). Οι υγειονομικές αρχές στις Ηνωμένες Πολιτείες διακρίνουν επισήμως τις κάτωθι κατηγορίες επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην ανθρώπινη υγεία (CDC, 2010), οι οποίες αναφέρονται αλφαβητικά, ανεξάρτητα από τη συχνότητα εμφάνισης και τη σοβαρότητα των επιδράσεων στην υγεία.

- Ασθένειες που προκαλούνται από το νερό
- Ασθένειες που προκαλούνται από φορείς (π.χ κουνούπια και άλλα έντομα)
- Άσθμα, αναπνευστικές αλλεργίες και ασθένειες
- Διαταραχές ψυχικής υγείας και άγχος
- Επιπλοκές στην ανθρώπινη ανάπτυξη
- Καρδιοαναπνευστικά προβλήματα και εμφράγματα
- Νεοπλάσματα
- Νευρολογικές ασθένειες και διαταραχές
- Νοσηρότητα και θνησιμότητα από ακραία καιρικά φαινόμενα (τυφώνες, πλημμύρες, ξηρασία, κλπ)
- Νοσηρότητα και θνησιμότητα από τη ζέστη
- Τροφιμογενείς ασθένειες και λοιμώξεις

Η Νότια Ευρώπη αλλά και η περιοχή της Μεσογείου συνολικότερα αναμένεται να είναι από τις περιοχές του πλανήτη που θα πληγούν ιδιαίτερα από τα ισχυρά κύματα ζέστης με δυσμενείς επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και ευημερία, στους τομείς της γεωργίας, της ενέργειας, των μεταφορών και του τουρισμού, με σαφή αντίκτυπο στην οικονομία και στο ΑΕΠ (JRC PESETA II Project, 2014). Οι κάτοικοι των πόλεων θα υφίστανται όλο και πιο έντονα τις δυσμενείς επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής μέσω της αύξησης των ημερών καύσωνα, της συνολικής μείωσης της βροχόπτωσης, αλλά συγχρόνως της αύξησης των ακραίων βροχοπτώσεων, με αποτέλεσμα την αύξηση του κινδύνου τόσο για πλημμυρικά επεισόδια όσο και για εξάπλωση πυρκαγιών στα περιαστικά δάση. Επιπλέον, έχει εξακριβωθεί μέσα από μελέτη του WWF Ελλάς σε συνεργασία με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών ότι θα επηρεαστούν σημαντικά και οι τουριστικοί προορισμοί της χώρας μας με την καταγραφή περισσότερων ημερών καύσωνα και ελάχιστης θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της νύχτας μεγαλύτερης των 20°C. Κατά συνέπεια, η Ελλάδα είναι από τις χώρες οι οποίες θα πρέπει να βρίσκονται σε επιφυλακή για την αντιμετώπιση πιθανών ακραίων καιρικών φαινομένων με τη διαμόρφωση κατάλληλης στρατηγικής περιβαλλοντικής πολιτικής.

Οι προβλεπόμενες αυξήσεις της έντασης και της συχνότητας των καυσώνων στην Ελλάδα μπορούν να επιδράσουν αρνητικά την ανθρώπινη υγεία, δεδομένου ότι η αύξηση των ημερών καύσωνα αναμένεται να συμβάλλει στην αύξηση της νοσηρότητας και της θνησιμότητας, καθώς η έκθεση του οργανισμού σε πολύ υψηλή περιβαλλοντική θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε θερμικές κακώσεις όπως η θερμική εξάντληση και η θερμοπληξία. Τα συμπτώματα της θερμικής εξάντλησης είναι η κόπωση, η ζάλη, ο εμετός, η ναυτία, η ταχυκαρδία και η υπόταση. Αντιθέτως, η θερμοπληξία μπορεί να προκαλέσει το θάνατο καθώς και μόνιμες βλάβες στον

οργανισμό εάν δεν ληφθεί άμεσα ιατρική βοήθεια (Theoharatos et al., 2010).

Επιπρόσθετα, ο κίνδυνος προσβολής των πολιτών από ασθένειες (π.χ. ιός του Δυτικού Νείλου, δάγκειος πυρετός, ελονοσία, ιός Chikungunya, σπλαχνική λεϊσμανίαση) που μεταδίδονται μέσω φορέων διαβιβαστών (π.χ. κουνουπιών), αναμένεται να είναι ενισχυμένος μελλοντικά λόγω της παγκοσμιοποίησης και της κλιματικής αλλαγής. Η Ελλάδα είναι μια χώρα που το γεωμορφολογικό της περιβάλλον και οι μικροκλιματικές συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη πληθυσμών μιας πληθώρας ειδών κουνουπιών, καθώς και την ύπαρξη την ύπαρξη μεγάλου αριθμού αστικών εστιών αναπαραγωγής κουνουπιών (Kokkotis et al, 2014). Αξίζει ακόμη να σημειωθεί ότι, στην Ελλάδα, ξεχωρίζει η επιδημία του ιού του Δυτικού Νείλου η οποία ξέσπασε το 2010 στα βόρεια τμήματα της χώρας, ενώ κρούσματα του ιού εξακολουθούν να παρατηρούνται, καθιστώντας τον ιό ενδημικό στην περιοχή μας (Mavrouli et al, 2015, Hernández-Triana et al, 2014, Bezirtzoglou et al, 2011).

Τα κουνούπια του γένους Culex, τα οποία είναι ενδημικά στην Ελλάδα, αποτελούν τον κύριο διαβιβαστή του ιού του Δυτικού Νείλου. Ήπια συμπτώματα λοιμώξεων από των ιό του Δυτικού Νείλου είναι πυρετός, πονοκέφαλος, μυαλγία, ναυτία, κούραση, αδυναμία, εμετοί και διάρροιες, ωστόσο ο ιός μπορεί να προσβάλει το κεντρικό νευρικό σύστημα κυρίως σε ηλικιωμένα άτομα, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη νευροδιεισδυτικής νόσου που εκδηλώνεται ως εγκεφαλίτιδα, μηνιγγίτιδα, οξεία χαλαρή παράλυση ή θάνατο σε ποσοστό που προσεγγίζει το 10% (Blitvich et al, 2008, Mavrouli et al, 2015).

Παράλληλα, μεταξύ των διαφόρων ειδών κουνουπιών του γένους Aedes, τα οποία δεν είναι ενδημικά στην Ευρώπη και χαρακτηρίζονται ως κουνούπια εισβολείς, εκείνο το οποίο αποτελεί απειλή για την Ελλάδα είναι το Aedes albopictus, ευρύτερα γνωστό και ως Ασιατικό κουνούπι «τίγρης», το οποίο αποτελεί τον κύριο διαβιβαστή των ιών Zika, Chikungunya και του Δάγκειου πυρετού με σταθερή παρουσία, η οποία ευνοείται από τις κλιματικές συνθήκες στη χώρα (Conops, 2015, ECDC, 2015).

Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Η ατμοσφαιρική ρύπανση συνδέεται άμεσα με την επίδραση στην ανθρώπινη υγεία, δεδομένου ότι έχει πλέον πλήρως τεκμηριωθεί η σαφής συσχέτιση των αυξημένων συγκεντρώσεων των ατμοσφαιρικών ρύπων με προβλήματα υγείας του πληθυσμού. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO), εκτιμάται ότι κάθε χρόνο οι πρόωροι θάνατοι που συνδέονται με την ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα ανέρχονται στα 4,2 εκατομμύρια άτομα παγκοσμίως,με προβλήματα υγείας όπως εγκεφαλικό επεισόδιο, καρδιοπάθειες, χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια, καρκίνο του πνεύμονα και οξείες αναπνευστικές λοιμώξεις (WHO, 2016). Ο ΟΟΣΑ προβλέπει αντίστοιχα ότι η ατμοσφαιρική ρύπανση μπορεί να προκαλεί από 3 έως 9 εκατομμύρια πρόωρους θανάτους ετησίως έως το 2060 λόγω και της προβλεπόμενης αύξησης του πληθυσμού σε αστικές περιοχές (ΟΟΣΑ, 2016). Επιπλέον, η WHO σημειώνει ότι η κακή ποιότητα του αέρα επιδρά στα έμβρυα (κάνει πιθανότερο τον πρόωρο τοκετό και μειώνει το βάρος γέννησης) και συνδέεται άμεσα με προβλήματα στη σωματική και γνωστική ανάπτυξη των παιδιών, ενώ αντίστοιχα, τα παιδιά, επηρεάζονται περισσότερο από τη ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα, αφού αναπνέουν ταχύτερα από τους ενηλίκους και έτσι εκτίθενται σε μεγαλύτερο όγκο ρύπων από τους πιο μεγάλους σε ηλικία (WHO, 2005).

Οι ανθρωπογενείς εκπομπές είναι κυρίως υπεύθυνες για τα προβλήματα υγείας του πληθυσμού στις αστικές πόλεις, με καθοριστική τη συμβολή του τομέα μεταφορών, της κεντρικής θέρμανσης και της βιομηχανίας (ΕΕΑ, 2017). Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι διακρίνονται στους πρωτογενείς, οι οποίοι εκλύονται στην ατμόσφαιρα απευθείας από την πηγή παραγωγής τους και στους δευτερογενείς που σχηματίζονται από μετατροπές των πρωτογενών ρύπων μέσω χημικών ή φωτοχημικών αντιδράσεων. Οι κυριότεροι πρωτογενείς ρύποι είναι το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), που είναι προϊόν ατελούς καύσης ορυκτών καυσίμων κυρίως από την κυκλοφορία οχημάτων, το διοξείδιο του θείου (SO_2), που εκπέμπεται κυρίως από τη χρήση ορυκτών καυσίμων που περιέχουν θείο, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) που εκλύονται από τις βιομηχανικές δραστηριότητες και πηγές καύσης ορυκτών καυσίμων, το βενζόλιο (C_6H_6) που είναι παραπροϊόν καύσης κλασμάτων του πετρελαίου και ιδίως από τις εκπομπές των οχημάτων, καθώς και τα βαρέα μέταλλα τα οποία περιέχονται κυρίως σε εκπομπές από την παραγωγή ενέργειας και τη βιομηχανική δραστηριότητα. Οι κυριότεροι δευτερογενείς ρύποι είναι το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), που παράγεται από την οξείδωση του μονοξειδίου του αζώτου (NO) που είναι προϊόν καύσηςτων ορυκτών καυσίμων κυρίως του τομέα μεταφορών και της κεντρικής θέρμανσης, καθώς και το όζον (O_3) που παράγεται από φωτοχημικές αντιδράσεις μεταξύ του οξυγόνου, των πτητικών οργανικών ενώσεων (VOCs) και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2). (ΥΠΕΝ 2018, ΕΚΠΑΑ 2018)

Αν και η ποιότητα της ατμόσφαιρας της Ευρώπης, αλλά και της χώρας μας, έχει βελτιωθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες, η ατμοσφαιρική ρύπανση παραμένει ο κύριος περιβαλλοντικός παράγοντας που συνδέεται με ασθένειες που μπορούν να προληφθούν αλλά και με πρόωρη θνησιμότητα. Οι εκπομπές των περισσότερων πρωτογενών ατμοσφαιρικών ρύπων έχουν περιοριστεί σημαντικά κι αυτό έχει οδηγήσει σε σαφείς βελτιώσεις της ποιότητας του αέρα

και κατά συνέπεια της δημόσιας υγείας. Όμως, σημαντικό ποσοστό του πληθυσμού κατοικεί σε περιοχές, ιδιαίτερα σε πόλεις, όπου παρουσιάζονται υπερβάσεις στα πρότυπα ποιότητας του αέρα για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM), το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και το τροποσφαιρικό όζον (O_3). Η μακροχρόνια και οξεία έκθεση σε αυτούς τους ρύπους ενδέχεται να προκαλέσει επιπτώσεις κυμαινόμενης βαρύτητας για την υγεία, από προσβολή του αναπνευστικού συστήματος έως πρόωρο θάνατο. Σύμφωνα με την πρόσφατη έκθεση κατάστασης περιβάλλοντος του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, περίπου το 20% του ευρωπαϊκού αστικού πληθυσμού ζει σε περιοχές με συγκεντρώσεις αέριων ρύπων οι οποίες υπερβαίνουν τουλάχιστον ένα πρότυπο ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα της ΕΕ για την προστασία της ανθρώπινης υγείας (ΕΟΠ, 2019). Αντίστοιχα, με βάση τα επίσημα στοιχεία του 2016, η έκθεση κατάστασης περιβάλλοντος για την Ελλάδα αναφέρει για τον αστικό πληθυσμό της χώρας ότι το 21% εκτίθεται σε συγκεντρώσεις PM10 που υπερβαίνουν την 24-ωρη οριακή τιμή, το 2% εκτίθενται σε συγκεντρώσεις NO_2 που υπερβαίνουν την ετήσια οριακή τιμή, και το 55% εκτίθενται σε επίπεδα O_3 που υπερβαίνουν την τιμή στόχο της ΕΕ για την προστασία της ανθρώπινης υγείας (ΕΚΠΑΑ, 2018).

Αναλυτικότερα, τα αιωρούμενα σωματίδια (PM) αποτελούν μείγμα στερεών και υγρών σωματιδίων με διαφοροποιημένες ιδιότητες και μέγεθος, τα οποία μπορούν να αιωρούνται στην ατμόσφαιρα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Είναι επιστημονικά αποδεδειγμένο ότι οι επιδράσεις των αιωρούμενων σωματιδίων στην ανθρώπινη υγεία εξαρτώνται από το μέγεθος και τη σύστασή τους. Σημαντικό ρόλο στη μελέτη των επιπτώσεων στην υγεία έχουν τα σωματίδια με διάμετρο μικρότερη των 10μm (PM_{10}) και ιδίως τα σωματίδια με πολύ μικρή διάμετρο ($PM_{2.5}$), καθώς όσο μικρότερη είναι η διάμετρός τους τόσο βαθύτερα εισχωρούν στο αναπνευστικό σύστημα του ανθρώπου. Ειδικότερα, είναι δυνατό να ερεθίσουν τη μύτη και το φάρυγγα, να προκαλέσουν άσθμα, εξασθένιση του ανοσοποιητικού συστήματος, αύξηση ευαισθησίας σε λοιμώξεις, φλεγμονές των αναπνευστικών οδών, οξεία βρογχίτιδα ή πνευμονία, καρκίνο του πνεύμονα, αρρυθμίες, ισχαιμικά συμπτώματα και καρδιακή ανεπάρκεια.

Αντίστοιχα, το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), ένα τοξικό φαιοκόκκινο αέριο με οξεία, διαπεραστική οσμή που αποτελεί σημαντική πηγή αιθαλομίχλης, είναι υπεύθυνο για αναπνευστικές νόσους, με πλέον χαρακτηριστική την ασθματική αντίδραση. Συγκεκριμένα, αυξάνει τη συχνότητα άσθματος, μπορεί να επιφέρει αλλαγές στη δομή των πνευμόνων αλλά και στη λειτουργία τους προκαλώντας εμφύσημα και χρόνια βρογχίτιδα, αυξάνοντας τις εισαγωγές σε νοσοκομεία για πνευμονικές παθήσεις και αναπνευστικές λοιμώξεις. Η πιθανή σύνδεση του με μη αναπνευστικά συμπτώματα παραμένει υπό διερεύνηση.

Το όζον (O_3) είναι ένα άχρωμο αέριο, με χαρακτηριστική οσμή, το οποίο είναι το κύριο συστατικό του φωτοχημικού νέφους στην τροπόσφαιρα. Το O_3 επιδρά στην ανθρώπινη υγεία ερεθίζοντας τα μάτια, τη μύτη και τον φάρυγγα, προκαλώντας συριγμό, βήχα, και πόνο κατά την εισπνοή, δυσκολίες στην αναπνοή κατά την άσκηση ή τις υπαίθριες δραστηριότητες, μειώνοντας τη χωρητικότητα των πνευμόνων (ποσότητα αέρα που μπορούν να συγκρατήσουν), επιδεινώνει το άσθμα και κατά επέκταση αυξάνει τη χρήση βρογχοδιασταλτικών, μπορεί να προκαλέσει διαταραχή στο κεντρικό νευρικό σύστημα, στο συκώτι, στο αίμα και στο ενδοκρινικό σύστημα, εντείνει την ευπάθεια σε αναπνευστικές ασθένειες όπως πνευμονία και βρογχίτιδα, τις εισαγωγές σε νοσοκομεία για πνευμονικές παθήσεις και τον κίνδυνο θανάτου από πνευμονικές και καρδιακές παθήσεις (ELF).

Ηχορρύπανση

Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) κατατάσσει τον θόρυβο στη δεύτερη θέση των περιβαλλοντικών παραγόντων που προκαλούν προβλήματα στην ανθρώπινη υγεία, αμέσως μετά από την επίδραση της ποιότητας του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς η υγεία ορίζεται ως μια κατάσταση πλήρους σωματικής, πνευματικής και κοινωνικής ευεξίας και δε σχετίζεται απλά με απουσία ασθένειας ή αναπηρίας. Έτσι, τα υψηλά επίπεδα ενόχλησης που προέρχονται από περιβαλλοντικούς θορύβους αποτελούν περιβαλλοντικό βάρος για την υγεία και κατά συνέπεια πρέπει να λαμβάνονται υπόψη στην εκτίμηση των επιπτώσεων του θορύβου στην υγεία.

Η έκθεση στον θόρυβο είναι μια «ύπουλη» διαδικασία της οποίας οι άμεσες και μακροπρόθεσμες συνέπειες δεν είναι ορατές, ωστόσο υποσκάπτουν συστηματικά την υγεία και διογκώνουν τα μη υγιή προσδόκιμα χρόνια ζωής των ανθρώπων. Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, περισσότερα από ένα εκατομμύριο προσδόκιμα χρόνια ζωής χάνονται στις χώρες της δυτικής Ευρώπης εξαιτίας της έκθεσης στον περιβαλλοντικό θόρυβο (WHO, 2011).

Η διαρκής και μακροχρόνια έκθεση των ανθρώπων σε θορυβώδη περιβάλλοντα έχει βλαπτικές επιπτώσεις στην υγεία, επηρεάζοντας τον άνθρωπο τόσο σωματικά, όσο και ψυχολογικά, και διαταράσσοντας βασικές δραστηριότητες όπως ο ύπνος, η ανάπαυση, η μελέτη και η επικοινωνία. Η πρόσκαιρη ή παραμένουσα βλάβη στο σύστημα ακοής του ανθρώπου είναι η πρώτη επιβεβαιωμένη αρνητική επίδραση. Άλλα προβλήματα είναι οχλήσεις (ναυτία, ζάλη, πονοκέφαλοι), διαταραχές ύπνου, μαθησιακές δυσλειτουργίες και καρδιολογικά προβλήματα.

Τα άτομα που εκτίθενται σε μεγαλύτερης έντασης ήχο στη διάρκεια του νυχτερινού ύπνου κατά μέσο όρο για ένα έτος υποφέρουν από διαταρα-

χές ύπνου και αφυπνίσεις. Με βάση μελέτες του ΠΟΥ ο ετήσιος μέσος όρος νυχτερινής έκθεσης σε θόρυβο δε θα πρέπει να ξεπερνά τα 40dB. Ειδικότερα, όταν ο μέσος όρος ξεπερνά τα 55dB, μακροπρόθεσμα είναι δυνατό να προκληθεί αύξηση στην αρτηριακή πίεση και εν συνεχεία ισχαιμική καρδιακή νόσος, προβλήματα στο καρδιαγγειακό σύστημα, υπέρταση, ακόμη και εγκεφαλικό επεισόδιο.

Άλλες μελέτες αποδεικνύουν ότι ο θόρυβος προκαλεί επιπλέον αύξηση της χοληστερίνης, διαταραχές της προσωπικότητας, κόπωση και διαταραχές του πεπτικού συστήματος. Δεν είναι τυχαίο το γεγονός ότι κατασκευάζονται κανόνια θορύβου και σούπερ μεγάφωνα που χρησιμοποιούνται από την αστυνομία και τον στρατό, για να αντιμετωπίζονται διαδηλωτές, κ.α. Η εκπομπή ισχυρότατων ήχων προκαλεί φόβο και κατά αυτό τον τρόπο το μεγάφωνο λειτουργεί σαν όπλο, εξαναγκάζοντας κάποιον να κλείσει τα αυτιά του για να μην πονέσει.

Συμπληρώνοντας τα παραπάνω, οι επιπτώσεις του θορύβου εντείνονται αλληλεπιδρώντας με άλλους περιβαλλοντικούς στρεσογόνους παράγοντες, όπως η ατμοσφαιρική ρύπανση και οι χημικές ουσίες. Αυτό εμφανίζεται κυρίως στις αστικές περιοχές, όπου συνυπάρχουν οι περισσότεροι από αυτούς τους στρεσογόνους παράγοντες.Αξίζει να σημειωθεί ότι ο θόρυβος αποτελεί πλέον ένα συνεχώς επιδεινούμενο πρόβλημα δημόσιας υγείας, με τα παιδιά και τους νέους να βρίσκονται στο επίκεντρο, καθώς ο κίνδυνος για αυτά μεγαλώνει αφού η έκθεσή τους ξεκινά σε πολύ μικρότερη ηλικία σε σχέση με παλαιότερα έτη.

Ωστόσο, οι επιπτώσεις δεν περιορίζονται μόνο στον άνθρωπο, αλλά έχουν αντίκτυπο και στην άγρια πανίδα. Η έκταση των μακροπρόθεσμων επιπτώσεων αυτού του φαινομένου, π.χ. η αλλαγή των οδών αποδημίας και η απομάκρυνση των ζώων από τις προτιμώμενες ζώνες διατροφής και αναπαραγωγής, βρίσκεται ακόμη προς περαιτέρω διερεύνηση.

Ο εξωτερικός περιβαλλοντικός θόρυβος ποικίλλει ως προς τη διάρκεια και τη γεωγραφική του θέση. Οι βασικές πηγές ηχορρύπανσης είναι οι οδικές, σιδηροδρομικές και αεροπορικές μεταφορές, η βιομηχανία και οι κατασκευές καθώς και άλλες υπαίθριες δραστηριότητες. Οι σοβαρότερες επιπτώσεις προκαλούνται από τον κυκλοφοριακό θόρυβο και αυτό είναι πρόβλημα ιδιαιτέρως για το αστικό περιβάλλον. Περίπου το 75% του πληθυσμού της Ευρώπης κατοικεί στις πόλεις και ο όγκος της κυκλοφορίας συνεχίζει να αυξάνεται. Το κοινό αντιλαμβάνεται το θόρυβο ως ένα από τα σημαντικότερα περιβαλλοντικά προβλήματα, με το πλήθος των καταγγελιών σχετικά με τον περιβαλλοντικό θόρυβο να αυξάνεται συνεχώς σε πολλές ευρωπαϊκές χώρες.

Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει διαμορφώσει μια κοινή προσέγγιση για την αποφυγή, την πρόληψη και τον κατά προτεραιότητα περιορισμό των επιβλαβών επιπτώσεων της έκθεσης στον περιβαλλοντικό θόρυβο. Με βάση το 7ο Πρόγραμμα Δράσης για το Περιβάλλον (7οΠΔΠ) και σε όλα γενικά τα πρόσφατα κείμενα της ΕΕ, ως ελάχιστα αποδεκτά επίπεδα θορύβου θεωρούνται τα 55dB σε ημερήσια βάση και τα 50dB στη διάρκεια της νύχτας.

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, η μακροχρόνια έκθεση σε περιβαλλοντικό θόρυβο εκτιμάται ότι προκαλεί 16.600 πρόωρους θανάτους στην Ευρώπη, με περίπου 32 εκατομμύρια άτομα να πάσχουν από οχλήσεις και 13 εκατομμύρια άτομα από διαταραχές ύπνου.Ο θόρυβος που προκαλείται από την οδική κυκλοφορία αποτελεί το κύριο αίτιο των παραπάνω περιπτώσεων. Ειδικότερα, έχει εκτιμηθεί ότι το 26% περίπου του αστικού πληθυσμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης (100 εκατομμύρια άτομα) εκτίθεται σε υψηλά επίπεδα κυκλοφοριακού θορύβου, ενώ περισσότερο από το 18% (70 εκατομμύρια άτομα) εκτίθεται σε επίπεδα νυχτερινού θορύβου από την οδική κυκλοφορία που έχουν συχνά δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία. (ΕΕΑ, 2019)

Για την Ελλάδα, σύμφωνα με την Έκθεση Κατάστασης Περιβάλλοντος (2018), διαπιστώθηκε ότι σημαντικό ποσοστό κατοίκων μεγάλων πόλεων εκτίθενται σε υψηλά επίπεδα θορύβου, ως επί το πλείστο κατά τις νυχτερινές ώρες. Περίπου ένας στους πέντε κατοίκους στις πόλεις κατοικεί σε ζώνες με ημερήσιο θόρυβο που ξεπερνά τα ανώτερα εθνικά επιτρεπτά όρια, ενώ ένας στους τέσσερεις κατοικεί σε ζώνες με νυχτερινό θόρυβο που ξεπερνά τα ανώτερα εθνικά επιτρεπτά όρια για τη νύχτα. Μόνο το 8% του αστικού πληθυσμού διαμένει σε ζώνες με επίπεδα κάτω του ημερήσιου ορίου του 7ου ΠΔΠ της ΕΕ και μόνο το 25% σε ζώνες με επίπεδα κάτω του νυχτερινού ορίου του 7ου ΠΔΠ της ΕΕ (ΕΚΠΑΑ, 2018).

Ρύπανση υδάτων

Το νερό είναι φυσικός πόρος ζωτικής σημασίας και στρατηγικής σημασίας αγαθό, συντελώντας στην ομαλή λειτουργία όλων των βιολογικών διεργασιών. Αν και η επιφάνεια της γης καλύπτεται κατά 70% από νερό, μόλις το 3% του νερού είναι γλυκό, εκ των οποίων πάνω από τα δύο τρίτα βρίσκεται σε παγετώνες και στα πολικά παγοκαλύμματα. Διεθνώς αναγνωρίζεται το δικαίωμα της πρόσβασης σε καθαρό νερό και η σημασία της διασφάλισης της βιώσιμης χρήσης των υδάτων για τη διαβίωση και ευημερία του ανθρώπου. Η πρόσβαση σε ασφαλές πόσιμο νερό έχει βελτιωθεί τις τελευταίες δεκαετίες σχεδόν σε ολόκληρο τον κόσμο, αλλά σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) 2 δισεκατομμύρια άνθρωποι ακόμη καταναλώνουν πόσιμο νερό ρυπασμένο με περιττώματα, 785 εκατομμύρια άνθρωποι εξακολουθούν να μην έχουν πρόσβαση σε υπηρεσίες

ασφαλούς πόσιμου νερού, ενώ 2 δισεκατομμύρια δεν έχουν πρόσβαση σε βασικές εγκαταστάσεις αποχέτευσης. (WHO, 2019)

Η ρύπανση του υδάτων αποτελεί ένα πρόβλημα μείζονος σημασίας καθώς η άμεση ή έμμεση εισαγωγή ουσιών ή ενέργειας στο υδάτινο περιβάλλον έχει βλαβερή επίδραση στους οργανισμούς, είναι επικίνδυνη για την ανθρώπινη υγεία και τέλος υποβαθμίζει τις δυνατότητες χρήσης του. Η ρύπανση των υδάτων δημιουργείται με την απελευθέρωση στο υδάτινο περιβάλλον ουσιών οι οποίες είτε διαλύονται είτε κατακάθονται στον πυθμένα και οι οποίες επιφέρουν αλλαγή στα φυσικά, χημικά και βιολογικά χαρακτηριστικά των υδάτων.Σύμφωνα με πρόσφατη έκθεση του ΠΟΥ, 1,9 εκατομμύρια θάνατοι και 123 εκατομμύρια σταθμισμένα λόγω αναπηρίας έτη ζωής θα μπορούσαν να αποφευχθούν μέσω της πρόσβασης σε καθαρό πόσιμο νερό, σε υπηρεσίες αποχέτευσης και κατάλληλες συνθήκες υγιεινής. (WHO, 2019).

Οι σημαντικότερες πηγές ρύπανσης των υδάτων είναι τα αστικά λύματα, οι βιομηχανικές εκροές και η εκτεταμένη χρήση φυτοφαρμάκων και λιπασμάτων στη γεωργία. Η απόρριψη ανεπαρκώς επεξεργασμένων αποβλήτων από τις ανθρώπινες δραστηριότητες προκαλεί την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού με οργανικό και μικροβιακό φορτίο αλλά και με ανόργανες ενώσεις, βαρέα μέταλλα, εντομοκτόνα, πλαστικά, απορρυπαντικά και άλλες επικίνδυνες ουσίες.

Η αύξηση του πληθυσμού και η αστικοποίηση δημιουργεί διάφορα θέματα προς επίλυση συνεισφέροντας μεταξύ άλλωνστη ρύπανση των υδάτων και τις ανθυγιεινές συνθήκες διαβίωσης. Ειδικότερα, αυξάνει την παραγωγή αστικών λυμάτων τα οποία εναποτίθενται σε ποτάμια κι άλλους υδάτινους αποδέκτες. Η ελλιπής επεξεργασία τους ρυπαίνει τα ύδατα με οργανικό και ανόργανο φορτίο καθώς και παθογόνους οργανισμούς, προκαλώντας κίνδυνο για τη δημόσια υγεία. Επιπλέον, οι βιομηχανικές εκροές, άνευ ή ανεπαρκούς επεξεργασίας, επιβαρύνουν σημαντικά την ποιότητα των υδάτων με οργανικές ενώσεις, θερμικό φορτίο και βαρέα μέταλλα και άλλα τοξικά στοιχεία και ενώσεις που αποτελούν επιβλαβείς παράγοντες για την ανθρώπινη υγεία. Στις ανεπτυγμένες χώρες η υπερφόρτιση των υδάτων με αστικά και βιομηχανικά απόβλητα αντιμετωπίζεται μέσω καθορισμένου νομικού πλαισίου και την εγκατάσταση κατάλληλων μονάδων επεξεργασίας υγρών αποβλήτων.

Η χρήση πλαστικών, όπως σακούλες πολυαιθυλενίου, και η ανεξέλεγκτη διάθεσή τους ως απορρίμματα επιβαρύνουν τα υδάτινα οικοσυστήματα. Η μεγάλη παραμονή τους στο νερό σε συνδυασμό με την πολύ αργή βιοαποικοδόμησή τους, αλλά και τη μετατροπή τους σε μικροπλαστικά (συνήθως μικρότερα από 5mm), έχουν ως αποτέλεσμα τη βιοσυσσώρευσή τους στους οργανισμούς (ψάρια, οστρακοειδή κλπ.). Με αυτό τον τρόπο εκτός από το νερό, τα μικροπλαστικά καταλήγουν στον άνθρωπο μέσω της τροφικής αλυσίδας. Σε μια πρόσφατη έρευνα που διενεργήθηκε από τον WWF υπολογίστηκε ότι κατά μέσο όρο ο άνθρωπος καταναλώνει 5 γραμμάρια μικροπλαστικών την εβδομάδα. Η ίδια έρευνα βρήκε ότι η μεγαλύτερη πηγή κατανάλωσης μικροπλαστικών είναι πράγματι το νερό (πολύ περισσότερο δε για όσους καταναλώνουν εμφιαλωμένο νερό και αναψυκτικά σε πλαστική συσκευασία) και ακολουθούν τα οστρακοειδή (Senathirajah et al, 2019). Βέβαια σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας, ενώ τα πλαστικά σωματίδια στο νερό έχουν εγείρει ανησυχίες για τη δημόσια υγεία, τα υφιστάμενα ερευνητικά δεδομένα δεν επιβεβαιώνουν έως τώρα αυτό τον κίνδυνο και δείχνουν πως τα μεγάλα σωματίδια και τα περισσότερα από τα μικρά σωματίδια που βρίσκονται στο νερό δεν απορροφώνται από το ανθρώπινο σώμα (WHO, 2019).

Η ευρύτατη και ανεξέλεγκτη χρήση χημικών λιπασμάτων και φυτοφαρμάκων συνεισφέρει και αυτή στη γενικότερη υποβάθμιση της ποιότητας των υδάτων. Σημαντικό ρόλο για τη σοβαρότητα της ρύπανσης από τα αγροχημικά αποτελεί η τοξικότητα, η ποσότητα και ο χρόνος παραμονής της ουσίας στο έδαφος καθώς και ο τρόπος εφαρμογής τους στο έδαφος. Σημειώνεται ότι οι βλαβερές χημικές ουσίες των φυτοφαρμάκων καταλήγουν στον άνθρωπο και μέσω της τροφικής αλυσίδας, αν και σύμφωνα με την τελευταία έκθεση της Ευρωπαϊκής Αρχής για την Ασφάλεια των Τροφίμων (EFSA) επιβεβαιώνεται το υψηλό επίπεδο συμμόρφωσης στα τρόφιμα στην Ευρώπη.

Οι υδατογενείς ασθένειες προκαλούνται κυρίως από την παρουσία παθογόνων οργανισμών. Ειδικότερα εμφανίζονται ασθένειες που προκαλούνται από βακτήρια, ιούς και παράσιτα όπως η χολέρα, η σαλμονέλα, η ηπατίτιδα, η γαστρεντερίτιδα, η γιαρδίαση κ.ά, που σχετίζονται στην πλειονότητά τους με εντερικές και κοιλιακές διαταραχές. Άλλες υδατογενείς ασθένειες που συνδέονται με τη ρύπανση των υδάτωνπροκαλούν αναπνευστική ασθένεια, καρκίνο, νευρολογικές διαταραχές και καρδιαγγειακές νόσους κ.ά. Το ρυπασμένο νερό έχει αρνητικό αντίκτυπο στις γυναίκες όταν αυτές εκτίθενται κατά τη διάρκεια της εγκυμοσύνης, αφού επηρεάζει την υγεία του εμβρύου.

Επιπρόσθετα, το ακατάλληλης ποιότητας νερό δύναται να καταστρέψει τις καλλιέργειες και να μολύνει το φαγητό. Οι ρύποι διαταράσσουν την τροφική αλυσίδα όπως και τα βαρέα μέταλλα, ειδικά ο σίδηρος, που επηρεάζει το αναπνευστικό σύστημα των ψαριών. Σε περιπτώσεις κατανάλωσής τους από τον άνθρωπο δημιουργούνται σημαντικά ζητήματα υγείας. Η δηλητηρίαση από βαρέα μέταλλα οδηγεί σε απώλεια μαλλιών, κίρρωση του ήπατος, νεφρική ανεπάρκεια και διαταραχές του νευρικού συστήματος.

Οι περισσότεροι άνθρωποι στην ΕΕ έχουν καλή πρόσβαση σε υψηλής ποιότητας πόσιμο νερό. Σύμφωνα με την έκθεση του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, περισσότερο από το 98,5% των δοκιμών που πραγματοποιήθηκαν σε δείγματα πόσιμου νερού, μεταξύ 2011 και 2013, κάλυπταν τα ευρωπαϊκά πρότυπα. Αντίστοιχα στην Ελλάδα η ποιότητα του πόσιμου νερού είναι σε πολύ υψηλά επίπεδα (ΕΕΑ 2016). Αξίζει να σημειωθεί ότι το Ευρωπαϊκό Κοινοβούλιο ενέκρινε τον Μάρτιο 2019 την ανανέωση των κανόνων, προκειμένου να παρέχει ακόμα μεγαλύτερη προστασία στους καταναλωτές αλλά και για να ενθαρρύνει την κατανάλωση του πόσιμου νερού. Η νέα νομοθεσία στοχεύει στη βελτίωση της ποιότητα του πόσιμου νερού με τη θέσπιση αυστηρότερων ορίων σε ορισμένους ρυπαντές, όπως ο μόλυβδος ή βλαβερά βακτήρια και εισάγει νέα όρια για τις πιο ρυπογόνες ουσίες. Επίσης, θα παρακολουθούνται πλέον και τα επίπεδα των μικροπλαστικών.

Αναφορικά με τα κολυμβητικά ύδατα, οι τρόποι ρύπανσής τους είναι παρόμοιοι με του πόσιμου ύδατος, ωστόσο διαφέρουν οι επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία, καθώς αυτές προέρχονται συνήθως από τη δερματική επαφή. Ενδεικτικές ασθένειες είναι ο ερεθισμός του δέρματος που προκαλείται από την επαφή με μικρές προνύμφες που ονομάζονται «cercarias» που βρίσκονται σε ορισμένες λίμνες, η γαστρεντερίτιδα, οι μολύνσεις ματιών, αυτιών και λαιμού, προβλήματα υγείας που προκαλούνται από τα μπλε-πράσινα φύκια και η λεγιονέλλωση, μια λοίμωξη που προκαλείται από το βακτήριο Legionella sp., το οποίο είναι ιδιαίτερα διαδεδομένο στα ιαματικά λουτρά (Quebec University, 2019).

Σύμφωνα με την πιο πρόσφατη ετήσια ευρωπαϊκή έκθεση για την ποιότητα των υδάτων κολύμβησης, περίπου το 85% των περιοχών κολύμβησης σε ολόκληρη την Ευρώπη πληρεί τα υψηλότερα και πιο αυστηρά πρότυπα ποιότητας για την καθαρότητα των υδάτων, ενώ το το 95,4% πληρεί τις ελάχιστες απαιτήσεις ποιότητας (ΕΕΑ, 2019). Ειδικά για την Ελλάδα τα κολυμβητικά ύδατα είναι στο σύνολό τους καλής και κατά 98,85% εξαιρετικής ποιότητας (Έκθεσης Κατάστασης Περιβάλλοντος 2018 και Επικαιροποίηση 2019 του Κεφαλάιου Διαχείριση Υδατικών Πόρων, ΕΚΠΑΑ).

Ρύπανση εδαφών

Το έδαφος αποτελεί ένα δυναμικό σύστημα, το οποίο επιτελεί πολλές λειτουργίες και προσφέρει υπηρεσίες ζωτικής σημασίας για τις δραστηριότητες του ανθρώπου και των οικοσυστημάτων. Ωστόσο δέχεται αυξανόμενες περιβαλλοντικές πιέσεις, με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητάς του. Τα ρυπασμένα εδάφη αναφέρονται πλέον συχνά ως ένα από τα θέματα προτεραιότητας για το περιβάλλον και τη δημόσια υγεία, που είναι κυρίως απόρροια της ανεπαρκούς περιβαλλοντικής διαχείρισης. Η ρύπανση του εδάφους επηρεάζει την ασφάλεια των τροφίμων και του νερού και δρα αρνητικά στα οικοσυστήματα και την υγεία του ανθρώπου, ενώ η δυναμική των εδαφών για την αντιμετώπιση της ρύπανσης είναι περιορισμένη. Οι βιομηχανικές και εμπορικές δραστηριότητες, η υπερβολική χρήση αγροχημικών και η ανεπαρκής διάθεση αποβλήτων είναι οι βασικές αιτίες που μπορούν να προκαλέσουν τοπική και διάχυτη συσσώρευση περιβαλλοντικών παραγόντων επιβάρυνσης του εδάφους, κυρίως με χημικές ουσίες. Επίσης τα βιομηχανικά ατυχήματα και τα απόβλητα εξόρυξης είναι μερικές άλλες αιτίες ρύπανσης εδαφών. Τόσο οι επιστημονικοί όσο και οι πολιτικοί κύκλοι εκφράζουν την ανησυχία τους για τις καθιερωμένες ή ύποπτες επιπτώσεις των ρυπασμένων περιοχών στη δημόσια υγεία. (ΕΕ, 2012 &WHO, 2013).

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας (WHO) και τον Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (FAO), υφίστανται σημαντικές ελλείψεις πληροφόρησης σχετικά με την πληρότητα και την έκταση προβλήματος, καθώς δεν έχει πραγματοποιηθεί συστηματική αξιολόγηση της κατάστασης της ρύπανσης των εδαφών. Συχνά η ρύπανση δεν μπορεί να γίνει αντιληπτή οπτικά ή να εκτιμηθεί άμεσα, γεγονός που την καθιστά κρυφό κίνδυνο με σοβαρές συνέπειες. Οι μελέτες που έχουν διεξαχθεί μέχρι στιγμής περιορίζονται σε μεγάλο βαθμό στις ανεπτυγμένες οικονομίες. Αξίζει να σημειωθεί ότι με βάση τις εκτιμήσεις του 2011 υπάρχουν περίπου 3 εκατομμύρια δυνητικά ρυπασμένες περιοχέςστον Ευρωπαϊκό Οικονομικό Χώρο και τα Δυτικά Βαλκάνια (FAO, 2018). Οι δημοσιευμένες μελέτες συσχέτισης της ρύπανσης των εδαφών με την ανθρώπινη υγεία είναι ελάχιστες και δύσκολο να συγκριθούν, οπότε η έκταση του συνολικού προβλήματος είναι ασαφής, καθώς οι συνθήκες της ρύπανσης έχουν πολυπαραγοντική αιτιολογία. Όταν μάλιστα οι ρυπασμένες περιοχές βρίσκονται σε εγγύτητα με τον αστικό ιστό, τα πρότυπα έκθεσης του πληθυσμού γίνονται όλο και πιο περίπλοκα. (WHO, 2013& FAO, 2018).

Μολονότι οι κύριες αιτίες ρυπάνσεως των εδαφών ποικίλλουν στην Ευρώπη, η ανεπαρκής διαχείριση των αποβλήτων αναφέρεται ως μία από τις πλέον σημαντικές πηγές τοπικής ρύπανσης. Ειδικότερα η μη σύννομη εδαφική διάθεση μη επεξεργασμένων αποβλήτων βιομηχανικής ή αστικής προέλευσης μπορεί να προκαλέσει σοβαρά προβλήματα υγείας στους πληθυσμούς που κατοικούν σε εγγύτητα με την περιοχή διάθεσης. Τα απόβλητα ρυπαίνουν το έδαφος με βιολογικό και χημικό φορτίο και οι ρυπογόνες ουσίες δύνανται να διασκορπιστούν σε μεγάλες αποστάσεις. Εξαιρετικό κίνδυνο στη ρύπανση των εδαφών είναι τα απόβλητα που περιέχουν ανθεκτικούς οργανικούς ρύπους και βαρέα μέταλλα, τα οποία εμφανίζονται σε μικρές ποσότητες, όμως η είσοδός τους στις τροφικές αλυσί-

δες και η βιολογική τους συσσώρευση αποτελούν σημαντικό κίνδυνο για κάθε είδους ζωντανό οργανισμό. Τα βιοαποδομήσιμα απόβλητα αποτελούν με την σειρά τους σοβαρή απειλή για την υγεία εάν αφεθούν, διότι παράγουν ένζυμα, δημιουργώντας συνθήκες ευνοϊκές για την επιβίωση και την ανάπτυξη μικροβιακών παθογόνων παραγόντων. Η άμεση επαφή με τα απόβλητα μπορεί να οδηγήσει σε διάφορους τύπους μολυσματικών και χρόνιων ασθενειών, ενώ οι εργαζόμενοι στον τομέα των αποβλήτων είναι οι πλέον ευάλωτοι. (WHO, 2016 & FAO, 2018).

Μια άλλη πτυχή της τοξικότητας που προκύπτει από την ανεπαρκή διάθεση των αποβλήτων είναι η απόρριψη νοσοκομειακών και άλλων ιατρικών αποβλήτων. Τα απόβλητα που παράγονται από τα νοσοκομεία, τα κέντρα υγειονομικής περίθαλψης, τα ιατρικά εργαστήρια και τα ερευνητικά κέντρα, όπως βελόνες απορριπτόμενης σύριγγας, επίδεσμοι, επιχρίσματα, σοβάδες και άλλα είδη μολυσματικών αποβλήτων, συχνά διατίθενται με τα αστικά απόβλητα. Η απόρριψη των νοσοκομειακών αποβλήτων απαιτεί ιδιαίτερη προσοχή, καθώς μπορεί να δημιουργήσει σημαντικούς κινδύνους για την υγεία, όπως η ηπατίτιδα Β και C, μέσω τραυμάτων που προκαλούνται από απορριπτόμενες σύριγγες (WHO, 2016).

Η μη αποτελεσματική διαχείριση των αποβλήτων οφείλεται στην εφαρμογή χαμηλότερων επιπέδων ιεράρχησης αποβλήτων και τη διάθεση του μεγαλύτερου μέρους των παραγόμενων αποβλήτων, συχνά μη επεξεργασμένων, σε χώρους ταφής ή και σε παράνομη διαχείρισή τους. Παράλληλα, ανεπαρκώς διαχειριζόμενοι και σχεδιασμένοι χώροι ταφής προσελκύουν μύγες, αρουραίους και άλλους ζωντανούς οργανισμούς, οι οποίοι δύνανται να μεταφέρουν και να μεταδώσουν μολυσματικές ασθένειες. Ένας χώρος ταφής που δε συμμορφώνεται με τη νομοθεσία αποτελεί κίνδυνο για την υγεία των κατοίκων, διότι μπορεί να εκτίθενται σε ρύπους μέσω διαφόρων οδών: την εισπνοή ουσιών που εκπέμπεται από τον χώρο ταφής, την επαφή με τορυπασμένο έδαφος ή νερό, απευθείας ή μέσω της κατανάλωσης προϊόντων. Οι μεγαλύτερες ανησυχίες επικεντρώνονται στους χώρους ανεξέλεγκτης διάθεσης αποβλήτων, που δέχονται απόβλητα ανεξαρτήτως προέλευσης, με αποτέλεσμα η ρύπανση του εδάφους, αλλά και η πιθανή ρύπανση του αέρα και του νερού, να αυξάνεται ραγδαία. Οι πιθανές επιπτώσεις στην υγεία που σχετίζονται με την εγγύτητα με τους χώρους αυτούς αναφέρονται κυρίως για τον καρκίνο και τα γεννητικά αποτελέσματα καθώς και για τις αναπνευστικές νόσους. Ιδανικά αυτές οι τοποθεσίες πρέπει να βρίσκονται σε ασφαλή απόσταση από τους οικισμούς και οι χώροι ταφής να είναι κατάλληλα σχεδιασμένοι και διαμορφωμένοι ώστε να εξασφαλίζεται ότι δεν υφίστανται επιπτώσεις στο περιβάλλον (WHO, 2016).

Σύμφωνα με τα επίσημα στοιχεία του 2017, στην Ελλάδα έχουν καλυφθεί σε πολύ μεγάλο βαθμό οι βασικές υποδομές για την ασφαλή διάθεση των αστικών στερεών αποβλήτων, οι οποίες εξυπηρετούν το 96,5% του πληθυσμού μέσω χώρων υγειονομικής ταφής. Όμως παραμένει ένα ποσοστό διάθεσης σε ΧΑΔΑ, οι οποίοι λειτουργούν χωρίς προδιαγραφές υγειονομικής διάθεσης, κυμαίνονται δε από τοπικές αποθέσεις αποβλήτων έως εκτάσεις δεκάδων στρεμμάτων με στοιχειώδεις υποδομές και ημι-οργανωμένη διαχείριση. Η χώρα μας έχει καταβάλει ως πρόστιμο για τις ΧΑΔΑ έως και το β' εξάμηνο του 2019 ποσό ίσο με 58,88 εκ. €, ενώ σύμφωνα με την τελευταία αξιολόγηση της Επιτροπής για το 9ο Εξάμηνο (2/12/2019) εξακολουθούσαν να υπάρχουν 60 παραβάσεις (από αρχικό σύνολο 363).

Εκτός από τα αστικά στερεά απόβλητα, θέματα παραβατικότητας στην Ελλάδα σχετικά με την εδαφική διάθεση παρουσιάζουν και τα απόβλητα βιομηχανικής προέλευσης. Η έλλειψη υποδομών διαχείρισης των βιομηχανικών αποβλήτων στη χώρα έχει προκαλέσει τη συσσώρευση τους στους χώρους των εγκαταστάσεων που κάποιες φορές μετατρέπεται σε μόνιμη, καθώς και τη μη σύννομη διαχείριση τους που μπορεί να οδηγήσει στην ανεξέλεγκτη διάθεση και δημιουργία ρυπασμένων χώρων όπως συνέβη στην περιοχή του Ασωπού ποταμού) με βιομηχανικά απόβλητα. Μάλιστα, σε ότι αφορά τα επικίνδυνα βιομηχανικά απόβλητα, η Ελλάδα καταδικάστηκε το Σεπτέμβριο του 2016 απο το Δικαστήριο της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΔΕΕ, υπόθεση C-584/14) με χρηματική ποινή, μετά τη διαπίστωση, μεταξύ άλλων, ότι η συνήθης πρακτική είναι η προσωρινή αποθήκευση των επικίνδυνων αποβλήτων η οποία, ελλείψει κατάλληλων χώρων υγειονομικής ταφής, έχει μετατραπεί σε μόνιμη.

Στο παρόν ειδικό τεύχος για το Περιβάλλον και Υγεία περιγράφονται οι πιθανοί κίνδυνοι στην υγεία του πληθυσμού της Ελλάδας τους οποίους μπορεί να επιφέρει η κλιματική αλλαγή και η ρύπανση του ατμοσφαιρικού αέρα, καθώς οι κίνδυνοι αυτοί μπορεί να έχουν σημαντικές επιπτώσεις σε μεγάλα τμήματα του ελληνικού πληθυσμού.

Κεφάλαιο Α

Επιδράσεις στην υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα

Συγγραφείς:

Καθ. Κ. Κατσουγιάννη
Αν. Καθ. Ε. Σαμόλη
Σ. Ζαφειράτου, MSc
Α. Στεργιοπούλου, MSc
Μ. Κάσδαγλη, MSc
Δ. Ευαγγελόπουλος, PhD

Σύνοψη

Στο πλαίσιο της αποτίμησης της επιβάρυνσης για τη δημόσια υγεία από την έκθεση του πληθυσμού στην ατμοσφαιρικη ρύπανση εκτιμήθηκε ο αποδοτέος αριθμός θανάτων και ορισμένων δεικτών νοσηρότητας σε όλη την Ελλάδα από τη βραχυχρόνια και τη μακροχρόνια έκθεση σε ρύπους ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των απαραίτητων δεδομένων, χωριστά για τα αστικά κέντρα και κατά Περιφέρεια και αστικότητα.

Στην παρούσα έκθεση παρουσιάζονται τα δεδομένα που συλλέχθηκαν για τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης από τις μετρήσεις του ΥΠΕΚΑ στις πόλεις όπου λειτουργούν σταθμοί (ΥΠΕΚΑ-www.ypeka.gr), μετρήσεις που έγιναν στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ESCAPE (Eeftens και συν. Environ. Sci. Technol. 2012, 46, 11195–11205) για την Αθήνα και το Ηράκλειο καθώς και εκτιμήσεις από μοντέλο που εφαρμόστηκε για όλη την επικράτεια στο πλαίσιο του έργου που ανατέθηκε από το ΥΠΕΚΑ «Επικαιροποίηση της Χαρτογραφικής Απεικόνισης μέσω της καταγραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών των Πηγών και Ανάπτυξης κατάλληλου Υπολογιστικού Εργαλείου», ΥΠΕΚΑ Δ/νση ΕΑΡΘ, 2014-2015– (Progiou, 2015). Παρουσιάζεται η μεθοδολογία υπολογισμού των επιδράσεων η οποία βασίζεται στην εκτίμηση της έκθεσης του πληθυσμού σε κάθε ρύπο, στην επιλογή της σχέσης της έκθεσης με έναν δείκτη υγείας και στα δεδομένα για τη συχνότητα εμφάνισης του δείκτη υγείας στον αντίστοιχο κάθε φορά πληθυσμό. Αναφέρονται οι περιορισμοί από την έλλειψη δεδομένων και τα κριτήρια επιλογής των σχέσεων έκθεσης υγείας που χρησιμοποιήθηκαν. Οι τελικές μας εκτιμήσεις βασίστηκαν κυρίως στο μοντέλο του ΥΠΕΚΑ γιατί έχει πανελλαδική κάλυψη. Κάναμε εκτιμήσεις χωριστά για τα αστικά κέντρα που έχουν τουλάχιστον ένα σταθερό σταθμό του ΥΠΕΚΑ και τις αστικές/ημιαστικές και αγροτικές περιοχές κάθε Περιφέρειας της χώρας. Υπολογίστηκε η διαφορά των επιπέδων του ρύπου στην αντίστοιχη περιοχή από το όριο των οδηγιών του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ) και η διαφορά αυτή εφαρμόστηκε στην αντίστοιχη επιλεγμένη συνάρτηση έκθεσης-απόκρισης ,ενώ συνυπολογίστηκε ο πληθυσμός και η συχνότητα εμφάνισης του δείκτη υγείας. Η επιλογή των ρύπων και των αντίστοιχων αποτιμήσεων σε δείκτες υγείας έγινε βάσει επιδημιολογιών δημοσιεύσεων και σύμφωνα με τη βεβαιότητα στις υποκείμενες σχέσεις.

Οι επιλογές των δεδομένων ρύπανσης έγιναν για τους εξής λόγους: Οι σταθμοί του ΥΠΕΚΑ χωροθετούνται σύμφωνα με τις οδηγίες της ΕΕ και καλύπτουν μόνο τα μεγάλα αστικά κέντρα. Δεν παρέχουν εκτιμήσεις για όλες τις περιοχές της χώρας, αλλά αποτελούν μια ευρύτατη και μοναδική σειρά μετρήσεων με την οποία πρέπει να συγκρίνονται όλες οι εκτιμήσεις των μοντέλων για να ελεγχθεί η εγκυρότητα τους. Εξάλλου, οι μετρήσεις του ΥΠΕΚΑ είναι οι μόνες που παρέχουν ημερήσιες χρονοσειρές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτίμηση των βραχυχρόνιων επιδράσεων της έκθεσης στη ρύπανση. Επιπλέον, επιτρέπουν την αξιολόγηση των διαχρονικών τάσεων στις συγκεντρώσεις των ρύπων. Στην παρούσα έκθεση έγινε προσπάθεια να αποτιμηθεί το πρόβλημα της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση και για τα αστικά κέντρα που παρουσιάζουν αυξημένο πρόβλημα αλλά και για όλη την Ελλάδα. Επομένως, επειδή δεν υπάρχουν μετρήσεις για όλη τη χώρα, χρησιμοποιήθηκε το πανελλαδικό μοντέλο του έργου του ΥΠΕΚΑ που προαναφέρεται, μετά από σύγκριση των εκτιμήσεων που παρέχει με τις μετρήσεις όπου αυτές υπάρχουν. Επιπλέον, στο πλαίσιο του προγράμματος ESCAPE έγινε μια μεγάλη εκστρατεία μέτρησεων κατά το 2010-11 ειδικά στην Αθήνα και στο Ηράκλειο που εμπλουτίζει την διαθεσιμότητα μετρήσεων από την άποψη της γεωγραφικής διασποράς και δίνει μια εκτίμηση των μακροχρόνιων συγκεντρώσεων ορισμένων ρύπων σε αυτές τις δύο πόλεις.

Όσον αφορά τα επίπεδα των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων με αεροδυναμική διάμετρο <2.5μm ($PM_{2.5}$) υπάρχουν πολλές ημέρες με συγκεντρώσεις πάνω από τα 25μg/m^3 στις 4 πόλεις με μετρήσεις (συγκεκριμένα 20% στην Αθήνα, 28% στον Βόλο, 35% στη Θεσσαλονίκη, 19% στην Πάτρα) ενώ οι μέσες τιμές της πενταετίας υπερβαίνουν κατά πολύ την οδηγία του ΠΟΥ για την ετήσια τιμή (10 μg/m^3). Εξετάστηκαν οι ετήσιες μέσες τιμές και

παρατηρήθηκε ότι εκεί όπου οι μετρήσεις είναι πλήρεις η απόκλιση των ετήσιων μέσων τιμών από τη μέση τιμή της πενταετίας είναι της τάξεως του 10-15%. Ενώ υπάρχει γεωγραφική διαφοροποίηση στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών στις συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$, ακόμα και στον σταθμό της Αγίας Παρασκευής όπου παρατηρούνται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις η μέση τιμή της πενταετίας υπερβαίνει τη οδηγία της ΠΟΥ. Αντίστοιχα στη Θεσσαλονίκη ο σταθμός Αγία Σοφία που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης έχει υψηλότερες μετρήσεις από τον σταθμό στο Πανόραμα, αλλά υπάρχουν υψηλότερες τιμές από τις οδηγίες της ΠΟΥ και στους 2 σταθμούς.

Για τα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια με αεροδυναμική διάμετρο <10μm PM_{10} υπάρχουν πολύ περισσότεροι σταθμοί του ΥΠΕΚΑ σε λειτουργία. Υπερβάσεις από τις οδηγίες 24ώρου της ΠΟΥ (50 μg/m^3) παρουσιάζονται πολλές (συγκεκριμένα 16% στην Αθήνα, 3% στην Άμφισσα, 12% στον Βόλο, 7% στο Ηράκλειο, 16% στη Θεσσαλονίκη, 14% στα Ιωάννινα, τη Λάρισα και την Πάτρα, 13% στο Καρπενήσι, 6% στη Λαμία, 3% στη Λειβαδιά) ενώ οι μέσες τιμές πενταετίας είναι όλες πάνω από την οδηγία για τα μακροχρόνια όρια, δηλαδή τα 20 μg/m^3. Επισημαίνεται και εδώ ότι αποκλίσεις των ετήσιων μέσων τιμών παρατηρούνται όταν υπάρχει μικρός αριθμός μετρήσεων, αλλιώς οι αποκλίσεις κυμαίνονται μέχρι 15%. Επίσης παρατηρείται ότι στις 4 πόλεις όπου υπάρχουν μετρήσεις και για τα $PM_{2.5}$ οι υπερβάσεις των επιπέδων των οδηγιών για αυτά είναι πολύ περισσότερες από ότι για τα PM_{10}. Όπως και με τα $PM_{2.5}$, ενώ υπάρχει γεωγραφική διαφοροποίηση στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών και Θεσσαλονίκης στις συγκεντρώσεις PM_{10}, μετριούνται υψηλότερες τιμές από τις οδηγίες της ΠΟΥ σε όλους τους σταθμούς.

Για το διοξείδιο του αζώτου (NO_2), από τη μέση τιμή όλων των σταθμών της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας, όπου υπάρχουν μετρήσεις, δεν παρατηρούνται υπερβάσεις από τα επίπεδα των οδηγιών της ΠΟΥ. Ωστόσο επειδή το NO_2 χαρακτηρίζει σε μεγαλύτερο βαθμό από τους άλλους ρύπους τις εκπομπές από την κυκλοφορία οχημάτων και παρουσιάζει πιο έντονη γεωγραφική διαφοροποίηση, με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κοντά σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας, αναλύσαμε και τις τιμές χωριστά κατά σταθμό. Έτσι φαίνεται ότι υπάρχουν κάποιες υπερβάσεις των μέγιστων ημερήσιων ωριαίων τιμών NO_2 στην Αθήνα στους σταθμούς Πατησίων και Αριστοτέλους και υπέρβαση των μέσων τιμών έτους για τους σταθμούς Αριστοτέλους, Πατησίων και Πειραιά, ενώ αντίστοιχο πρόβλημα δεν φαίνεται να υπάρχει στη Θεσσαλονίκη.

Για το όζον (O_3) φαίνεται ότι υπάρχουν υπερβάσεις του επιπέδου της μέγιστης τιμής 8ώρου που έχει τεθεί από τον ΠΟΥ και στις τέσσερεις πόλεις στις οποίες υπάρχουν μετρήσεις (ειδικότερα για την Αθήνα υπερβάσεις υπάρχουν στο 1% των ημερών, στη Θεσσαλονίκη στο 2%, στη Λάρισα στο 22% και στην Πάτρα στο 8%). Πάντως πρέπει να επισημανθεί ότι επειδή επί παρουσίας πρωτογενών ρύπων, μεταξύ των οποίων το NO_2, το όζον διασπάται, τελικά αυτό βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα στα κέντρα των μεγάλων πόλεων όπου υπάρχουν εκπομπές από την κυκλοφορία οχημάτων. Αντίθετα μεταφέρεται στα προάστια όπου παραμένει συχνά σε υψηλά επίπεδα. Επομένως η χωροθέτηση των σταθμών έχει μεγάλη επιρροή στις τιμές όζοντος που καταγράφονται. Αυτό που παρατηρείται είναι ότι υπάρχουν μέγιστες τιμές 8ώρου O_3 σε αρκετές ημέρες που υπερβαίνουν την οδηγία για τα 100μg/m^3 σε όλους τους σταθμούς με την εξαίρεση του σταθμού Πατησίων και ότι οι περισσότερες υπερβάσεις αφορούν σταθμούς εκτός του κέντρου των πόλεων.

Όσον αφορά το μονοξείδιο του άνθρακα (CO), οι τιμές που καταγράφονται δεν υπερβαίνουν τα επίπεδα των οδηγιών του ΠΟΥ και επομένως δεν πραγματοποιήθηκε αποτίμηση επιδράσεων σε σχέση με την έκθεση σε CO.

Επειδή η εκτίμηση για τα επίπεδα της ρύπανσης στο έργο του ΥΠΕΚΑ αφορά το έτος 2012, εξετάστηκε αν υπάρχουν συστηματικές διαχρονικές τάσεις στα επίπεδα των ρύπων από τους σταθερούς σταθμούς του ΥΠΕΚΑ για τα έτη 2012-18 και προέκυψε ότι δεν υπάρχουν καθαρές αυξητικές ή μειωτικές τάσεις και οι συγκεντρώσεις βρίσκονται σε παρόμοια επίπεδα στη διάρκεια αυτών των ετών.

Πιο συγκεκριμένα, το ΥΠΕΚΑ ανέθεσε το έργο «Επικαιροποίηση της Χαρτογραφικής Απεικόνισης μέσω της καταγραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών των Πηγών και Ανάπτυξης κατάλληλου Υπολογιστικού Εργαλείου, ΥΠΕΚΑ Δ/νση ΕΑΡΘ, 2014-2015» στην Κοινοπραξία ΛΔΚ ΕΠΕ-ΤΕΜ ΑΕ. Στο πλαίσιο αυτού του έργου έχουν αναπτυχθεί χάρτες με τις προβλεπόμενες ετήσιες συγκεντρώσεις ρύπων στην Ελλάδα σε ανάλυση καννάβου 2x2 χιλιομέτρων, για το έτος 2012. Οι προβλέψεις αυτές αφορούν τις συγκεντρώσεις σε αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10} και $PM_{2.5}$), NO_2 και O_3. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εφαρμογή τρισδιάστατων μετεωρολογικών μοντέλων και μοντέλων διασποράς. Το πλεονέκτημα αυτού του έργου είναι ότι έδωσε τιμές για όλη τη χώρα και επομένως οι εκτιμήσεις του μπορούν να χρησιμοποιηθούν πανελλαδικά για τον υπολογισμό των μακροχρόνιων επιδράσεων στην υγεία. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις βραχυχρόνιες επιδράσεις γιατί δεν παρέχουν ημερήσιες τιμές.

Με βάση τις διαθέσιμες εκτιμήσεις του παραπάνω προγράμματος υπολογίσαμε τις συγκεντρώσεις σε επίπεδο Δημοτικής ή Τοπικής κοινότητας ώστε να μπορέσει να γίνει εν συνεχεία η εκτίμηση της ρύπανσης κατά αστικές/ημιαστικές και αγροτικές περιοχές κάθε Περιφέρειας. Επιλέχθηκε το επίπεδο Δημοτικής ή Τοπικής κοινότητας καθώς είναι αυτό στο οποίο η ΕΛΣΤΑΤ ορίζει τον βαθμό αστικό-

τητας. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, αστική χαρακτηρίζεται κάθε Δημοτική ή Τοπική Κοινότητα της οποίας ο πολυπληθέστερος οικισμός έχει 2000 κατοίκους και άνω και αντίστοιχα αγροτική χαρακτηρίζεται κάθε Δημοτική ή Τοπική Κοινότητα της οποίας ο πολυπληθέστερος οικισμός έχει λιγότερους από 2000 κατοίκους. Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας ArcGIS. Από τους χάρτες της κατανομής των ρύπων σε όλη την Ελλάδα, φαίνεται ότι σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του μοντέλου, η γεωγραφική κατανομή των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων παρουσιάζει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις στα μεγάλα αστικά κέντρα αλλά και σε άλλες περιοχές της χώρας (π.χ. σε ολόκληρη σχεδόν την Κρήτη, στη νοτιοδυτική χωρα), ενώ το NO_2 παρουσιάζει υψηλές τιμές μόνο στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη. Το όζον αντίθετα παρουσιάζει πιο υψηλές συγκεντρώσεις εκτός των μεγάλων αστικών κέντρων, κυρίως στη Νότια Ελλάδα και στο νησιωτικό χώρο. Όμως οι συγκεντρώσεις που εκτιμώνται με βάση το μοντέλο της χαρτογραφικής απεικόνισης είναι πολύ χαμηλές για τις αστικές περιοχές των περιφερειών που περιλαμβάνουν τα μεγάλα αστικά κέντρα και οι διαφορές μεταξύ των αστικών/ημιαστικών και των αγροτικών περιοχών είναι μικρές. Ο λόγος είναι ότι το μοντέλο εξομαλύνει τις διαφορές με τον υπολογισμό που αφορά το σύνολο των αστικών και ημιαστικών περιοχών μιας Περιφέρειας οι οποίες μπορεί να αντιπροσωπεύουν αστικά κέντρα με μεγάλες πληθυσμιακές διαφορές (π.χ. οι ημιαστικές περιοχές μπορεί να έχουν μόλις >2000 κατοίκους). Έτσι, έγινε επιπλέον η εκτίμηση με βάση το ίδιο μοντέλο των συγκεντρώσεων σε πόλεις με σταθμούς μέτρησης ρύπων του ΥΠΕΚΑ.

Αν συγκρίνουμε τις πληροφορίες των μετρήσεων και του μοντέλου όσον αφορά τις συγκεντρώσεις ρύπων, βλέπουμε ότι υπάρχουν αποκλίσεις στην εκτίμηση των συγκεντρώσεων των ρύπων και των μετρήσεων σε ορισμένες περιπτώσεις. Συνεκτιμώντας όμως το γεγονός ότι το μοντέλο βασίζεται σε όλη την έκταση μιας αστικής περιοχής και παρέχει εκτιμήσεις για ολόκληρη την Χώρα, ενώ οι σταθμοί μέτρησης είναι χωροθετημένοι σε ορισμένα σημεία λίγων αστικών περιοχών, ορισμένα από αυτά ιδιαίτερα επιβαρυμένα, καταλήγουμε ότι είναι ορθότερο να κάνουμε χρήση των εκτιμήσεων του Μοντέλου για τον υπολογισμό των μακροχρόνιων επιδράσεων της έκθεσης των ρύπων στην υγεία. Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγούμαστε βλέποντας ότι δεν υπάρχουν συστηματικές διαχρονικές μεταβολές στα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ρύπων την περίοδο 2012-18.

Για τον υπολογισμό της επιβάρυνσης στην υγεία από την έκθεση στην ατμοσφαιρκή ρύπανση απαιτούνται δεδομένα σχετικά με τον πληθυσμό και τη συχνότητα εμφάνισης του υπό εξέταση δείκτη υγείας. Επειδή είναι γνωστό ότι η επιβάρυνση για την υγεία είναι μεγαλύτερη στους πιο ηλικιωμένους, χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα της ηλικιακής κατανομής του πληθυσμού κατά Περιφέρεια και αστικότητα. Υπάρχει μεγάλη διαφορά στην κατανομή του πληθυσμού ανά ηλικία και αστικότητα. Συγκεκριμένα στο σύνολο των αστικών/ημιαστικών περιοχών της χώρας το 83% των κατοίκων είναι κάτω από 64 ετών ενώ στις αγροτικές περιοχές το αντίστοιχο ποσοστό είναι 72%. Επίσης, παρατηρούμε ότι το 53% του πληθυσμού συγκεντρώνεται στην Περιφέρεια Αττικής και Κεντρικής Μακεδονίας.

Χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα για τον συνολικό αριθμό θανάτων για τα έτη 2014-17. Επιπλέον, αναζητήθηκαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή δεδομένα των κατά αιτία αριθμού θανάτων και η πιο πρόσφατη τριετία για την οποία υπήρχε διαθεσιμότητα ήταν η τριετία 2014-16. Έγινε επιλογή των αιτιών θανάτου για τις οποίες υπάρχουν τεκμηριωμένες συσχετίσεις με την έκθεση (βραχυχρόνια ή μακροχρόνια) σε έναν τουλάχιστον ατμοσφαιρικό ρύπο με βάση εκθέσεις του ΠΟΥ και ευρεία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Κατ'αρχήν ελήφθη υπόψιν ο αριθμός θανάτων από φυσικές αιτίες, δηλαδή ο συνολικός αριθμός εξαιρουμένων των θανάτων από εξωτερικές αιτίες (ICD10: A00-R99). Όσον αφορά την κατά αιτίες θνησιμότητα, οι αιτίες που αξιολογήθηκαν είναι: Καρδιαγγειακά νοσήματα (ICD10: I00-I99), Αναπνευστικά νοσήματα (ICD10: J00-J98), Ισχαιμική καρδιοπάθεια (ICD10: I20-125), Νοσήματα των εγκεφαλικών αγγείων (ICD10: I60-I69), Καρκίνος του Πνεύμονα (ICD10: C33-C34) και Χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) (ICD10: J40-J47). Χρησιμοποιήθηκε επιπλέον και η επίπτωση του καρκίνου του πνεύμονα, καθώς και εισαγωγές στα νοσοκομεία για νοσήματα καρδιαγγειακής και αναπνευστικής αιτιολογίας.

Στο σύνολο της χώρας έχουμε μέσο ετήσιο αριθμό θανάτων (2014-16) 113558. Κατά αιτίες, το 40% οφείλεται σε καρδιαγγειακές αιτίες (από αυτές 10% σε ισχαιμική καρδιοπάθεια και 12% σε εγκεφαλικά επεισόδεια), το 12% σε αναπνευστικές αιτίες, το 6% σε καρκίνο του πνεύμονα και το 3% σε χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια.

Έγινε εκτίμηση των επιδράσεων της επιβάρυνσης από την ατμοσφαιρική ρύπανση κατά αστικότητα και περιφέρεια και εν συνεχεία χωριστά για τα αστικά κέντρα. Ειδικότερα, για κάθε ρύπο για τον οποίο υπήρχαν υπερβάσεις από τα συνιστώμενα επίπεδα στις οδηγίες του ΠΟΥ, εκτιμήθηκε πόσοι θάνατοι ή περιστατικά νοσηρότητας θα προλαμβάνονταν αν οι συγκεντρώσεις των ρύπων δεν υπερέβαιναν τα συνιστώμενα επίπεδα.

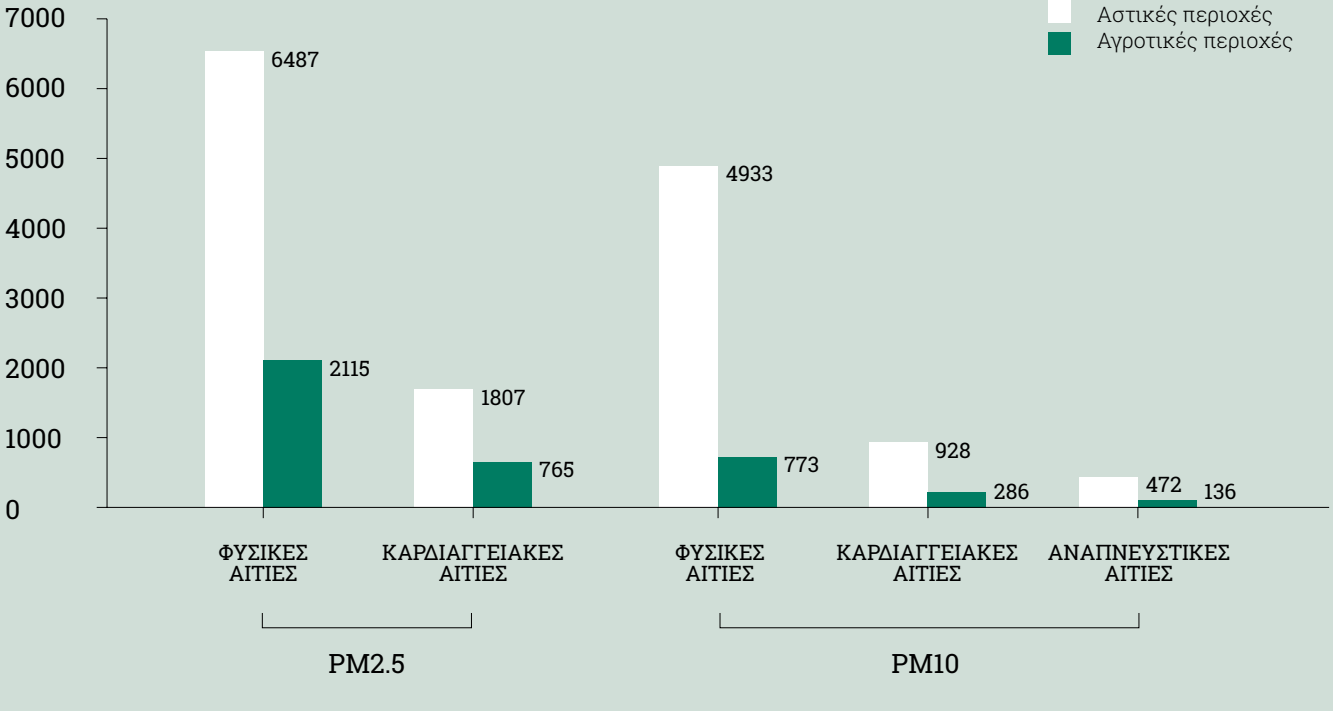
Έτσι, εκτιμήθηκε η μείωση στον εκτιμώμενο αριθμό των θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους (με τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης) αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στο συνιστώμενο επίπεδο για την προστασία της υγείας του πληθυσμού σύμ-

φωνα με τον ΠΟΥ, δηλαδή στα 10μg/m^3, για κάθε Περιφέρεια κατά αστικότητα. Ειδικότερα, αν συνέβαινε η παραπάνω μείωση στα επίπεδα των $PM_{2.5}$ θα προλαμβάνονταν 6487 θάνατοι στις αστικές περιοχές από τους οποίους το 58% (3788 θάνατοι) αφορούν την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και το 13% της ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης. Ο αριθμός θανάτων ανά 100.000 κατοίκους υπολογίστηκε για να γίνουν οι εκτιμήσεις ανεξάρτητες από το μέγεθος του πληθυσμού. Φαίνεται ότι το μεγαλύτερο όφελος θα έχουν οι κάτοικοι Αθηνών και ακολουθούν οι κάτοικοι Θεσσαλονίκης, ενώ ακολουθούν στη συνέχεια οι κάτοικοι των αστικών περιοχών της Δυτικής Ελλάδας και της Πελοποννήσου. Αντίστοιχα στις αγροτικές περιοχές, η ίδια μείωση στα $PM_{2.5}$, θα οδηγούσε σε πρόληψη 2115 θανάτων, με μεγαλύτερο όφελος για τους κατοίκους των αγροτικών περιοχών της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης, της Δυτικής Ελλάδας, των Ιονιων Νήσων, της Κρήτης και της Πελοποννήσου, χωρίς όμως οι γεωγραφικές διαφοροποιήσεις να είναι πολύ μεγάλες. Έγινε προτύπωση ως προς την ηλικία και προκύπτει ότι αν οι αστικές/ημιαστικές περιοχές είχαν την ίδια ηλικιακή κατανομή με τις αγροτικές το όφελος θα ήταν αναλογικά μεγαλύτερο για τις αστικές/ημιαστικές και ειδικότερα θα ήταν 7090 θάνατοι (82% αντί 75%).

Αντίστοιχη εκτίμηση έγινε με την υπόθεση ότι τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} θα μειώνονταν στο συνιστώμενο επίπεδο για την προστασία της υγείας του πληθυσμού σύμφωνα με τον ΠΟΥ, δηλαδή στα 20μg/m^3. Αν συνέβαινε η παραπάνω μείωση στα επίπεδα των PM_{10} θα προλαμβάνονταν 4933 θάνατοι στις αστικές περιοχές από τους οποίους το 69% (3424 θάνατοι) αφορούν την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και το 12% της ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης. Ο αριθμός θανάτων ανά 100.000 κατοίκους δείχνει ότι το μεγαλύτερο όφελος θα έχουν οι κάτοικοι Αθηνών και ακολουθούν οι κάτοικοι Θεσσαλονίκης, ενώ ακολουθούν στη συνέχεια με απόσταση οι κάτοικοι όλων των άλλων αστικών περιοχών. Αντίστοιχα στις αγροτικές περιοχές, η ίδια μείωση στα PM_{10}, θα οδηγούσε σε πρόληψη 773 θανάτων, με μεγαλύτερο όφελος για τους κατοίκους των αγροτικών περιοχών της Κρήτης. Συνολικά το 86% των προλαμβανομένων θανάτων είναι στις αστικές/ημιαστικές περιοχές και το υπόλοιπο 14% στις αγροτικές.

Για τα άλλα αστικά κέντρα, ο μεγαλύτερος αριθμός θανάτων που θα προλαμβάνονταν είναι στην Πάτρα (124 για τα $PM_{2.5}$ και 75 για τα PM_{10}), στην Λάρισα (101 και 73 αντίστοιχα) και στο Ηράκλειο (99 και 94 αντίστοιχα). Αν δούμε την εκτίμηση ανά 100,000 κατοίκους, εμφανίζεται παρόμοιο όφελος, εκτός των παραπάνω πόλεων, και για το Βόλο όσον αφορά τη μείωση των $PM_{2.5}$ και για το Ηράκλειο όσον αφορά τη μείωση των PM_{10}.

Εκτιμήθηκε επίσης η μείωση στον αριθμό των θανάτων στην Αθήνα, που ήταν το μόνο αστικό κέντρο με υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων NO_2, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα NO_2 μειώνονταν στα 40μg/m^3. Από τον υπολογισμό αυτό προκύπτει ότι 159 θάνατοι θα προλαμβάνονταν αν τα επίπεδο NO_2 μειώνονταν στα 40μg/m^3.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ Α

Εκτίμηση του μέσου ετήσιου αποδοτέου αριθμού θανάτων στο σύνολο της χώρας, ανά ρύπο και αιτία θανάτου (φυσικές αιτίες: συνολικός αριθμός θανάτων εξαιρουμένων των εξωτερικών αιτιών, θάνατοι από καρδιαγγειακές και αναπνευστικές αιτίες) εξαιτίας της μακροχρόνιας έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$και PM_{10}.

Όσον αφορά την κατά αιτίες θνησιμότητα, το όφελος από τη μείωση των $PM_{2.5}$ θα οδηγούσε σε πρόληψη 2572 θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες συνολικά (1807 από αυτούς στις αστικές περιοχές), η μείωση των PM_{10} σε πρόληψη 1214 θανάτων (928 σε αστικές περιοχές) από τις ίδιες αιτίες. Αν υπήρχε η ίδια κατανομή κατά ηλικία και αστικότητα θα ήταν μεγαλύτερη η διαφορά ανάμεσα στις αστικές/ ημιαστικές και στις αγροτικές περιοχές. Ειδικότερα για τη μείωση των θανάτων από ισχαιμική καρδιοπάθεια και εγκεφαλικά επεισόδια θα προλαμβάνονταν 1107 και 1048 θάνατοι πανελλαδικά αντίστοιχα, αν μειώνονταν τα $PM_{2.5}$ στα 10 μg/m^3.

Η μείωση των PM_{10} στα 20 μg/m^3 θα οδηγούσε σε πρόληψη 608 θανάτων ετησίως από αναπνευστικές αιτίες για όλη τη χώρα (472 στις αστικές/ ημιαστικές περιοχές), ενώ αν οι περιοχές κατά αστικότητα είχαν την ίδια ηλικιακή κατανομή θα ήταν μεγαλύτερο το όφελος στις αστικές περιοχές. Η μείωση των $PM_{2.5}$ στα 10μg/m^3 και των PM_{10} στα 20 μg/m^3 θα οδηγούσε σε πρόληψη 345 και 429 θάνατοι ετησίως από καρκίνο του πνεύμονα αντίστοιχα και το αντίστοιχο όφελος για τους θανάτους από χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια θα ήταν 942 και 247 θάνατοι.

Εκτιμήθηκε πως αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20μg/m^3, τα νέα περιστατικά καρκίνου του πνεύμονα θα ήταν μειωμένα κατά 461 περιστατικά συνολικά ή 6 περιστατικά ανά 100.000 κατοίκους.

Τα κυριότερα αποτελέσματα σχετικά με τις επιπτώσεις των αιωρούμενων σωματιδίων ($PM_{2.5}$ και PM_{10}) συνοψίζονται στο Διάγραμμα Α.

Η εκτίμηση της επιβάρυνσης της υγείας από τη βραχυχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην υγεία πραγματοποιήθηκε μόνο για τα μεγάλα αστικά κέντρα, καθώς μόνο σε αυτά υπάρχουν ημερήσια δεδομένα συγκεντρώσεων των ρύπων από τους σταθμούς μέτρησης του ΥΠΕΚΑ. Η αποτίμηση έγινε για τα αιωρούμενα σωματίδια, PM_{10} και $PM_{2.5}$ και το O_3, σύμφωνα με τις επιλεγμένες συναρτήσεις έκθεσης-έκβασης για τις βραχυχρόνιες επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην υγεία. Δεν έγινε αποτίμηση της επίδρασης της βραχυχρόνιας έκθεσης σε NO_2 καθώς δεν υπήρχαν μέρες που οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις NO_2 να ξεπερνούσαν το αντίστοιχο όριο του ΠΟΥ που είναι τα 200μg/m^3. Ως δεδομένα έκθεσης χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές από τις μετρήσεις του ΥΠΕΚΑ για τα διάφορα αστικά κέντρα (μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις για τα PM και μέγιστες ημερίσιες συγκεντρώσεις μέσου 8ώρου για το O_3). Ως δείκτης υγείας χρησιμοποιήθηκε ο συνολικός ετήσιος αριθμός θανάτων τόσο από όλα τα αίτια (2014-17) όσο και οι θάνατοι από καρδιαγγειακές ή αναπνευστικές αιτίες (2014-16) στη δημοτική ενότητα ή δήμο που ανήκει το αστικό κέντρο κατά περίπτωση.

Βρέθηκε ότι στα αστικά κέντρα της χώρας αν τα μέσα ημερήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ και PM_{10} μειώνονταν στα 25μg/m^3 και 50μg/m^3 αντίστοιχα, το όφελος θα ήταν η πρόληψη 26 και 17 θανάτων ετησίως (10 και 10 από καρδιαγγειακές αιτίες και 11 και 1 από αναπνευστικές) αντίστοιχα για τα $PM_{2.5}$ και PM_{10}, ενώ αν ο ημερήσιος μέγιστος μέσος όρος 8ώρου των επιπέδων O_3 μειώνονταν στα 100μg/m^3 θα προλαμβανόταν αντίστοιχα 1 θάνατος ετησίως.

Όσον αφορά τη νοσηρότητα, 50 και 80 καρδιαγγειακά και αναπνευστικά περιστατικά εισαγωγής σε νοσοκομείο αντίστοιχα θα προλαμβάνονταν από τη μείωση των $PM_{2.5}$, ενώ οι αντίστοιχη εκτίμηση για τα PM_{10} είναι 92 και 33. Τέλος 11 περιστατικά εισαγωγής σε νοσοκομείο από αναπνευστικές αιτίες θα προλαμβάνονταν από τη μείωση του όζοντος.

Συμπερασματικά, το πρόβλημα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης είναι σημαντικό και με επιβαρυντικές συνέπειες για τη δημόσια υγεία στη χώρα μας. Το κύριο πρόβλημα έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση είναι η έκθεση στα αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια, ενώ η έκθεση σε αέριους ρύπους είναι επίσης επιβαρυντική αλλά σε μικρότερο βαθμό. Η μεγαλύτερη επιβάρυνση οφείλεται στη μακροχρόνια έκθεση ενώ μικρότερη επιβάρυνση οφείλεται στα βραχυχρόνια επεισόδια ρύπανσης. Οι κάτοικοι των μεγάλων αστικών κέντρων (κυρίως της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης αλλά και άλλων μεγάλων πόλεων) θα έχουν το μεγαλύτερο όφελος αν οι συγκεντρώσεις των ρύπων μειωθούν στα επίπεδα που συνιστώνται από τον ΠΟΥ.

Εισαγωγή

Σκοπός της Έκθεσης είναι η συστηματική εκτίμηση των επιδράσεων στην υγεία από τα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, που είτε μετριούνται από το δίκτυο σταθμών του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ) είτε έχουν εκτιμηθεί με βάση μοντέλα έκθεσης. Εκτιμήθηκαν οι επιδράσεις της έκθεσης σε συγκεκριμένους ρύπους και σε εκβάσεις υγείας για τις οποίες υπάρχουν μελέτες που δίνουν στατιστικά σημαντικές και ποσοτικά ομοιογενείς συσχετίσεις. Οι επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία ταξινομούνται συνήθως σε οξείες ή βραχυχρόνιες, δηλαδή αυτές που συμβαίνουν μετά από μια σημαντική άνοδο της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, ένα επεισόδιο και σε μακροχρόνιες, δηλαδή αυτές που εκδηλώνονται μετά από έκθεση σε ρύπους, ακόμα και σε σχετικά χαμηλές συγκεντρώσεις, για πολλά έτη. Ενδεικτικά αναφέρονται οι βραχυχρόνιες και μακροχρόνιες επιδράσεις της έκθεσης σε αιωρούμενα ατμοσφαιρικά σωματίδια (PM) στη θνησιμότητα και στις εισαγωγές αναπνευστικών και καρδιαγγειακών περιστατικών στα νοσοκομεία καθώς και οι επιδράσεις από τη βραχυχρόνια έκθεση σε διοξείδιο του αζώτου (NO_2) και όζον (O_3) στη θνησιμότητα.

Στο πλαίσιο του προγράμματος δημιουργήθηκε μία βάση δεδομένων με μετρήσεις και εκτιμήσεις συγκεντρώσεων ατμοσφαιρικής ρύπανσης και δεικτών υγείας και πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της σχετικής πλέον πρόσφατης βιβλιογραφίας, ώστε να εντοπιστούν οι καταλληλότερες συναρτήσεις έκθεσης-έκβασης που αποτελούν τον κορμό των υπολογισμών για τη μέθοδο εκτίμησης της επιβάρυνσης. Η Έκθεση παρουσιάζει τα στοιχεία της βάσης δεδομένων, τη μεθοδολογία που εφαρμόζεται για την αποτίμηση της επιβάρυνσης καθώς και τα αποτελέσματα για την αποτίμηση της επιβάρυνσης του ελληνικού πληθυσμού λόγω της μακροχρόνιας και βραχυχρόνιας έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια, διοξείδιο του αζώτου και όζον.

Επιλέχθηκαν ως βάση υπολογισμού (δηλαδή ως η συγκέντρωση-στόχος για κάθε ρύπο) οι συγκεντρώσεις που προτείνονται στις οδηγίες του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (ΠΟΥ), επειδή τα συγκεκριμένα επίπεδα έχουν προέλθει από ανασκόπηση των επιδημιολογικών και τοξικολογικών μελετών με σκοπό την προάσπιση της δημόσιας υγείας ενώ τα νομοθετημένα όρια από φορείς όπως η Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ) αποτελούν Νόμους που συνεντιμούν και άλλους παράγοντες όπως το κόστος συμμόρφωσης. Με αυτή την έννοια, για τις επιδράσεις στην υγεία είναι ορθότερο να χρησιμοποιούνται οι οδηγίες του ΠΟΥ.

Η διαφορά ανάμεσα στα τρέχοντα επίπεδα ρύπανσης και στα επίπεδα των οδηγιών, εφόσον είναι θετική, εφαρμόζεται στην αντίστοιχη επιλεγμένη συνάρτηση έκθεσης-απόκρισης και ανάλογα με τον πληθυσμό ανά περιοχή και τη συχνότητα εμφάνισης του δείκτη υγείας που μελετάται, υπολογίζεται η μείωση στον αριθμό περιστατικών που συνδέεται με τη συγκεκριμένη αίτια/περιοχή και ρύπο αν μειώνονταν τα τρέχοντα επίπεδα σ' αυτά των οδηγιών του ΠΟΥ. Η επιλογή των ρύπων και των αντίστοιχων αποτιμήσεων σε δείκτες υγείας γίνεται βάσει επιδημιολογικών τεκμηρίων και σύμφωνα με τη βεβαιότητα στις υποκείμενες σχέσεις και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. Έτσι, δεν υπάρχουν επαρκώς τεκμηριωμένες σχέσεις για όλους τους ρύπους (όπως πχ επιπτώσεις από τη μακροχρόνια έκθεση σε O_3), αλλά και για συγκεκριμένους ρύπους δεν υπάρχουν ούτε επαρκείς μετρήσεις (όπως πχ βενζόλιο).

Η έκθεση αποτελείται από τέσσερα Υποκεφάλαια μετά την Εισαγωγή. Στο Υποκεφάλαιο Α.2 παρουσιάζονται τα δεδομένα. Ειδικότερα, στην ενότητα Α.2.1 παρουσιάζονται μετρήσεις και εκτιμήσεις για τις συγκεντρώσεις των ρύπων που είναι διαθέσιμα στην Ελλάδα και αφορούν την πιο πρόσφατη δεκαετία. Στην Ενότητα Α.2.2 παρουσιάζονται τα δεδομένα του πληθυσμού κατά Περιφέρεια και αστικότητα από την απογραφή του 2011 καθώς και δεδομένα για τους κατάλληλους δείκτες υγείας. Στο Υποκεφάλαιο Α.3 παρουσιάζονται οι συναρτήσεις που συνδέουν την έκθεση σε συγκεκριμένους ρύπους με εκβάσεις υγείας (θνησιμότητα και νοσηρότητα) που έχουν επιλεγεί με βάση ανασκόπηση της βιβλιογραφίας. Στο Υποκεφάλαιο Α.4 παρουσιάζεται η αποτίμηση της επιβάρυνσης του Ελληνικού πληθυσμού από την βραχυχρόνια και μακροχρόνια έκθεση στους ρύπους για τα μεγάλα αστικά κέντρα και σε όλες τις Περιφέρειες ανά βαθμό αστικότητας. Τέλος, στο Υποκεφάλαιο Α.5 συζητούνται τα αποτελέσματα και αναφέρονται τα συμπεράσματα.

Βάση Δεδομένων

Α.1. Δεδομένα ατμοσφαιρικής ρύπανσης

Για την ανάπτυξη της βάσης δεδομένων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, χρησιμοποιήθηκαν οι μετρήσεις από το δίκτυο σταθερών σταθμών του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΚΑ-www.ypeka.gr), μετρήσεις που έγιναν στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ESCAPE (Eeftens και συν. Environ. Sci. Technol. 2012, 46, 11195–11205) και τέλος, δεδομένα από το έργο του ΥΠΕΚΑ: Επικαιροποίηση της Χαρτογραφικής Απεικόνισης μέσω της καταγραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών των Πηγών και Ανάπτυξης κατάλληλου Υπολογιστικού Εργαλείου, ΥΠΕΚΑ Δ/νση ΕΑΡΘ, 2014-2015– (Progiou,2015).

Οι επιλογές των παραπάνω δεδομένων έγιναν για τους εξής λόγους: Οι σταθμοί του ΥΠΕΚΑ χωροθετούνται σύμφωνα με τις οδηγίες της ΕΕ και καλύπτουν μόνο τα μεγάλα αστικά κέντρα. Δεν παρέχουν εκτιμήσεις για όλες τις περιοχές της χώρας, αλλά αποτελούν μια ευρύτατη και μοναδική σειρά μετρήσεων με την οποία πρέπει να συγκρίνονται όλες οι εκτιμήσεις των μοντέλων για να ελεγχθεί η εγκυρότητα τους. Εξάλλου, οι μετρήσεις του ΥΠΕΚΑ είναι οι μόνες που παρέχουν ημερήσιες χρονοσειρές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αποτίμηση των βραχυχρόνιων επιδράσεων της έκθεσης στη ρύπανση. Επιπλέον, επιτρέπουν την αξιολόγηση των διαχρονικών τάσεων στις συγκεντρώσεις των ρύπων. Στην παρούσα έκθεση έγινε προσπάθεια να αποτιμηθεί το πρόβλημα της έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση και για τα αστικά κέντρα που παρουσιάζουν αυξημένο πρόβλημα αλλά και για όλη την Ελλάδα. Επομένως, επειδή δεν υπάρχουν μετρήσεις για όλη τη χώρα, χρησιμοποιήθηκε το πανελλαδικό μοντέλο του έργου του ΥΠΕΚΑ που προαναφέρεται, μετά από σύγκριση των εκτιμήσεων που παρέχει με τις μετρήσεις όπου αυτές υπάρχουν. Επιπλέον, στο πλαίσιο του προγράμματος ESCAPE έγινε μια μεγάλη εκστρατεία μέτρησεων κατά το 2010-11 ειδικά στην Αθήνα και στο Ηράκλειο που εμπλουτίζει την διαθεσιμότητα μετρήσεων από την άποψη της γεωγραφικής διασποράς και δίνει μια εκτίμηση των μακροχρόνιων συγκεντρώσεων ορισμένων ρύπων σε αυτές τις δύο πόλεις.

Για την αξιολόγηση των συγκεντρώσεων που παρουσιάζονται παρακάτω, έχουμε παραθέσει (Πίνακες 1 & 2) τις Οδηγίες για την Ποιότητα του Αέρα που βασίζονται αποκλειστικά στις επιδράσεις στην υγεία που έχει θεσπίσει ο ΠΟΥ (WHO, 2005) καθώς και τα νομοθετημένα όρια της ΕΕ (ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕΚ) για τους σημαντικότερους ρύπους, που ισχύουν και για τη χώρα μας.

Από τον Πίνακα 1 παρατηρούμε ότι για τις συγκεντρώσεις των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων ($PM_{2.5}$ και PM_{10}) καθώς και το διοξείδιο του αζώτου (NO_2) υπάρχουν οδηγίες για τις βραχυχρόνιες και τις μακροχρόνιες συγκεντρώσεις ενώ για το όζον (O_3) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) υπάρχουν οδηγίες μόνο για τις βραχυχρόνιες συγκεντρώσεις. Αυτό συμβαίνει γιατί αξιολογήθηκε η προϋπάρχουσα βιβλιογραφία και καθορίστηκαν οδηγίες για τις εκθέσεις για τις οποίες θεωρήθηκε ότι υπάρχει επαρκής τεκμηρίωση των βλαπτικών επιδράσεων στη δημόσια υγεία.

Από τη σύγκριση των Πινάκων 1 και 2 φαίνεται ότι οι οδηγίες του ΠΟΥ και τα νομοθετημένα όρια της ΕΕ συμπίπτουν μόνο για το NO_2. Για τα PM_{10} και το O_3 ταυτίζονται οι χρονικές περίοδοι αναφοράς αλλά τα νομοθετημένα επίπεδα είναι στις περισσότερες περιπτώσεις υψηλότερα, ενώ για τα $PM_{2.5}$ νομοθετήθηκε ετήσιο όριο 2,5 φορές υψηλότερο από την οδηγία του ΠΟΥ, ενώ δεν υπάρχει νομοθετημένο όριο 24-ώρου. Οι διαφορές αυτές βασίζονται στο γεγονός ότι τα νομοθετημένα όρια συνεκτιμούν και άλλους παράγοντες (κυρίως οικονομικούς) και όχι μόνο θέματα που αφορούν τη δημόσια υγεία, όπως προαναφέρθηκε.

ΡΥΠΟΣ	Χρονική περίοδος αναφοράς	Επίπεδο συγκέντρωσης
PM_{10}	Έτος	20μg/m^3
PM_{10}	24ωρο	50μg/m^3
PM_{25}	Έτος	10μg/m^3
PM_{25}	24ωρο	25μg/m^3
NO_2	Έτος	40μg/m^3
NO_2	1 ώρα	200μg/m^3
O_3	Μέγιστο 8ώρου	100μg/m^3
CO	Μέγιστο 8ώρου	10μg/m^3

ΠΙΝΑΚΑΣ 1
Οδηγίες ποιότητας αέρα του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για την προστασία της υγείας του ανθρώπου για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10} και $PM_{2.5}$), το όζον (O_3), το διοξειδίο του αζώτου (NO_2) (WHO 2005) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) (WHO, 2000).

ΡΥΠΟΣ	Χρονική περίοδος αναφοράς	Επίπεδο συγκέντρωσης	Σχόλια
PM_{10}	Έτος	40μg/m^3	
PM_{10}	24ωρο	50μg/m^3	35 επιτρεπόμενες υπερβάσεις/έτος
PM_{25}	Έτος	25μg/m^3	
NO_2	Έτος	40μg/m^3	
NO_2	1 ώρα	200μg/m^3	18 επιτρεπόμενες υπερβάσεις/έτος
O_3	Μέγιστο 8ώρου	120μg/m^3	25 επιτρεπόμενες υπερβάσεις/ 3 έτη
CO	Μέγιστο 8ώρου	10μg/m^3	

ΠΙΝΑΚΑΣ 2
Οριακές τιμές της ΕΕ για τα αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10} και $PM_{2.5}$), το όζον (O_3), το διοξειδίου του αζώτου (NO_2) και το μονοξείδιο του άνθρακα (CO) (ΟΔΗΓΙΑ 2008/50/ΕΚ).

Α.1.1. Μετρήσεις από σταθερούς σταθμούς του ΥΠΕΚΑ στην Ελλάδα για το διάστημα 2012-2018

Συλλέχθηκαν δεδομένα από τις μετρήσεις των σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ για τα PM_{10} και $PM_{2.5}$, το NO_2, το O_3 και το CO σε όλες τις αστικές περιοχές όπου υπάρχουν σταθμοί. Αλφαβητικά οι περιοχές είναι: Αθήνα, Άμφισσα, Βόλος, Ηράκλειο, Θεσσαλονίκη, Ιωάννινα, Καρπενήσι, Λαμία, Λάρισα, Λειβαδιά, Πάτρα και Χαλκίδα.

Για την παρούσα ανάλυση έχουν ληφθεί αναλυτικότερα υπόψη τα δεδομένα των ετών 2014-2018 , που είναι η πιο πρόσφατη πενταετία με διαθέσιμα τα δεδομένα του ΥΠΕΚΑ, αλλά και δεδομένα μετρήσεων από το 2012. Εξαιρέθηκαν οι σταθμοί που χαρακτηρίζονται ως βιομηχανικοί (εκτός από το Σταθμό «Γεωπονική») προκειμένου να είναι η εκτίμηση των συγκεντρώσεων αντιπροσωπευτική της έκθεσης των κατοίκων των αστικών κέντρων. Οι ημερήσιες τιμές σε Αθήνα, Πάτρα, Θεσσαλονίκη έχουν προκύψει ως μέσος όρος των μετρήσεων των σταθμών ΥΠΕΚΑ στην ευρύτερη περιοχή. Συγκεκριμένα, λειτουργούσαν 10 σταθμοί στην Αθήνα, 2 στην Πάτρα και 4 στη Θεσσαλονίκη κατά μέγιστο, ανάλογα με τη διαθεσιμότητα των δεδομένων για κάθε ρύπο σε κάθε σταθμό μέτρησης και έτος. Οι Πίνακες 3-7 παρουσιάζουν την περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, O_3 και CO ανά πόλη για το διάστημα 2014-18. Συγκεκριμένα για τα αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ και PM_{10} παρουσιάζονται οι 24ωρες τιμές αλλά για τους αέριους ρύπους NO_2, O_3 και CO παρουσιάζονται τόσο οι μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις όσο και ο δείκτης που προτείνεται από τον ΠΟΥ για την περιγραφή της ημερήσιας έκθεσης και συγκεκριμένα η μέγιστη ημερήσια για NO_2 και η 8-ωρη μέγιστη για το O_3 και CO (οι τελευταίες στη συνέχεια χρησιμοποιήθηκαν για την αποτίμηση της επιβάρυνσης των βραχυχρόνιων εκθέσεων).

Όπως φαίνεται στον Πίνακα 3, υπάρχουν πολλές ημέρες με συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ πάνω από τα 25 μg/m^3 στις 4 πόλεις με μετρήσεις (συγκεκριμένα 20% στην Αθήνα, 28% στον Βόλο, 35% στη Θεσσαλονίκη, 19% στην Πάτρα) ενώ οι μέσες τιμές της πενταετίας υπερβαίνουν κατά πολύ την οδηγία για την ετήσια τιμή (10 μg/m^3). Εξετάστηκαν οι ετήσιες μέσες τιμές και παρατηρήθηκε ότι εκεί όπου οι μετρήσεις είναι αρκετές η απόκλιση των ετήσιων μέσων τιμών από τη μέση τιμή της πενταετίας είναι της τάξεως του 10-15%.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4, οι μετρήσεις για τα PM_{10} ειναι πολύ περισσότερες από αυτές για τα $PM_{2.5}$. Υπερβάσεις από τις οδηγίες 24ώρου του ΠΟΥ (50 μg/m^3) παρουσιάζονται πολλές (συγκεκριμένα 16% στην Αθήνα, 3% στην Άμφισσα, 12% στον Βόλο, 7% στο Ηράκλειο, 16% στη Θεσσαλονίκη, 14% στα Ιωάννινα, τη Λάρισα και την Πάτρα, 13% στο Καρπενήσι, 6% στη Λαμία, 3% στη Λειβαδιά) ενώ οι μέσες τιμές πενταετίας είναι όλες πάνω από την οδηγία για τα μακροχρόνια όρια, δηλαδή τα 20 μg/m3. Επισημαίνεται και εδώ ότι αποκλίσεις των ετήσιων μέσων τιμών από της πενταετίας παρατηρούνται όταν υπάρχει μικρός αριθμός μετρήσεων, αλλιώς οι αποκλίσεις κυμαίνονται μέχρι 15%. Επισημαίνεται ότι στις 4 πόλεις όπου υπάρχουν μετρήσεις και για τα $PM_{2.5}$ οι υπερβάσεις των επιπέδων των οδηγιών για αυτά είναι πολύ περισσότερες από ότι για τα PM_{10}.

Μέση ημερήσια συγκέντρωση $PM_{2.5}$ (μg/m³)								
ΠΟΛΗ (iv)	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ. (iii)	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
ΑΘΗΝΑ (1768) i	2.00	6.71	10.25	14.00	19.79	34.79	199.00	16.56 (10.22)
ΒΟΛΟΣ (362)	2.25	5.29	9.88	16.02	26.79	51.75	138.25	20.76 (16.00)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (533) ii	2.00	7.00	11.13	16.00	23.00	46.00	132.92	19.37 (12.67)
ΠΑΤΡΑ (757)	2.00	7.17	11.33	15.00	21.79	39.67	102.21	18.17 (10.85)

i μέσος όρος 4 σταθμών
ii μέσος όρος 2 σταθμών
iii εκατοστημόριο
iv n: αριθμός ημερών με μετρήσεις

ΠΙΝΑΚΑΣ 3
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων $PM_{2.5}$ (μg/m³) από τις μετρήσεις του δικτύου σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ για το διάστημα 2014-2018.

Μέση ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} (μg/m³)								
ΠΟΛΗ (iv)	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ. (iii)	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
ΑΘΗΝΑ (1826) i	3.00	12.00	19.67	27.00	37.50	63.00	646.00	31.28 (22.44)
ΑΜΦΙΣΣΑ (1093)	1.70	9.00	14.00	18.25	26.00	44.13	123.00	21.50 (12.10)
ΒΟΛΟΣ (1146)	4.00	9.00	19.00	26.79	38.00	64.00	158.08	30.50 (17.52)
ΗΡΑΚΛΕΙΟ (931)	4.10	11.64	18.56	23.76	32.02	56.36	314.70	30.63 (44.85)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (1384) ii	2.75	9.92	16.00	24.00	36.00	64.00	139.33	28.54 (17.52)
ΙΩΑΝΝΙΝΑ (1471)	1.83	11.00	19.00	27.21	38.00	73.33	177.92	32.70 (21.85)
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ (974)	4.00	9.75	15.00	22.85	36.71	70.71	153.00	28.80 (19.82)
ΛΑΜΙΑ (903)	1.70	9.00	16.00	22.00	30.00	51.04	87.00	24.96 (13.22)
ΛΑΡΙΣΑ (1505)	3.00	11.00	21.00	30.00	40.33	71.54	284.36	33.92 (21.46)
ΛΕΙΒΑΔΙΑ (682)	2.74	8.71	13.71	18.94	26.50	42.17	166.22	21.69 (13.07)
ΠΑΤΡΑ (1639) ii	9.69	18.40	25.00	31.96	42.00	65.00	417.02	36.04 (20.82)
ΧΑΛΚΙΔΑ (715)	6.00	13.00	23.50	33.00	44.00	66.33	158.00	35.68 (17.25)

i μέσος όρος 7 σταθμών
ii μέσος όρος 2 σταθμών
iii εκατοστημόριο
iv n: αριθμός ημερών με μετρήσεις

ΠΙΝΑΚΑΣ 4
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων PM_{10} (μg/m³) από τις μετρήσεις του δικτύου σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ για το διάστημα 2014-2018.

ΠΟΛΗ (v)	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ. (iv)	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
Α. Μέση ημερήσια συγκέντρωση NO_2 (μg/m³)								
ΑΘΗΝΑ (1826) i	1.00	7.63	19.38	33.59	49.71	77.75	171.83	36.70 (22.11)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (1602) ii	1.00	1.79	8.67	20.75	33.71	59.42	116.25	23.72 (18.15)
ΠΑΤΡΑ (1776) iii	6.43	16.81	24.17	31.96	40.00	51.54	69.83	32.65 (10.71)
Β. Μέγιστη ημερήσια ωριαία συγκέντρωση NO_2 (μg/m³)								
ΑΘΗΝΑ (1826) i	18.70	34.80	52.56	64.11	76.20	96.40	144.50	64.62 (18.47)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (1602) ii	1.00	6.00	28.00	43.00	57.00	78.00	129.67	43.14 (21.22)
ΠΑΤΡΑ (1776) iii	20.00	34.00	48.00	60.00	71.00	87.50	127.00	59.96 (16.36)

i μέσος όρος 10 σταθμών
ii μέσος όρος 3 σταθμών
iii μέσος όρος 2 σταθμών
iv εκατοστημόριο
v n: αριθμός ημερών με μετρήσεις

ΠΙΝΑΚΑΣ 5
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων διοξειδίου του αζώτου (NO_2)(μg/m³) από τις μετρήσεις του δικτύου σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ για το διάστημα 2014-2018.

ΠΟΛΗ (iv)	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5°εκ. (iii)	25°εκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75°εκ.	95°εκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
Α. Μέση ημερήσια συγκέντρωση O_3 (μg/m^3)								
ΑΘΗΝΑ (1826) i	1.00	8.79	30.71	52.27	73.96	103.88	150.29	53.54 (29.01)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (1576) ii	3.29	12.71	38.29	57.92	75.67	99.54	138.00	57.10 (26.03)
ΛΑΡΙΣΑ (269)	5.08	10.13	27.29	94.67	68.67	49.40	111.75	49.40 (26.24)
ΠΑΤΡΑ (1641)	11.75	25.46	42.25	59.58	74.58	92.13	120.46	58.74 (20.73)
Β. Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση 8ώρου O_3 (μg/m^3)								
ΑΘΗΝΑ (1826) i	7.86	31.28	50.05	67.48	83.75	102.78	126.38	67.14 (22.32)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (1576) ii	3.50	23.38	46.13	65.13	84.75	102.13	131.50	64.85 (24.63)
ΛΑΡΙΣΑ (269)	6.88	22.00	43.13	66.88	95.88	123.50	146.00	69.82 (32.75)
ΠΑΤΡΑ (1641)	11.13	27.00	50.75	70.13	85.25	103.75	1126.00	68.01 (23.34)

i μέσος όρος 9 σταθμών
ii μέσος όρος 3 σταθμών
iii εκατοστημόριο
iv αριθμός ημερών με μετρήσεις

ΠΙΝΑΚΑΣ 6
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων όζοντος (O_3)(μg/m^3) από τις μετρήσεις του δικτύου σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ για το διάστημα 2014-2018.

ΠΟΛΗ (v)	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5°εκ.(iv)	25°εκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75°εκ.	95°εκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
Α. Μέση ημερήσια συγκεντρώση CO (μg/m^3)								
ΑΘΗΝΑ (1826) i	0.10	0.17	0.35	0.56	0.96	1.90	6.10	0.74 (0.59)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (1171) ii	0.10	0.15	0.23	0.36	0.55	0.99	2.51	0.44 (0.30)
ΛΑΡΙΣΑ (774)	0.10	0.12	0.17	0.24	0.33	0.63	1.35	0.28 (0.17)
ΠΑΤΡΑ (1782) iii	0.10	0.29	0.38	0.49	0.69	1.08	1.73	0.57 (0.25)
Β. Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση 8ώρου CO (μg/m^3)								
ΑΘΗΝΑ (1826) i	0.13	0.30	0.46	0.61	0.78	1.20	2.46	0.66 (0.29)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ (1171) ii	0.10	0.13	0.21	0.21	0.56	0.94	1.94	0.42 (0.27)
ΛΑΡΙΣΑ (774)	0.10	0.1	0.16	0.16	0.26	0.45	1.06	0.23 (0.12)
ΠΑΤΡΑ (1782) iii	0.10	0.24	0.33	0.33	0.61	1.89	1.53	0.49 (0.21)

i μέσος όρος 7 σταθμών
ii μέσος όρος 2 σταθμών
iii μέσος όρος 2 σταθμών
iv εκατοστημόριο
v αριθμός ημερών με μετρήσεις

ΠΙΝΑΚΑΣ 7
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα CO (mg/m^3) από τις μετρήσεις του δικτύου σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ για το διάστημα 2014-2018.

	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5°εκ.	25°εκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75°εκ.	95°εκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
Μέση ημερήσια συγκέντρωση $PM_{2.5}$ (μg/m^3)								
ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	2.00	5.17	8.00	10.25	13.67	19.58	74.79	11.26 (5.12)
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ	4.58	8.33	12.08	16.63	23.00	43.04	94.00	19.53 (11.56)
ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ	3.00	7.00	10.46	14.00	19.65	32.58	199.00	16.28 (9.99)
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	4.50	8.50	12.75	17.00	23.00	39.88	180.00	19.36 (10.82)

ΠΙΝΑΚΑΣ 8Α
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$ (μg/m^3) των σταθμών της ευρύτερης αστικής περιοχής της Αθήνας για το διάστημα 2014-2018.

	Μέση ημερήσια συγκέντρωση $PM_{2.5}$ (μg/m^3)							
	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5°εκ.	25°εκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75°εκ.	95°εκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ.αποκλ.)
ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ	6.67	10.75	16.00	20.00	28.33	56.00	132.92	24.83 (14.48)
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	2.00	6.21	9.06	11.85	16.00	28.00	46.42	13.76 (6.96)

ΠΙΝΑΚΑΣ 8Β
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$(μg/m^3) των σταθμών της ευρύτερης αστικής περιοχής της Θεσσαλονίκης για το διάστημα 2014-2018.

Μέση ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g/m^3$)								
	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ.	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ.αποκλ.)
ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	3.00	8.54	13.00	17.00	23.00	36.25	601.00	20.09 (19.50)
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ	8.00	18.00	26.00	33.00	43.00	71.00	645.00	37.57 (23.68)
ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ	3.75	13.00	19.00	25.42	34.21	52.00	643.00	28.81 (21.43)
ΜΑΡΟΥΣΙ	5.00	12.50	19.00	25.54	34.50	60.83	636.00	29.88 (23.80)
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	5.75	14.83	20.94	27.83	35.58	57.63	276.96	30.68 (16.73)
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	8.33	20.00	28.00	37.00	47.00	73.00	646.00	31.92 (20.24)
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	3.54	13.21	20.13	26.96	37.71	65.00	286.79	40.40 (23.26)

ΠΙΝΑΚΑΣ 9Α
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} ($\mu g/m^3$) των σταθμών της ευρύτερης αστικής περιοχής της Θεσσαλονίκης για το διάστημα 2014-2018.

Μέση ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} ($\mu g/m^3$)								
	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ.	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ.αποκλ.)
ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ	6.00	11.00	18.00	28.29	42.29	72.00	139.33	32.82 (19.53)
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	2.75	9.00	14.00	20.00	27.00	42.00	90.00	22.05 (11.18)

ΠΙΝΑΚΑΣ 9Β
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} ($\mu g/m^3$) των σταθμών της ευρύτερης αστικής περιοχής της Θεσσαλονίκης για το διάστημα 2014-2018.

	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ.	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ.αποκλ.)
Α. Μέση ημερήσια συγκέντρωση NO_2 ($\mu g/m^3$)								
ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	1.00	4.54	7.25	10.42	15.00	25.23	42.38	11.92 (6.41)
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ	16.63	28.92	40.58	49.29	59.33	75.71	102.50	50.48 (14.19)
ΑΘΗΝΑΣ	8.08	21.13	29.83	37.29	45.21	58.29	89.21	38.09 (11.43)
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ	5.71	11.13	21.22	30.71	40.96	56.58	78.71	31.76 (13.95)
ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ	1.13	5.13	12.00	19.79	28.92	41.71	58.77	21.05 (11.29)
ΜΑΡΟΥΣΙ	3.08	7.54	15.02	24.96	35.90	52.33	78.63	26.56 (14.05)
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	4.25	10.63	19.04	28.46	40.29	56.29	79.71	30.52 (14.36)
ΠΑΤΗΣΙΩΝ	14.38	34.42	51.46	65.21	82.75	108.63	171.83	67.79 (22.96)
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	8.96	24.75	40.17	55.67	68.00	85.00	136.71	55.00 (18.95)
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	1.58	7.88	16.58	26.88	38.46	55.42	88.67	28.64 (15.02)
Β. Μέγιστη ημερήσια ωριαία συγκέντρωση NO_2 ($\mu g/m^3$)								
ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	1.00	8.00	16.00	26.00	40.00	62.00	103.00	29.74 (17.14)
ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΟΥΣ	25.00	47.00	64.00	77.00	91.00	118.00	218.00	78.61 (21.85)
ΑΘΗΝΑΣ	16.00	33.00	47.00	58.00	69.00	91.00	194.00	58.98 (18.21)
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ	9.00	22.00	47.00	61.00	77.00	107.00	174.00	62.34 (24.58)
ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ	3.00	12.00	32.00	48.00	61.00	77.00	127.00	46.54 (20.27)
ΜΑΡΟΥΣΙ	5.00	14.00	38.00	59.00	74.00	98.00	201.00	57.21 (26.23)
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	7.00	20.00	46.00	67.00	82.00	106.00	176.00	64.95 (25.90)
ΠΑΤΗΣΙΩΝ	22.00	55.00	75.00	94.00	114.00	151.00	297.00	97.05 (30.66)
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	12.00	41.00	63.00	85.00	105.00	133.00	199.00	84.80 (28.95)
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	4.00	17.00	40.00	59.00	75.00	103.00	160.00	59.02 (26.26)

ΠΙΝΑΚΑΣ 10Α
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων διοξειδίου του αζώτου (NO_2) ($\mu g/m^3$) των σταθμών της ευρύτερης αστικής περιοχής της Αθήνας για το διάστημα 2014-2018.

	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ.	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
Α. Μέση ημερήσια συγκέντρωση NO_2 (μg/m³)								
ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ	1.04	3.63	16.58	23.54	32.33	51.92	78.83	25.10 (14.21)
Α.Π.Θ.	1.00	12.13	22.42	32.83	44.92	70.08	116.25	35.78 (18.37)
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	1.00	1.04	2.92	6.00	9.71	17.00	30.83	7.04 (5.23)
Α. Μέση ημερήσια συγκέντρωση NO_2 (μg/m³)								
ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ	2.00	8.00	29.00	38.00	50.00	81.00	140.00	40.49 (20.90)
Α.Π.Θ.	9.00	26.00	52.00	73.00	90.00	121.00	190.00	72.57 (28.55)
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	1.00	2.00	8.00	16.00	27.00	48.00	99.00	19.52 (14.72)

ΠΙΝΑΚΑΣ 10Β
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων διοξειδίου του αζώτου (NO_2)(μg/m³) των σταθμών της ευρύτερης αστικής περιοχής της Θεσσαλονίκης για το διάστημα 2014-2018.

	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ.	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
Α. Μέση ημερήσια συγκέντρωση O_3 (μg/m³)								
ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	6.33	40.46	61.71	76.88	96.71	121.71	150.29	79.02 (24.86)
ΑΘΗΝΑΣ	1.25	9.50	23.29	38.13	51.68	67.21	94.91	37.69 (18.07)
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ	5.00	18.00	38.42	55.15	69.37	91.00	120.13	54.34 (21.54)
ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ	1.44	19.54	42.75	61.00	80.04	103.58	125.08	61.52 (25.27)
ΜΑΡΟΥΣΙ	6.25	22.67	46.39	64.04	81.79	108.33	135.96	64.49 (25.53)
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	2.71	23.21	46.38	66.21	85.71	107.17	131.38	65.74 (25.62)
ΠΑΤΗΣΙΩΝ	1.00	2.71	7.02	15.13	28.85	53.08	94.63	19.96 (16.25)
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	2.67	7.83	20.46	33.21	45.71	62.63	89.42	33.86 (17.09)
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	7.75	21.25	46.33	67.00	85.96	109.38	136.17	65.89 (26.44)
Β. Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση 8ώρου O_3 (μg/m³)								
ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	7.38	46.50	69.75	88.63	109.38	135.25	179.50	89.51 (27.17)
ΑΘΗΝΑΣ	1.75	15.25	32.13	50.06	67.69	88.75	146.88	50.45 (23.09)
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ	8.25	31.75	55.88	74.38	91.50	112.13	159.38	73.62 (24.65)
ΛΥΚΟΒΡΥΣΗ	6.25	38.13	60.63	80.25	102.38	124.75	188.88	81.24 (27.61)
ΜΑΡΟΥΣΙ	9.75	43.75	64.00	82.88	102.88	129.88	201.50	83.97 (26.73)
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	9.25	38.88	63.50	84.25	103.88	125.38	173.00	83.46 (27.16)
ΠΑΤΗΣΙΩΝ	1.00	3.00	7.88	18.75	36.35	62.00	97.75	24.20 (19.29)
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	2.00	10.00	25.38	41.75	57.50	78.63	115.63	42.31 (21.32)
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	9.88	35.38	62.50	84.44	103.63	126.00	198.43	82.80 (28.32)

ΠΙΝΑΚΑΣ 11Α
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων όζοντος (O_3)(μg/m³) των σταθμών της ευρύτερης αστικής περιοχής της Αθήνας για το διάστημα 2014-2018.

	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ.	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
Α. Μέση ημερήσια συγκέντρωση O_3 (μg/m³)								
ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ	3.29	8.17	25.72	43.08	60.13	77.71	102.75	43.32 (21.73)
Α.Π.Θ.	4.00	13.38	37.21	56.19	71.46	86.21	110.50	53.65 (22.56)
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	4.63	36.92	57.21	74.92	91.88	108.42	138.00	74.07 (22.64)
Β. Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση 8ώρου O_3 (μg/m³)								
ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ	3.13	10.50	33.50	54.56	72.00	92.75	127.75	53.00 (25.23)
Α.Π.Θ.	4.00	17.25	46.88	69.06	86.63	103.88	133.13	66.05 (26.37)
ΠΑΝΟΡΑΜΑ	2.75	33.25	57.13	76.00	97.13	115.75	145.38	76.21 (26.35)

ΠΙΝΑΚΑΣ 11Β
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων όζοντος (O_3) (μg/m³) των σταθμών της ευρύτερης αστικής περιοχής της Θεσσαλονίκης για το διάστημα 2014-2018.

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5 παίρνοντας την μέση τιμή όλων των σταθμών της Αθήνας, της Θεσσαλονίκης και της Πάτρας, όπου υπάρχουν μετρήσεις, δεν παρατηρούνται υπερβάσεις από τα επίπεδα των οδηγιών της ΠΟΥ. Ωστόσο, επειδή το NO_2 χαρακτηρίζει σε μεγαλύτερο βαθμό από τους άλλους ρύπους τις εκπομπές από την κυκλοφορία οχημάτων, παρουσιάζει έντονη γεωγραφική διαφοροποίηση, με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις κοντά σε δρόμους μεγάλης κυκλοφορίας και έτσι παρακάτω θα αναλυθούν οι τιμές χωριστά κατά σταθμό.

Από τον Πίνακα 6 φαίνεται ότι υπάρχουν υπερβάσεις του επιπέδου της μέγιστης τιμής 8ώρου που έχει τεθεί από τον ΠΟΥ και στις τέσσερεις πόλεις στις οποίες υπάρχουν μετρήσεις (ειδικότερα για την Αθήνα υπερβάσεις υπάρχουν στο 1% των ημερών, στη Θεσσαλονίκη στο 2%, στη Λάρισα στο 22% και στην Πάτρα στο 8%). Πάντως πρέπει να επισημανθεί ότι, επειδή επί παρουσίας πρωτογενών ρύπων, μεταξύ των οποίων το NO_2, το όζον διασπάται, τελικά βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα στα κέντρα των μεγάλων πόλεων όπου υπάρχουν εκπομπές από την κυκλοφορία οχημάτων. Αντίθετα μεταφέρεται στα προάστια όπου παραμένει συχνά σε υψηλά επίπεδα. Επομένως η χωροθέτηση των σταθμών έχει μεγάλη επιρροή στις τιμές όζοντος που καταγράφονται.

Από τον Πίνακα 7 φαίνεται ότι οι συγκεντρώσεις του CO δεν υπερβαίνουν τα επίπεδα των οδηγιών του ΠΟΥ.

Επειδή η γεωγραφική κατανομή των ρύπων εντός των ευρύτερων μητροπολιτικών κέντρων παρουσιάζει ενδιαφέρον από την άποψη της δημόσιας υγείας, καθώς υπάρχει μεγάλη πυκνότητα πληθυσμού σε όλες τις περιοχές, αλλά και παρατηρούνται οι υψηλότερες συγκεντρώσεις για ορισμένους ρύπους, παρουσιάζονται τα δεδομένα των μετρήσεων και χωριστά ανά σταθμό μέτρησης. Στους Πίνακες 8Α, 8Β, 9Α, 9Β, 10Α, 10Β, 11Α, 11Β, 12Α και 12Β φαίνεται η περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων των ρύπων ανά σταθμό στην Αθήνα και Θεσσαλονίκη, πόλεις όπου λειτουργούν περισσότεροι σταθμοί και οι μετρήσεις τους επιτρέπουν να εκτιμηθεί η γεωγραφική διακύμανση.

Από τον Πίνακα 8Α φαίνεται ότι ενώ υπάρχει γεωγραφική διαφοροποίηση στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών στις συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$, ακόμα και στον σταθμό της Αγίας Παρασκευής όπου παρατηρούνται οι χαμηλότερες συγκεντρώσεις, η μέση τιμή της πενταετίας υπερβαίνει την οδηγία της ΠΟΥ. Αντίστοιχα στη Θεσσαλονίκη ο σταθμός Αγία Σοφία που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης έχει υψηλότερες μετρήσεις από τον σταθμό στο Πανόραμα, αλλά υπάρχουν υψηλότερες τιμές από τις οδηγίες της ΠΟΥ και στους 2 σταθμούς.

Αντίστοιχα από τους Πίνακες 9Α και 9Β φαίνεται ότι ενώ υπάρχει γεωγραφική διαφοροποίηση στην ευρύτερη περιοχή Αθηνών και Θεσσαλονίκης στις συγκεντρώσεις PM_{10}, υπάρχουν υψηλότερες τιμές από τις οδηγίες της ΠΟΥ σε όλους τους σταθμούς.

Από τον Πίνακα 10Α φαίνεται ότι υπάρχουν κάποιες υπερβάσεις των μέγιστων ημερήσιων ωριαίων τιμών NO_2 στην Αθήνα στους σταθμούς Πατησίων και Αριστοτέλους και υπέρβαση των μέσων τιμών έτους για τους σταθμούς Αριστοτέλους, Πατησίων και Πειραιά, ενώ αντίστοιχο πρόβλημα δεν φαίνεται να υπάρχει στη Θεσσαλονίκη (Πίνακας 10Β).

Από τους Πίνακες 11Α και 11Β παρατηρούμε ότι υπάρχουν μέγιστες τιμές 8ώρου O_3 σε αρκετές ημέρες που υπερβαίνουν την οδηγία για τα 100μg/m^3 σε όλους τους σταθμούς με την εξαίρεση του σταθμού Πατησίων και ότι οι περισσότερες υπερβάσεις αφορούν σταθμούς εκτός του κέντρου των πόλεων.

Από τους Πίνακες 12Α και 12Β φαίνεται ότι δεν υπαρχουν τιμές μεγαλύτερες των οδηγιών του ΠΟΥ για το CO σε κανέναν σταθμό της Αθήνας ή της Θεσσαλονίκης.

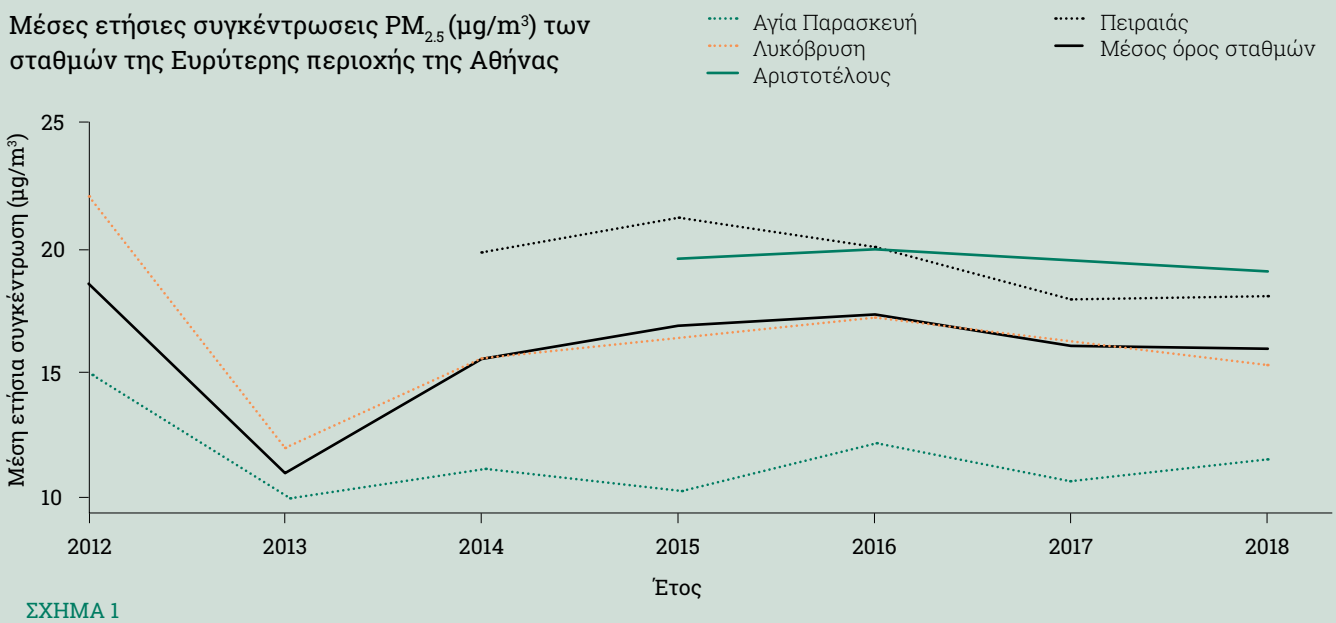
Στα Σχήματα 1-6 φαίνονται οι διαχρονικές τάσεις των ετήσιων συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2, O_3 και CO στην περίοδο 2012-18 σε όλους τους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής Αθηνών (ΥΠΕΚΑ 2019α) καθώς και των συγκεντρώσεων PM_{10} για όλες τις πόλεις που υπάρχουν μετρήσεις (2014-18). Επισημαίνεται ότι στα σχήματα 1, 8 και 9 η χαμηλότερη τιμή $PM_{2.5}$ για το 2013 και η υψηλότερη τιμή CO για το 2017 μάλλον οφείλεται στον μικρό αριθμό ημερών για τις οποίες έχουμε μετρήσεις. Φαίνεται ότι δεν υπάρχουν καθαρές αυξητικές ή μειωτικές τάσεις και οι συγκεντρώσεις βρίσκονται σε σχετικά ίδια επίπεδα στη διάρκεια αυτών των ετών.

	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ.	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
Α. Μέση ημερήσια συγκέντρωση CO (mg/m^3)								
ΑΘΗΝΑΣ	0.10	0.27	0.47	0.71	1.04	1.94	4.49	0.84 (0.55)
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ	0.10	0.21	0.32	0.44	0.68	1.33	2.84	0.56 (0.36)
ΜΑΡΟΥΣΙ	0.10	0.10	0.21	0.35	0.55	1.23	2.96	0.45 (0.38)
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	0.10	0.15	0.28	0.40	0.63	1.33	3.10	0.52 (0.39)
ΠΑΤΗΣΙΩΝ	0.10	0.45	0.79	0.21	0.67	1.82	6.10	1.34 (0.76)
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	0.11	0.36	0.56	0.73	1.00	1.60	3.42	0.83 (0.42)
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	0.10	0.14	0.24	0.36	0.54	1.26	2.84	0.47 (0.39)
Β. Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση 8ώρου CO (mg/m^3)								
ΑΘΗΝΑΣ	0.10	0.25	0.49	0.73	1.08	1.77	3.01	0.83 (0.48)
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ	0.10	0.20	0.29	0.36	0.51	0.84	1.65	0.42 (0.22)
ΜΑΡΟΥΣΙ	0.10	0.10	0.15	0.25	0.39	0.73	1.80	0.31 (0.21)
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	0.10	0.11	0.23	0.32	0.45	0.85	2.11	0.38 (0.25)
ΠΑΤΗΣΙΩΝ	0.10	0.35	0.75	0.24	0.74	2.56	6.07	1.32 (0.72)
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	0.10	0.34	0.57	0.75	1.00	1.49	2.79	0.81 (0.37)
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	0.10	0.15	0.24	0.33	0.41	0.69	1.23	0.35 (0.17)

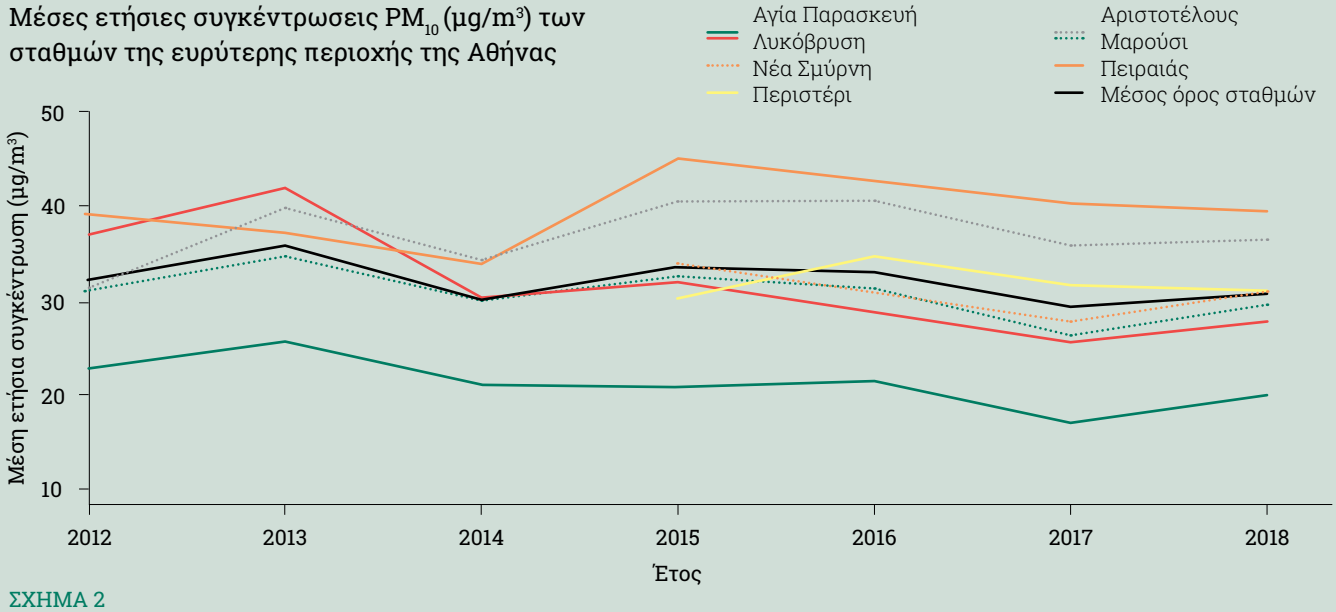
ΠΙΝΑΚΑΣ 12Α
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα (CO) (mg/m^3) στους σταθμούς της ευρύτερης αστικής περιοχής της Αθήνας για το διάστημα 2014-2018.

	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	5ºεκ.	25ºεκ.	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75ºεκ.	95ºεκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ (τυπικ. αποκλ.)
Α. Μέση ημερήσια συγκέντρωση CO (mg/m^3)								
ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ	0.10	0.20	0.33	0.44	0.64	1.25	2.51	0.53 (0.32)
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	0.11	0.15	0.20	0.26	0.42	0.83	1.76	0.34 (0.23)
Β. Μέγιστη ημερήσια συγκέντρωση 8ώρου CO (mg/m^3)								
ΑΓΙΑ ΣΟΦΙΑ	0.10	0.17	0.35	0.47	0.66	1.05	1.94	0.53 (0.27)
ΚΑΛΑΜΑΡΙΑ	0.10	0.13	0.17	0.23	0.33	0.61	1.25	0.28 (0.16)

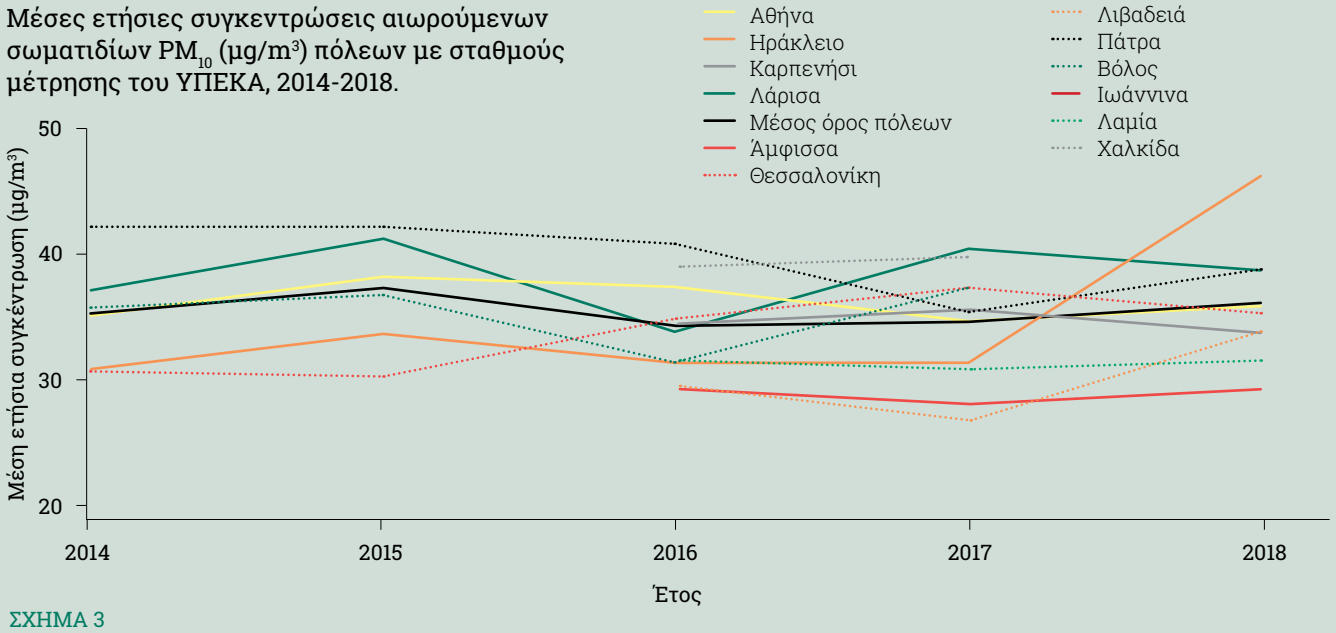
ΠΙΝΑΚΑΣ 12Β
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων μονοξειδίου του άνθρακα (CO) (mg/m^3) στους σταθμούς της ευρύτερης αστικής περιοχής της Θεσσαλονίκης για το διάστημα 2014-2018.



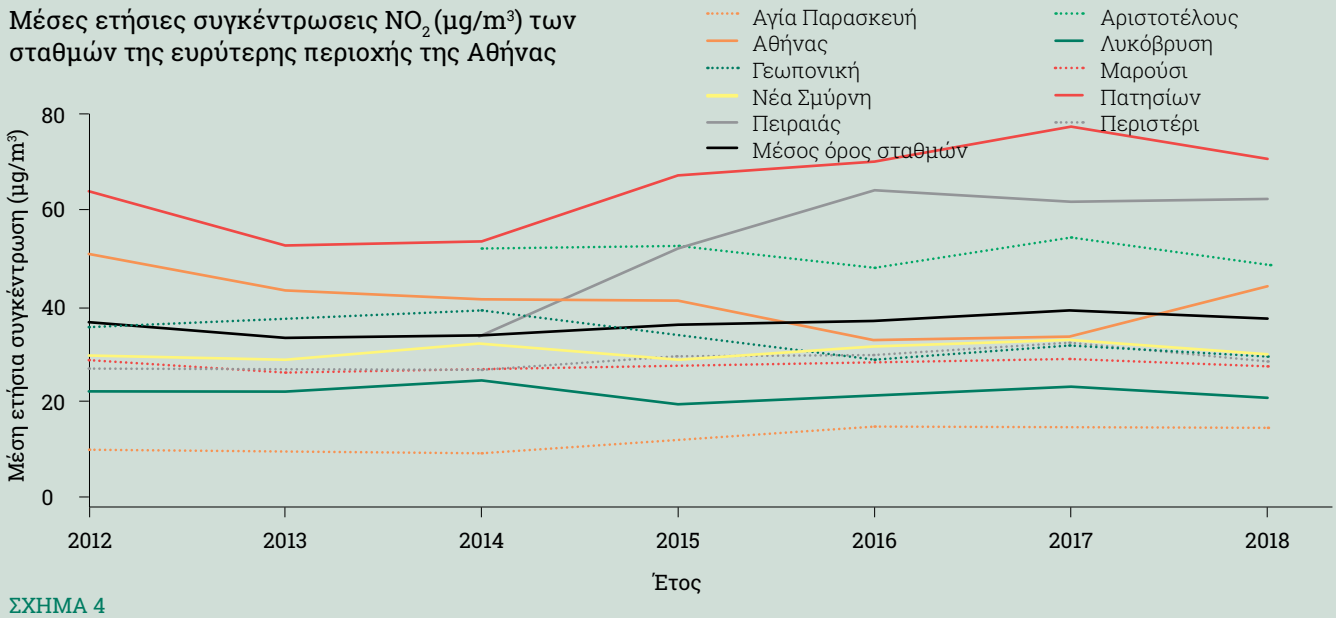
ΣΧΗΜΑ 1
Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων $PM_{2.5}$ (μg/m³) στους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, 2012-2018.



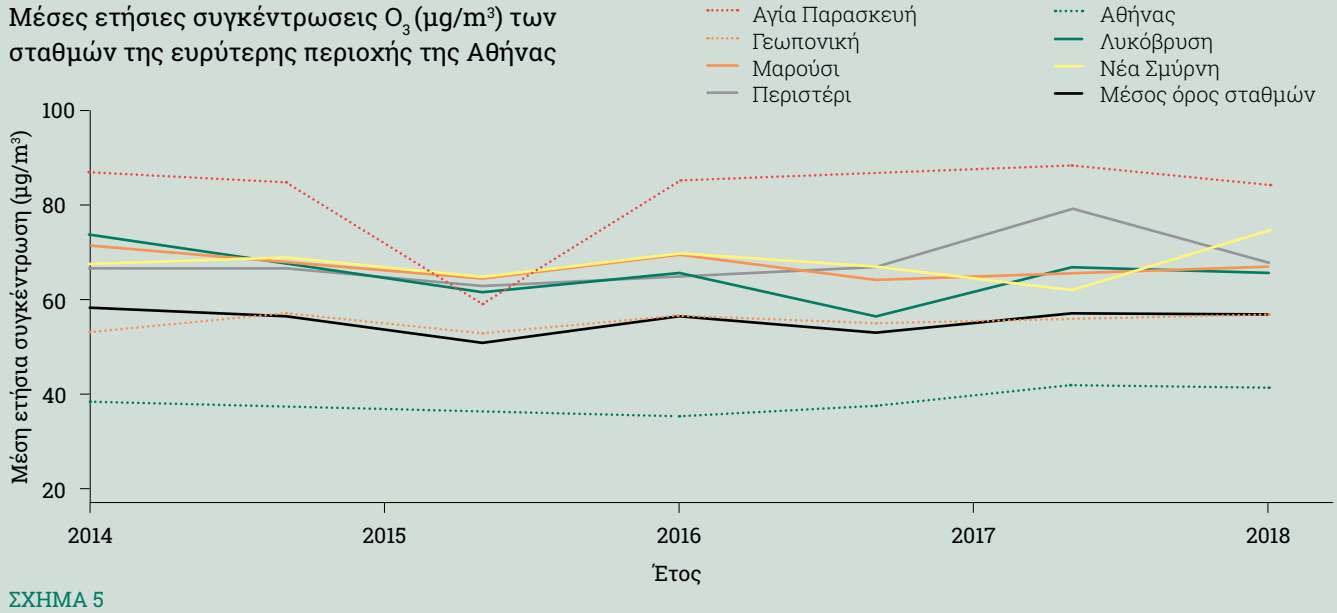
ΣΧΗΜΑ 2
Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} (μg/m³) στους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, 2012-2018.



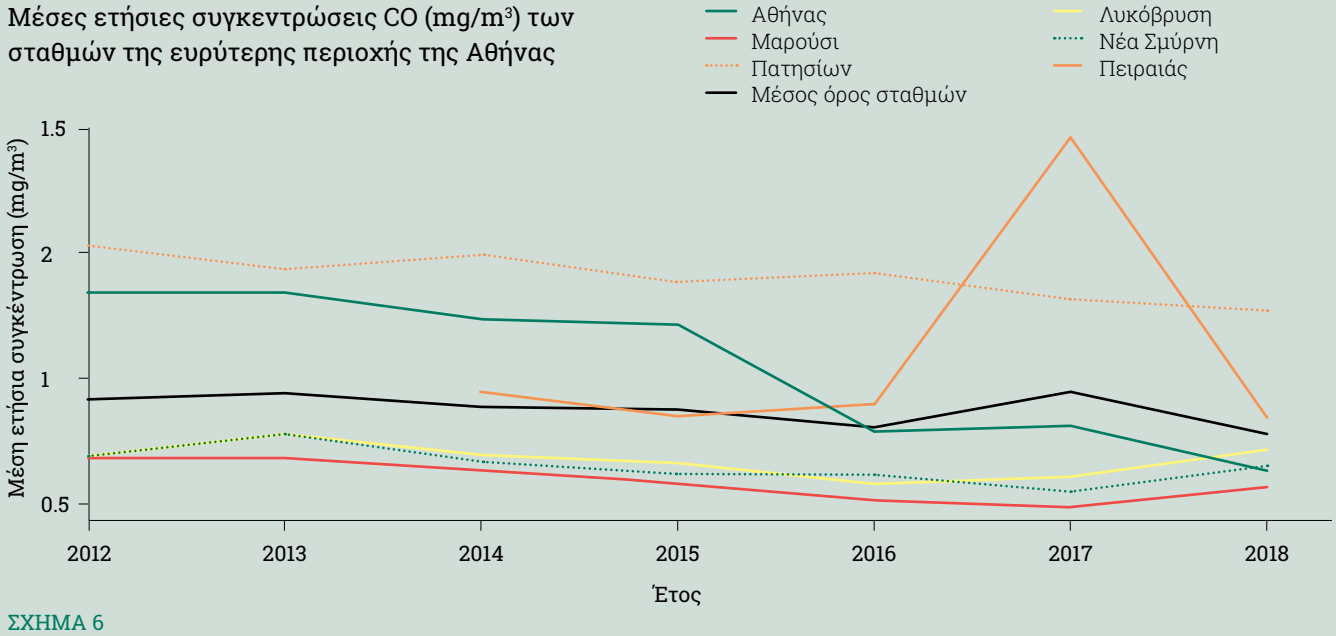
ΣΧΗΜΑ 3
Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις αιωρούμενων σωματιδίων PM_{10} (μg/m³) στους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, 2012-2018.



ΣΧΗΜΑ 4
Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου NO_2 (μg/m³) στους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, 2012-2018.



ΣΧΗΜΑ 5
Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις όζοντος O_3 (μg/m³) στους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, 2012-2018.



ΣΧΗΜΑ 6
Μέσες ετήσιες συγκεντρώσεις διοξειδίου του αζώτου CO (mg/m³) στους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας, 2012-2018.

Α.1.2.
Δεδομένα από μετρήσεις στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και στο Ηράκλειο στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ESCAPE

Στο πλαίσιο του ερευνητικού προγράμματος ESCAPE (European Study of Cohorts for Air Pollution Effects, www.escapeproject.eu) τοποθετήθηκαν, με ευθύνη μελών της Ελληνικής ερευνητικής ομάδας από τη Σχολή Χημικών Μηχανικών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου (ΕΜΠ) και του Πανεπιστημίου Κρήτης, 40 σταθμοί μέτρησης των οξειδίων του αζώτου (NO_2 και NO_x) και 20 σταθμοί μέτρησης των αιωρούμενων σωματιδίων (PM_{10} και $PM_{2.5}$) στην Αθήνα (Σχήμα 10) και αντίστοιχος αριθμός σταθμών στο Ηράκλειο της Κρήτης. Ειδικά για την Αθήνα, οι σταθμοί τοποθετήθηκαν έτσι ώστε να καλύπτεται γεωγραφικά η ευρύτερη περιοχή. Οι μετρήσεις πραγματοποιήθηκαν μεταξύ Απριλίου 2010 και Μαΐου 2011, σε 3 διαδοχικές χρονικές περιόδους 14 ημερών η κάθε μια (κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, της άνοιξης και του χειμώνα). Σκοπός ήταν να ληφθούν υπόψη εποχιακές και εβδομαδιαίες τάσεις, ώστε οι μετρήσεις να είναι αντιπροσωπευτικές της μέσης ετήσιας έκθεσης.

Ο Πίνακες 13Α και Β παρουσιάζουν την περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων του $PM_{2.5}$, PM_{10} και NO_2 στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και του Ηρακλείου σύμφωνα με τις μετρήσεις που έγιναν στο πλαίσιο του ESCAPE.

Οι μετρήσεις του ESCAPE προσφέρουν την ευκαιρία να εκτιμήσουμε το ρόλο της γεωγραφικής διακύμανσης καλύτερα γιατί έχουν πολύ περισσότερα σημεία μέτρησης σε σχέση με τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ στις 2 πόλεις που εφαρμόστηκαν. Ο σκοπός τους ήταν η εκτίμηση της ετήσιας συγκέντρωσης των ρύπων. Στον Πίνακα 13Γ βλέπουμε από τη σύγκριση των ετήσιων τιμών των μετρήσεων από τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ για τα αντίστοιχα έτη 2010-11 και των μέσων τιμών των μετρήσεων του ESCAPE για την περιοχή της Αθήνας ότι οι μετρήσεις από το ESCAPE υπολογίζουν κάπως υψηλότερες συγκεντρώσεις για τα PM_{10} και για τα $PM_{2.5}$, ενώ υπολογίζουν περίπου ίδιες τιμές για το NO_2.

	Συγκεντρώσεις ρύπου(μg/m³)					
	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	25°εκ. i	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75°εκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
$PM_{2.5}$	13.72	18.89	21.56	22.99	25.66	20.91
PM_{10}	27.26	38.96	42.93	48.29	57.95	42.82
NO_2	13.34	29.17	35.86	42.58	70.95	36.45

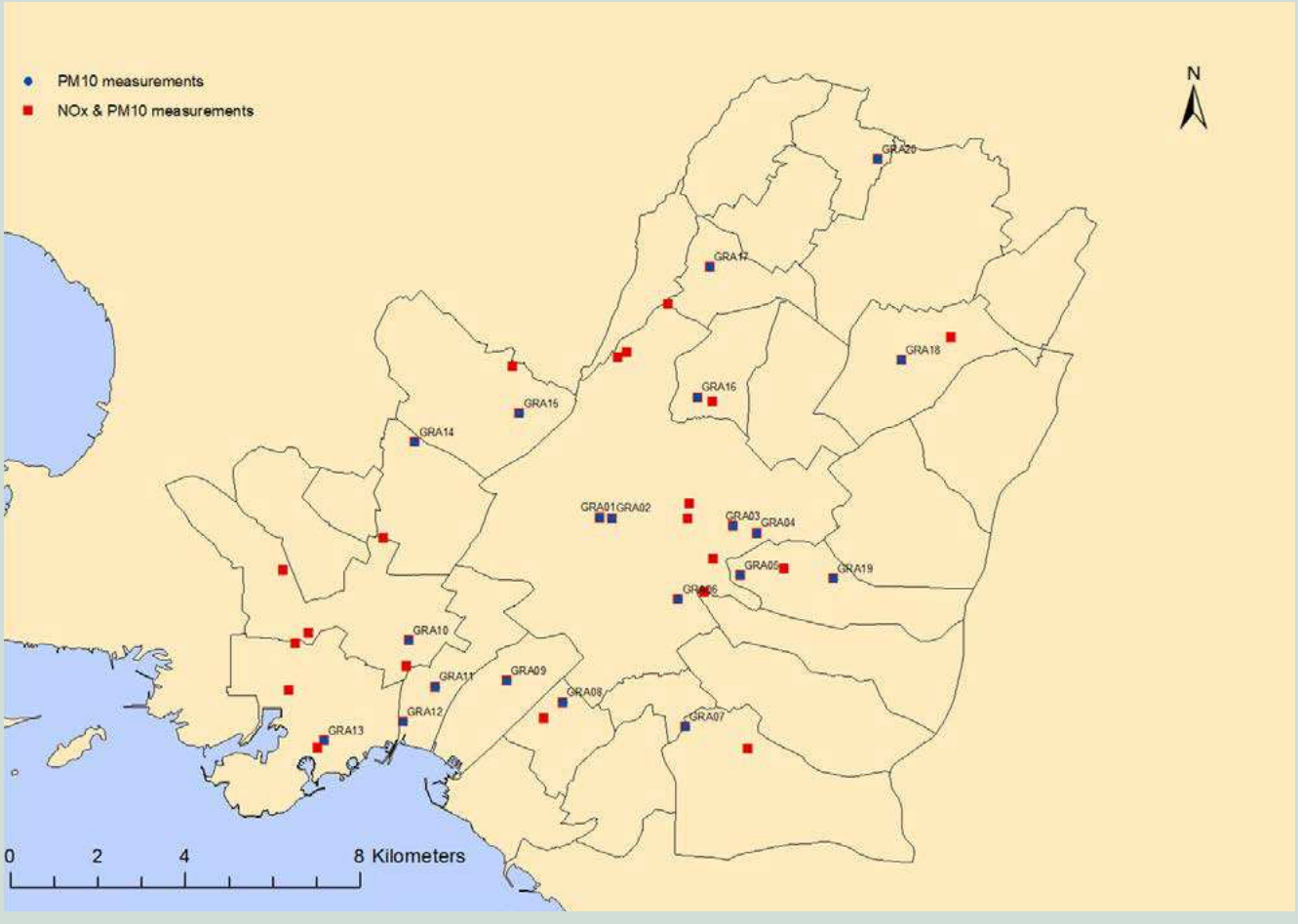
i εκατοστημόριο

ΠΙΝΑΚΑΣ 13Α
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων (PM_{10} και $PM_{2.5}$) και διοξειδίου του αζώτου (NO_2) στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, όπως αυτές μετρήθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος ESCAPE, 2010-2011.

	Συγκεντρώσεις ρύπου(μg/m³)					
ΡΥΠΟΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΟ	25°εκ. i	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	75°εκ.	ΜΕΓΙΣΤΟ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ
$PM_{2.5}$	11.6	13.4	14.2	16.4	18.0	14.7
PM_{10}	28.6	35.4	37.5	42.8	49.4	38.4
NO_2	5.3	10.3	13.9	18.2	34.3	15.3

i εκατοστημόριο

ΠΙΝΑΚΑΣ 13Β
Περιγραφή της κατανομής των συγκεντρώσεων αιωρούμεων σωματιδίων (PM_{10} και $PM_{2.5}$) και διοξειδίου του αζώτου (NO_2) στο Ηράκλειο της Κρήτης, όπως αυτές μετρήθηκαν στο πλαίσιο του προγράμματος ESCAPE, 2010-2011.



ΣΧΗΜΑ 10
Σταθμοί μέτρησης του προγράμματος ESCAPE στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας.

	Συγκεντρώσεις ρύπου (μg/m³)					
	Μετρήσεις ΥΠΕΚΑ 2010-11			Πρόγραμμα ESCAPE		
	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ	ΔΙΑΜΕΣΟΣ	ΜΕΣΗ ΤΙΜΗ	ΤΥΠΙΚΗ ΑΠΟΚΛΙΣΗ
$PM_{2.5}$	17.51	18.50	4.31	21.56	20.91	3.00
PM_{10}	33.74	36.30	8.26	42.93	42.82	7.20
NO_2	33.90	35.30	18.50	35.86	36.45	11.90

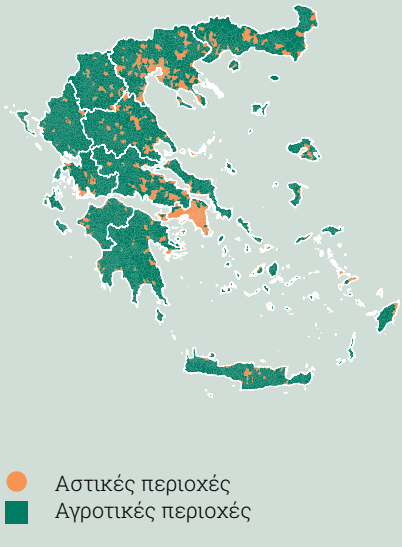
ΠΙΝΑΚΑΣ 13Γ
Μέση τιμή (τυπική απόκλιση) και διάμεση τιμή της κατανομής των συγκεντρώσεων αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων (PM_{10} και $PM_{2.5}$) και διοξειδίου του αζώτου (NO_2) στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, όπως αυτές μετρήθηκαν από τους σταθμούς μέτρησης του ΥΠΕΚΑ, 2010-2011 καθώς και από το Πρόγραμμα ESCAPE.

Α.1.3.
Εκτιμήσεις επιπέδων ατμοσφαιρικών ρύπων σύμφωνα με τα αποτελέσματα μοντέλου που αναπτύχθηκε στο πλαίσιο έργου του ΥΠΕΚΑ.

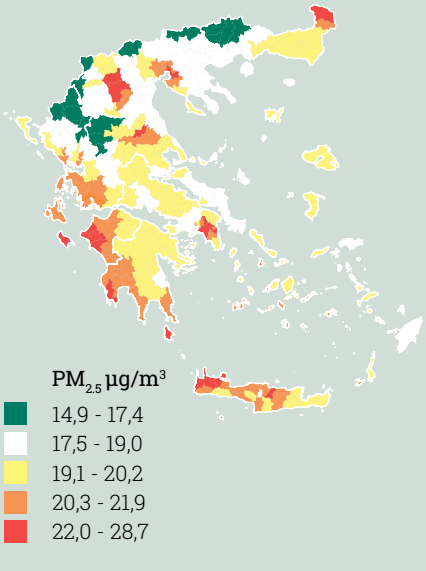
Το ΥΠΕΚΑ ανέθεσε το έργο «Επικαιροποίηση της Χαρτογραφικής Απεικόνισης μέσω της καταγραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών των Πηγών και Ανάπτυξης κατάλληλου Υπολογιστικού Εργαλείου, ΥΠΕΚΑ Δ/νση ΕΑΡΘ, 2014-2015» στην Κοινοπραξία ΛΔΚ ΕΠΕ-ΤΕΜ ΑΕ. Στο πλαίσιο αυτού του έργου έχουν αναπτυχθεί χάρτες με τις προβλεπόμενες ετήσιες συγκεντρώσεις ρύπων στην Ελλάδα σε ανάλυση καννάβου 2x2 χιλιομέτρων, για το έτος 2012 (Progiou, 2015). Οι προβλέψεις αυτές αφορούν τις συγκεντρώσεις σε αιωρούμενα σωματίδια (PM_{10} και $PM_{2.5}$), NO_2 και O_3. Η μέθοδος αυτή βασίζεται στην εφαρμογή τρισδιάστατων μετεωρολογικών μοντέλων και μοντέλων διασποράς (dispersion). Το πλεονέκτημα αυτού του έργου είναι ότι έδωσε τιμές για όλη τη χώρα και επομένως οι εκτιμήσεις του μπορούν να χρησιμοποιηθούν πανελλαδικά για τον υπολογισμό των μακροχρόνιων επιδράσεων στην υγεία. Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τις βραχυχρόνιες επιδράσεις γιατί δεν παρέχουν ημερήσιες τιμές.

Με βάση τις διαθέσιμες εκτιμήσεις του παραπάνω προγράμματος έχουμε υπολογίσει τις συγκεντρώσεις σε επίπεδο Δημοτικής ή Τοπικής κοινότητας ώστε να μπορέσει να γίνει εν συνεχεία η εκτίμηση της ρύπανσης κατά αστικές/ημιαστικές και αγροτικές περιοχές κάθε Περιφέρειας. Επιλέχθηκε το επίπεδο Δημοτικής ή Τοπικής κοινότητας καθώς είναι αυτό στο οποίο η ΕΛΣΤΑΤ ορίζει τον βαθμό αστικότητας. Σύμφωνα με την ΕΛΣΤΑΤ, αστική χαρακτηρίζεται κάθε Δημοτική ή Τοπική Κοινότητα της οποίας ο πολυπληθέστερος οικισμός έχει 2000 κατοίκους και άνω και αντίστοιχα αγροτική χαρακτηρίζεται κάθε Δημοτική ή Τοπική Κοινότητα της οποίας ο πολυπληθέστερος οικισμός έχει λιγότερους από 2000 κατοίκους (Σχήμα 11, www.statistics.gr). Για τη διαδικασία εκτίμησης των συγκεντρώσεων των ρύπων κατά αστικές/ημιαστικές και αγροτικές περιοχές κάθε Περιφέρειας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφορίας (ΓΣΠ) ArcGIS έκδοση 10 (ESRI 2011. ArcGIS Desktop: Release

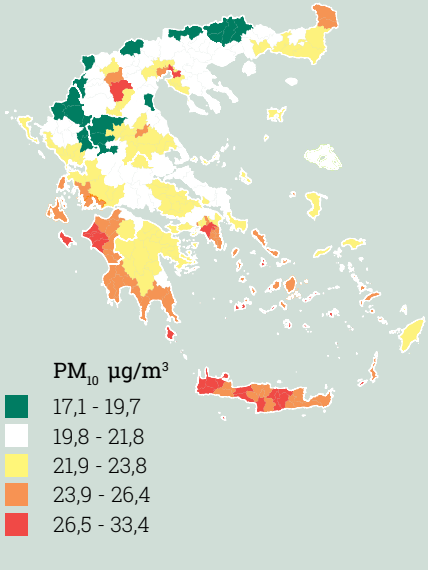
Αστικές και αγροτικές περιοχές της Ελλάδας



ΣΧΗΜΑ 11
Διαίρεση της Ελλάδας σε αστικές/ημιαστικές και αγροτικές περιοχές σύμφωνα με την Ελληνική Στατιστική Αρχή για το έτος 2011.



ΣΧΗΜΑ 12
Γεωγραφική κατανομή των εκτιμήσεων των συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ στην Ελλάδα, 2012, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ.



ΣΧΗΜΑ 13
Γεωγραφική κατανομή των εκτιμήσεων των συγκεντρώσεων PM_{10} στην Ελλάδα, 2012, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ.

10. Redlands, CA: Environmental Systems Research Institute - ESRI). Συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκε το εργαλείο χωρικής ανάλυσης «Zonal Statistics (spatial analyst)». Με το εργαλείο αυτό υπολογίζεται η μέση τιμή των δεδομένων ψηφιακής δομής του καννάβου που περιέχεται σε κάθε «ζώνη», σταθμίζοντας με το ποσοστό κάλυψης κάθε καννάβου (εδώ ήταν 2Χ2 χλμ) από την αντίστοιχη «ζώνη». Ως «ζώνη» ορίζουμε εδώ τη Δημοτική ή Τοπική κοινότητα.

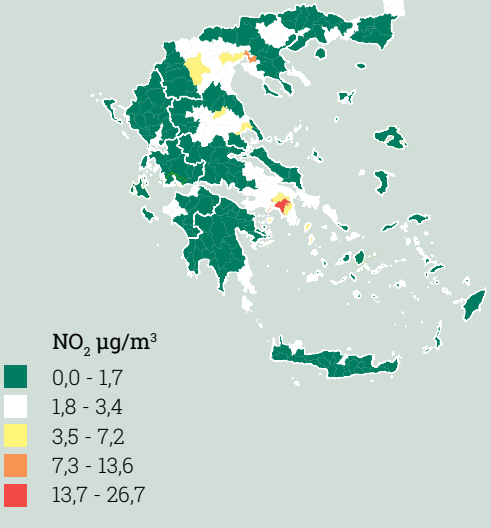
Το Σχήμα 11 παρουσιάζει την κατανομή κατά αστικότητα (αστικές/ημιαστικές και αγροτικές περιοχές) σε κάθε Περιφέρεια της Ελλάδας. Οι αστικές/ημιαστικές περιοχές της Ελλάδας καλύπτουν έκθεση 14%, ενώ το 77% του πληθυσμού της χώρας κατοικεί σε αυτές.

Τα Σχήματα 12-15 παρουσιάζουν τη γεωγραφική κατανομή των ρύπων στην Ελλάδα το 2012 σύμφωνα με τις εκτιμήσεις της χαρτογραφικής απεικόνισης του παραπάνω έργου.

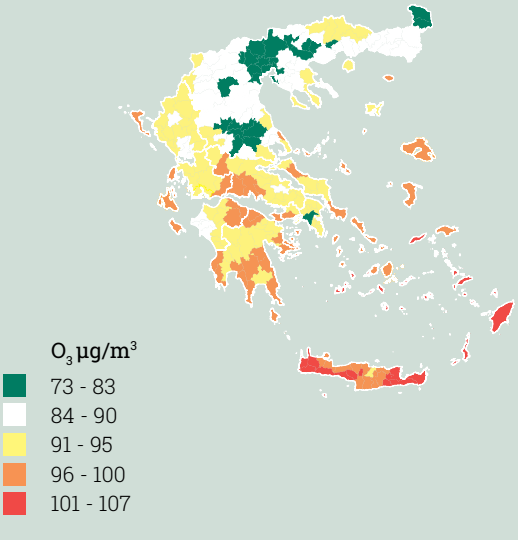
Απο τους παραπάνω χάρτες φαίνεται ότι σύμφωνα με τις εκτιμήσεις του μοντέλου που χρησιμοποιήθηκε στο πρόγραμμα «Επικαιροποίηση της Χαρτογραφικής Απεικόνισης μέσω της καταγραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών των Πηγών και Ανάπτυξης κατάλληλου Υπολογιστικού Εργαλείου, ΥΠΕΚΑ Δ/νση ΕΑΡΘ, 2014-2015», η γεωγραφική κατανομή των αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματιδίων παρουσιάζει σχετικά υψηλές συγκεντρώσεις στα μεγάλα αστικά κέντρα αλλά και σε άλλες περιοχές της χώρας (π.χ. σε ολόκληρη σχεδόν την Κρήτη, στη νοτιοδυτική χωρα), ενώ το NO_2 παρουσιάζει υψηλές τιμές μόνο στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη. Το όζον αντίθετα παρουσιάζει πιο υψηλές συγκεντρώσεις εκτός των μεγάλων αστικών κέντρων, κυρίως στη Νότια Ελλάδα και στο νησιωτικό χώρο.

Οι Πίνακες 14-17 παρουσιάζουν τις μέσες τιμές και τυπικές αποκλίσεις των συγκεντρώσεων των $PM_{2.5}$, PM_{10}, NO_2 και O_3 ανά Περιφέρεια και σύμφωνα με το βαθμό αστικότητας για το 2012, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ. Ειδικότερα οι μέσες τιμές που παρουσιάζονται είναι οι μέσες τιμές των συγκεντρώσεων όλων των Δημοτικών ή Τοπικών Κοινοτήτων που εμπίπτουν στην κάθε Περιφέρεια, ή επικαλύπτονται με αυτήν (με στάθμιση ανάλογα με το ποσοστό της επικάλυψης) στον αντίστοιχο βαθμό αστικότητας.

Όπως φαίνεται στους Πίνακες 14-17 οι συγκεντρώσεις που εκτιμώνται με βάση το μοντέλο της χαρτογραφικής απεικόνισης είναι πολύ χαμηλές για τις αστικές περιοχές των περιφερειών που περιλαμβάνουν τα αστικά κέντρα σε σχέση με μετρήσεις που περιγράφονται στους Πίνακες 3-12. Επίσης, οι διαφορές μεταξύ των αστικών/ημισταικών και των αγροτικών περιοχών είναι μικρές. Ο λόγος είναι ότι



ΣΧΗΜΑ 14
Γεωγραφική κατανομή των εκτιμήσεων των συγκεντρώσεων NO_2 στην Ελλάδα, 2012, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ.



ΣΧΗΜΑ 15
Γεωγραφική κατανομή των εκτιμήσεων των επιπέδων O_3 στην Ελλάδα, 2012, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ.

το μοντέλο εξομαλύνει τις διαφορές με τον υπολογισμό που αφορά το σύνολο των αστικών και ημιαστικών περιοχών μιας Περιφέρειας οι οποίες μπορεί να αντιπροσωπεύουν αστικά κέντρα με μεγάλες πληθυσμιακές διαφορές (πχ οι ημιαστικές περιοχές μπορεί να έχουν μόλις λίγο περισσότερους από 2000 κατοίκους). Έτσι, έγινε επιπλέον η εκτίμηση με βάση το ίδιο μοντέλο των συγκεντρώσεων στα αστικά κέντρα στα οποία λειτουργεί τουλάχιστον ένας σταθμός μέτρησης του ΥΠΕΚΑ. Οι συγκεντρώσεις εκτιμήθηκαν ως ο μέσος όρος των τιμών των καννάβων 2x2 χλμ που ανήκουν σε Δήμους ή Δημοτικές Ενότητες που βρίσκονται στο εκάστοτε αστικό κέντρο. Δηλαδή, εξαιρέθηκαν οι Δημοτικές Ενότητες που ήταν εκτός του κέντρου των πόλεων. Επίσης, η έκθεση στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη εκτιμήθηκε και στην ευρύτερη αστική περιοχή. Στον Πίνακα 18 φαίνονται οι σχετικές συγκεντρώσεις.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$, Μέση τιμή (τυπική απόκλιση)	
	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	19.44 (1.34)	18.95 (1.71)
ΑΤΤΙΚΗΣ	21.18 (4.24)	19.99 (1.42)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.17 (0.43)	19.08 (0.41)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.79 (1.02)	20.59 (1.28)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.24 (2.98)	19.13 (3.07)
ΗΠΕΙΡΟΥ	18.26 (2.17)	17.70 (1.80)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	19.87 (1.80)	18.80 (1.46)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	21.43 (1.27)	21.29 (1.21)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	19.51 (2.55)	18.39 (1.21)
ΚΡΗΤΗΣ	21.12 (1.75)	20.77 (1.18)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.38 (0.57)	19.64 (0.79)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	20.18 (1.27)	20.08 (0.99)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	19.09 (0.65)	18.97 (0.65)

ΠΙΝΑΚΑΣ 14
Μέση τιμή (τυπική απόκλιση) των εκτιμώμενων συγκεντρώσεων $PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$) για το 2012 από όλες τις Δημοτικές ή Τοπικές Κοινότητες ανά Περιφέρεια και αστικότητα, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Συγκεντρώσεις PM_{10}, Μέση τιμή (τυπική απόκλιση)	
	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	21.73 (1.57)	21.14 (2.08)
ΑΤΤΙΚΗΣ	24.47 (4.32)	23.95 (2.73)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21.67 (1.00)	22.27 (1.04)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	25.33 (1.60)	23.70 (1.90)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	24.11 (3.27)	21.72 (3.61)
ΗΠΕΙΡΟΥ	20.84 (2.68)	20.06 (2.15)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	22.59 (1.91)	21.35 (1.70)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	25.50 (2.40)	25.35 (2.10)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.73 (2.64)	20.58 (1.34)
ΚΡΗΤΗΣ	26.55 (1.72)	26.46 (1.55)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	24.12 (1.25)	24.82 (2.05)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	23.58 (1.82)	23.44 (1.58)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.94 (0.78)	21.63 (0.97)

ΠΙΝΑΚΑΣ 15
Μέση τιμή (τυπική απόκλιση) των εκτιμώμενων συγκεντρώσεων PM_{10} ($\mu g/m^3$) για το 2012 από όλες τις Δημοτικές ή Τοπικές Κοινότητες ανά Περιφέρεια και αστικότητα, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Συγκεντρώσεις NO_2, Μέση τιμή (τυπική απόκλιση)	
	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	1.61 (1.25)	1.21 (0.78)
ΑΤΤΙΚΗΣ	6.67 (9.83)	2.46 (1.35)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	1.37 (1.04)	1.18 (0.41)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	1.87 (1.94)	0.88 (0.55)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	2.66 (1.93)	1.95 (1.82)
ΗΠΕΙΡΟΥ	1.40 (1.66)	0.72 (0.49)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	3.10 (3.58)	1.58 (1.28)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	1.45 (0.91)	0.87 (0.41)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	2.79 (3.31)	1.70 (1.08)
ΚΡΗΤΗΣ	1.91 (1.94)	1.11 (0.68)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	1.41 (0.53)	1.40 (1.04)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	1.64 (1.25)	1.02 (0.88)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	1.74 (1.51)	1.11 (0.89)

ΠΙΝΑΚΑΣ 16
Μέση τιμή (τυπική απόκλιση) των εκτιμώμενων συγκεντρώσεων NO_2 ($\mu g/m^3$) για το 2012 από όλες τις Δημοτικές ή Τοπικές Κοινότητες ανά Περιφέρεια και αστικότητα, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Συγκεντρώσεις O_3, Μέση τιμή (τυπική απόκλιση)	
	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	86.38 (5.20)	88.37 (5.69)
ΑΤΤΙΚΗΣ	90.74 (8.52)	97.27 (3.16)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	97.08 (2.48)	97.26 (2.79)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	90.11 (4.00)	93.40 (3.80)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	83.98 (5.07)	86.52 (5.66)
ΗΠΕΙΡΟΥ	91.34 (4.54)	92.53 (3.60)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	83.02 (8.37)	86.84 (7.33)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	95.94 (2.61)	98.65 (2.21)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	83.93 (7.53)	84.91 (6.52)
ΚΡΗΤΗΣ	98.58 (3.79)	100.68 (3.07)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	100.60 (1.73)	101.58 (2.73)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	94.30 (3.66)	95.85 (3.62)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	91.76 (5.09)	93.67 (4.37)

ΠΙΝΑΚΑΣ 17
Μέση τιμή (τυπική απόκλιση) των εκτιμώμενων συγκεντρώσεων O_3 ($\mu g/m^3$) για το 2012 από όλες τις Δημοτικές ή Τοπικές Κοινότητες ανά Περιφέρεια και αστικότητα, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ.

	$PM_{2.5}$ ($\mu g/m^3$)		PM_{10} ($\mu g/m^3$)	
ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	Μοντέλο	Μετρήσεις	Μοντέλο	Μετρήσεις
ΑΘΗΝΑ	40.73 (1.76)	19.52 (-) i	43.46 (1.95)	31.00 (-) i
ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΘΗΝΑΣ	28.74(6.73)	18.50 (4.95)	31.95 (6.75)	32.20 (6.26)
ΑΜΦΙΣΣΑ	18.43 (0.77)	-	21.44 (0.71)	21.50 (-)
ΒΟΛΟΣ	20.77 (0.62)	20.76 (-)	27.22 (1.53)	30.50 (-)
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	23.80 (1.06)	-	23.72 (0.69)	30.63 (-)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	40.88 (2.00)	24.83 (-) ii	22.11 (0.62)	41.00 (-) ii
ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	25.93 (7.45)	19.37 (5.53)	28.04 (7.60)	35.00 (5.20)
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	18.87 (0.65)	-	21.85 (0.63)	32.70 (-)
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	18.80 (0.52)	-	22.66 (0.36)	28.80 (-)
ΛΑΜΙΑ	19.63 (0.53)	-	20.63 (0.42)	24.96 (-)
ΛΑΡΙΣΑ	24.31 (1.49)	-	21.18 (0.85)	44.00 (-)
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	19.36 (0.41)	-	25.03 (1.01)	21.69 (-)
ΠΑΤΡΑ	21.86 (1.18)	18.17 (-)	44.16 (1.82)	36.04 (3.36)
ΧΑΛΚΙΔΑ	19.69 (0.32)	-	29.18 (0.99)	35.68 (-)

i σταθμός Αριστοτέλους ii σταθμός Αγία Σοφία

ΠΙΝΑΚΑΣ 18Α
Μέση τιμή (τυπική απόκλιση) των εκτιμώμενων συγκεντρώσεων αιωρούμενων ατμοσφαιρικών σωματίδίων από όλες τις Δημοτικές Ενότητες των αστικών κέντρων στην Ελλάδα για το 2012, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ και αντίστοιχα για τις μετρήσεις του δικτύου ΥΠΕΚΑ για το 2012 ή μέση τιμή των διαθεσίμων μετρήσεων για μεταγενέστερα έτη, για τις πόλεις που υπάρχουν σταθμοί.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	NO_2 (μg/m³)		O_3 (μg/m³)	
	Μοντέλο	Μετρήσεις	Μοντέλο	Μετρήσεις
ΑΘΗΝΑ	50.98 (2.33)	54.00 (-) i	55.2 (1.45)	52.00 (-) iii
ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΑΘΗΝΑΣ	26.65 (16.07)	35.80 (16.70)	74.86 (13.33)	57.00 (19.50)
ΑΜΦΙΣΣΑ	0.47 (0.22)	-	96.99 (3.05)	-
ΒΟΛΟΣ	7.04 (6.98)	-	83.2 (7.97)	-
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	3.87 (2.42)	-	93.06 (2.88)	-
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	36.28 (2.79)	28.00 (-) ii	57.79 (2.25)	60.00 (-) ii
ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ	10.22 (11.18)	20.00 (10.58)	80.53 (10.72)	73.30 (22.36)
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	2.28 (2.39)	-	88.57 (3.43)	-
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	0.53 (0.14)	-	96.8 (1.66)	-
ΛΑΜΙΑ	1.89 (1.56)	-	89.08 (4.78)	-
ΛΑΡΙΣΑ	9.03 (6.9)	34.00 (-)	72.34 (6.76)	27.00 (-)
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	1.11 (0.47)	-	94.19 (3.98)	-
ΠΑΤΡΑ	4.13 (4.51)	32.65 (0.30)	92.13 (5.72)	58.74 (-)
ΧΑΛΚΙΔΑ	6.08 (4.99)	-	86.11 (4.59)	-

i σταθμός Αριστοτέλους ii σταθμός Αγία Σοφία iii σταθμός Γεωπονική

ΠΙΝΑΚΑΣ 18Β
Μέση τιμή (τυπική απόκλιση) των εκτιμώμενων συγκεντρώσεων NO_2 και O_3 από όλες τις Δημοτικές Ενότητες των αστικών κέντρων στην Ελλάδα για το 2012, με βάση τη χαρτογραφική απεικόνιση του έργου του ΥΠΕΚΑ και αντίστοιχα τις μετρήσεις του δικτύου ΥΠΕΚΑ (24ωρες τιμές) για τις πόλεις που υπάρχουν.

Αν συγκρίνουμε τις πληροφορίες των μετρήσεων και του μοντέλου όσον αφορά τις συγκεντρώσεις ρύπων, βλέπουμε ότι υπάρχουν αποκλίσεις στην εκτίμηση των συγκεντρώσεων των ρύπων και των μετρήσεων σε ορισμένες περιπτώσεις. Συνεκτιμώντας όμως το γεγονός ότι το μοντέλο βασίζεται σε όλη την έκταση μιας αστικής περιοχής και παρέχει εκτιμήσεις για ολόκληρη τη Χώρα, ενώ οι σταθμοί μέτρησης είναι χωροθετημένοι σε ορισμένα σημεία λίγων αστικών περιοχών, ορισμένα από αυτά ιδιαίτερα επιβαρυμένα, καταλήγουμε ότι είναι ορθότερο να κάνουμε χρήση των εκτιμήσεων του Μοντέλου για τον υπολογισμό των μακροχρόνιων επιδράσεων της έκθεσης των ρύπων στην υγεία. Στο ίδιο συμπέρασμα οδηγούμαστε βλέποντας ότι δεν υπάρχουν συστηματικές διαχρονικές μεταβολές στα επίπεδα των συγκεντρώσεων των ρύπων την περίοδο 2012-18.

Επειδή όμως λαμβάνοντας υπόψη μόνο τις εκτιμήσεις για τις αστικές/ημιαστικές περιοχές οδηγούμαστε σε σημαντική υποεκτίμηση των μακροχρόνιων συγκεντρώσεων ρύπων, ειδικά για τα αστικά κέντρα που υπάρχουν τοπικές εκπομπές ρύπων με μεγάλη γεωγραφική ανισοκατανομή, όπως είναι το NO_2, κάναμε εκτίμηση των επιδράσεων της επιβάρυνσης από την ατμοσφαιρική ρύπανση κατά αστικότητα και περιφέρεια και εν συνεχεία χωριστά την εκτίμηση για τα αστικά κέντρα στα οποία λειτουργεί τουλάχιστον ένας σταθμός μετρήσεων του ΥΠΕΚΑ.

Α.2.
Δεδομένα πληθυσμιακής κατανομής και υγείας

Για τον υπολογισμό της επιβάρυνσης στην υγεία από την έκθεση στην ατμοσφαιρκή ρύπανση απαιτούνται δεδομένα σχετικά με τον πληθυσμό και τη συχνότητα εμφάνισης του υπό εξέταση δείκτη υγείας. Επειδή είναι γνωστό ότι η επιβάρυνση για την υγεία είναι μεγαλύτερη στους πιο ηλικιωμένους, παραθέτουμε δεδομένα της ηλικιακής κατανομής του πληθυσμού κατά Περιφέρεια και αστικότητα. Στους υπολογισμούς μας υπεισέρχεται ο αριθμός των περιστατικών του δείκτη υγείας (π.χ. των θανάτων) και αυτόν παρουσιάζουμε παρακάτω, ενώ δεν έχουμε υπολογίσει δείκτες θνησιμότητας ή επίπτωσης καθώς ο σκοπός μας δεν είναι να συγκρίνουμε εδώ το επίπεδο υγείας των αντίστοιχων πληθυσμών.

Οι Πίνακες 19-20 παρουσιάζουν τα δεδομένα για την ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού συνολικά και ανά αστική/ημιαστική και αγροτική περιοχή για κάθε Περιφέρεια και συλλέχθηκαν από την Ελληνική Στατιστική Αρχή σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού το 2011. Ο χαρακτηρισμός αστικότητας προέρχεται από το επίπεδο των δημοτικών κοινοτήτων όπως περιγράφηκε στο εδάφιο 2.1.3. Η κατανομή του πληθυσμού χρησιμοποιείται στον μετέπειτα υπολογισμό των αποδοτέων αριθμών περιστατικών σύμφωνα με τα εκάστοτε σενάρια εκτίμησης της επιβάρυνσης. Παρατηρούμε ότι το 53% του πληθυσμού συγκεντρώνεται στην Περιφέρεια Αττικής και Κεντρικής Μακεδονίας. Η κατανομή των ηλικιών δε διαφοροποιείται σημαντικά μεταξύ Περιφερειών, όμως διαφοροποιείται ανά βαθμό αστικότητας καθώς μεγαλύτερα ποσοστά στις ηλικιακές ομάδες κάτω των 64 ετών παρατηρούνται στις αστικές/ημιαστικές περιοχές σε όλες τις Περιφέρειες, ενώ στις αγροτικές περιοχές αντιπροσωπεύονται περισσότερο τα άτομα άνω των 65 ετών. Συγκεκριμένα, στο σύνολο των αστικών/ημιαστικών περιοχών της χώρας το 83% των κατοίκων είναι κάτω από 64 ετών, ενώ στις αγροτικές περιοχές το αντίστοιχο ποσοστό είναι 72%.

Ο συνολικός αριθμός θανάτων, αλλά όχι ο κατά αιτίες, ήταν διαθέσιμος από την ιστοσελίδα της ΕΛΣΤΑΤ www.statistics.gr κατά Δήμο ή Δημοτική ενότητα μέχρι το έτος 2017. Ζητήθηκε από την ΕΛΣΤΑΤ να μας αποστείλει δεδομένα αριθμού θανάτων κατά αιτίες για κάθε Περιφέρεια κατά αστικότητα από το 2014 έως το πιο πρόσφατο έτος για το οποίο υπήρχαν δεδομένα και μας απέστειλε δεδομένα μέχρι το 2016. Οι Πίνακες 21-22 παρουσιάζουν την κατανομή ανά Περιφέρεια συνολικά και κατά αστικότητα του αριθμού των θανάτων, για τα έτη 2014-16, από όλες τις φυσικές αιτίες, δηλαδή κωδικοί με βάση την 10η αναθεώρηση της Διεθνούς Ταξινόμησης Νοσημάτων (ICD10) A00-R99, που αναφέρονται στους θανάτους από όλα τα αίτια εκτός των «εξωτερικών» όπως ατυχήματα, δολοφονίες, δηλητηριάσεις κλπ. Ο χαρακτηρισμός αστικότητας προέρχεται από το επίπεδο των Δημοτικών Κοινοτήτων όπως περιγράφονται στο εδάφιο 2.1.3. Επισημαίνεται ότι ο αριθμός των θανάτων προφανώς επηρεάζεται από το μέγεθος του πληθυσμού και την ηλικιακή κατανομή.

Οι Πίνακες 23-34 παρουσιάζουν την κατανομή της κατά αιτία θνησιμότητας στο σύνολο της χώρας και ανά Περιφέρεια συνολικά και κατά αστικότητα για τα έτη 2014-16. Έγινε επιλογή των αιτιών θανάτου για τις οποίες υπάρχουν τεκμηριωμένες συσχετίσεις με την έκθεση (βραχυχρόνια ή μακροχρόνια) σε έναν τουλάχιστον ατμοσφαιρικό ρύπο σύμφωνα με ό,τι αναφέρεται στο Υποκεφάλαιο Α.3. Συγκεκριμένα, αυτές είναι: Καρδιαγγειακά νοσήματα (ICD10: I00-I99), Αναπνευστικά νοσήματα (ICD10: J00-J98), Ισχαιμική καρδιοπάθεια (ICD10: I20-125), Νοσήματα των εγκεφαλικών αγγείων (ICD10: I60-I69), Καρκίνος του Πνεύμονα (ICD10: C33-C34) και Χρόνια Αποφρακτική Πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) (ICD10: J40-J47). Επιπλέον, επειδή τεκμηριώνεται στη βιβλιογραφία ότι η επίπτωση του καρκίνου του πνεύμονα σχετίζεται με την έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια PM_{10}, χρησιμοποιήθηκε η εκτίμηση του ΠΟΥ για 9.964 νέες περιπτώσεις καρκίνου του πνεύμονα για το 2018 στην Ελλάδα (Ferlayetal, 2018), καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμα στοιχεία από την ΕΛΣΤΑΤ.

Στο σύνολο της χώρας έχουμε μέσο ετήσιο αριθμό θανάτων (2014-16) 113.558. Κατά αιτίες το 40% οφείλεται σε καρδιαγγειακές αιτίες (από αυτές 10% σε ισχαιμική καρδιοπάθεια και 12% σε εγκεφαλικά επεισόδεια) , το 12% σε αναπνευστικές αιτίες, το 6% σε καρκίνο του πνεύμονα και το 3% σε χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια. Οι διαφοροποιήσεις κατά αστικότητα οφείλονται τόσο στη διαφορά της ηλικιακής κατανομής όσο και πιθανούς παράγοντες που σχετίζονται με την αστικότητα.

Όσον αφορά τους θανάτους κατοίκων των 12 αστικών κέντρων με τουλάχιστον έναν σταθμό μέτρησης του ΥΠΕΚΑ, επειδή δεν είχαμε δεδομένα από την ΕΛΣΤΑΤ ανά Δημοτική Ενότητα ή Δήμο ώστε να υπολογίσουμε τους θανάτους στα αστικά κέντρα, χρησιμοποιήσαμε τα διαθέσιμα δεδομένα (2014-17) για τον ολικό αριθμό θανάτων (χωρίς εξαίρεση των θανάτων από εξωτερικές αιτίες). Ζητήσαμε όμως από την ΕΛΣΤΑΤ και τους θανάτους από καρδιαγγειακές και αναπνευστικές αιτίες συνολικά για τα συγκεκριμένα αστικά κέντρα και μας απεστάλησαν για τα έτη 2014-16. Οι Πίνακες 35-36 παρουσιάζουν τον μόνιμο πληθυσμό και τον αριθμό των θανάτων συνολικά (2014-17) και από καρδιαγγειακές και αναπνευστικές αιτίες (2014-16) στα αστικά κέντρα.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ	ΗΛΙΚΙΑΚΗ ΟΜΑΔΑ			
		0-14 ετών	15-64 ετών	65-74 ετών	75+ ετών
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	608182 (100%)	90948 (14.95%)	387110 (63.65%)	65879 (10.83%)	64245 (10.56%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	3828434 (100%)	532336 (13.90%)	2630668 (68.71%)	337384 (8.81%)	328046 (8.57%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	199231 (100%)	27962 (14.03%)	126900 (63.69%)	20102 (10.09%)	24267 (12.18%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	679796 (100%)	100580 (14.8%)	444446 (65.38%)	63826 (9.39%)	70944 (10.44%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	283689 (100%)	41370 (14.58%)	179993 (63.45%)	29494 (10.40%)	32832 (11.57%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	336856 (100%)	44885 (13.32%)	212989 (63.23%)	37514 (11.14%)	41468 (12.31%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	732762 (100%)	108054 (14.75%)	463366 (63.24%)	81976 (11.19%)	79366 (10.83%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	207855 (100%)	29634 (12.46%)	134019 (64.48%)	20269 (9.75%)	23933 (11.51%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1882108 (100%)	284115 (15.10%)	1225637 (65.12%)	194044 (10.31%)	178312 (9.47%)
ΚΡΗΤΗΣ	623065 (100%)	103781 (16.66%)	409368 (67.72%)	53629 (8.61%)	56287 (9.03%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	309015 (100%)	50174 (16.24%)	209255 (67.72%)	26063 (8.43%)	23523 (7.61%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	577903 (100%)	79621 (13.78%)	365494 (63.24%)	60306 (10.44%)	72482 (12.54%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	547390 (100%)	75808 (13.85%)	348921 (63.74%)	59955 (10.95%)	62706 (11.46%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	10816286 (100%)	1569268 (14.51%)	7138166 (65.99%)	1050441 (9.71%)	1058411 (9.79%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 19
Μόνιμος πληθυσμός ανά Περιφέρεια και ηλικιακή ομάδα, με βάση τα στοιχεία απογραφής του 2011 (ΕΛΣΤΑΤ).

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				
		ΣΥΝΟΛΟ	0-14 ετών	15-64 ετών	65-74 ετών	75+ ετών	ΣΥΝΟΛΟ	0-14 ετών	15-64 ετών	65-74 ετών	75+ ετών
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	399782 (100%)	65648 (16.42%)	264681 (66.21%)	35767 (8.95%)	33686 (8.43%)	208400 (100%)	25300 (12.14%)	122429 (58.75%)	30112 (14.45%)	30559 (14.66%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	3791066 (100%)	527196 (13.91%)	2607053 (68.77%)	333007 (8.78%)	323810 (8.54%)	37368 (100%)	5140 (13.76%)	23615 (63.20%)	4377 (11.71%)	4236 (11.34%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	93913 (100%)	14097 (15.01%)	62573 (66.63%)	7853 (8.36%)	9390 (10.00%)	105318 (100%)	13865 (13.16%)	64327 (61.08%)	12249 (11.63%)	14877 (14.13%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	419540 (100%)	66109 (15.76%)	285780 (68.12%)	33654 (8.02%)	33997 (8.10%)	260256 (100%)	34471 (13.25%)	158666 (60.97%)	30172 (11.59%)	36947 (14.20%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	164116 (100%)	26922 (16.40%)	110902 (67.58%)	13247 (8.07%)	13045 (7.95%)	119573 (100%)	14448 (12.08%)	69091 (57.78%)	16247 (13.59%)	19787 (16.55%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	169019 (100%)	26106 (15.45%)	115238 (68.18%)	14142 (8.37%)	13533 (8.01%)	167837 (100%)	18779 (11.19%)	97751 (58.24%)	23372 (13.93%)	27935 (16.64%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	494399 (100%)	81071 (16.40%)	327667 (66.28%)	44991 (9.10%)	40670 (8.23%)	238363 (100%)	26983 (11.32%)	135699 (56.93%)	36985 (15.52%)	38696 (16.23%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	77021 (100%)	11085 (14.39%)	51757 (67.20%)	6601 (8.57%)	7578 (9.84%)	130834 (100%)	18549 (14.18%)	82262 (62.88%)	13668 (10.45%)	16355 (12.50%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1474471 (100%)	229715 (15.58%)	988922 (67.07%)	134208 (9.10%)	121626 (8.25%)	407637 (100%)	54400 (13.35%)	236715 (58.07%)	13668 (10.45%)	56686 (13.91%)
ΚΡΗΤΗΣ	393267 (100%)	67978 (17.29%)	271928 (69.15%)	27686 (7.04%)	25675 (6.53%)	229798 (100%)	35803 (15.58%)	137440 (59.81%)	59836 (14.68%)	30612 (13.32%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	193885 (100%)	33008 (17.02%)	134224 (69.23%)	14533 (7.50%)	12120 (6.25%)	115130 (100%)	17166 (14.91%)	75031 (65.17%)	25943 (11.29%)	11403 (9.90%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗ-ΣΟΥ	295914 (100%)	45077 (15.23%)	198510 (67.08%)	25533 (8.63%)	26794 (9.05%)	281989 (100%)	34544 (12.25%)	166984 (59.22%)	11530 (10.01%)	45688 (16.20%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	318866 (100%)	49997 (15.68%)	213285 (66.89%)	28612 (8.97%)	26972 (8.46%)	228524 (100%)	25811 (11.29%)	135636 (59.35%)	34773 (12.33%)	35734 (15.64%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	8285259 (100%)	1244009 (15.01%)	5632520 (67.98%)	719834 (8.69%)	688896 (8.31%)	2531027 (100%)	325259 (12.85%)	1505646 (59.49%)	330607 (13.06%)	369515 (14.60%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 20
Μόνιμος πληθυσμός ανά Περιφέρεια, αστικότητα και ηλικιακή ομάδα, με βάση τα στοιχεία απογραφής του 2011 (ΕΛΣΤΑΤ).

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	6836 (6.23%)	7235 (6.2%)	7025 (6.15%)	7032 (6.19%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	36254 (33.05%)	38907 (33.32%)	38144 (33.4%)	37768 (33.26%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	2308 (2.1%)	2416 (2.07%)	2312 (2.02%)	2345 (2.07%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	7071 (6.45%)	7576 (6.49%)	7336 (6.42%)	7328 (6.45%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	3068 (2.8%)	3263 (2.79%)	3119 (2.73%)	3150 (2.77%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	3602 (3.28%)	3971 (3.4%)	3765 (3.3%)	3779 (3.33%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	8088 (7.37%)	8281 (7.09%)	8418 (7.37%)	8262 (7.28%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	2331 (2.12%)	2614 (2.24%)	2477 (2.17%)	2474 (2.18%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	19154 (17.46%)	20207 (17.31%)	20107 (17.61%)	19823 (17.46%)
ΚΡΗΤΗΣ	5583 (5.09%)	5923 (5.07%)	5719 (5.01%)	5742 (5.06%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	2620 (2.39%)	2697 (2.31%)	2704 (2.37%)	2674 (2.35%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	6726 (6.13%)	7283 (6.24%)	6826 (5.98%)	6945 (6.12%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	6062 (5.53%)	6396 (5.48%)	6251 (5.47%)	6236 (5.49%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	109703 (100%)	116769 (100%)	114203 (100%)	113558 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 21
Αριθμός θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες (ICD-10: A00-R99) ανά Περιφέρεια, 2014-16.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)				ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	3717 (4,89%)	3890 (4,79%)	3811 (4,77%)	3806 (4.82%)	3119 (9.26%)	3345 (9.39%)	3214 (9.37%)	3226 (9.34%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	35851 (47,16%)	38462 (47,39%)	37697 (47,18%)	37337 (47.25%)	403 (1.2%)	445 (1.25%)	447 (1.3%)	432 (1.25%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	973 (1,28%)	1047 (1,29%)	993 (1,24%)	1004 (1.27%)	1335 (3.96%)	1369 (3.84%)	1319 (3.84%)	1341 (3.88%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	3873 (5,09%)	4159 (5,12%)	3985 (4,99%)	4006 (5.07%)	3198 (9.5%)	3417 (9.6%)	3351 (9.77%)	3322 (9.62%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1355 (1,78%)	1416 (1,74%)	1401 (1,75%)	1391 (1.76%)	1713 (5.09%)	1847 (5.19%)	1718 (5.01%)	1759 (5.09%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	1398 (1,84%)	1549 (1,91%)	1526 (1,91%)	1491 (1.89%)	2204 (6.54%)	2422 (6.8%)	2239 (6.53%)	2288 (6.63%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	4446 (5,85%)	4562 (5,62%)	4650 (5,82%)	4553 (5.76%)	3642 (10.81%)	3719 (10.44%)	3768 (10.98%)	3710 (10.74%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	786 (1,03%)	943 (1,16%)	847 (1,06%)	859 (1.09%)	1545 (4.59%)	1671 (4.69%)	1630 (4.75%)	1615 (4.68%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	13260 (17,44%)	13915 (17,15%)	14105 (17,65%)	13760 (17.41%)	5894 (17.5%)	6292 (17.67%)	6002 (17.5%)	6063 (17.56%)
ΚΡΗΤΗΣ	2816 (3,7%)	3027 (3,73%)	2944 (3,68%)	2929 (3.71%)	2767 (8.22%)	2896 (8.13%)	2775 (8.09%)	2813 (8.15%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	1579 (2,08%)	1637 (2,02%)	1608 (2,01%)	1608 (2.03%)	1041 (3.09%)	1060 (2.98%)	1096 (3.19%)	1066 (3.09%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	2904 (3,82%)	3259 (4,02%)	3025 (3,79%)	3063 (3.88%)	3822 (11.35%)	4024 (11.3%)	3801 (11.08%)	3882 (11.24%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	3068 (4,04%)	3292 (4,06%)	3305 (4,14%)	3222 (4.08%)	2994 (8.89%)	3104 (8.72%)	2946 (8.59%)	3015 (8.73%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	76026 (100%)	81158 (100%)	79897 (100%)	79027 (100%)	33677 (100%)	35611 (100%)	34306 (100%)	34531 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 22
Αριθμός θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες (ICD-10: A00-R99) ανά Περιφέρεια και αστικότητα, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	3149 (7.03%)	3194 (6.93%)	3087 (7.04%)	3143 (7%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	14345 (32%)	14876 (32.26%)	14376 (32.8%)	14532 (32.35%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	898 (2%)	874 (1.9%)	809 (1.85%)	860 (1.91%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	2837 (6.33%)	2914 (6.32%)	2773 (6.33%)	2841 (6.32%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1337 (2.98%)	1371 (2.97%)	1325 (3.02%)	1344 (2.99%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	1483 (3.31%)	1647 (3.57%)	1507 (3.44%)	1546 (3.44%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	3239 (7.23%)	3120 (6.77%)	3142 (7.17%)	3167 (7.05%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	920 (2.05%)	1014 (2.2%)	936 (2.14%)	957 (2.13%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	7961 (17.76%)	8155 (17.69%)	7687 (17.54%)	7934 (17.66%)
ΚΡΗΤΗΣ	2096 (4.68%)	2142 (4.65%)	1944 (4.44%)	2061 (4.59%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	1072 (2.39%)	1038 (2.25%)	1008 (2.3%)	1039 (2.31%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	2769 (6.18%)	3005 (6.52%)	2673 (6.1%)	2816 (6.27%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	2719 (6.07%)	2758 (5.98%)	2563 (5.85%)	2680 (5.97%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	44825 (100%)	46108 (100%)	43830 (100%)	44921 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 23
Αριθμός θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες (ICD-10: I00-I99) ανά Περιφέρεια, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)				ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	1704 (5.61%)	1686 (5.42%)	1662 (5.55%)	1684 (5.53%)	1445 (9.99%)	1508 (10.05%)	1425 (10.26%)	1459 (10.1%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	14164 (46.66%)	14703 (47.26%)	14190 (47.39%)	14352 (47.1%)	181 (1.25%)	173 (1.15%)	186 (1.34%)	180 (1.25%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	385 (1.27%)	364 (1.17%)	340 (1.14%)	363 (1.19%)	513 (3.55%)	510 (3.4%)	469 (3.38%)	497 (3.44%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	1514 (4.99%)	1489 (4.79%)	1419 (4.74%)	1474 (4.84%)	1323 (9.14%)	1425 (9.5%)	1354 (9.75%)	1367 (9.46%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	561 (1.85%)	554 (1.78%)	546 (1.82%)	554 (1.82%)	776 (5.36%)	817 (5.45%)	779 (5.61%)	791 (5.47%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	557 (1.84%)	589 (1.89%)	566 (1.89%)	571 (1.87%)	926 (6.4%)	1058 (7.05%)	941 (6.78%)	975 (6.75%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	1696 (5.59%)	1637 (5.26%)	1679 (5.61%)	1671 (5.48%)	1543 (10.66%)	1483 (9.89%)	1463 (10.54%)	1496 (10.35%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	291 (0.96%)	334 (1.07%)	312 (1.04%)	312 (1.02%)	629 (4.35%)	680 (4.53%)	624 (4.49%)	644 (4.46%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	5408 (17.82%)	5533 (17.79%)	5266 (17.59%)	5402 (17.73%)	2553 (17.64%)	2622 (17.48%)	2421 (17.44%)	2532 (17.52%)
ΚΡΗΤΗΣ	1035 (3.41%)	1035 (3.33%)	984 (3.29%)	1018 (3.34%)	1061 (7.33%)	1107 (7.38%)	960 (6.91%)	1043 (7.22%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	603 (1.99%)	593 (1.91%)	570 (1.9%)	589 (1.93%)	469 (3.24%)	445 (2.97%)	438 (3.15%)	451 (3.12%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	1152 (3.8%)	1241 (3.99%)	1122 (3.75%)	1172 (3.85%)	1617 (11.17%)	1764 (11.76%)	1551 (11.17%)	1644 (11.38%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	1284 (4.23%)	1352 (4.35%)	1289 (4.3%)	1308 (4.29%)	1435 (9.92%)	1406 (9.37%)	1274 (9.18%)	1372 (9.49%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	30354 (100%)	31110 (100%)	29945 (100%)	30470 (100%)	14471 (100%)	14998 (100%)	13885 (100%)	14451 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 24
Αριθμός θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες (ICD-10: I00-I99) ανά Περιφέρεια και αστικότητα, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	600 (4.72%)	685 (4.63%)	629 (4.56%)	638 (4.64%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	4759 (37.42%)	5622 (38.00%)	5112 (37.1%)	5164 (37.52%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	273 (2.15%)	308 (2.08%)	317 (2.3%)	299 (2.17%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	888 (6.98%)	1077 (7.28%)	994 (7.21%)	986 (7.16%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	226 (1.78%)	331 (2.24%)	291 (2.11%)	283 (2.06%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	373 (2.93%)	429 (2.90%)	404 (2.93%)	402 (2.92%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	852 (6.70%)	1001 (6.77%)	952 (6.91%)	935 (6.79%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	302 (2.37%)	331 (2.24%)	352 (2.55%)	328 (2.38%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1858 (14.61%)	2093 (14.15%)	2074 (15.05%)	2008 (14.59%)
ΚΡΗΤΗΣ	766 (6.02%)	887 (6.00%)	753 (5.46%)	802 (5.83%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	301 (2.37%)	287 (1.94%)	288 (2.09%)	292 (2.12%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	877 (6.90%)	1036 (7.00%)	955 (6.93%)	956 (6.95%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	644 (5.06%)	708 (4.79%)	658 (4.78%)	670 (4.87%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	12719 (100%)	14795 (100%)	13779 (100%)	13764 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 25
Αριθμός θανάτων από αναπνευστικές αιτίες (ICD-10: J00-J98) ανά Περιφέρεια, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)				ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	325 (3.59%)	357 (3.39%)	333 (3.42%)	338 (3.46%)	275 (7.5%)	328 (7.69%)	296 (7.34%)	300 (7.52%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	4716 (52.11%)	5556 (52.76%)	5059 (51.91%)	5110 (52.28%)	43 (1.17%)	66 (1.55%)	53 (1.31%)	54 (1.35%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	121 (1.34%)	141 (1.34%)	136 1.4%)	133 (1.36%)	152 (4.14%)	167 (3.92%)	181 (4.49%)	167 (4.19%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	467 (5.16%)	599 (5.69%)	520 (5.34%)	529 (5.41%)	421 (11.47%)	478 (11.21%)	474 (11.75%)	458 (11.48%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	110 (1.22%)	137 (1.3%)	132 (1.35%)	126 (1.29%)	116 (3.16%)	194 (4.55%)	159 (3.94%)	156 (3.91%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	138 (1.52%)	174 (1.65%)	163 (1.67%)	158 (1.62%)	235 (6.41%)	255 (5.98%)	241 (5.97%)	244 (6.12%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	460 (5.08%)	540 (5.13%)	494 (5.07%)	498 (5.09%)	392 (10.68%)	461 (10.81%)	458 (11.35%)	437 (10.96%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	105 (1.16%)	126 (1.2%)	112 (1.15%)	114 (1.17%)	197 (5.37%)	205 (4.81%)	240 (5.95%)	214 (5.36%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1347 (14.88%)	1503 (14.27%)	1495 (15.34%)	1448 (14.81%)	511 (13.93%)	590 (13.83%)	579 (14.35%)	560 (14.04%)
ΚΡΗΤΗΣ	364 (4.02%)	415 (3.94%)	351 (3.6%)	377 (3.86%)	402 (10.96%)	472 (11.07%)	402 (9.97%)	425 (10.65%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	192 (2.12%)	169 (1.6%)	178 (1.83%)	180 (1.84%)	109 (2.97%)	118 (2.77%)	110 (2.73%)	112 (2.81%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	375 (4.14%)	468 (4.44%)	403 (4.14%)	415 (4.25%)	502 (13.68%)	568 (13.32%)	552 (13.68%)	541 (13.56%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	330 (3.65%)	345 (3.28%)	369 (3.79%)	348 (3.56%)	314 (8.56%)	363 (8.51%)	289 (7.16%)	322 (8.07%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	9050 (100%)	10530 (100%)	9745 (100%)	9775 (100%)	3669 (100%)	4265 (100%)	4034 (100%)	3989 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 26
Αριθμός θανάτων από αναπνευστικές αιτίες (ICD-10: J00-J98) ανά Περιφέρεια και αστικότητα, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	779 (6.48%)	691 (5.70%)	786 (6.78%)	752 (6.31%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	4796 (39.88%)	4867 (40.18%)	4625 (39.89%)	4763 (39.99%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	192 (1.60%)	198 (1.63%)	214 (1.85%)	201 (1.69%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	571 (4.75%)	583 (4.81%)	580 (5.00%)	578 (4.85%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	310 (2.58%)	285 (2.35%)	281 (2.42%)	292 (2.45%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	294 (2.44%)	328 (2.71%)	335 (2.89%)	319 (2.68%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	695 (5.78%)	682 (5.63%)	735 (6.34%)	704 (5.91%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	172 (1.43%)	178 (1.47%)	196 (1.69%)	182 (1.53%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	2087 (17.35%)	2082 (17.19%)	1846 (15.92%)	2005 (16.83%)
ΚΡΗΤΗΣ	508 (4.22%)	459 (3.79%)	435 (3.75%)	467 (3.92%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	266 (2.21%)	271 (2.24%)	269 (2.32%)	269 (2.26%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	641 (5.33%)	725 (5.99%)	642 (5.54%)	669 (5.62%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	715 (5.95%)	764 (6.31%)	649 (5.60%)	709 (5.95%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	12026 (100%)	12113 (100%)	11593 (100%)	11911 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 27
Αριθμός θανάτων από ισχαιμική καρδιοπάθεια (ICD-10: I20-I25) ανά Περιφέρεια, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)				ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	425 (4.83%)	369 (4.15%)	441 (5.2%)	412 (4.72%)	354 (11%)	322 (9.97%)	345 (11.11%)	340 (10.68%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	4733 (53.74%)	4819 (54.25%)	4569 (53.83%)	4707 (53.94%)	63 (1.96%)	48 (1.49%)	56 (1.8%)	56 (1.76%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	94 (1.07%)	89 (1%)	94 (1.11%)	92 (1.05%)	98 (3.05%)	109 (3.37%)	120 (3.86%)	109 (3.42%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	363 (4.12%)	329 (3.7%)	337 (3.97%)	343 (3.93%)	208 (6.46%)	254 (7.86%)	243 (7.83%)	235 (7.38%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	143 (1.62%)	133 (1.5%)	120 (1.41%)	132 (1.51%)	167 (5.19%)	152 (4.71%)	161 (5.19%)	160 (5.03%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	110 (1.25%)	118 (1.33%)	126 (1.48%)	118 (1.35%)	184 (5.72%)	210 (6.5%)	209 (6.73%)	201 (6.31%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	387 (4.39%)	381 (4.29%)	414 (4.88%)	394 (4.52%)	308 (9.57%)	301 (9.32%)	321 (10.34%)	310 (9.74%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	70 (0.79%)	65 0.73%)	68 (0.8%)	68 (0.78%)	102 (3.17%)	113 (3.5%)	128 (4.12%)	114 (3.58%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1443 (16.38%)	1440 (16.21%)	1274 (15.01%)	1386 (15.88%)	644 (20.01%)	642 (19.88%)	572 (18.42%)	619 (19.44%)
ΚΡΗΤΗΣ	261 (2.96%)	244 (2.75%)	235 (2.77%)	247 (2.83%)	247 (7.68%)	215 (6.66%)	200 (6.44%)	221 (6.94%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	146 (1.66%)	159 (1.79%)	149 (1.76%)	151 (1.73%)	120 (3.73%)	112 (3.47%)	120 (3.86%)	117 (3.67%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	273 (3.1%)	340 (3.83%)	298 (3.51%)	304 (3.48%)	368 (11.44%)	385 (11.92%)	344 (11.08%)	366 (11.49%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	360 (4.09%)	397 (4.47%)	363 (4.28%)	373 (4.27%)	355 (11.03%)	367 (11.36%)	286 (9.21%)	336 (10.55%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	8808 (100%)	8883 (100%)	8488 (100%)	8726 (100%)	3218 (100%)	3230 (100%)	3105 (100%)	3184 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 28
Αριθμός θανάτων από ισχαιμική καρδιοπάθεια (ICD-10: I20-I25) ανά Περιφέρεια και αστικότητα, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	1106 (7.78%)	1193 (8.29%)	1122 (8.17%)	1140 (8.07%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	3982 (28.00%)	4060 (28.20%)	3927 (28.59%)	3990 (28.26%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	245 (1.72%)	265 (1.84%)	233 (1.70%)	248 (1.76%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	968 (6.81%)	1011 (7.02%)	950 (6.92%)	976 (6.91%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	473 (3.33%)	473 (3.28%)	492 (3.58%)	479 (3.39%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	548 (3.85%)	611 (4.24%)	478 (3.48%)	546 (3.87%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	1176 (8.27%)	1099 (7.63%)	1078 (7.85%)	1118 (7.92%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	302 (2.12%)	330 (2.29%)	313 (2.28%)	315 (2.23%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	2682 (18.86%)	2652 (18.42%)	2602 (18.94%)	2645 (18.73%)
ΚΡΗΤΗΣ	592 (4.16%)	621 (4.31%)	544 (3.96%)	586 (4.15%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	314 (2.21%)	298 (2.07%)	279 (2.03%)	297 (2.1%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	955 (6.72%)	908 (6.31%)	860 (6.26%)	908 (6.43%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	877 (6.17%)	878 (6.10%)	858 (6.25%)	871 (6.17%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	14220 (100%)	14399 (100%)	13736 (100%)	14118 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 29
Αριθμός θανάτων από νοσήματα των εγκεφαλικών αγγείων (ICD-10: I60-I69) ανά Περιφέρεια, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)				ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	569 (6.19%)	647 (6.95%)	594 (6.61%)	603 (6.58%)	537 (10.68%)	546 (10.73%)	528 (11.12%)	537 (10.84%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	3928 (42.73%)	4008 (43.05%)	3864 (43%)	3933 (42.92%)	54 (1.07%)	52 (1.02%)	63 (1.33%)	56 (1.13%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	116 (1.26%)	92 (0.99%)	105 (1.17%)	104 (1.13%)	129 (2.57%)	173 (3.4%)	128 (2.7%)	143 (2.89%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	482 (5.24%)	522 (5.61%)	479 (5.33%)	494 (5.39%)	486 (9.67%)	489 (9.61%)	471 (9.92%)	482 (9.73%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	200 (2.18%)	195 (2.09%)	199 (2.21%)	198 (2.16%)	273 (5.43%)	278 (5.46%)	293 (6.17%)	281 (5.67%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	203 (2.21%)	209 (2.24%)	176 (1.96%)	196 (2.14%)	345 (6.86%)	402 (7.9%)	302 (6.36%)	350 (7.06%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	594 (6.46%)	574 (6.16%)	539 (6%)	569 (6.21%)	582 (11.58%)	525 (10.32%)	539 (11.35%)	549 (11.08%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	85 (0.92%)	106 (1.14%)	106 (1.18%)	99 (1.08%)	217 (4.32%)	224 (4.4%)	207 (4.36%)	216 (4.36%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1763 (19.18%)	1716 (18.43%)	1705 (18.97%)	1728 (18.86%)	919 (18.28%)	936 (18.4%)	897 (18.89%)	917 (18.51%)
ΚΡΗΤΗΣ	287 (3.12%)	297 (3.19%)	263 (2.93%)	282 (3.08%)	305 (6.07%)	324 (6.37%)	281 (5.92%)	303 (6.12%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	181 (1.97%)	161 (1.73%)	169 (1.88%)	170 (1.86%)	133 (2.65%)	137 (2.69%)	110 (2.32%)	127 (2.56%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	388 (4.22%)	357 (3.83%)	350 (3.89%)	365 (3.98%)	567 (11.28%)	551 (10.83%)	510 (10.74%)	543 (10.96%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	396 (4.31%)	427 (4.59%)	438 (4.87%)	420 (4.58%)	481 (9.57%)	451 (8.86%)	420 (8.84%)	451 (9.1%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	9192 (100%)	9311 (100%)	8987 (100%)	9163 (100%)	5028 (100%)	5088 (100%)	4749 (100%)	4955 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 30
Αριθμός θανάτων από νοσήματα των εγκεφαλικών αγγείων (ICD-10: I60-I69) ανά Περιφέρεια και αστικότητα, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	434 (6.14%)	452 (6.33%)	421 (5.92%)	436 (6.13%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	2446 (34.59%)	2539 (35.53%)	2545 (35.79%)	2510 (35.3%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	120 (1.70%)	129 (1.81%)	129 (1.81%)	126 (1.77%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	454 (6.42%)	440 (6.16%)	433 (6.09%)	442 (6.22%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	180 (2.55%)	146 (2.04%)	174 (2.45%)	167 (2.35%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	234 (3.31%)	218 (3.05%)	215 (3.02%)	222 (3.12%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	469 (6.63%)	480 (6.72%)	459 (6.45%)	469 (6.6%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	145 (2.05%)	150 (2.10%)	130 (1.83%)	142 (2%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	1294 (18.30%)	1264 (17.69%)	1344 (18.90%)	1301 (18.3%)
ΚΡΗΤΗΣ	369 (5.22%)	409 (5.72%)	402 (5.65%)	393 (5.53%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	176 (2.49%)	188 (2.63%)	165 (2.32%)	176 (2.48%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	398 (5.63%)	368 (5.15%)	336 (4.73%)	367 (5.16%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	353 (4.99%)	363 (5.08%)	358 (5.03%)	358 (5.04%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	7072 (100%)	7146 (100%)	7111 (100%)	7110 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 31
Αριθμός θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα (ICD-10: C33-C34) ανά Περιφέρεια, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)				ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	230 (4.52%)	226 (4.3%)	247 (4.69%)	234 (4.5%)	204 (10,26%)	226 (11,98%)	174 (9,42%)	201 (10,54%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	2428 (47.77%)	2508 (47.68%)	2522 (47.91%)	2486 (47.79%)	18 (0,9%)	31 (1,64%)	23 (1,25%)	24 (1,26%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	49 (0.96%)	52 (0.99%)	58 (1.1%)	53 (1.02%)	71 (3,57%)	77 (4,08%)	71 (3,84%)	73 3,83%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	262 (5.15%)	276 (5.25%)	258 (4.9%)	265 (5.09%)	192 (9,65%)	164 (8,7%)	175 (9,47%)	177 (9,28%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	84 (1.65%)	75 (1.43%)	84 (1.6%)	81 (1.56%)	96 (4,83%)	71 (3,76%)	90 (4,87%)	86 (4,51%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	96 (1.89%)	89 (1.69%)	98 (1.86%)	94 (1.81%)	138 (6,94%)	129 (6,84%)	117 (6,33%)	128 (6,71%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	265 (5.21%)	297 (5.65%)	265 (5.03%)	276 (5.31%)	204 (10,26%)	183 (9,7%)	194 (10,5%)	194 (10,17%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	51 (1%)	54 (1.03%)	53 (1.01%)	53 (1.02%)	94 (4,73%)	96 (5,09%)	77 (4,17%)	89 (4,67%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	878 (17.27%)	874 (16.62%)	968 (18.39%)	907 (17.44%)	416 (20,92%)	390 (20,68%)	376 (20,36%)	394 (20,66%)
ΚΡΗΤΗΣ	211 (4.15%)	263 (5%)	231 (4.39%)	235 (4.52%)	158 (7,94%)	146 (7,74%)	171 (9,26%)	158 (8,29%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	118 (2.32%)	115 (2.19%)	101 (1.92%)	111 (2.13%)	58 (2,92%)	73 (3,87%)	64 (3,47%)	65 (3,41%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	200 (3.93%)	203 (3.86%)	174 (3.31%)	192 (3.69%)	198 (9,95%)	165 (8,75%)	162 (8,77%)	175 (9,18%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	211 (4.15%)	228 (4.33%)	205 (3.89%)	215 (4.13%)	142 (7,14%)	135 (7,16%)	153 (8,28%)	143 (7,5%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	5083 (100%)	5260 (100%)	5264 (100%)	5202 (100%)	1989 (100%)	1886 (100%)	1847 (100%)	1907 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 32
Αριθμός θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα (ICD-10: C33-C34) ανά Περιφέρεια και αστικότητα, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	172 (6.09%)	231 (6.64%)	155 (5.22%)	186 (6.02%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	857 (30.35%)	1130 (32.50%)	971 (32.67%)	986 (31.90%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	58 (2.05%)	63 (1.81%)	70 (2.36%)	64 (2.07%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	203 (7.19%)	251 (7.22%)	200 (6.73%)	218 (7.05%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	62 (2.20%)	101 (2.90%)	66 (2.22%)	76 (2.46%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	85 (3.01%)	108 (3.11%)	88 (2.96%)	94 (3.04%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	198 (7.01%)	242 (6.96%)	227 (7.64%)	222 (7.18%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	81 (2.87%)	81 (2.33%)	76 (2.56%)	79 (2.56%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	445 (15.76%)	540 (15.53%)	487 (16.39%)	491 (15.88%)
ΚΡΗΤΗΣ	222 (7.86%)	229 (6.59%)	193 (6.49%)	215 (6.96%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	69 (2.44%)	71 (2.04%)	64 (2.15%)	68 (2.20%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	218 (7.72%)	246 (7.08%)	211 (7.10%)	225 (7.28%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	154 (5.45%)	184 (5.29%)	164 (5.52%)	167 (5.40%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	2824 (100%)	3477 (100%)	2972 (100%)	3091(100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 33
Αριθμός θανάτων από χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) (ICD-10: J40-J47) ανά Περιφέρεια, 2014-2016.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ				ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			
	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)				ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)			
	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος	2014	2015	2016	Μέσος ετήσιος
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	88 (4.65%)	118 (4.97%)	79 (3.84%)	95 (4.51%)	84 (9%)	113 (10.23%)	76 (8.3%)	91 (9.24%)
ΑΤΤΙΚΗΣ	854 (45.16%)	1124 (47.39%)	964 (46.89%)	981 (46.58%)	3 (0.32%)	6 (0.54%)	7 (0.76%)	5 (0.51%)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21 (1.11%)	23 (0.97%)	26 (1.26%)	23 (1.09%)	37 (3.97%)	40 (3.62%)	44 (4.8%)	40 (4.06%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	112 (5.92%)	135 (5.69%)	109 (5.3%)	119 (5.65%)	91 (9.75%)	116 (10.5%)	91 (9.93%)	99 (10.05%)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	35 (1.85%)	50 (2.11%)	37 (1.8%)	41 (1.95%)	27 (2.89%)	51 (4.62%)	29 (3.17%)	36 (3.65%)
ΗΠΕΙΡΟΥ	25 (1.32%)	44 (1.85%)	33 (1.61%)	34 (1.61%)	60 (6.43%)	64 (5.79%)	55 (6%)	60 (6.09%)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	108 (5.71%)	126 (5.31%)	100 (4.86%)	111 (5.27%)	90 (9.65%)	116 (10.5%)	127 (13.86%)	111 (11.27%)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	28 (1.48%)	29 (1.22%)	24 (1.17%)	27 (1.28%)	53 (5.68%)	52 (4.71%)	52 (5.68%)	52 (5.28%)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	306 (16.18%)	373 (15.73%)	363 (17.66%)	347 (16.48%)	139 (14.9%)	167 (15.11%)	124 (13.54%)	143 (14.52%)
ΚΡΗΤΗΣ	99 (5.24%)	111 (4.68%)	100 (4.86%)	103 (4.89%)	123 (13.18%)	118 (10.68%)	93 (10.15%)	111 (11.27%)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	44 (2.33%)	37 (1.56%)	34 (1.65%)	38 (1.8%)	25 (2.68%)	34 (3.08%)	30 (3.28%)	30 (3.05%)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	92 (4.87%)	116 (4.89%)	89 (4.33%)	99 (4.7%)	126 (13.5%)	130 (11.76%)	122 (13.32%)	126 (12.79%)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	79 (4.18%)	86 (3.63%)	98 (4.77%)	88 (4.18%)	75 (8.04%)	98 (8.87%)	66 (7.21%)	80 (8.12%)
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	1891 (100%)	2372 (100%)	2056 (100%)	2106 (100%)	933 (100%)	1105 (100%)	916 (100%)	985 (100%)

ΠΙΝΑΚΑΣ 34
Αριθμός θανάτων από χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια (ΧΑΠ) (ICD-10: J40-J47) ανά Περιφέρεια και αστικότητα, 2014-2016.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΘΑΝΑΤΩΝ (%)				Μέσος ετήσιος αριθμός θανάτων
		2014	2015	2016	2017	
ΑΘΗΝΑ	664046	7274	7909	7628	7968	7695
ΑΜΦΙΣΣΑ	8370	108	106	119	115	112
ΒΟΛΟΣ	86046	901	926	930	991	937
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	151324	1084	1146	1179	1233	1161
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	315196	3539	3668	3670	3818	3674
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	80371	670	714	716	741	710
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	8575	88	83	100	91	91
ΛΑΜΙΑ	64716	664	714	692	688	690
ΛΑΡΙΣΑ	146926	1080	1102	1188	1191	1140
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	22779	189	228	233	252	226
ΠΑΤΡΑ	171484	1555	1712	1619	1741	1657
ΧΑΛΚΙΔΑ	59125	558	566	616	628	592
ΣΥΝΟΛΟ	1778958	17710	18874	18690	19457	18685

* συμπεριλαμβάνονται οι θάνατοι από εξωτερικές αιτίες

ΠΙΝΑΚΑΣ 35
Μόνιμος πληθυσμός (ΕΛΣΤΑΤ 2011) και συνολικός αριθμός θανάτων* στα αστικά κέντρα της χώρας, 2014-2017.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	Αριθμός θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες			Μέσος ετήσιος αριθμός θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες	Αριθμός θανάτων από αναπνευστικές αιτίες			Μέσος ετήσιος αριθμός θανάτων από αναπνευστικές αιτίες
	2014	2015	2016		2014	2015	2016	
ΑΘΗΝΑ	2787	3040	2881	2903	934	1135	1055	1041
ΑΜΦΙΣΣΑ	45	42	42	43	12	9	13	11
ΒΟΛΟΣ	338	302	316	319	87	113	98	99
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	379	397	376	384	128	138	121	129
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	1384	1389	1355	1376	402	431	407	413
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	244	270	262	259	68	75	71	71
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	41	44	43	43	7	6	7	7
ΛΑΜΙΑ	298	261	251	270	62	65	59	62
ΛΑΡΙΣΑ	377	367	413	386	122	126	130	126
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	77	89	98	88	13	23	19	18
ΠΑΤΡΑ	557	560	544	554	191	227	202	207
ΧΑΛΚΙΔΑ	204	194	195	198	61	61	77	66
ΣΥΝΟΛΟ	6731	6955	6776	6823	2087	2409	2259	2250

ΠΙΝΑΚΑΣ 36
Αριθμός θανάτων από καρδιαγγειακές (ICD-10: I00-I99) και αναπνευστικές αιτίες (ICD-10: J00-J98) στα αστικά κέντρα της χώρας, 2014-2016.

Α.3.
Συναρτήσεις έκθεσης-έκβασης

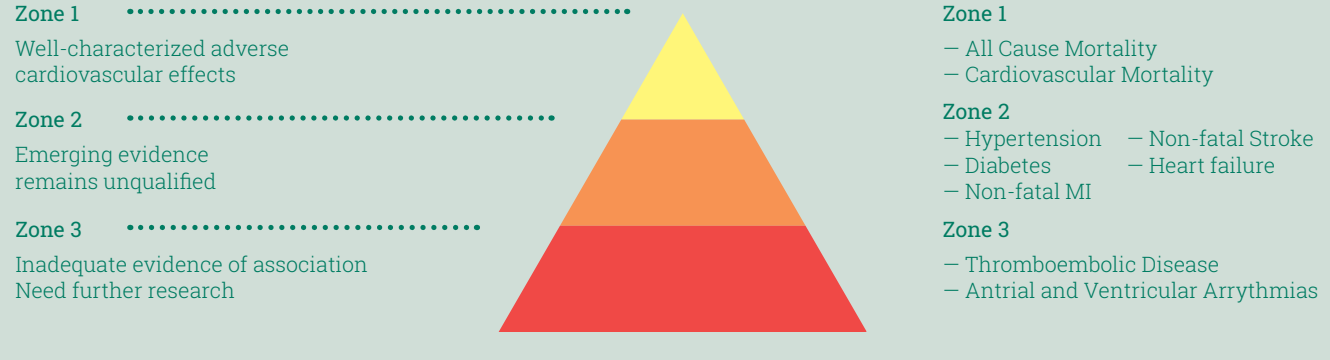
Πραγματοποιήθηκε ανασκόπηση της πιο πρόσφατης βιβλιογραφίας με σκοπό να εντοπιστούν οι καταλληλότερες συναρτήσεις έκθεσης-έκβασης που θα συμπεριληφθούν στη βάση δεδομένων και θα αποτελέσουν τον κορμό των υπολογισμών για την εκτίμηση της επιβάρυνσης της υγείας (Health Impact Assessment-HIA) στην Ελλάδα λόγω έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους. Επιλέξαμε αυτές που αναφέρονται σε Εκθέσεις συναφών Οργανισμών ή που έχουν προκύψει από μεγάλες πολυκεντρικές ευρωπαϊκές μελέτες ή μετα-αναλύσεις.

Ειδικότερα, βασιστήκαμε στις προτάσεις των Εκθέσεων των Προγραμμάτων του ΠΟΥ (REVIHAAP και HRAPIE, 2013) και του παραδοτέου 3.1 από το ευρωπαϊκό πολυκεντρικό πρόγραμμα EUROHEALHTY (Shaping European Policies to promote Health Equity. http://www.euro-healthy.eu), που χρηματοδοτήθηκε από την ΕΕ. Ο γενικότερος σκοπός του προγράμματος ήταν η κατασκευή ενός δείκτη υγείας (Population Health Index) για την αξιολόγηση της υγείας σε περιοχές της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναφορικά με ένα μεγάλο εύρος παραγόντων, μεταξύ των οποίων και η έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση. Για τις ανάγκες της παρούσας πρότασης θα επικεντρωθούμε σε δείκτες υγείας για τους οποίους υπάρχει ευρεία συναίνεση ως προς τις επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και για τους οποίους μπορούν να εντοπιστούν δεδομένα στην Ελλάδα από τα συστήματα καταγραφών.

Η αβεβαιότητα στην ακρίβεια των εκτιμήσεων είναι ένα βασικό πρόβλημα. Έτσι, στο πρόγραμμα HRAPIE (WHO 2013) του ΠΟΥ αυτή ήταν η βασική αιτία για τους περιορισμένους δείκτες νοσηρότητας που προτάθηκαν για ευρεία χρήση. Ενδεικτικά για τις επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην καρδιαγγειακή υγεία, το Σχήμα 12 παρουσιάζει την πυραμίδα που δείχνει τη βεβαιότητα των εκτιμήσεων για τις επιδράσεις (Rajagopalan et al. 2018), όπου φαίνεται η μεγάλη βεβαιότητα για τη σχέση με την καρδιαγγειακή θνησιμότητα και ο μικρότερος βαθμός βεβαιότητας για τους δείκτες νοσηρότητας.

Πιο συγκεκριμένα, στην Έκθεση του προγράμματος HRAPIE, προτείνεται η χρήση δεικτών υγείας για την εκτίμηση της επιβάρυνσης από την έκθεση σε ατμοσφαιρική ρύπανση, για τους οποίους υπήρχαν ισχυρά τεκμήρια από επιδημιολογικές μελέτες. Στο πλαίσιο του προγράμματος EUROHEALHTY πραγματοποιήσαμε συστηματική ανασκόπηση και μετα-ανάλυση για τους προτεινόμενους δείκτες υγείας για μελέτες που δημοσιεύτηκαν μετά το 2013, αφού σύμφωνα με τον ΠΟΥ δεν υπάρχουν αξιόπιστες συναρτήσεις σε σχέση με την μακροχρόνια έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ευρώπη πριν από εκείνη την χρονική περίοδο (Mitsakou et al. 2019). Σχετικά με τις επιδράσεις από τη βραχυχρόνια έκθεση, επιλέξαμε συναρτήσεις που προέρχονται από πολυκεντρικά ευρωπαϊκά προγράμματα, όπως φαίνεται στον Πίνακα 37.

Ο Πίνακας 37 παρουσιάζει συνοπτικά τις συναρτήσεις που προτείνονται και επιλέχθηκαν για τη σχέση μεταξύ των δεικτών υγείας και τη μακροχρόνια ή/και βραχυχρόνια έκθεση σε ρύπους. Για την ερμηνεία των δεικτών επίδρασης, όταν πρόκειται για σχετικό κίνδυνο (ΣΚ, Relative risk or Hazard Ratio), ο δείκτης εκφράζει το πόσο μεγαλύτερος είναι ο κίνδυνος να εμφανίσουν την έκβαση οι εκτεθειμένοι σε 10μg/m^3 υψηλότερη ετήσια συγκέντρωση ρύπου σε σχέση με τους μη εκτεθειμένους ή (ΣΚ-1)*100 εκφράζει την % αύξηση της επιβάρυνσης για τους εκτεθειμένους. Όταν στον Πίνακα 37 αναφέρεται «ποσοστιαία μεταβολή» ο δείκτης εκφράζει την αύξηση στον κίνδυνο εμφάνισης της έκβασης μετά από αύξηση στη συγκέντρωση του ρύπου κατά 10μg/m^3 ημερησίως. Συμπληρωματικά, να τονιστεί ότι δεν πραγματοποιήθηκε αποτίμηση επιδράσεων σε σχέση με την έκθεση σε CO (αν και υπήρχαν δεδομένα από τους σταθμούς του ΥΠΕΚΑ σε Αθήνα και Θεσσαλονίκη, Υποκεφάλαιο Α.2.1.1), αφού δεν παρατηρούνται υπερβάσεις των επιπέδων που έχουν τεθεί από του ΠΟΥ.



Adapted from Landrigan et. al. (1)
CV = cardiovascular;
MI = myocardial infraction

ΣΧΗΜΑ 16
Πυραμίδα για το βαθμό βεβαιότητας στην εκτίμηση των επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην καρδιαγγειακή υγεία.

Ρύπος, χρονική περίοδος έκθεσης και δείκτης υγείας (έκβαση)	Συνάρτηση συγκέντρωσης/ έκθεσης-έκβασης	Βιβλιογραφική Αναφορά	Διαθεσιμότητα συναφών δεδομένων έκβασης υγείας για την Ελλάδα
	$PM_{2.5}$		
Μακροχρόνια έκθεση (για ετήσια αύξηση κατά 10μg/m³)	**Δείκτης επίδρασης: Σχετικός κίνδυνος και 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης (ΔΕ)**		
Ολική Θνησιμότητα	1.07 (1.04, 1.10)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Καρδιαγγειακή Θνησιμότητα	1.06 (1.04, 1.08)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Θνησιμότητα από Ισχαιμική Καρδιοπάθεια	1.10 (1.06, 1.14)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Θνησιμότητα από νοσήματα των εγκεφαλικών αγγείων	1.08 (1.04, 1.12)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Θνησιμότητα από Καρκίνο του Πνεύμονα	1.05 (1.01,1.09)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Θνησιμότητα από ΧΑΠ	1.43 (1.00, 2.04)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Βραχυχρόνια έκθεση (για ημερήσια αύξηση κατά 10μg/m³)	**Ποσοστιαία Μεταβολή (%) και 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης (ΔΕ)**		
Ολική Θνησιμότητα	0.55 (0.27, 0.84)	Samoli et al. 2013. Πρόγραμμα MEDPARTICLES με δεδομένα από 10 Ευρωπαϊκές Μεσογειακές πόλεις	ΕΛΣΤΑΤ
Καρδιαγγειακή Θνησιμότητα	0.57 (0.07, 1.08)	Samoli et al. 2013. Πρόγραμμα MEDPARTICLES με δεδομένα από 10 Ευρωπαϊκές Μεσογειακές πόλεις	ΕΛΣΤΑΤ
Αναπνευστική Θνησιμότητα	1.91 (0.71, 3.12)	Samoli et al. 2013. Πρόγραμμα MEDPARTICLES με δεδομένα από 10 Ευρωπαϊκές Μεσογειακές πόλεις	ΕΛΣΤΑΤ
Εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακών νοσημάτων	0.51 (0.12, 0.90)	Stafoggia et al. 2013. Πρόγραμμα MEDPARTICLES με δεδομένα από 8 Ευρωπαϊκές Μεσογειακές πόλεις	WHO regional office for Europe. European Health Information Gateway
Εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών νοσημάτων	1.36 (0.23, 2.49)	Stafoggia et al. 2013. Πρόγραμμα MEDPARTICLES με δεδομένα από 8 Ευρωπαϊκές Μεσογειακές πόλεις	WHO regional office for Europe
	PM_{10}		
Μακροχρόνια έκθεση(για ετήσια αύξηση κατά 10μg/m³)	**Δείκτης επίδρασης: Σχετικός κίνδυνος και 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης (ΔΕ)**		
Ολική Θνησιμότητα	1.10 (1.06, 1.15)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Καρδιαγγειακή Θνησιμότητα	1.09 (1.01, 1.17)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Αναπνευστική Θνησιμότητα	1.14 (1.03, 1.27)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Θνησιμότητα από Καρκίνο του Πνεύμονα	1.25 (1.07, 1.45)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Θνησιμότητα από ΧΑΠ	1.34 (1.10,1.63)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Επίπτωση Καρκίνου του πνεύμονα	1.22 (1.03, 1.45)	Raaschou-Nielsen et al. 2013. Μετα-ανάλυση 17 ευρωπαϊκών κοορτών	WHO regional office for Europe
Βραχυχρόνια έκθεση (για ημερήσια αύξηση κατά 10μg/m³)	**Ποσοστιαία Μεταβολή (%) και 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης (ΔΕ)**		
Ολική Θνησιμότητα	0.29 (0.14, 0.45)	Samoli et al. 2008	ΕΛΣΤΑΤ
Καρδιαγγειακή Θνησιμότητα	0.48 (0.2, 0.76)	Katsouyanni et al. 2009. Δεδομένα από 24 Ευρωπαϊκές πόλεις	ΕΛΣΤΑΤ
Αναπνευστική Θνησιμότητα	0.30 (-0.08, 0.68)	Katsouyanni et al. 2009. Δεδομένα από 24 Ευρωπαϊκές πόλεις	ΕΛΣΤΑΤ
Εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακών νοσημάτων	0.60 (0.20, 1.00)	Katsouyanni et al. 2009. Δεδομένα από 8 Ευρωπαϊκές πόλεις	WHO regional office for Europe
Εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών νοσημάτων	0.36 (0.08, 0.63)	Katsouyanni et al. 2009. Δεδομένα από 8 Ευρωπαϊκές πόλεις	WHO regional office for Europe

NO_2 (24h)			
Μακροχρόνια έκθεση (για ετήσια αύξηση κατά 10μg/m³)	**Δείκτης επίδρασης: Σχετικός κίνδυνος και 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης (ΔΕ)**		
Ολική Θνησιμότητα	1.02 (1.018, 1.022)	Mitsakou et al. 2019 (EUROHEALTHY)	ΕΛΣΤΑΤ
Βραχυχρόνια έκθεση (για ημερήσια αύξηση κατά 10μg/m³)	**Ποσοστιαία Μεταβολή (%) και 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης (ΔΕ)**		
Ολική Θνησιμότητα	0.90 (0.45 ,1.35) (για NO_2- 1hmax: 0.25 (0.10 to 0.40))	Mills et al. 2015. Μετα-ανάλυση σε Ευρωπαϊκά δεδομένα	ΕΛΣΤΑΤ
Καρδιαγγειακή Θνησιμότητα	1.03 (0.70,1.36) (για NO_2- 1hmax: 1.02 (−0.44 .2.49))	Mills et al. 2015. Μετα-ανάλυση σε Ευρωπαϊκά δεδομένα	ΕΛΣΤΑΤ
Αναπνευστική Θνησιμότητα	1.32 (0.74 , 1.91) (για NO_2- 1hmax: 0.38 (0.17 .0.59))	Mills et al. 2015. Μετα-ανάλυση σε Ευρωπαϊκά δεδομένα	ΕΛΣΤΑΤ
Εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω καρδιαγγειακών νοσημάτων	0.42 (0.23, 0.62) (για NO_2- 1hmax: 0.19 (0.04. 0.33))	Mills et al.2015. Μετα-ανάλυση σε Ευρωπαϊκά δεδομένα	WHO regional office for Europe
Εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών νοσημάτων	0.52 (0.09, 0.95) (για NO_2- 1hmax: 0.21 (0.07, 0.36))	Mills et al.2015. Μετα-ανάλυση σε Ευρωπαϊκά δεδομένα	WHO regional office for Europe
O_3			
Βραχυχρόνια έκθεση (για ημερήσια αύξηση κατά 10μg/m³)	**Ποσοστιαία Μεταβολή (%) και 95% Διάστημα Εμπιστοσύνης (ΔΕ)**		
Ολική Θνησιμότητα	0.18 (0.07, 0.30)	Peng et al. 2013; Δεδομένα από 24 Ευρωπαϊκές πόλεις	ΕΛΣΤΑΤ
Εισαγωγές στα νοσοκομεία λόγω αναπνευστικών νοσημάτων	0.36 (0.08, 0.63)	Katsouyanni et al. 2009. Δεδομένα από 8 Ευρωπαϊκές πόλεις	WHO regional office for Europe

ΠΙΝΑΚΑΣ 37
Επιλεγμένες συναρτήσεις συγκέντρωσης/έκθεσης-έκβασης υγείας για τις επιδράσεις της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία.

Α.4. Αποτίμηση της επιβάρυνσης της υγείας του ελληνικού πληθυσμού από την έκθεση στην ατμοσφαιρική ρύπανση

Εφαρμόστηκαν καθιερωμένες μέθοδοι υπολογισμού του αριθμού των περιστατικών κάθε έκβασης (που παρουσίαστηκε στο Υποκεφάλαιο Α.3) που μπορεί να αποδοθούν στην αυξημένη έκθεση σε κάθε ρύπο ξεχωριστά (WHO, 2002). Χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό του ΠΟΥ, που αναπτύχθηκε ειδικά για τον υπολογισμό των επιδράσεων των ρύπων, AIR-Q (http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/activities/airq-software-tool-for-health-risk-assessment-of-air-pollution). Συνοπτικά, οι γενικές αρχές που εφαρμόζονται είναι: Για κάθε έκβαση που έχει επιλεγεί έχουμε το δείκτη που εκφράζει τη σχέση συγκέντρωσης/έκθεσης και έκβασης π.χ. ενός Σχετικού Κινδύνου (ΣΚ) που εκφράζει την αύξηση στην συγκεκριμένη έκβαση για αύξηση της μακροχρόνιας (π.χ. ετήσιας) συγκέντρωσης του ρύπου κατά π.χ. 10 μονάδες. Η αποδοτέα αναλογία (Α) των περιστατικών της συγκεκριμένης έκβασης που αποδίδεται στην έκθεση στο συγκεκριμένο ρύπο υπολογίζεται από τον τύπο Α = (ΣΚ − 1) / ΣΚ. Για τον υπολογισμό του αριθμού των αποδιδόμενων περιστατικών (ΑΠ), μπορούμε να υπολογίσουμε ΑΠ = Α*Β*Ρ*ΠΛ όπου Β είναι η αναλογία των περιστατικών στο συγκεκριμένο πληθυσμό για τα επίπεδα της «ελάχιστης ρύπανσης», Ρ = η αλλαγή (αύξηση, ή αν θέλουμε να διατυπώσουμε «θετικά» το αποτέλεσμα, μείωση) στη συγκέντρωση του ρύπου στη συγκεκριμένη περιοχή σε σχέση με την ελάχιστη έκθεση, ΠΛ = ο πληθυσμός σε κίνδυνο για τη συγκεκριμένη έκβαση. Η αναλογία Β μπορεί να υπολογιστεί ως η αναλογία του εκτεθειμένου πληθυσμού που θα εμφάνιζε την έκβαση αν μειώνονταν οι συγκεντρώσεις του ρύπου στο επιλεγμένο «ελάχιστο» επίπεδο. Β = Βο / [1 + (ΣΚ-1)(Ρ/10)], όπου: Βο = η παρατηρούμενη αναλογία συμβάντων της έκβασης στα σημερινά επίπεδα συγκεντρώσεων του ρύπου, η οποία λαμβάνεται από τη βάση δεδομένων, Β = η αναμενόμενη αναλογία περιστατικών στην περίπτωση ελάχιστης έκθεσης και Ρ, ΣΚ = όπως περιγράφηκαν παραπάνω. Η διαίρεση με 10 (ή όποια άλλη ποσότητα συνδέεται με τον αντίστοιχο ΣΚ) γίνεται για να εκφραστεί το αποτέλεσμα ανά μια μονάδα μέτρησης ρύπου.

Έγινε αποτίμηση επιβάρυνσης της υγείας σύμφωνα με τις επιλεγμένες συναρτήσεις έκθεσης-έκβασης (Υποκεφάλαιο Α.3) για τις επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων, ενώ για τον υπολογισμό κατά αστικότητα και Περιφέρεια χρησιμοποιήθηκε η γεωγραφική κατανομή όπως παρέχεται από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (Υποκεφάλαιο Α.2).

Α.4.1. Αποτίμηση της επιβάρυνσης από την μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην ολική θνησιμότητα από φυσικές αιτίες

Για την αποτίμηση των επιδράσεων της μακροχρόνιας έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους χρησιμοποιήθηκαν οι εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων από το έργο του ΥΠΕΚΑ «Επικαιροποίηση της Χαρτογραφικής Απεικόνισης μέσω της καταγραφής Ατμοσφαιρικών Εκπομπών των Πηγών και Ανάπτυξης κατάλληλου Υπολογιστικού Εργαλείου, ΥΠΕΚΑ Δ/νση ΕΑΡΘ. 2014-2015». Από το έργο αυτό, έχουμε εκτιμήσεις συγκεντρώσεων ρύπων σε όλη την Ελλάδα, αφού οι υπόλοιπες μετρήσεις είναι διαθέσιμες μόνο για επιλεγμένα αστικά κέντρα. Η εκτίμηση της ρύπανσης είναι για το 2012, ενώ χρησιμοποιήθηκαν τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα δεδομένα υγείας που αφορούν τα έτη 2014-16, για τον συνολικό αριθμό θανάτων, συμπεριλαμβανομένων και αυτών από εξωτερικές αιτίες 2014-2017. Η χρονική απόκλιση στη διαθεσιμότητα δεδομένων μεταξύ ρύπανσης και δεικτών υγείας δεν αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά τους υπολογισμούς, καθώς η μεταβλητότητα των επιπέδων των ρύπων αλλά και των δεικτών υγείας είναι μικρή στα διαδοχικά έτη (Υποκεφάλαιο Α2, Σχήματα 1-6).

Σύμφωνα με τη μεθοδολογία που περιγράφηκε παραπάνω, για να εκτιμηθεί η επίδραση στην υγεία επιλέγονται σενάρια για τη μείωση των επιπέδων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό της μείωσης στον κάθε δείκτη υγείας. Συγκεκριμένα για τα αιωρούμενα σωματίδια τα αποτελέσματα βασίζονται

	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	19.44	235 (138,327)	92 (54,128)	18.95	190 (111,264)	125 (73,174)
ΑΤΤΙΚΗΣ	28.74 i	3788 (2255, 5203) i	178 (106, 244) i	19.99	28 (17,39)	106 (63,148)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.17	60 (35,84)	99 (58,138)	19.08	80 (47,111)	109 (64,151)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.79	307 (181,426)	116 (68,160)	20.59	230 (135,319)	125 (73,173)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.24	102 (60,141)	96 (56,133)	19.13	105 (62,147)	119 (70,166)
ΗΠΕΙΡΟΥ	18.26	81 (48,113)	75 (44,104)	17.70	116 (68,162)	92 (54,129)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	19.87	294 (173,409)	91 (53,126)	18.80	214 (126,299)	119 (70,166)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	21.43	64 (38,89)	122 (72,170)	21.29	119 (70,165)	127 (75,177)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	25.93 ii	849 (503, 1170) ii	141 (84, 195) ii	18.39	334 (196,466)	112 (66,156)
ΚΡΗΤΗΣ	21.12	212 (125,295)	87 (51,121)	20.77	198 (116,274)	124 (73,173)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.38	99 (58,137)	81 (47,112)	19.64	67 (40,94)	86 (50,119)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	20.18	204 (120,283)	103 (60,143)	20.08	256 (150,355)	123 (73,171)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	19.09	192 (113,267)	91 (54,127)	18.97	178 (104,247)	104 (61,145)
ΣΥΝΟΛΟ		6487 (3847, 8944)	139 (82, 191)		2115 (1242,2942)	115 (68,160)

i ευρύτερη αστική περιοχή της Αθήνας

ii ευρύτερη αστική περιοχή Θεσσαλονίκης

ΠΙΝΑΚΑΣ 38
Μείωση του αριθμού θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες (ICD10: A00-R99) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, αθροιστικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στα 10μg/m^3. Οι εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων έχουν υπολογιστεί με βάση το πρόγραμμα χαρτογραφικής απεικόνισης του ΥΠΕΚΑ.

στο σενάριο της μείωσης των ετησίων μέσων επιπέδων στα συνιστώμενα επίπεδα για την προστασία της υγείας του πληθυσμού (WHO, 2005), δηλαδή στα 20 μg/m^3 για τα PM_{10} και στα 10 μg/m^3 για τα $PM_{2.5}$. Δεδομένου ότι υψηλά επίπεδα NO_2 καταγράφονται μόνο στα αστικά κέντρα και ειδικότερα στην Αθήνα, η αποτίμηση των επιδράσεων του NO_2 στην ολική θνησιμότητα πραγματοποιήθηκε μόνο για την Αθήνα με το σενάριο μείωσης των επιπέδων του στα 40 μg/m^3, σύμφωνα με τον ΠΟΥ.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για την αποτίμηση της επιβάρυνσης στη θνησιμότητα από όλες τις αιτίες εκτός των εξωτερικών αιτιών (θνησιμότητα από φυσικά αίτια) (ICD10: A00-R99). Εξαίρεση αποτελεί η αποτίμηση ειδικά για τα αστικά κέντρα όπου χρησιμοποιήθηκε ο συνολικός αριθμός θανάτων (συμπεριλαμβανομένων των θανάτων από εξωτερικές αιτίες), λόγω έλειψης δεδομένων που να επιτρέπουν τη χρήση δεδομένων θανάτων από φυσικές αιτίες. Στην περίπτωση αυτή, μειώσαμε την εκτίμηση στο 96,6%, γιατί οι θάνατοι από εξωτερικές αιτίες είναι 3,4% (ΕΛΣΤΑΤ).

Ο Πίνακας 38 παρουσιάζει τη μείωση στον εκτιμώμενο αριθμό των θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους (με τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης), αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στο συνιστώμενο επίπεδο για την προστασία της υγείας του πληθυσμού σύμφωνα με τον ΠΟΥ, δηλαδή στα 10 μg/m^3, για κάθε Περιφέρεια κατά αστικότητα.

Από τον Πίνακα 38 φαίνεται ότι, αν συνέβαινε η παραπάνω μείωση στα επίπεδα των $PM_{2.5}$ θα προλαμβάνονταν 6487 θάνατοι ετησίως στις αστικές περιοχές από τους οποίους το 58% (3788 θάνατοι) αφορούν την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και το 13% της ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης. Ο αριθμός θανάτων ανά 100.000 κατοίκους υπολογίστηκε για να γίνουν τα δεδομένα ανεξάρτητα από τον συνολικό πληθυσμό και στην αντίστοιχη στήλη για τις αστικές περιοχές βλέπουμε ότι το μεγαλύτερο όφελος θα έχουν οι κάτοικοι Αθηνών και ακολουθούν οι κάτοικοι Θεσσαλονίκης, ενώ ακολουθούν στη συνέχεια οι κάτοικοι των αστικών περιοχών της Δυτικής Ελλάδας και της Πελοποννήσου. Αντίστοιχα στις αγροτικές περιοχές, η ίδια μείωση στα $PM_{2.5}$, θα οδηγούσε σε πρόληψη 2115 θανάτων ετησίως, με μεγαλύτερο όφελος για τους κατοίκους των αγροτικών περιοχών της Ανατολικής Μακεδονίας-Θράκης, της Δυτικής Ελλάδας, των Ιονίων Νήσων, της Κρήτης και της Πελοποννήσου, χωρίς όμως οι διαφοροποιήσεις κατά Περιφέρεια να είναι πολύ μεγάλες.

	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	19.44	272 (160,378)	106 (62,148)	18.95	140 (82,195)	92 (54,128)
ΑΤΤΙΚΗΣ	28.74 i	3848 (2289,5285) i	181 (107,248) i	19.99	25 (15,35)	96 (56,133)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.17	63 (37,87)	103 (61,144)	19.08	61 (36,84)	82 (48,114)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.79	375 (221,519)	141 (83,196)	20.59	175 (103,243)	95 (56,132)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.24	123 (73,171)	116 (68,160)	19.13	72 (42,100)	81 (47,112)
ΗΠΕΙΡΟΥ	18.26	99 (58,138)	91 (53,127)	17.70	79 (46,110)	63 (37,88)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	19.87	337 (198,468)	104 (61,144)	18.80	139 (82,194)	77 (45,108)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	21.43	71 (42,98)	136 (80,188)	21.29	101 (60,141)	109 (64,151)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	25.93 ii	999 (592,1378) ii	166 (99,229) ii	18.39	256 (150,357)	86 (50,120)
ΚΡΗΤΗΣ	21.12	306 (180,425)	126 (74,175)	20.77	158 (93,220)	100 (59,138)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.38	143 (84,199)	117 (69,162)	19.64	66 (39,92)	84 (49,117)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	20.18	233 (137,323)	117 (69,163)	20.08	177 (104,246)	85 (50,119)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	19.09	221 (130,307)	105 (61,146)	18.97	123 (72,171)	72 (43,101)
ΣΥΝΟΛΟ		7090 (4201,9776)	151 (90,209)		1572 (924,2188)	86 (50,119)

i ευρύτερη αστική περιοχή της Αθήνας

ii ευρύτερη αστική περιοχή Θεσσαλονίκης

ΠΙΝΑΚΑΣ 39

Μείωση του αριθμού θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες (ICD10: A00-R99) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, αθροιστικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στα 10μg/m^3 μετά από την προτύπωση ως προς την ηλικία.
Οι εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων έχουν υπολογιστεί με βάση το πρόγραμμα χαρτογραφικής απεικόνισης του ΥΠΕΚΑ.

Συνολικά, το 75% των προλαμβανομένων θανάτων είναι στις αστικές/ημιαστικές περιοχές και το υπόλοιπο 25% στις αγροτικές.

Ο Πίνακας 39 παρουσιάζει την ετήσια μείωση στον εκτιμώμενο αριθμό των θανάτων για τη θνησιμότητα από φυσικές αιτίες συνολικά αλλά και ανά 100.000 κατοίκους (με τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης) για τα ίδια σενάρια που χρησιμοποιήθηκαν προηγουμένως, μετά από προτύπωση ως προς την ηλικία, δηλαδή με αναγωγή στην ίδια κατανομή κατά ηλικία μεταξύ αστικών/ημιαστικών και αγροτικών περιοχών κάθε περιφέρειας. Η προσέγγιση αυτή εφαρμόζεται για την καλύτερη σύγκριση των αποτιμήσεων κατά αστικότητα, καθώς οι αριθμοί των αποδοτέων περιστατικών διαφοροποιούνται σε σχέση και με την ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού κάθε περιοχής. Για παράδειγμα, αν ο πληθυσμός σε μία αγροτική περιοχή είναι πιο γηρασμένος σε σχέση με την αστική περοχή της ίδιας περιφέρειας, μέρος του αριθμού θανάτων αποδίδεται σε αυτό τον παράγοντα. Ως πρότυπος πληθυσμός έχει χρησιμοποιηθεί ο πληθυσμός της Ελλάδας το έτος 2011. Για τις αστικές περιοχές της Αττικής και της Κεντρικής Μακεδονίας έχουν χρησιμοποιηθεί και πάλι οι ευρύτερες αστικές περιοχές Αθήνας και Θεσσαλονίκης αντίστοιχα. Όμως, λόγω έλλειψης της διαθεσιμότητας των δεδομένων θνησιμότητας που δεν δόθηκαν χωριστά κατά ηλικία για τις ευρύτερες περιοχές της Αθήνας και της Θεσσαλονικής, υποθέσαμε πως ο αριθμός των θανάτων κάθε ηλικιακής ομάδας είναι μειωμένος αναλογικά με το ποσοστό μείωσης του πληθυσμού σε σχέση με το σύνολο των αστικών/ημιαστικών περιοχών της ίδιας Περιφέρειας.

Από τον Πίνακα 39 βλέπουμε ότι αν οι αστικές/ημιαστικές περιοχές είχαν την ίδια ηλικιακή κατανομή με τις αγροτικές, το όφελος θα ήταν αναλογικά μεγαλύτερο και ειδικότερα θα ήταν 7090 θάνατοι (82% αντί 75%).

Ο Πίνακας 40 παρουσιάζει τη μείωση στον εκτιμώμενο αριθμό των θανάτων ετησίως από όλες τις φυσικές αιτίες συνολικά αλλά και ανά 100.000 κατοίκους (με τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης) αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στο συνιστώμενο επίπεδο για την προστασία της υγείας του πληθυσμού σύμφωνα με τον ΠΟΥ δηλαδή στα 20 μg/m^3. Ο Πίνακας 41 παρουσιάζει τη μείωση στον εκτιμώμενο αριθμό των θανάτων για τη θνησιμότητα από φυσικές αιτίες για τα ίδια σενάρια, μετά από προτύπωση ως προς την ηλικία.

	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	21.73	62 (38,91)	24 (15,36)	21.14	35 (21,51)	23 (14,34)
ΑΤΤΙΚΗΣ	31.95 i	3424 (2140,4893) i	160 (100,230) i	23.95	16 (10,23)	60 (37,87)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21.67	16 (10,23)	26 (16,38)	22.27	29 (18,42)	39 (24,57)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	25.33	198 (122,287)	75 (46,108)	23.70	115 (71,167)	62 (38,91)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	24.11	53 (33,78)	50 (31,73)	21.72	29 (17,42)	32 (20,47)
ΗΠΕΙΡΟΥ	20.84	12 (7,17)	11 (7,16)	20.06	1 (1,2)	1 (1,2)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	22.59	111 (68,162)	34 (21,50)	21.35	48 (29,69)	26 (16,39)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	25.50	44 (27,64)	84 (52,122)	25.35	80 (50,116)	86 (53,125)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	28.04 ii	612 (381,883) ii	102 (63,147) ii	20.58	33 (20,49)	11 (7,16)
ΚΡΗΤΗΣ	26.55	177 (110,256)	73 (45,105)	26.46	168 (104,243)	106 (65,153)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	24.12	62 (38,90)	50 (31,73)	24.82	48 (30,69)	61 (38,88)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	23.58	103 (63,149)	52 (32,75)	23.44	125 (77,182)	60 (37,88)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.94	59 (36,86)	28 (17,41)	21.63	46 (28,68)	27 (17,40)
ΣΥΝΟΛΟ		4933 (3073, 7079)	105 (66, 151)		773 (476,1123)	42 (26,61)

i ευρύτερη αστική περιοχή της Αθήνας

ii ευρύτερη αστική περιοχή Θεσσαλονίκης

ΠΙΝΑΚΑΣ 40

Μείωση του αριθμού θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες (ICD10: A00-R99) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20μg/m^3. Οι εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων έχουν υπολογιστεί με βάση το πρόγραμμα χαρτογραφικής απεικόνισης του ΥΠΕΚΑ.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	21.73	72 (44,105)	28 (17,41)	21.14	26 (16,38)	17 (10,25)
ΑΤΤΙΚΗΣ	31.95 i	3478 (2174,4969) i	163 (102,233) i	23.95	14 (9,21)	54 (33,79)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21.67	17 (10,24)	27 (17,40)	22.27	22 (13,32)	29 (18,43)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	25.33	242 (149,351)	91 (56,132)	23.70	88 (54,127)	48 (29,69)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	24.11	65 (40,94)	61 (37,88)	21.72	19 (12,28)	22 (13,32)
ΗΠΕΙΡΟΥ	20.84	15 (9,21)	13 (8,20)	20.06	1 (1,1)	1 (0,1)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	22.59	127 (78,185)	39 (24,57)	21.35	31 (19,45)	17 (11,25)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	25.50	49 (30,70)	93 (58,135)	25.35	69 (42,99)	74 (45,107)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	28.04 ii	722 (447,1039) ii	120 (74,173) ii	20.58	26 (16,37)	9 (5,13)
ΚΡΗΤΗΣ	26.55	256 (158,370)	105 (65,152)	26.46	135 (83,194)	85 (52,122)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	24.12	90 (55,130)	73 (45,106)	24.82	47 (29,68)	60 (37,87)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	23.58	117 (72,171)	59 (36,86)	23.44	87 (53,126)	42 (26,61)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.94	68 (41,99)	32 (20,47)	21.63	32 (20,47)	19 (12,28)
ΣΥΝΟΛΟ		5318 (3307,7628)	114 (71,163)		597 (367,863)	33 (20, 47)

i ευρύτερη αστική περιοχή της Αθήνας

ii ευρύτερη αστική περιοχή Θεσσαλονίκης

ΠΙΝΑΚΑΣ 41

Μείωση του αριθμού θανάτων από όλες τις φυσικές αιτίες (ICD10: A00-R99) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20μg/m^3 μετά από την προτύπωση ως προς την ηλικία.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	Μείωση PM_{10} στα 20 μg/m^3			Μείωση PM_{10} στα 20 μg/m^3		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΘΗΝΑ	28.74	3788 (2255,5203)	178 (106,244)	31.95	3424 (2140,4893)	160 (100,230)
ΑΜΦΙΣΣΑ	18.43	6 (4,9)	103 (61,144)	21.18	1 (1,2)	21 (13,31)
ΒΟΛΟΣ	20.77	64 (38,88)	111 (66,154)	23.72	32 (19,45)	55 (34,80)
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	23.80	99 (59,138)	107 (63,148)	29.18	94 (58,135)	100 (63,144)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	25.93	849 (503,1170)	141 (84,195)	28.04	612 (381,883)	102 (63,147)
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	18.87	40 (23,56)	79 (46,111)	21.44	10 (6,14)	18 (12,27)
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	18.80	5 (3,7)	90 (52,125)	20.63	1 (0,1)	10 (6,14)
ΛΑΜΙΑ	19.63	43 (25,59)	99 (58,137)	22.11	14 (8,19)	31 (19,45)
ΛΑΡΙΣΑ	24.31	101 (60,140)	109 (65,151)	27.22	73 (45,105)	78 (48,113)
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	19.36	14 (8,18)	87 (51,121)	21.85	4 (2,6)	25 (15,37)
ΠΑΤΡΑ	21.86	124 (72,171)	117 (69,162)	25.03	75 (46,108)	71 (43,103)
ΧΑΛΚΙΔΑ	19.69	37 (21,50)	95 (55,131)	22.66	14 (9,21)	38 (23,54)

ΠΙΝΑΚΑΣ 42

Εκτιμώμενη μείωση του συνολικού αριθμού θανάτων (95% Δ.Ε.) ετησίως για αστικά κέντρα της χώρας αν η μέση ετήσια συγκέντρωση $PM_{2.5}$ και PM_{10} μειωνόταν στα 10μg/m^3 και 20μg/m^3. Οι εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων έχουν υπολογιστεί με βάση το πρόγραμμα χαρτογράφισης απεικόνισης του ΥΠΕΚΑ.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	ΕΠΙΘΥΜΗΤΟ ΕΠΙΠΕΔΟ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
Αθήνα (Δήμος Αθηναίων)	40 μg/m^3	159 (144,176)	35 (31,38)

ΠΙΝΑΚΑΣ 43
Εκτιμώμενη μείωση του αριθμού θανάτων (95% Δ.Ε.) ετησίως στην Αθήνα αν τα μέσα ετήσια επίπεδα NO_2 μειώνονταν στα 40 μg/m^3. Οι εκτιμήσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων έχουν υπολογιστεί με βάση το πρόγραμμα χαρτογραφικής απεικόνισης του ΥΠΕΚΑ.

Από τον Πίνακα 40 φαίνεται ότι αν συνέβαινε η παραπάνω μείωση στα επίπεδα των PM_{10} θα προλαμβάνονταν 4933 θάνατοι ετησίως στις αστικές περιοχές από τους οποίους το 69% (3424 θάνατοι) αφορούν την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και το 12% την ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης. Ο αριθμός θανάτων ανά 100.000 κατοίκους δείχνει ότι το μεγαλύτερο όφελος θα έχουν οι κάτοικοι Αθηνών και ακολουθούν οι κάτοικοι Θεσσαλονίκης, ενώ ακολουθούν στη συνέχεια με απόσταση οι κάτοικοι όλων των άλλων αστικών περιοχών. Αντίστοιχα στις αγροτικές περιοχές, η ίδια μείωση στα PM_{10}, θα οδηγούσε σε πρόληψη 773 θανάτων ετησίως, με μεγαλύτερο όφελος για τους κατοίκους των αγροτικών περιοχών της Κρήτης. Συνολικά το 86% των προλαμβανομένων θανάτων είναι στις αστικές/ημιαστικές περιοχές και το υπόλοιπο 14% στις αγροτικές. Αν οι Περιφέρειες είχαν την ίδια ηλικιακή κατανομή κατά αστικότητα, τότε η μείωση των θανάτων θα αφορούσε τις αστικές περιοχές κατά 90% (Πίνακας 41).

Ο Πίνακας 42 παρουσιάζει την ετήσια μείωση στον συνολικό αριθμό των θανάτων (με τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης) στα αστικά κέντρα της χώρας αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ και PM_{10} μειώνονταν στα 10μg/m^3 και 20μg/m3 αντίστοιχα. Οι εκτιμήσεις για την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη αναφέρθηκαν και προηγουμένως. Για τα άλλα αστικά κέντρα, ο μεγαλύτερος αριθμός θανάτων που θα προλαμβάνονταν είναι στην Πάτρα (124 για τα $PM_{2.5}$ και 75 για τα PM_{10}), στη Λάρισα (101 και 73 αντίστοιχα) και στο Ηράκλειο (99 και 94 αντίστοιχα). Αν δούμε την εκτίμηση ανά 100.000 κατοίκους, εμφανίζεται παρόμοιο όφελος, εκτός των παραπάνω πόλεων, για το Βόλο όσον αφορά τη μείωση των $PM_{2.5}$ και για το Ηράκλειο όσον αφορά τη μείωση των PM_{10}.

Ο Πίνακας 43 παρουσιάζει τη μείωση στον αριθμό των θανάτων (με τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης) ετησίως στην Αθήνα, που ήταν το μόνο αστικό κέντρο με υψηλά επίπεδα συγκεντρώσεων NO_2, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα NO_2 μειώνονταν στα 40 μg/m^3. Τα υψηλά επίπεδα στην Αθήνα αποδίδονται στις εκπομπές του NO_2, καθώς κύρια πηγή του ρύπου είναι η κυκλοφορία αυτοκινήτων. Επειδή τα δεδομένα για τους θανάτους από φυσικές αιτίες στα αστικά κέντρα δεν ήταν διαθέσιμα, έχει χρησιμοποιηθεί ο μέσος όρος του συνολικού αριθμού θανάτων των ετών 2014-17 στο Δήμο Αθηναίων. Απο τον υπολογισμό αυτό προκύπτει ότι 159 θάνατοι ετησίως θα προλαμβάνονταν αν τα επίπεδο NO_2 μειώνονταν στα 40 μg/m^3.

Α.4.2.
Αποτίμηση της επιβάρυνσης από την μακροχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικά σωματίδια στην κατά αιτία θνησιμότητα

Οι Πίνακες 44-55 παρουσιάζουν την ετήσια μείωση στον εκτιμώμενο αριθμό των θανάτων για συγκεκριμένους κατά αιτία δείκτες θνησιμότητας, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους (με τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης) στις αστικές/ημιαστικές και αγροτικές περιοχές κάθε Περιφέρειας, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ και PM_{10} μειώνονταν στα συνιστώμενα επίπεδα για την προστασία της υγείας του πληθυσμού, 10 μg/m^3 και 20 μg/m^3 αντίστοιχα. Επίσης παρουσιάζονται τα αντίστοιχα αποτελέσματα μετά από προτύπωση κατά ηλικία, μόνο για την καρδιαγγειακή και την αναπνευστική θνησιμότητα καθώς δεν υπήρχαν διαθέσιμα δεδομένα για την ηλικιακή κατανομή των θανάτων από τις υπόλοιπες αιτίες στις αστικές/ημιαστικές και αγροτικές περιοχές κάθε Περιφέρειας. Έχουν χρησιμοποιηθεί οι ίδιες εκτιμήσεις για τις συγκεντρώσεις των ρύπων όπως στο Υποεδάφιο Α4.1

Όμως σε αντίθεση με το Υποεδάφιο Α4.1, ως αστικές περιοχές της Αττικής και της Κεντρικής Μακεδονίας δεν θεωρούνται εδώ οι ευρύτερες αστικές περιοχές Αθήνας και Θεσσαλονίκης αντίστοιχα, που είχαν χρησιμοποιηθεί στη θνησιμότητα από όλες τις φυσικές αιτίες, αλλά έχει χρησιμοποιηθεί ο ορισμός της ΕΛΣΤΑΤ, καθώς δεν υπάρχουν δεδομένα κατά αιτία θνησιμότητας στους δήμους που έχουν θεωρηθεί ως ευρύτερη αστική περιοχή Αθήνας και στις δημοτικές ενότητες που έχουν θεωρηθεί ως ευρύτερη αστική περιοχή Θεσσαλονίκης. Έτσι πρέπει να επισημάνθεί ότι υποεκτιμάται το όφελος της μείωσης των ρύπων τουλάχιστον για την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη. Τέλος, τα δεδομένα για την επίπτωση του καρκίνου του πνεύμονα υπάρχουν συνολικά για την Ελλάδα, κι έτσι έγινε η εκτίμηση της επίδρασης της μακροχρόνιας έκθεση σε PM_{10} στο συγκεκριμένο δείκτη υγείας για το σύνολο της χώρας.

	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	19.44	90 (61,118)	35 (24,46)	18.95	74 (50,97)	49 (33,64)
ΑΤΤΙΚΗΣ	21.18	905 (616,1184)	35 (24,46)	19.99	10 (7,13)	38 (26,50)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.17	19 (13,25)	31 (21,41)	19.08	26 (17,34)	35 (24,46)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.79	98 (67,128)	37 (25,48)	20.59	82 (56,107)	44 (30,58)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.24	35 (24,46)	33 (22,43)	19.13	41 (28,54)	46 (31,61)
ΗΠΕΙΡΟΥ	18.26	27 (18,35)	25 (17,32)	17.70	43 (29,56)	34 (23,45)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	19.87	93 (63,122)	29 (20,38)	18.80	75 (51,98)	42 (28,54)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	21.43	20 (14,26)	38 (26,50)	21.29	41 (28,54)	44 (30,58)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	19.51	291 (198,381)	30 (20,39)	18.39	121 (82,158)	41 (28,53)
ΚΡΗΤΗΣ	21.12	64 (43,84)	26 (18,34)	20.77	63 (43,83)	40 (27,52)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.38	31 (21,41)	26 (17,33)	19.64	25 (17,32)	31 (21,41)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	20.18	67 (46,88)	34 (23,45)	20.08	94 (64,123)	45 (31,59)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	19.09	67 (46,88)	32 (22,42)	18.97	70 (47,92)	41 (28,54)
ΣΥΝΟΛΟ		1807 (1230,2366)	33 (22,43)		765 (519,1001)	42 (28,55)

ΠΙΝΑΚΑΣ 44
Μείωση του αριθμού θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες (ICD10: I00-I99) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, αθροιστικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στα 10μg/m^3.

Από τους Πίνακες 44 και 46, φαίνεται ότι το όφελος από τη μείωση των $PM_{2.5}$ συνδέεται με την πρόληψη 2572 θανάτων ετησίως από όλες τις καρδιαγγειακές αιτίες (1807 από αυτούς στις αστικές περιοχές), η μείωση των PM_{10} σε πρόληψη 1214 θανάτων (928 σε αστικές περιοχές) από τις ίδιες αιτίες. Αν υπήρχε η ίδια κατανομή κατά ηλικία και αστικότητα θα ήταν μεγαλύτερη η διαφορά ανάμεσα στις αστικές/ημιαστικές και στις αγροτικές περιοχές (Πίνακες 45 και 47). Ειδκότερα, για τη μείωση των θανάτων από ισχαιμική καρδιοπάθεια και εγκεφαλικά επεισόδια βλέπουμε στους Πίνακες 50 και 51 ότι θα προλαμβάνονταν 1107 και 1048 θάνατοι ετησίως πανελλαδικά αντίστοιχα, αν μειώνονταν τα $PM_{2.5}$ στα 10 μg/m^3.

Στον Πίνακα 48 φαίνεται ότι η μείωση των PM_{10} στα 20 μg/m^3 θα οδηγούσε σε πρόληψη 608 θανάτων ετησίως από αναπνευστικές αιτίες για όλη τη χώρα (472 στις αστικές/ημιαστικές περιοχές), ενώ στον Πίνακα 49 φαίνεται ότι αν οι περιοχές κατά αστικότητα είχαν την ίδια ηλικιακή κατανομή θα ήταν μεγαλύτερο το όφελος στις αστικές περιοχές. Στους Πίνακες 52 και 53 φαίνεται ότι με μείωση των $PM_{2.5}$ στα 10 μg/m^3 και των PM_{10} στα 20 μg/m^3 θα προλαμβάνονταν 345 και 429 θάνατοι ετησίως από καρκίνο του πνεύμονα αντίστοιχα και στους Πίνακες 54 και 55 φαίνεται ότι το αντίστοιχο όφελος για τους θανάτους από χρόνια αποφρακτική πνευμονοπάθεια θα ήταν 942 και 247 θάνατοι.

Εκτιμήθηκε πως αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20 μg/m^3, τα νέα περιστατικά καρκίνου του πνεύμονα θα ήταν μειωμένα κατά 461 (95% ΔΕ: 70 - 844) περιστατικά (6 (95% ΔΕ: 1- 11) περιστατικά ανά 100.000 κατοίκους).

	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	19.44	102 (70,134)	40 (27,52)	18.95	53 (36,70)	35 (24,46)
ΑΤΤΙΚΗΣ	21.18	1039 (707,1358)	40 (27,53)	19.99	9 (6,11)	32 (22,42)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.17	19 (13,25)	31 (21,41)	19.08	19 (13,25)	26 (18,34)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.79	117 (79,152)	44 (30,57)	20.59	62 (42,81)	34 (23,44)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.24	42 (29,55)	40 (27,52)	19.13	27 (18,35)	30 (20,39)
ΗΠΕΙΡΟΥ	18.26	33 (22,43)	30 (21,40)	17.70	30 (20,39)	23 (16,31)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	19.87	105 (71,138)	32 (22,42)	18.80	47 (32,62)	26 (18,35)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	21.43	22 (15,28)	41 (28,54)	21.29	35 (24,46)	38 (26,49)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	19.51	343 (233,449)	35 (24,46)	18.39	91 (62,119)	31 (21,40)
ΚΡΗΤΗΣ	21.12	92 (62,120)	38 (26,49)	20.77	52 (35,67)	32 (22,42)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.38	46 (31,60)	37 (25,49)	19.64	24 (16,31)	31 (21,40)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	20.18	77 (52,101)	39 (26,51)	20.08	66 (45,86)	32 (22,42)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	19.09	79 (53,103)	37 (25,49)	18.97	48 (32,62)	28 (19,37)
ΣΥΝΟΛΟ		2116 (1437,2766)	38 (26,50)		563 (381,734)	31 (21,40)

ΠΙΝΑΚΑΣ 45
Μείωση του αριθμού θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες (ICD10: I00-I99) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στα 10μg/m^3 μετά από προτύπωση κατά ηλικία.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	21.73	25 (3,45)	10 (1,18)	21.14	14 (2,26)	9 (1,17)
ΑΤΤΙΚΗΣ	24.47	543 (64,973)	21 (2,38)	23.95	6 (1,11)	23 (3,41)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21.67	5 (1,9)	9 (1,16)	22.27	10 (1,17)	13 (2,24)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	25.33	66 (8,118)	25 (3,45)	23.70	43 (5,77)	23 (3,42)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	24.11	19 (2,35)	18 (2,32)	21.72	12 (1,21)	13 (2,24)
ΗΠΕΙΡΟΥ	20.84	4 (0,7)	4 (0,7)	20.06	1 (0,1)	0 (0,1)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	22.59	37 (4,67)	11 (1,21)	21.35	17 (2,31)	10 (1,17)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	25.50	14 (2,26)	28 (3,49)	25.35	29 (3,52)	31 (4,56)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.73	80 (9,145)	8 (1,15)	20.58	13 (1,23)	4 (0,8)
ΚΡΗΤΗΣ	26.55	56 (7,100)	23 (3,41)	26.46	56 (7,101)	36 (4,63)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	24.12	21 (2,37)	17 (2,30)	24.82	18 (2,33)	23 (3,42)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	23.58	36 (4,64)	18 (2,32)	23.44	48 (6,86)	23 (3,42)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.94	22 (3,39)	10 (1,19)	21.63	19 (2,35)	11 (1,20)
ΣΥΝΟΛΟ		928 (109,1665)	17 (2,30)		286 (33,514)	16 (2,28)

ΠΙΝΑΚΑΣ 46
Μείωση του αριθμού θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες (ICD10: I00-I99) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20μg/m^3.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑ-ΤΩΝ/100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑ-ΤΩΝ/100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	21.73	28 (3,51)	11 (1,20)	21.14	10 (1,19)	7 (1,12)
ΑΤΤΙΚΗΣ	24.47	623 (73,1117)	24 (3,43)	23.95	5 (1,9)	19 (2,34)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21.67	5 (1,9)	9 (1,16)	22.27	7 (1,13)	10 (1,18)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	25.33	79 (9,141)	30 (4,53)	23.70	32 (4,58)	18 (2,32)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	24.11	23 (3,42)	22 (3,39)	21.72	8 (1,14)	9 (1,15)
ΗΠΕΙΡΟΥ	20.84	5 (1,9)	5 (1,8)	20.06	0 (0,1)	0 (0,1)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	22.59	42 (5,75)	13 (1,23)	21.35	11 (1,20)	6 (1,11)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	25.50	16 (2,28)	30 (4,53)	25.35	25 (3,45)	27 (3,48)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.73	94 (11,170)	10 (1,18)	20.58	10 (1,17)	3 (0,6)
ΚΡΗΤΗΣ	26.55	80 (9,143)	33 (4,59)	26.46	46 (5,82)	29 (3,52)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	24.12	30 (4,54)	24 (3,44)	24.82	18 (2,32)	23 (3,41)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	23.58	41 (5,73)	20 (2,37)	23.44	34 (4,61)	16 (2,29)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.94	25 (3,46)	12 (1,22)	21.63	13 (2,24)	8 (1,14)
ΣΥΝΟΛΟ		1091 (129,1958)	20 (2,36)		219 (26,395)	12 (1,22)

ΠΙΝΑΚΑΣ 47
Μείωση του αριθμού θανάτων από καρδιαγγειακές αιτίες (ICD10: I00-I99) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20μg/m^3 μετά από προτύπωση κατά ηλικία.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	21.73	8 (2,14)	3 (1,5)	21.14	4 (1,8)	3 (1,5)
ΑΤΤΙΚΗΣ	24.47	291 (67,518)	11 (3,20)	23.95	3 (1,5)	10 (2,18)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21.67	3 (1,5)	5 (1,9)	22.27	5 (1,9)	7 (2,12)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	25.33	36 (8,63)	13 (3,24)	23.70	22 (5,39)	12 (3,21)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	24.11	7 (2,12)	6 (1,11)	21.72	3 (1,6)	4 (1,7)
ΗΠΕΙΡΟΥ	20.84	2 (0,3)	2 (0,3)	20.06	0 (0,0)	0 (0,0)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	22.59	17 (4,30)	5 (1,9)	21.35	8 (2,14)	4 (1,8)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	25.50	8 (2,14)	15 (4,27)	25.35	14 (3,26)	16 (4,28)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.73	32 (7,59)	3 (1,6)	20.58	4 (1,8)	1 (0,3)
ΚΡΗΤΗΣ	26.55	31 (7,55)	13 (3,22)	26.46	35 (8,61)	22 (5,38)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	24.12	9 (2,17)	8 (2,14)	24.82	7 (2,12)	9 (2,16)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	23.58	19 (4,34)	10 (2,17)	23.44	24 (5,43)	12 (3,21)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.94	9 (2,16)	4 (1,7)	21.63	7 (2,12)	4 (1,7)
ΣΥΝΟΛΟ		472 (108,840)	9 (2,15)		136 (32,243)	7 (2,13)

ΠΙΝΑΚΑΣ 48
Μείωση του αριθμού θανάτων από αναπνευστικές αιτίες (ICD10: J00-J98) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20μg/m^3.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	21.73	9 (2,17)	4 (1,6)	21.14	3 (1,6)	2 (1,4)
ΑΤΤΙΚΗΣ	24.47	359 (83,639)	14 (3,25)	23.95	3 (1,5)	11 (2,19)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21.67	3 (1,5)	5 (1,9)	22.27	4 (1,6)	5 (1,9)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	25.33	48 (11,86)	18 (4,32)	23.70	16 (4,29)	9 (2,16)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	24.11	9 (2,16)	8 (2,15)	21.72	3 (1,5)	3 (1,6)
ΗΠΕΙΡΟΥ	20.84	2 (1,4)	2 (0,4)	20.06	0 (0,0)	0 (0,0)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	22.59	21 (5,38)	6 (1,12)	21.35	5 (1,9)	3 (1,5)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	25.50	9 (2,16)	17 (4,30)	25.35	11 (3,20)	12 (3,21)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.73	39 (9,71)	4 (1,7)	20.58	3 (1,6)	1 (0,2)
ΚΡΗΤΗΣ	26.55	50 (12,87)	20 (5,36)	26.46	29 (7,51)	18 (4,32)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	24.12	14 (3,26)	12 (3,21)	24.82	7 (2,12)	9 (2,15)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	23.58	23 (5,41)	12 (3,21)	23.44	16 (4,28)	8 (2,14)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.94	10 (2,18)	5 (1,8)	21.63	5 (1,9)	3 (1,5)
ΣΥΝΟΛΟ		596 (138,1064)	11 (3,19)		105 (27,186)	6 (1,10)

ΠΙΝΑΚΑΣ 49
Μείωση του αριθμού θανάτων από αναπνευστική θνησιμότητα (ICD10: J00-J98) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20μg/m^3 μετα από προτύπωση κατά ηλικία.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	19.44	35 (22,48)	14 (9,19)	18.95	28 (17,38)	18 (11,25)
ΑΤΤΙΚΗΣ	21.18	476 (297,642)	18 (11,25)	19.99	5 (3,7)	19 (12,26)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.17	8 (5,10)	13 (8,17)	19.08	9 (6,12)	12 (8,17)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.79	36 (23,49)	14 (9,18)	20.59	23 (14,30)	12 (8,17)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.24	13 (8,18)	13 (8,17)	19.13	13 (8,18)	15 (9,20)
ΗΠΕΙΡΟΥ	18.26	9 (6,12)	8 (5,11)	17.70	14 (9,19)	11 (7,15)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	19.87	35 (22,48)	11 (7,15)	18.80	25 (15,34)	14 (9,19)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	21.43	7 (4,9)	13 (8,18)	21.29	12 (7,16)	12 (8,17)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	19.51	120 (75,162)	12 (8,17)	18.39	48 (30,64)	16 (10,22)
ΚΡΗΤΗΣ	21.12	25 (16,33)	10 (6,14)	20.77	22 (13,29)	14 (8,18)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.38	13 (8,17)	11 (7,14)	19.64	10 (6,14)	13 (8,18)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	20.18	28 (18,38)	14 (9,19)	20.08	34 (21,45)	16 (10,22)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	19.09	31 (19,42)	15 (9,20)	18.97	28 (17,37)	16 (10,22)
ΣΥΝΟΛΟ		836 (523,1128)	15 (9,20)		271 (166,363)	15 (9,20)

ΠΙΝΑΚΑΣ 50
Μείωση του αριθμού θανάτων από ισχαιμική καρδιοπάθεια (ICD10: I20-I25) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, αθροιστικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στα 10μg/m^3.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	19.44	42 (22,61)	17 (9,24)	18.95	36 (19,52)	24 (12,34)
ΑΤΤΙΚΗΣ	21.18	324 (169,468)	13 (7,18)	19.99	4 (2,6)	16 (8,23)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.17	7 (4,10)	12 (6,17)	19.08	10 (5,14)	13 (7,19)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.79	43 (22,62)	16 (8,23)	20.59	38 (20,54)	20 (11,30)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.24	16 (9,24)	15 (8,22)	19.13	19 (10,28)	22 (11,31)
ΗΠΕΙΡΟΥ	18.26	12 (6,18)	11 (6,16)	17.70	20 (10,29)	16 (8,23)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	19.87	42 (22,60)	13 (7,19)	18.80	36 (19,52)	20 (10,29)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	21.43	8 (4,12)	16 (8,23)	21.29	18 (9,26)	19 (10,28)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	19.51	122 (63,176)	13 (7,18)	18.39	57 (30,83)	19 (10,28)
ΚΡΗΤΗΣ	21.12	23 (12,33)	10 (5,14)	20.77	24 (13,35)	15 (8,22)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.38	12 (6,17)	10 (5,14)	19.64	9 (5,13)	12 (6,17)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	20.18	27 (14,40)	14 (7,20)	20.08	41 (21,59)	20 (10,28)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	19.09	28 (15,41)	13 (7,19)	18.97	30 (16,44)	18 (9,26)
ΣΥΝΟΛΟ		706 (368,1022)	13 (7,19)		342 (179,495)	19 (10,27)

ΠΙΝΑΚΑΣ 51
Μείωση του αριθμού θανάτων από νοσήματα των εγκεφαλικών αγγείων (ICD10: I60-I69) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, αθροιστικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στα 10μg/m^3.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	19.44	11 (2, 18)	4 (1, 7)	18.95	9 (2, 15)	6 (1, 10)
ΑΤΤΙΚΗΣ	21.18	132 (28, 228)	5 (1, 9)	19.99	1 (0, 2)	4 (1, 7)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.17	2 (0, 4)	4 (1, 7)	19.08	3 (1, 5)	4 (1, 7)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.79	15 (3, 26)	6 (1, 10)	20.59	9 (2, 15)	5 (1, 8)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.24	4 (1, 7)	4 (1, 7)	19.13	4 (1, 7)	4 (1, 7)
ΗΠΕΙΡΟΥ	18.26	4 (1, 6)	3 (1, 6)	17.70	5 (1, 8)	4 (1, 7)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	19.87	13 (3, 23)	4 (1, 7)	18.80	8 (2, 14)	5 (1, 8)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	21.43	3 (1, 5)	6 (1, 10)	21.29	5 (1, 8)	5 (1, 9)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	19.51	41 (9, 71)	4 (1, 7)	18.39	16 (3, 27)	5 (1, 9)
ΚΡΗΤΗΣ	21.12	12 (3, 21)	5 (1,9)	20.77	8 (2, 14)	5 (1, 9)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.38	5 (1, 9)	4 (1,7)	19.64	3 (1, 5)	4 (1, 7)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	20.18	9 (2, 16)	5 (1, 8)	20.08	8 (2, 15)	4 (1,7)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	19.09	9 (2, 16)	4 (1, 8)	18.97	6 (1,11)	4 (1,6)
ΣΥΝΟΛΟ		260 (56, 450)	5 (1, 8)		85 (19, 146)	5 (1,8)

ΠΙΝΑΚΑΣ 52
Μείωση του αριθμού θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα (ICD10: C33-C34) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, αθροιστικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στα 10 μg/m^3.

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	21.73	6 (2,10)	2 (1,4)	21.14	5 (2,8)	3 (1,6)
ΑΤΤΙΚΗΣ	24.47	210 (66,339)	8 (3,13)	23.95	2 (1,3)	8 (2,12)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21.67	3 (1,4)	4 (1,7)	22.27	4 (1,6)	5 (2,8)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	25.33	21 (7,34)	8 (2,13)	23.70	14 (4,23)	8 (2,12)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	24.11	3 (1,5)	3 (1,5)	21.72	3 (1,5)	4 (1,6)
ΗΠΕΙΡΟΥ	20.84	0 (0,0)	0 (0,0)	20.06	0 (0,0)	0 (0,0)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	22.59	8 (3,14)	3 (1,4)	21.35	6 (2,10)	3 (1,5)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	25.50	6 (2,10)	11 (4,18)	25.35	10 (3,16)	11 (3,17)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.73	12 (4,19)	1 (0,2)	20.58	5 (2,8)	2 (1,3)
ΚΡΗΤΗΣ	26.55	32 (10,50)	13 (4,21)	26.46	21 (7,34)	13 (4,21)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	24.12	11 (4,18)	9 (3,15)	24.82	7 (2,11)	8 (3,14)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	23.58	14 (4,23)	7 (2,12)	23.44	13 (4,21)	6 (2,10)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.94	8 (2,13)	4 (1,6)	21.63	5 (2,8)	3 (1,5)
ΣΥΝΟΛΟ		334 (106,539)	6 (2,10)		95 (31,153)	5 (2,8)

ΠΙΝΑΚΑΣ 53
Μείωση του αριθμού θανάτων από καρκίνο του πνεύμονα (ICD10: C33-C34) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20 μg/m^3.

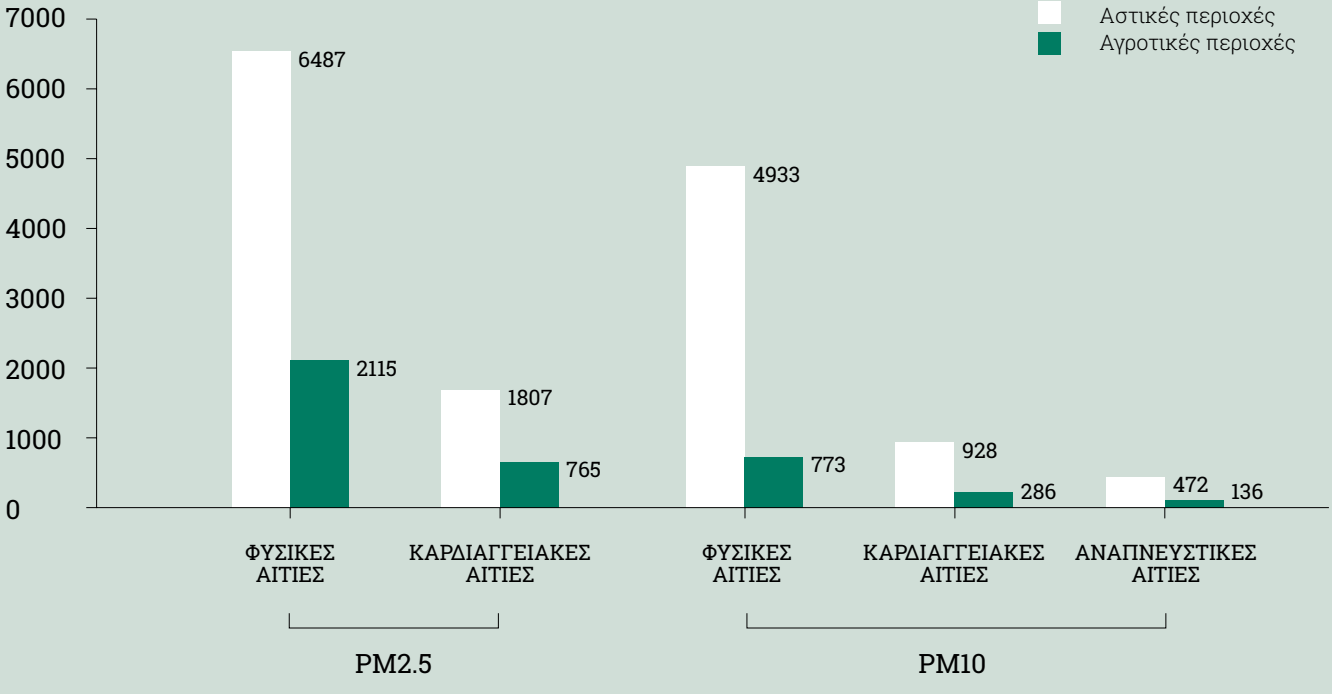
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	19.44	27 (0,47)	11 (0,18)	18.95	25 (0,43)	16 (0,28)
ΑΤΤΙΚΗΣ	21.18	323 (0,539)	13 (0,21)	19.99	2 (0,3)	6 (0,10)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.17	6 (0,11)	11 (0,18)	19.08	11 (0,19)	15 (0,26)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.79	41 (0,68)	15 (0,25)	20.59	31 (0,52)	17 (0,28)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.24	14 (0,23)	13 (0,21)	19.13	10 (0,17)	11 (0,19)
ΗΠΕΙΡΟΥ	18.26	9 (0,15)	8 (0,14)	17.70	14 (0,25)	11 (0,20)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	19.87	33 (0,56)	10 (0,17)	18.80	30 (0,52)	17 (0,29)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	21.43	9 (0,15)	17 (0,29)	21.29	17 (0,29)	19 (0,31)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	19.51	100 (0,171)	10 (0,18)	18.39	37 (0,64)	12 (0,22)
ΚΡΗΤΗΣ	21.12	34 (0,56)	14 (0,23)	20.77	35 (0,59)	22 (0,37)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	19.38	11 (0,19)	9 (0,15)	19.64	9 (0,15)	11 (0,19)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	20.18	30 (0,51)	15 (0,26)	20.08	38 (0,65)	18 (0,31)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	19.09	24 (0,42)	12 (0,20)	18.97	22 (0,38)	13 (0,22)
ΣΥΝΟΛΟ		661 (0,1113)	12 (0,20)		281 (0,481)	15 (0,26)

ΠΙΝΑΚΑΣ 54
Μείωση του αριθμού θανάτων από χρόνια αποφρακτική πνευνονοπάθεια (ΧΑΠ) (ICD10: J40-J47) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, αθροιστικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα $PM_{2.5}$ μειώνονταν στα 10 μg/m^3.

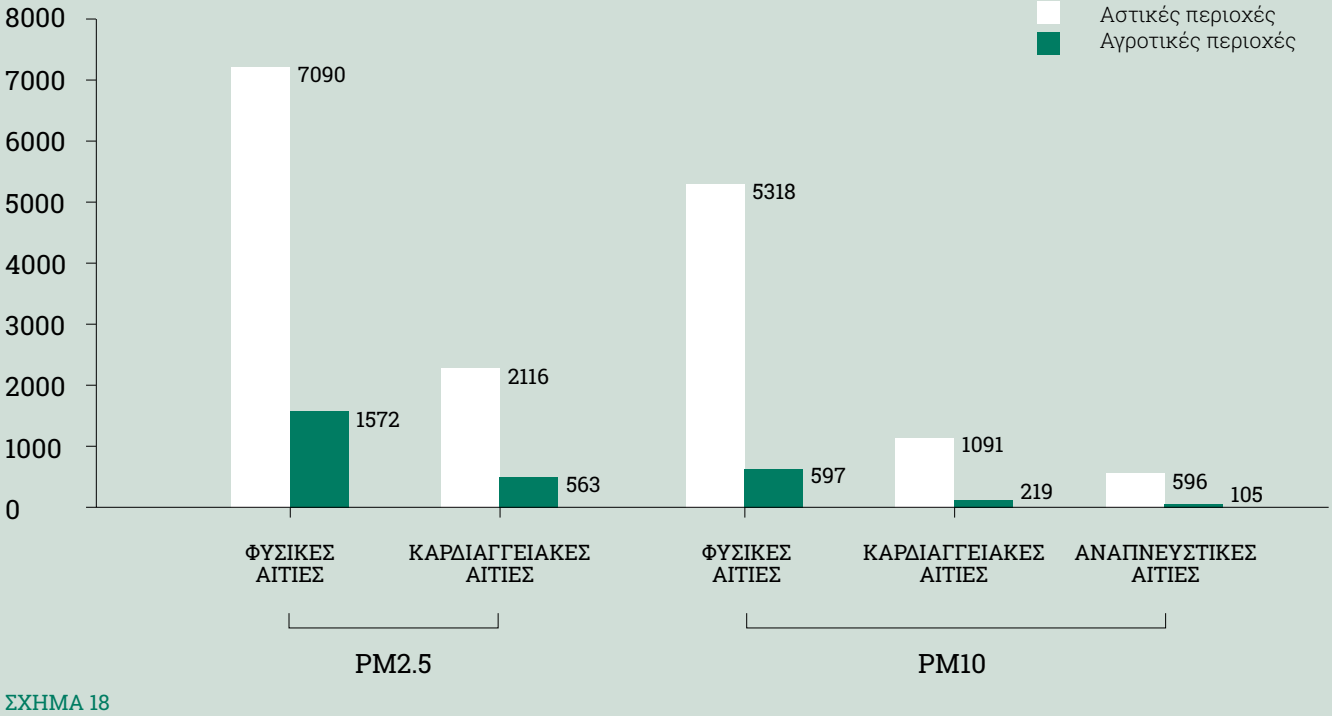
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ	ΑΣΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ			ΑΓΡΟΤΙΚΕΣ ΠΕΡΙΟΧΕΣ		
	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)	ΜΕΣΑ ΕΤΗΣΙΑ ΕΠΙΠΕΔΑ ΡΥΠΟΥ	ΜΕΙΩΣΗ ΑΡΙΘΜΟΥ ΘΑΝΑΤΩΝ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙ-ΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΑΚΗΣ	21.73	3 (1,5)	1 (0,2)	21.14	3 (1,5)	2 (1,3)
ΑΤΤΙΚΗΣ	24.47	107 (36,172)	4 (1,7)	23.95	1 (0,1)	2 (1,3)
ΒΟΡΕΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	21.67	1 (0,2)	2 (1,4)	22.27	3 (1,4)	3 (1,6)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	25.33	12 (4,20)	5 (2,7)	23.70	10 (3,16)	6 (2,9)
ΔΥΤΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	24.11	2 (1,3)	2 (1,3)	21.72	2 (1,3)	2 (1,3)
ΗΠΕΙΡΟΥ	20.84	0 (0,0)	0 (0,0)	20.06	0 (0,0)	0 (0,0)
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ	22.59	4 (1,7)	1 (0,2)	21.35	4 (1,7)	2 (1,4)
ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ	25.50	4 (1,6)	7 (3,12)	25.35	8 (3,12)	8 (3,13)
ΚΕΝΤΡΙΚΗΣ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ	21.73	6 (2,10)	1 (0,1)	20.58	2 (1,4)	1 (0,1)
ΚΡΗΤΗΣ	26.55	18 (6,28)	7 (3,11)	26.46	19 (7,30)	12 (4,19)
ΝΟΤΙΟΥ ΑΙΓΑΙΟΥ	24.12	5 (2,8)	4 (1,7)	24.82	4 (1,6)	5 (2,8)
ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΥ	23.58	9 (3,15)	5 (2,8)	23.44	12 (4,19)	6 (2,9)
ΣΤΕΡΕΑΣ ΕΛΛΑΔΑΣ	21.94	4 (1,7)	2 (1,3)	21.63	4 (1,6)	2 (1,4)
ΣΥΝΟΛΟ		175 (58,283)	3 (1,5)		72 (24,113)	4 (1,6)

ΠΙΝΑΚΑΣ 55
Μείωση του αριθμού θανάτων από χρόνια αποφρακτική πνευνονοπάθεια (ΧΑΠ) (ICD10: J40-J47) (95% Δ.Ε.) ετησίως κατά μέσο όρο, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, αν τα μέσα ετήσια επίπεδα PM_{10} μειώνονταν στα 20 μg/m^3.

Τα Σχήματα 17 και 18 παρουσιάζουν συνοπτικά την κατανομή του αποδοτέου αριθμού θανάτων, χωρίς και με προτύπωση κατά ηλικία αντίστοιχα, από την έκθεση σε αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ και PM_{10}. Οι επιδράσεις των μικρότερων σωματιδίων είναι μεγαλύτερες για την ολική και καρδιαγγειακή θνησιμότητα όπως προκύπτει από τις συναρτήσεις έκθεσης-απόκρισης. Επιπλέον, οι επιδράσεις είναι μεγαλύτερες στις αστικές περιοχές. Στο σχήμα 18 φαίνεται ότι οι διαφορές κατά αστικότητα θα ήταν μεγαλύτερες αν η ηλικιακή κατανομή ήταν ίδια.



ΣΧΗΜΑ 17
Μέσος ετήσιος αποδοτέος αριθμός θανάτων στο σύνολο της χώρας, ανά ρύπο και αιτία θανάτου, εξαιτίας της μακροχρόνιας έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ και PM_{10}.



ΣΧΗΜΑ 18
Μέσος ετήσιος αποδοτέος αριθμός θανάτων στο σύνολο της χώρας, ανά ρύπο και αιτία θανάτου, μετά από την προτύπωση ως προς την ηλικία, εξαιτίας της μακροχρόνιας έκθεσης στην ατμοσφαιρική ρύπανση.

Α.4.3.
Αποτίμηση της επιβάρυνσης λόγω βραχυχρόνιας έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην θνησιμότητα

Η εκτίμηση της επιβάρυνσης της υγείας από τη βραχυχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην υγεία πραγματοποιήθηκε μόνο για τα μεγάλα αστικά κέντρα, καθώς μόνο σε αυτά υπάρχουν ημερήσια δεδομένα συγκεντρώσεων των ρύπων από τους σταθμούς μέτρησης του ΥΠΕΚΑ, που περιγράφηκαν στο Υποκεφάλαιο Α2. Η αποτίμηση έγινε για τα αιωρούμενα σωματίδια, PM_{10} και $PM_{2.5}$ και το O_3, σύμφωνα με τις επιλεγμένες συναρτήσεις έκθεσης-έκβασης (Υποκεφάλαιο Α4) για τις βραχυχρόνιες επιδράσεις των ατμοσφαιρικών ρύπων στην υγεία. Δεν έγινε αποτίμηση της επίδρασης της βραχυχρόνιας έκθεσης σε NO_2 καθώς δεν υπήρχαν μέρες που οι μέγιστες ωριαίες συγκεντρώσεις NO_2 να ξεπερνούσαν το αντίστοιχο όριο του ΠΟΥ που είναι τα 200μg/m^3. Ως δεδομένα έκθεσης χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές από τις μετρήσεις του ΥΠΕΚΑ για τα διάφορα αστικά κέντρα (μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις για τα PM και μέγιστες ημερήσιες συγκεντρώσεις μέσου 8ώρου για το O_3. Ο Πίνακας 56 παρουσιάζει τον αριθμό και το ποσοστό των ημερών που παρατηρήθηκαν υπερβάσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων πάνω από τα όρια του ΠΟΥ, ανά πόλη για τα έτη 2014-2018, στις μετρήσεις του ΥΠΕΚΑ. Φαίνεται ότι για τα PM_{10} υπάρχουν μετρήσεις για 12 πόλεις ενώ για τα $PM_{2.5}$ και το όζον υπάρχουν μόνο για 4.

Ως δείκτες υγείας χρησιμοποιήθηκαν ο ημερήσιος ετήσιος συνολικός αριθμός θανάτων από όλες τις αιτίες (συμπεριλαμβανομένων των εξωτερικών αιτιών) για το 2014-17 και από καρδιαγγειακές και αναπνευστικές αιτίες στη δημοτική ενότητα ή Δήμο που ανήκει το αστικό κέντρο κατά περίπτωση, για τα έτη 2014-2016.

Οι Πίνακες 57-58 παρουσιάζουν τη μείωση στον αριθμό των θανάτων (με τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης) στα αστικά κέντρα της χώρας αν τα μέσα ημερήσια επίπεδα $PM_{2,5}$ και PM_{10} μειώνονταν στα 25μg/m^3 και 50μg/m^3 αντίστοιχα, που είναι τα συνιστώμενα επίπεδα 24ώρου από τον ΠΟΥ (Πίνακας 1). Ο Πίνακας 59 παρουσιάζει τη μείωση στον αριθμό των θανάτων (με τα αντίστοιχα 95% διαστήματα εμπιστοσύνης) στα αστικά κέντρα της χώρας αν ο ημερήσιος μέγιστος μέσος όρος κυλιόμενου 8ώρου των επιπέδων O_3 μειώνονταν στα 100μg/m^3 (επίσης το όριο ΠΟΥ, Πίνακας 1). Φαίνεται ότι θα προλαμβάνονταν αντίστοιχα 26, 17 και 1 θάνατοι ετησίως.

Το Σχήμα 19 παρουσιάζει τον μέσο ετήσιο αποδοτέο αριθμό θανάτων από όλα τα αίτια ανά 100.000 κατοίκους στα αστικά κέντρα της χώρας, εξαιτίας της βραχυχρόνιας έκθεσης σε PM_{10}, O_3 και $PM_{2.5}$ για τα αστικά κέντρα, στα οποία παρουσιάστηκαν υπερβάσεις των προτεινόμενων ορίων από τον ΠΟΥ για τα έτη 2014-18.

Οι Πίνακες 60-63 παρουσιάζουν την εκτίμηση της επιβάρυνσης από τη βραχυχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην καρδιαγγειακή και αναπνευστική θνησιμότητα στα αστικά κέντρα όπου υπάρχουν σταθμοί μέτρησης του ΥΠΕΚΑ. Ο αριθμός των θανάτων που θα προλαμβάνονταν αν τα μέσα ημερήσια επίπεδα $PM_{2,5}$ και PM_{10} μειώνονταν στα 25μg/m^3 και 50μg/m^3 αντίστοιχα θα ήταν από 10 θάνατοι για κάθε ρύπο για τις καρδιαγγειακές αιτίες και 11 και 1 αναπνευστικοί θάνατοι για τα $PM_{2,5}$ και PM_{10} αντίστοιχα.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	ΡΥΠΟΣ		
	$PM_{2.5}$	PM_{10}	O_3
ΑΘΗΝΑ	255 (20.3%)	284 (16%)	13 (0.7%)
ΑΜΦΙΣΣΑ	-	29 (2.7%)	-
ΒΟΛΟΣ	100 (27.6%)	134 (11.7%)	
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	-	61 (6.5%)	-
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	174 (34.5%)	207 (15.8%)	35 (2.4%)
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	-	199 (13.5%)	-
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	-	127 (13%)	-
ΛΑΜΙΑ	-	50 (5.5%)	-
ΛΑΡΙΣΑ	-	207 (13.8%)	59 (22.4%)
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	-	21 (3.1%)	-
ΠΑΤΡΑ	147 (19.4%)	221 (13.5%)	125 (8%)
ΧΑΛΚΙΔΑ	-	111 (15.5%)	-

ΠΙΝΑΚΑΣ 56
Αριθμός ημερών (και ποσοστό επί των ημερών με μετρήσεις) με υπερβάσεις των συγκεντρώσεων των ρύπων από τις μετρήσεις του ΥΠΕΚΑ πάνω από τα όρια του ΠΟΥ για τις μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις των σωματιδίων και τις μέγιστες ημερήσιες συγκεντρώσεις μέσου 8ώρου για το όζον, ανά πόλη για τα έτη 2014-2018.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	Μείωση $PM_{2.5}$ στα 25μg/m^3	
	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΘΗΝΑ	11 (5, 17)	2 (1, 3)
ΒΟΛΟΣ	2 (1, 4)	4 (2, 6)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	11 (5, 16)	5 (2, 8)
ΠΑΤΡΑ	2 (1, 3)	2 (1, 3)

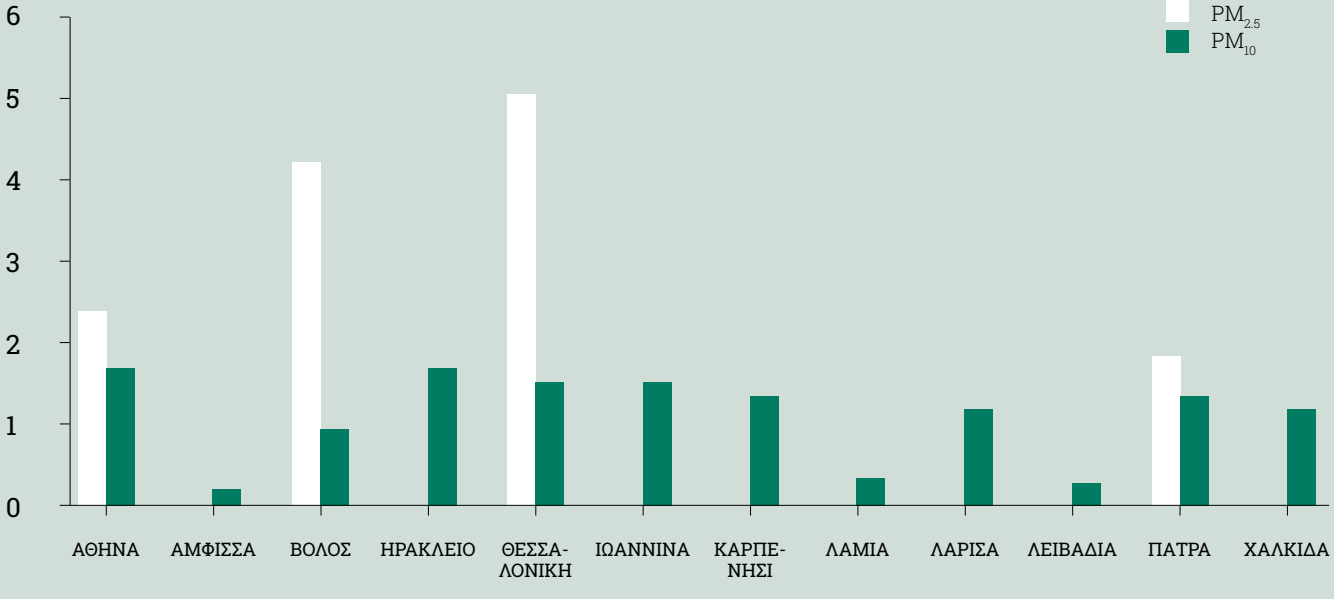
ΠΙΝΑΚΑΣ 57
Μείωση του συνολικού αριθμού θανάτων (95% Δ.Ε.) στα αστικά κέντρα της χώρας αν η μέση ημερήσια συγκέντρωση $PM_{2.5}$ μειωνόταν στα 25μg/m^3 για κάθε ημέρα. Χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	Μείωση PM_{10} στα 50μg/m^3	
	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΘΗΝΑ	8 (4, 12)	2 (1, 3)
ΑΜΦΙΣΣΑ	0 (0, 0)	0 (0, 0)
ΒΟΛΟΣ	1 (0, 1)	1 (0, 2)
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	2 (1, 3)	2 (1, 3)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	3 (2, 5)	1 (1, 2)
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	1 (0, 1)	1 (1, 2)
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	0 (0, 0)	1 (1, 2)
ΛΑΜΙΑ	0 (0, 0)	0 (0, 0)
ΛΑΡΙΣΑ	1 (1, 2)	1 (1, 2)
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	0 (0, 0)	0 (0, 0)
ΠΑΤΡΑ	1 (1, 2)	1 (1, 2)
ΧΑΛΚΙΔΑ	0 (0, 1)	1 (1, 2)

ΠΙΝΑΚΑΣ 58
Μείωση του συνολικού αριθμού θανάτων (95% Δ.Ε.) στα αστικά κέντρα της χώρας αν η μέση ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} μειωνόταν στα 50μg/m^3 για κάθε ημέρα. Χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	Μείωση O_3 στα 100μg/m^3	
	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΘΗΝΑ	0 (0, 0)	0.01 (0.01, 0.02)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	0 (0, 0)	0.05 (0.02, 0.08)
ΛΑΡΙΣΑ	1 (0, 1)	0.84 (0.33, 1.4)
ΠΑΤΡΑ	0 (0, 0)	0.16 (0.06, 0.27)

ΠΙΝΑΚΑΣ 59
Μείωση του συνολικού αριθμού θανάτων (95% Δ.Ε.) για αστικά κέντρα της χώρας αν τιμή μεγίστου 8ώρου O_3 μειωνόταν στα 100μg/m^3 για κάθε ημέρα. Χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ.



ΣΧΗΜΑ 19
Μέσος ετήσιος αποδοτέος αριθμός θανάτων από όλα τα αίτια ανά 100.000 κατοίκους στα αστικά κέντρα της χώρας ανά ρύπο, εξαιτίας της βραχυχρόνιας έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια $PM_{2.5}$ και PM_{10}, για τα αστικά κέντρα που υπάρχουν διαθέσιμα δεδομένα από τους σταθμούς ΥΠΕΚΑ.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	Μείωση $PM_{2.5}$ στα 25μg/m^3	
	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΘΗΝΑ	4 (1, 8)	1 (0, 2)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	1 (0, 2)	2 (0,3)
ΛΑΡΙΣΑ	4 (1, 8)	2 (0, 4)
ΠΑΤΡΑ	1 (0, 1)	1 (0, 1)

ΠΙΝΑΚΑΣ 60
Εκτιμώμενη μείωση του αριθμού θανάτων (95% Δ.Ε.) από καρδιαγγειακές αιτίες για αστικά κέντρα της χώρας, αν η μέση ημερήσια συγκέντρωση $PM_{2.5}$ μειωνόταν στα 25μg/m^3. Χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	Μείωση PM_{10} στα 50μg/m^3	
	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΘΗΝΑ	5 (2,8)	1 (0, 2)
ΑΜΦΙΣΣΑ	0 (0, 0)	0 (0, 0)
ΒΟΛΟΣ	0 (0, 0)	1 (0, 1)
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	1 (0, 2)	1 (0, 2)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	2 (1, 3)	1 (0, 2)
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	0 (0, 1)	1 (0, 2)
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	0 (0, 0)	1 (0, 2)
ΛΑΜΙΑ	0 (0, 0)	0 (0, 0)
ΛΑΡΙΣΑ	1 (0, 1)	1 (0, 1)
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	0 (0, 0)	0 (0, 0)
ΠΑΤΡΑ	1 (0, 1)	1 (0, 1)
ΧΑΛΚΙΔΑ	0 (0, 0)	1 (0, 2)

ΠΙΝΑΚΑΣ 61
Εκτιμώμενη μείωση του αριθμού θανάτων (95% Δ.Ε.) από καρδιαγγειακές αιτίες για αστικά κέντρα της χώρας, αν η μέση ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} μειωνόταν στα 50μg/m^3. Χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	Μείωση $PM_{2.5}$ στα 25μg/m^3	
	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΘΗΝΑ	5 (2, 9)	1.12 (0.41, 1.85)
ΒΟΛΟΣ	1 (0, 1)	1.53 (0.57, 2.53)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	4 (2, 7)	1.97 (0.73, 3.24)
ΠΑΤΡΑ	1 (0, 1)	0.84 (0.31, 1.38)

ΠΙΝΑΚΑΣ 62
Εκτιμώμενη μείωση του αριθμού θανάτων (95% Δ.Ε.) από αναπνευστικές αιτίες για αστικά κέντρα της χώρας, αν η μέση ημερήσια συγκέντρωση $PM_{2.5}$ μειωνόταν στα 25μg/m^3. Χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ.

ΑΣΤΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ	Μείωση PM_{10} στα 50μg/m^3	
	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ ΣΥΝΟΛΙΚΑ (95% ΔΕ)	ΜΕΙΩΣΗ ΣΤΟΝ ΑΡΙΘΜΟ ΘΑΝΑΤΩΝ/ 100.000 ΚΑΤΟΙΚΟΥΣ (95% ΔΕ)
ΑΘΗΝΑ	1 (0, 3)	0.24 (-0.06, 0.55)
ΑΜΦΙΣΣΑ	0 (0, 0)	0.03 (-0.01, 0.06)
ΒΟΛΟΣ	0 (0, 0)	0.11 (-0.03, 0.24)
ΗΡΑΚΛΕΙΟ	0 (0, 0)	0.02 (0, 0.05)
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ	0 (0, 1)	0.17 (-0.05, 0.39)
ΙΩΑΝΝΙΝΑ	0 (0, 0)	0.15 (-0.04, 0.35)
ΚΑΡΠΕΝΗΣΙ	0 (0, 0)	0.1 (-0.03, 0.22)
ΛΑΜΙΑ	0 (0, 0)	0.03 (-0.01, 0.07)
ΛΑΡΙΣΑ	0 (0, 0)	0.13 (-0.04, 0.31)
ΛΕΙΒΑΔΙΑ	0 (0, 0)	0.02 (-0.01, 0.05)
ΠΑΤΡΑ	0 (0, 0)	0.17 (-0.04, 0.39)
ΧΑΛΚΙΔΑ	0 (0, 0)	0.13 (-0.03, 0.29)

ΠΙΝΑΚΑΣ 63
Εκτιμώμενη μείωση του αριθμού θανάτων (95% Δ.Ε.) από αναπνευστικές αιτίες για αστικά κέντρα της χώρας, αν η μέση ημερήσια συγκέντρωση PM_{10} μειωνόταν στα 50μg/m^3. Χρησιμοποιήθηκαν οι συγκεντρώσεις των σταθερών σταθμών του ΥΠΕΚΑ.

Α.4.4. Αποτίμηση της επιβάρυνσης από τη βραχυχρόνια έκθεση σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην καρδιαγγειακή και αναπνευστική νοσηρότητα στην ευρύτερη αστική περιοχή της Αθήνας

Για να πραγματοποιηθεί η αποτίμηση στη νοσηρότητα χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης υγείας ο μέσος αριθμός των εξιτηρίων από τα νοσοκομεία για όλη τη χώρα με διάγνωση καρδιαγγειακών ή αναπνευστικών αιτιών για τα τα έτη 2009-2013, σύμφωνα με τα δεδομένα του OECD **(http://www.oecd.org)**. Δεδομένα ανά περιφέρεια ή ανά πόλη δεν υπάρχουν. Για μια πρώτη προσέγγιση του προβλήματος, η εκτίμηση της επιβάρυνσης της βραχυχρόνιας έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην καρδιαγγειακή και αναπνευστική νοσηρότητα πραγματοποιήθηκε μόνο για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, καθώς εκεί συγκεντρώνεται μεγάλο ποσοστό του πληθυσμού και υπάρχει η μεγαλύτερη επιβάρυνση από την ατμοσφαιρική ρύπανση της χώρας. Υποθέσαμε πως το ποσοστό των εξιτηρίων που αντιστοιχεί στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας είναι ίδιο με το ποσοστό πληθυσμού της περιοχής προς το συνολικό πληθυσμό της Ελλάδας.

Η εκτίμηση της επιβάρυνσης της βραχυχρόνιας έκθεσης σε ατμοσφαιρικούς ρύπους στην καρδιαγγειακή νοσηρότητα στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας έγινε για τα αιωρούμενα σωματίδια, PM_{10} και $PM_{2.5}$, ενώ στην αναπνευστική νοσηρότητα έγινε και για το O_3, σύμφωνα με τις επιλεγμένες συναρτήσεις έκθεσης-έκβασης (Υποκεφάλαιο Α3). Δεν έγινε αποτίμηση της επίδρασης της βραχυχρόνιας έκθεσης σε NO_2 καθώς δεν υπήρχαν μέρες που οι συγκεντρώσεις να ξεπερνούσαν το αντίστοιχο όριο του ΠΟΥ που είναι τα 200μg/m^3. Ως δεδομένα έκθεσης χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές από τις μετρήσεις του ΥΠΕΚΑ στους σταθμούς της ευρύτερης περιοχής της Αθήνας (μέσες ημερήσιες συγκεντρώσεις για τα PM και μέγιστες ημερήσιες συγκεντρώσεις μέσου 8ώρου για το O_3). Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 64, 50 και 80 καρδιαγγειακά και αναπνευστικά περιστατικά εισαγωγής σε νοσοκομείο αντίστοιχα θα προλαμβάνονταν από τη μείωση των $PM_{2.5}$, ενώ οι αντίστοιχη εκτίμηση για τα PM_{10} είναι 92 και 33. Τέλος, 11 περιστατικά εισαγωγής σε νοσοκομείο από αναπνευστικές αιτίες θα προλαμβάνονταν από τη μείωση του όζοντος.

ΡΥΠΟΣ	Προτεινόμενο επίπεδο σύμφωνα με τον ΠΟΥ	ΑΙΤΙΑ ΕΙΣΑΓΩΓΗΣ			
		Καρδιαγγειακά προβλήματα		Αναπνευστικά προβλήματα	
		Αποδοταίος αριθμός περιστατικών(95% ΔΕ) συνολικά	Αποδοταίος αριθμός περιστατικών(95% ΔΕ) ανά 100.000 κατοίκους	Αποδοταίος αριθμός περιστατικών (95% ΔΕ)	Αποδοταίος αριθμός περιστατικών (95% ΔΕ) ανά 100.000 κατοίκους
$PM_{2.5}$	25μg/m^3	50 (12, 88)	2.33 (0.55, 4.12)	80 (13, 148)	3.74 (0.63, 6.93)
PM_{10}	50μg/m^3	92 (30, 159)	4.33 (1.40, 7.47)	33 (7, 58)	1.53 (0.33, 2.73)
O_3	100μg/m^3	-	-	11 (2, 19)	0.50 (0.11, 0.88)

ΠΙΝΑΚΑΣ 64
Μείωση του αριθμού περιστατικών (95% ΔΕ) ανά αιτία εισαγωγής, συνολικά και ανά 100.000 κατοίκους, στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας, αν οι συγκεντρώσεις των ρύπων μειώνονταν στα προτεινόμενα επίπεδα σύμφωνα με τον ΠΟΥ σε κάθε ημέρα.

Α.5.
Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έκθεσης, η συμμόρφωση με τα προτεινόμενα επίπεδα ατμοσφαιρικών σωματιδίων $PM_{2.5}$ σύμφωνα με τον ΠΟΥ θα οδηγούσε περίπου σε 6.500 λιγότερους θανάτους ετησίως στις αστικές περιοχές της Ελλάδας και σε περίπου 2.200 λιγότερους στις αγροτικές. Προφανώς το πρόβλημα είναι πολύ μεγαλύτερο στα αστικά κέντρα, αφού στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας οι εκτιμώμενοι λιγότεροι θάνατοι αγγίζουν τους 3.788, ενώ στη Θεσσαλονίκη 849. Δεδομένου ότι τα $PM_{2.5}$ έχουν συσχετιστεί με τις πιο μεγάλες επιδράσεις στην υγεία συνδυάζονται και με μεγαλύτερους αριθμούς αποδοτέων περιστατικών. Παρόλα αυτά και η μείωση των PM_{10} και του NO_2 (το τελευταίο στα αστικά κέντρα) θα συνδεόταν με μείωση στον αριθμό θανάτων αν και το συνολικό όφελος στη δημόσια υγεία δεν μπορεί να προκύψει ως το άθροισμα των επιμέρους περιστατικών δεδομένου ότι οι πιθανές συνέργειες μεταξύ των ρύπων σε σχέση με τις επιδράσεις δεν λαμβάνονται υπόψη σε αυτούς τους υπολογισμούς. Η εκτίμηση των αποδοτέων θανάτων μετά από προτύπωση κατά ηλικία (ώστε να είναι συγκρίσιμοι οι υποκείμενοι πληθυσμοί ως προς την ηλικιακή κατανομή) αναδεικνύει ακόμα πιο καθαρά την επιβάρυνση των αστικών περιοχών των Περιφερείων λόγω έκθεσης σε αιωρούμενα σωματίδια, αφού για παράδειγμα 151/100.000 θάνατοι στις αστικές περιοχές θα μπορούσαν να αποτραπούν με τη συμμόρφωση με τα όρια του ΠΟΥ των $PM_{2.5}$ και 86/100.000 στις αγροτικές.

Οι επιδράσεις λόγω βραχυχρόνιας έκθεσης είναι πολύ μικρότερες. Ενδεικτικά για την περιοχή της Αθήνας 11 θάνατοι, 50 εισαγωγές λόγω καρδιαγγειακών και 80 λόγω αναπνευστικών αιτίων θα μπορούσαν να αποφευχθούν αν τα $PM_{2.5}$ περιορίζονταν κάτω από τα 25 μg/m^3 για όλες τις ημέρες.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έκθεσης είναι συμβατά με προηγούμενες εκτιμήσεις των επιδράσεων της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στην υγεία του ελληνικού πληθυσμού. Η έκθεση του European Environmental Agency (2019) εκτίμησε, χρησιμοποιώντας περίπου ίδιου μεγέθους συγκεντρώσεις $PM_{2.5}$ και συναρτήσεις έκθεσης-απόκρισης, ότι αν μηδενίζονταν τα επίπεδα του ρύπου θα είχαμε 12.900 λιγότερους θανάτους πανελλαδικά, ενώ για συμμόρφωση με τα επίπεδα του ΠΟΥ θα γλυτώναμε 272.000 σε επίπεδο EC-28 που κατά αναλογία αντιστοιχεί σε περίπου 9.400 θανάτους στον ελλαδικό χώρο -εκτιμήσεις που είναι πολύ κοντά στην εκτίμηση των περίπου 8.600 θανάτων στην παρούσα έκθεση.

Πρέπει σε αυτό το σημείο να τονιστεί ότι ακριβώς επειδή οι συναρτήσεις έκθεσης –απόκρισης βασίζονται σε αποτελέσματα μελετών συνδέονται με ένα εύρος αβεβαιότητας όπως αυτό εκτιμάται από το 95% διάστημα εμπιστοσύνης. Έτσι για παράδειγμα οι αποδοτέοι θάνατοι από όλα τα αίτια θα μειώνονταν σύμφωνα με τις εκτιμήσεις μας με 95% βεβαιότητα από 5.089 έως 11.886 αν επίπεδα του $PM_{2.5}$ μειώνονταν σε 10μg/m^3.

Αντίστοιχα ευρήματα δημοσιεύτηκαν από τους Lelieveld etal. (2019) που εκτίμησαν ότι περίπου 16.000 θάνατοι αποδίδονται στην έκθεση στην ατμοσφαρική ρύπανση στην Ελλάδα. Η απόκλιση από την παρούσα εκτίμηση (8.800 θάνατοι) οφείλεται τόσο στη χρήση άλλων εκτιμήσεων για τα επίπεδα των ρύπων και διαφορετικών συναρτήσεων έκθεσης-απόκρισης αλλά κυρίως γιατί το σενάριο που παρουσιάζουν αντιστοιχεί για την εξάλειψη των ρύπων δηλαδή για 0 μg/m^3. Δεδομένου ότι στην παρούσα έκθεση εκτιμάμε ότι θα είχαμε περίπου 8.600 λιγότερους θανάτους αν μειώνονταν τα $PM_{2.5}$ από περίπου 20 μg/m^3 σε 10 μg/m^3 ετησίως, αν χρησιμοποιούσαμε ως σενάριο την εξάλειψη του ρύπου καταλήγουμε σε συγκρίσιμα αποτελέσματα.

Συμπερασματικά, η συμμόρφωση με τα προτεινόμενα επίπεδα ρύπων σύμφωνα με τον ΠΟΥ θα οδηγούσε σε μείωση των θανάτων τόσο σε αστικές όσο και σε αγροτικές περιοχές της χώρας, ενώ στα αστικά κέντρα θα παρατηρούνταν επιπλέον μείωση στα επίπεδα νοσηρότητας λόγω μείωσης των εισαγωγών στα νοσοκομεία για νοσήματα του καρδιαγγειακού και αναπνευστικού συστήματος, με πιθανόν σημαντικές επιπτώσεις και στα οικονομικά της δημόσιας υγείας.

Κεφάλαιο Β

Κλιματική Αλλαγή και Υγεία

Επιστημονικός Υπεύθυνος:

Καθ. Νικόλαος Μιχαλόπουλος
Δ/ντης ΙΕΠΒΑ/ΕΑΑ

Μέλη Επιστημονικής Ομάδας:

Δρ. Χρήστος Γιαννακόπουλος
Δρ. Δήμητρα Φουντά
Δρ. Γεώργιος Γρίβας
Δρ. Κωνσταντίνος Δημητρίου
Δρ. Γεώργιος Καταβούτας

Κλιματική Αλλαγή και Υγεία

Σύνοψη

Είναι ευρέως αποδεκτό από την επιστημονική κοινότητα ότι τα τελευταία 150 χρόνια ο πλανήτης μας γνωρίζει αύξηση της μέσης θερμοκρασίας (κατά περίπου 1 °C), η οποία είναι πιο έντονη και συστηματική από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 και μετά. Η παραπάνω τάση αναμένεται να συνεχιστεί έως τα τέλη του αιώνα και να κυμανθεί μεταξύ 1,8 – 5,0 °C, ανάλογα με τις δράσεις μετριασμού που θα εφαρμοστούν. Η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας συνοδεύεται από αύξηση στη συχνότητα και ένταση ακραίων καιρικών φαινομένων παγκοσμίως, τα οποία έχουν προκαλέσει , οικονομικές απώλειες της τάξης του 1 τρισεκατομμυρίου τη δεκαετία 2005 – 2014, αυξημένες κατά περίπου 10 φορές συγκριτικά με τη δεκαετία του 1970. Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής επηρεάζουν ιδιαίτερα τις πιο ευάλωτες ομάδες του πληθυσμού καθώς και τις χώρες με χαμηλά και μεσαία εισοδήματα. Για την Ελλάδα, τα κλιματικά μοντέλα για ένα «μέσο» σενάριο (A1B) προβλέπουν αύξηση της θερμοκρασίας έως 3,5 – 4,0 °C, με ταυτόχρονη μείωση της βροχόπτωσης κατά περίπου 30%, γεγονότα που αναμένεται να έχουν σημαντική επίπτωση στην υγεία του πληθυσμού λόγω τόσο της πιθανής αύξησης της θερμικής δυσφορίας όσο και της πιθανής μετάδοσης ασθενειών μέσω «οργανισμών διαβιβαστών» (vector-borne diseases).

Θερμική δυσφορία

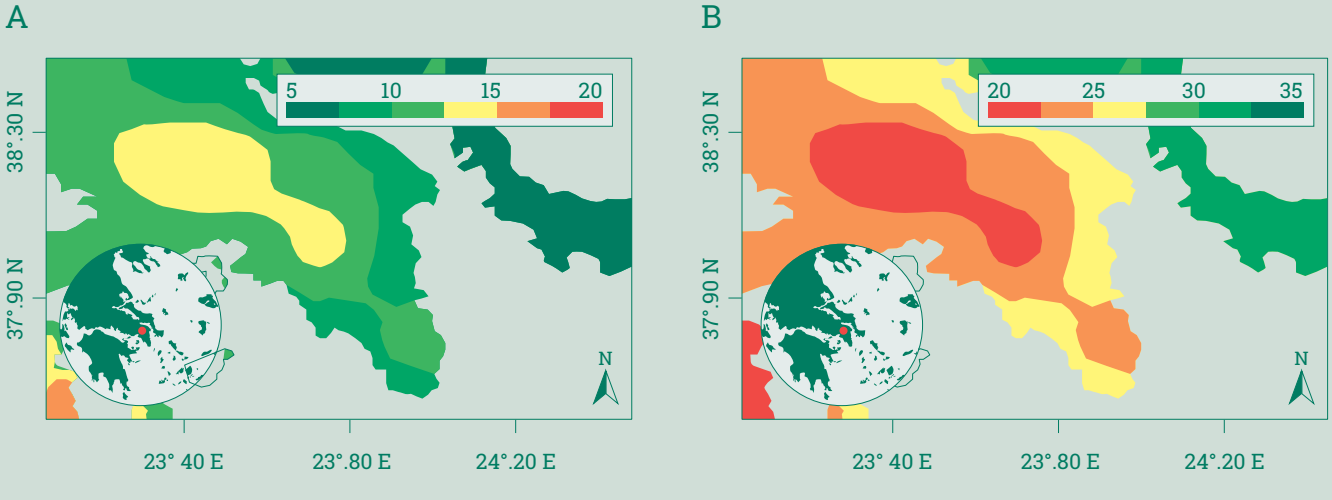
Η κλιματική αλλαγή και η επερχόμενη άνοδος της θερμοκρασίας στην Ελλάδα αναμένεται να μετατοπίσουν νωρίτερα μέσα στο έτος την εμφάνιση τροπικών νυχτών, τροπικών ημερών και θερμών ημερών καθώς και αντίστοιχη μετατόπιση της εμφάνισής τους αργότερα μέσα στο έτος (Founda et al. 2019). Ανάλογα με το κλιματικό σενάριο που εφαρμόζεται, ο χρόνος έκθεσης του ελληνικού πληθυσμού σε συνθήκες θερμικής δυσφορίας αναμένεται να αυξηθεί. Ο αριθμός των ωρών με μεγάλη δυσφορία στην περιοχή της Αθήνας πρόκειται να αυξηθεί σε ποσοστό που υπερβαίνει το 150% στο απώτερο μέλλον (2071-2100), σε σχέση με την τελευταία 30ετια του 20ου αιώνα (1971-2000) υπό το δυσμενέστερο κλιματικό σενάριο RCP8.5 (Katavoutas et al. 2019). Ακόμη και αν υιοθετηθεί ένα πιο μετριοπαθές σενάριο (A1B), ο αριθμός ημερών με ισχυρή θερμική επιβάρυνση για τον πληθυσμό της Αθήνας αναμένεται να αυξηθεί κατά 50% στο εγγύς μέλλον (2021-2050), με περαιτέρω αύξηση μέχρι τα τέλη του 21ου αιώνα, σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1961-1990 (Matzarakis et al. 2014). Παράλληλα, τις επόμενες δεκαετίες αναμένεται να αυξηθεί και ο αριθμός συνεχόμενων ημερών με μεγάλη δυσφορία υπό ένα «μέσο» σενάριο (A1B) (Keramitsoglou et al., 2017) (Εικόνα 1).

Τα επίπεδα θερμικής δυσφορίας αναμένεται να αυξηθούν όχι μόνο στην Αθήνα αλλά και στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας. Η μέγιστη διάρκεια ημερών όπου ο πληθυσμός θα υφίσταται μεγάλη δυσφορία θα αυξηθεί τόσο στις παράκτιες όσο και στις νησιωτικές περιοχές στο εγγύς μέλλον (2021-2050), σε σύγκριση με την περίοδο 1961-1990 υπό το σενάριο A1B (Giannakopoulos et al., 2011) (Εικόνα 2). Στις αστικές περιοχές, όπως η Αθήνα, η Θεσσαλονίκη, η Πάτρα, το Ηράκλειο, η Λάρισα, ο Βόλος, τα Ιωάννινα, η Καβάλα και η Λαμία, η αναμενόμενη αύξηση θα κυμανθεί μεταξύ 10 και 13 ημερών, ενώ στην πόλη της Καλαμάτας αναμένεται η μεγαλύτερη αύξηση κατά 16 επιπλέον ημέρες (Εικόνα 2α). Μέχρι τα μέσα του 21ου αιώνα, αναμένεται αύξηση του αριθμού ημερών με μεγάλη δυσφορία στις περισσότερες τουριστικές περιοχές της Ελλάδας, όπως τα Δωδεκάνησα, η Κρήτη, η Κέρκυρα, η Κεφαλονιά, η Χαλκιδική και η Πιερία. Η μεγαλύτερη αύξηση του αριθμού ημερών με μεγάλη δυσφορία αναμένεται στη Ρόδο και στο Ηράκλειο Κρήτης και η μικρότερη αύξηση στα νησιά των Κυκλάδων (Εικόνα 2β). Στην περιοχή της Πελοποννήσου αναμένεται αύξηση του αριθμού ημερών με ισχυρή θερμή επιβάρυνση μέχρι τα μέσα του 21ου αιώνα, με την αύξηση να είναι μεγαλύτερη στην ενδοχώρα σε σχέση με τις παράκτιες περιοχές, λόγω της επίδρασης της θαλάσσιας αύρας κατά τη διάρκεια

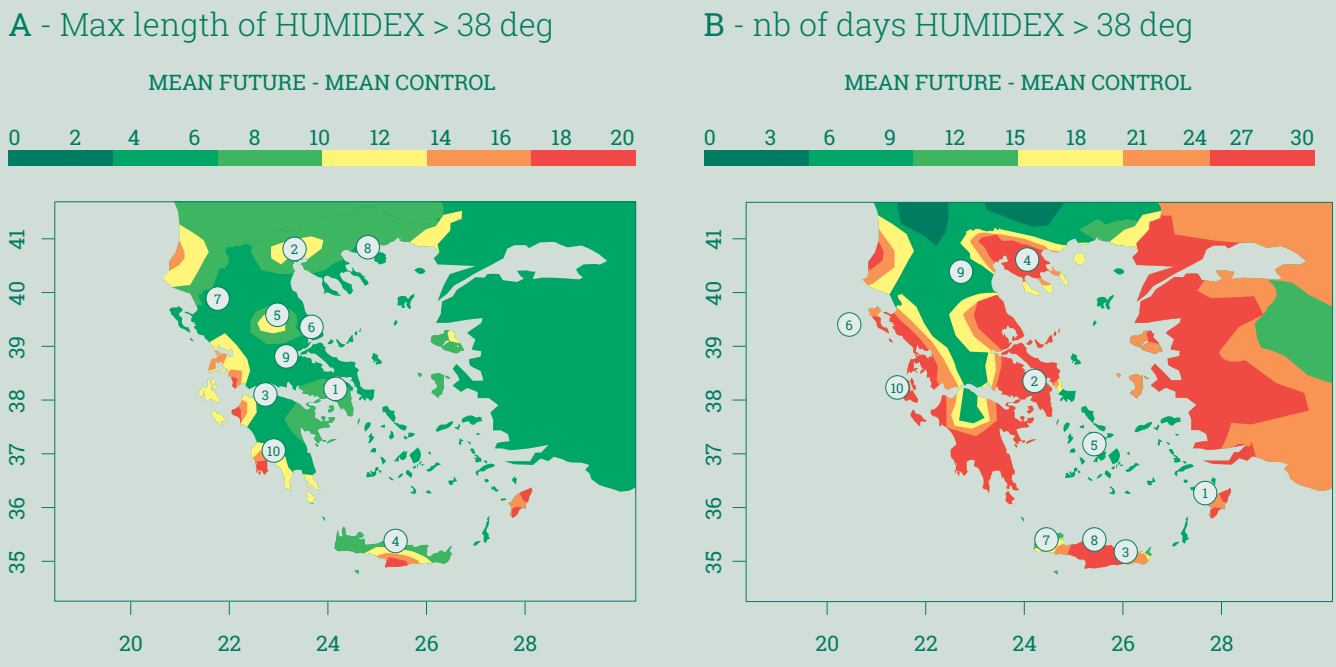
του θέρους (Nastos et al. 2014). Περαιτέρω αύξηση του αριθμού ημερών με ισχυρή θερμή επιβάρυνση αναμένεται μέχρι τα τέλη του 21ου αιώνα, οπότε και θα επηρεαστούν παράκτιες περιοχές της δυτικής και ανατολικής Πελοποννήσου.

Παραδοσιακά, η μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στον άνθρωπο βασίζεται κυρίως στη θερμοκρασία του αέρα. Παρότι η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί μια σημαντική συνιστώσα του προσδιορισμού της θερμικής άνεσης του ανθρώπου, σπάνια αποτελεί από μόνη της την αιτία για θερμική δυσφορία. Μετεωρολογικές παράμετροι όπως η υγρασία, ο άνεμος και η ακτινοβολία διαδραματίζουν εξίσου σημαντικό ρόλο στον προσδιορισμό των επιπέδων άνεσης. Ως εκ τούτου, στα πλαίσια της παρούσας έκθεσης υιοθετήθηκαν δυο απλοί (Heat Index και Humidex) και δυο προηγμένοι (UTCI και PET) βιοκλιματικοί (ή θερμικοί) δείκτες, ώστε να περιγραφεί η επίδραση του θερμικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο. Η πρώτη ομάδα δεικτών λαμβάνει υπόψη τη συνδυασμένη επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας, ενώ η δεύτερη ομάδα λαμβάνει υπόψη τη συνδυασμένη επίδραση της θερμοκρασίας, της υγρασίας, του ανέμου και της ακτινοβολίας, έχοντας ταυτόχρονα θερμοφυσιολογικό υπόβαθρο, σε όλο το εύρος των θερμικών ανταλλαγών μεταξύ ανθρώπου-περιβάλλοντος. Στόχος είναι η διερεύνηση τόσο των διαχρονικών μεταβολών της θερμικής επιβάρυνσης/θερμικής δυσφορίας του πληθυσμού τα τελευταία περίπου 60 χρόνια στις ευάλωτες αστικές περιοχές της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, όσο και των επιπέδων θερμικής δυσφορίας που πιθανόν να διαμορφωθούν στο μέλλον. Συγκεκριμένα, η περίοδος μελέτης ξεκινά από το 1960 στην Αθήνα και από το 1970 στη Θεσσαλονίκη. Αυτό υπαγορεύτηκε από τη διαθεσιμότητα αλλά και πληρότητα των χρονοσειρών όλων των μετεωρολογικών και ατμοσφαιρικών μεταβλητών που εμπλέκονται στον υπολογισμό των βιοκλιματικών (ή θερμικών) δεικτών σε κάθε περίπτωση. Η αξιολόγηση των κλιματικών μοντέλων, πραγματοποιείται μέσω σύγκρισης των προσομοιώσεων με πραγματικές μετρήσεις για μια περίοδο αναφοράς (control period), με κύρια αναφερόμενη στη διεθνή βιβλιογραφία την περίοδο 1971-2000. Επιπλέον, οι επιλεγμένες περίοδοι υπερκαλύπτουν την περίοδο της συστηματικής και εντονότερης αύξησης της θερμοκρασίας η οποία παρατηρείται παγκοσμίως από τα μέσα της δεκαετίας του 1970 και μετά.

Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν ότι τα τελευταία περίπου 60 χρόνια παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση στον αριθμό των ωρών κατά τις οποίες ο άνθρωπος υπόκειται σε μεγάλη θερμική δυσφορία στις περιοχές της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης (Εικόνα 3). Το συγκεκριμένο εύρημα υποστηρίζεται από όλους τους εξεταζόμενους βιοκλιματικούς δείκτες και είναι στατιστικά σημαντικό, με τον ρυθμό αύξησης να κυμαίνεται από 0.3%/δεκαετία έως 0.9%/δεκαετία στην Αθήνα και από 0.2%/δεκαετία έως 1.1%/δεκαετία στη Θεσσαλονίκη ανάλογα με το δείκτη και το κατώφλι επιβάρυνσης που επιλέγεται. Η παρατηρούμενη αύξηση είναι ιδιαίτερα εμφανής από τις αρχές της δεκαετίας του 1990, ενώ και κατά τις νυχτερινές ώρες διαπιστώνεται αύξηση των ωρών κατά τις οποίες ο πληθυσμός υπόκειται σε θερμική δυσφορία. Τρεις από τους τέσσερις δείκτες υποδεικνύουν ότι ο πληθυσμός στην Αθήνα τις νυχτερινές ώρες εκτίθεται σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα θερμικού στρες τις τελευταίες δεκαετίες σε σχέση με τις προηγούμενες, με τον ρυθμό αύξησης να κυμαίνεται από 0.3%/δεκαετία έως 1.5%/δεκαετία, ανάλογα με τον δείκτη. Στη Θεσσαλονίκη, δυο από τους τέσσερις δείκτες υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική αύξηση των επιπέδων δυσφορίας με τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης να ανέρχεται στο 1.0%/δεκαετία.



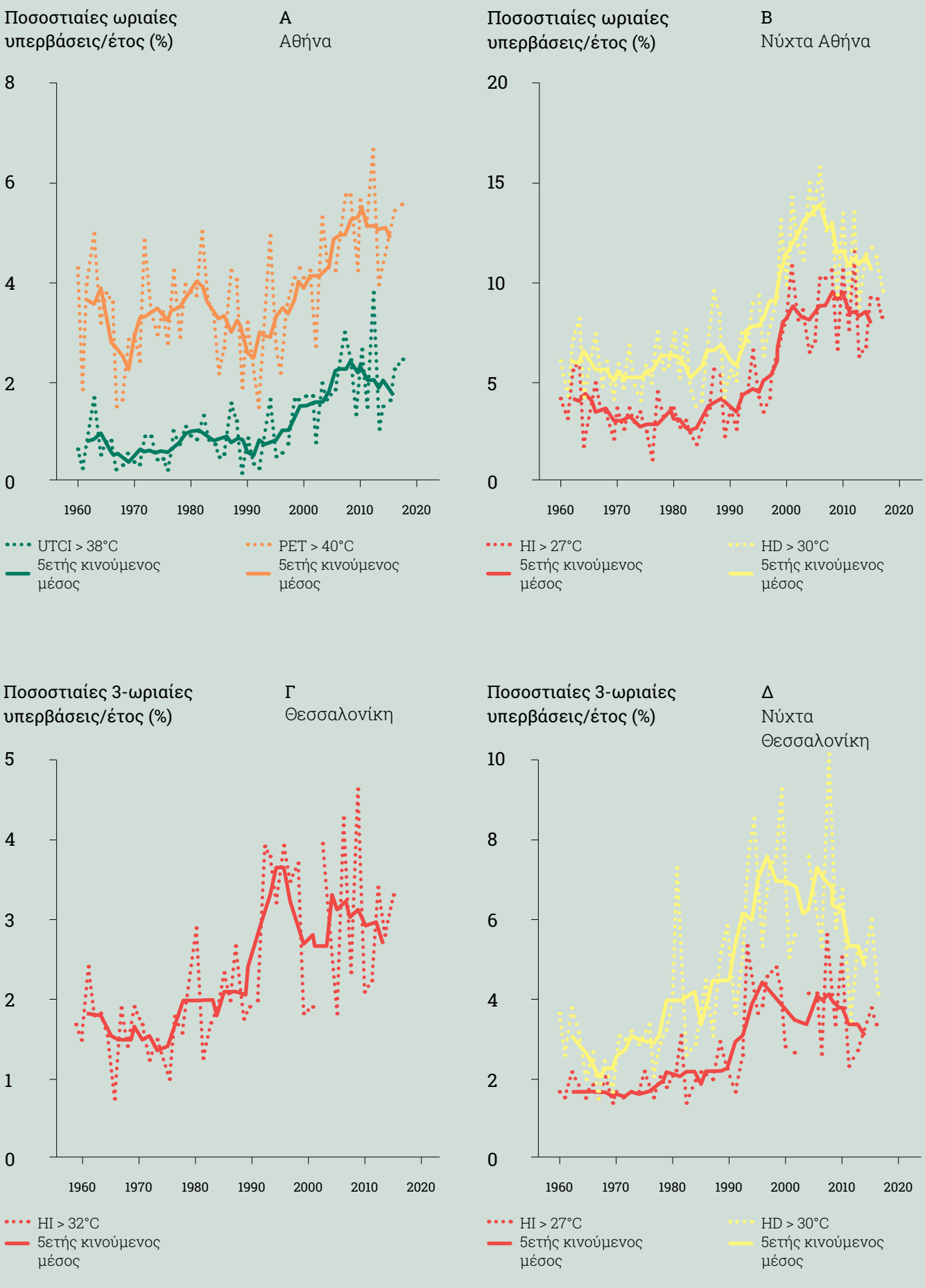
ΕΙΚΟΝΑ 1
Μεταβολή του αριθμού διαδοχικών ημερών με μεγάλη δυσφορία στην Αθήνα για α) το εγγύς μέλλον 2021-2050 και β) το απώτερο μέλλον 2071-2100 σε σύγκριση με την περίοδο 1971-2000 υπό το σενάριο A1B **(Πηγή: Keramitsoglou et al., 2017)**.



ΕΙΚΟΝΑ 2
Μεταβολές στην α) μέγιστη διάρκεια ημερών και β) στον αριθμό ημερών με "μεγάλη δυσφορία (great discomfort)" (Humidex > 38 °C) μεταξύ των περιόδων 2021-2050 και 1961-1990 υπό το σενάριο A1B **(Πηγή: Giannakopoulos et al., 2011)**.

Επιπλέον, εξετάστηκε ο χρόνος εμφάνισης συνθηκών θερμικής επιβάρυνσης και κατά συνέπεια η πιθανή επιμήκυνση της περιόδου έκθεσης σε αυτές τις συνθήκες. Με την πάροδο των ετών, η πρώτη εμφάνιση συνθηκών θερμικής επιβάρυνσης φαίνεται να μετατοπίζεται νωρίτερα μέσα στο έτος, με τον ρυθμό να κυμαίνεται από 2.9 έως 5.8 ημέρες/δεκαετία για την Αθήνα και από 1.2 έως 5.1 ημέρες/δεκαετία για τη Θεσσαλονίκη, ανάλογα με τον δείκτη. Παράλληλα, η τελευταία εμφάνιση συνθηκών θερμικής επιβάρυνσης φαίνεται να μετατοπίζεται αργότερα, με το ρυθμό να κυμαίνεται από 1.4 έως 5.5 ημέρες/δεκαετία για την Αθήνα και από 0.4 έως 4.3 ημέρες/δεκαετία για τη Θεσσαλονίκη ανάλογα με το δείκτη. Ως εκ τούτου, ο πληθυσμός της Αθήνας τη δεκαετία του 1960 αισθανόταν πρώτη φορά μέσα στο έτος μεγάλη δυσφορία κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, ενώ τα τελευταία χρόνια αυτό συμβαίνει κατά τη διάρκεια του Ιουνίου και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και στα τέλη Μαΐου (Εικόνα 4). Παράλληλα, η τελευταία εμφάνιση μεγάλης δυσφορίας στις αρχές της δεκαετίας του 1960 εμφανιζόταν κυρίως τον Αύγουστο και σίγουρα όχι αργότερα από τις αρχές Σεπτεμβρίου, ενώ τα τελευταία χρόνια αυτό παρατηρείται και μετά τα μέσα Σεπτεμβρίου. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα είναι στατιστικά σημαντικό για τρεις από τους τέσσερις δείκτες στην Αθήνα αλλά δεν επιβεβαιώνεται στατιστικά για τη Θεσσαλονίκη.

Στα τέλη του 21ου αιώνα, στην περιοχή της Αθήνας αναμένεται αύξηση των συνθηκών που οδηγούν σε θερμική δυσφορία σε σύγκριση με τα τέλη του 20ου αιώνα, με βάση το δυσμενές σενάριο RCP8.5 (Εικόνα 5). Ενδεικτικά αναφέρεται, ότι την περίοδο 2071-2100 αναμένεται αύξηση των ωρών με μεγάλη δυσφορία σε ποσοστό που υπερβαίνει το 150%, σε σύγκριση με την περίοδο 1971-2000. Στην περιοχή της Θεσσαλονίκης αναμένεται αύξηση των ωρών κατά τις οποίες ο πληθυσμός θα αισθάνεται «πολλή ζέστη». Η παρατεταμένη έκθεση σε αυτές τις συνθήκες χρήζει εξαιρετικής προσοχής για τις ευπαθείς ομάδες του πληθυσμού, τόσο στο εγγύς (2031-2060) όσο και στο απώτερο (2071-2100) μέλλον, με τη μικρότερη αύξηση να παρατηρείται στο εγγύς μέλλον υπό το μετριοπαθές σενάριο RCP4.5 (156%) και τη μεγαλύτερη στο απώτερο μέλλον υπό το δυσμενέστερο σενάριο RCP8.5 (543%), σε σύγκριση με την περίοδο 1971-2000.



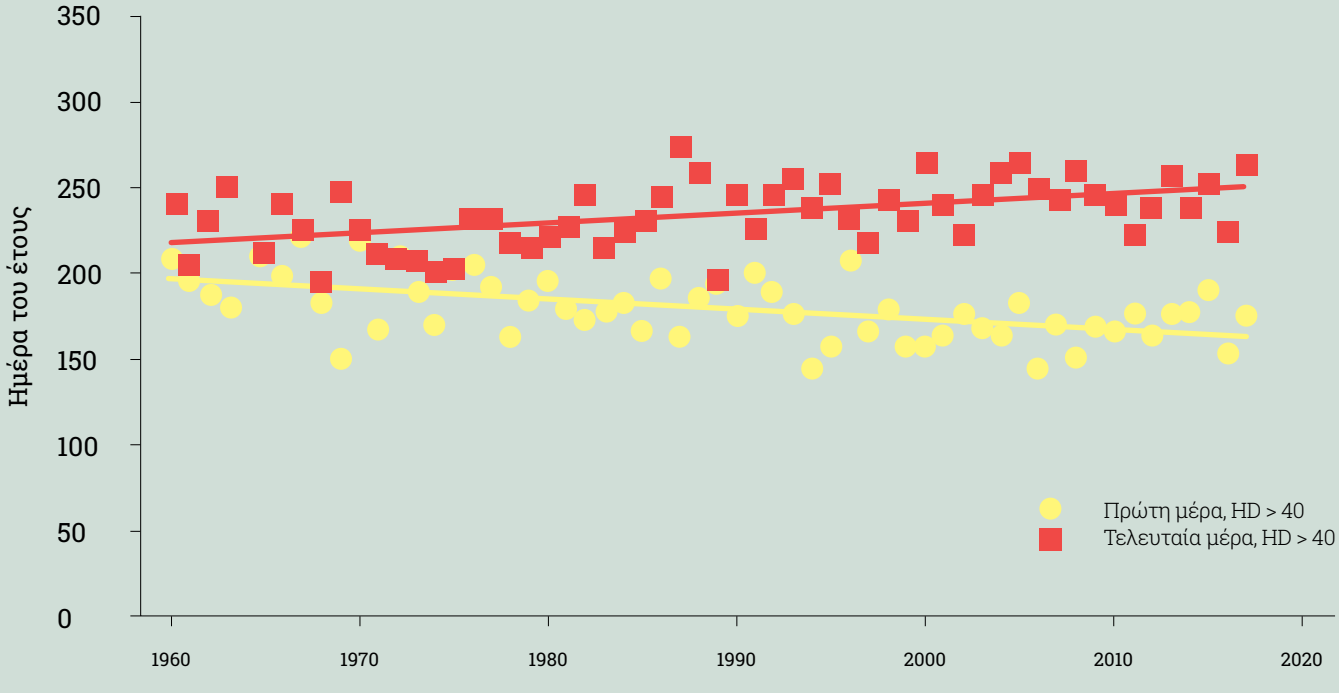
ΕΙΚΟΝΑ 3

Ποσοστιαίες υπερβάσεις ανά έτος α) για την Αθήνα υπό συνθήκες UTCI > 38 °C (πολύ ισχυρή θερμική επιβάρυνση) και PET > 40 °C (ακραία θερμική επιβάρυνση) για όλες τις ώρες της ημέρας, β) για την Αθήνα υπό συνθήκες HI > 27 °C (πολύ προσοχή) και HD > 30 (μερική δυσφορία) τις νυχτερινές ώρες, γ) για τη Θεσσαλονίκη υπό συνθήκες HI > 32 °C (πολύ ζεστό-εξαιρετική προσοχή) για όλες τις ώρες της ημέρας και δ) για τη Θεσσαλονίκη υπό συνθήκες HI > 27 °C (πολύ προσοχή) και HD > 30 (μερική δυσφορία) τις νυχτερινές ώρες. Οι έντονες καμπύλες υποδεικνύουν τον 5-ετή κινούμενο μέσο.

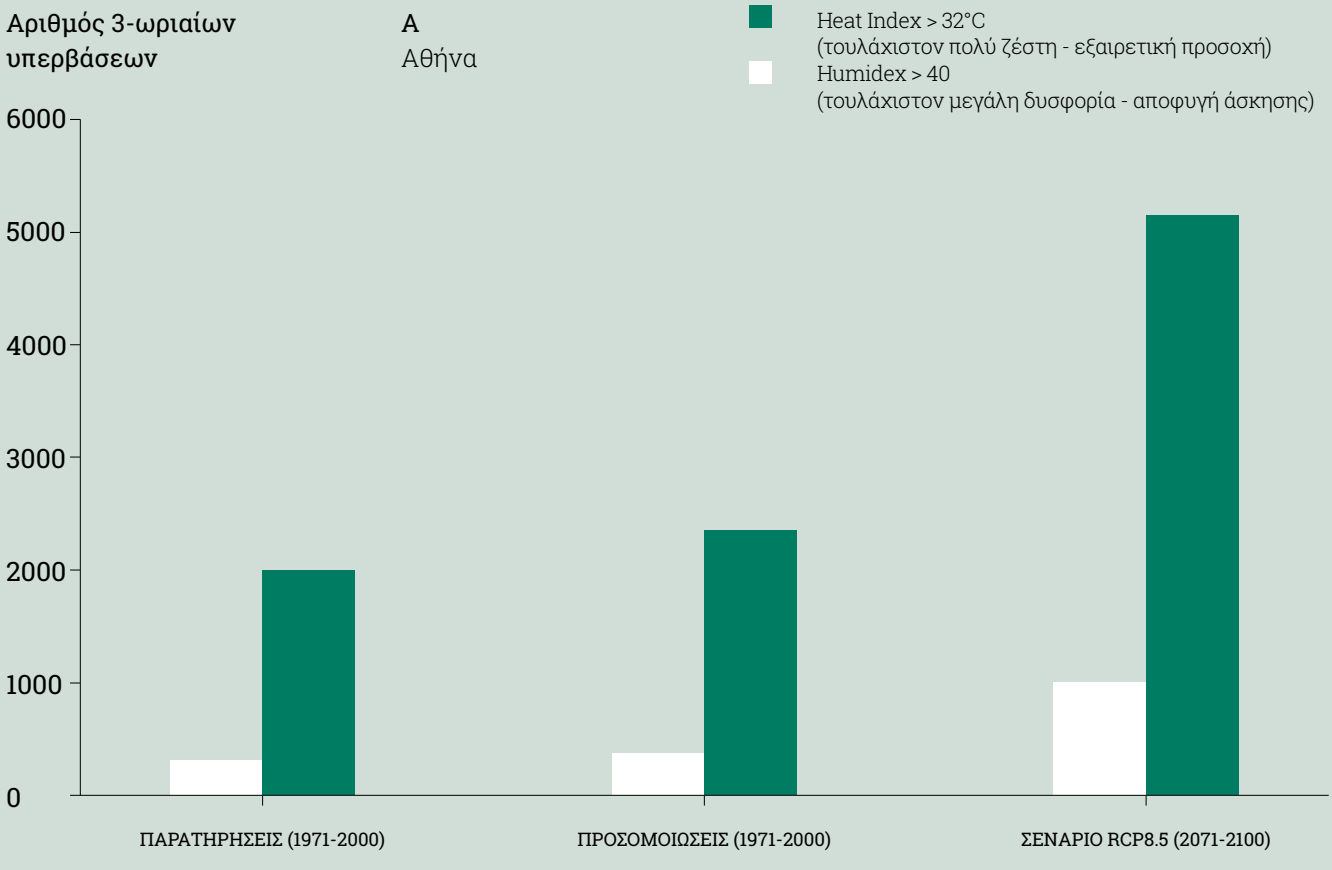
Στα πλαίσια της πρόληψης για τον μετριασμό των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγεία του πληθυσμού λόγω της αναμενόμενης αύξησης της θερμικής επιβάρυνσης/θερμικής δυσφορίας θα πρέπει να ληφθούν κατάλληλα μέτρα. Σε επίπεδο πολιτείας θα πρέπει να αναπτυχθούν συστήματα προειδοποίησης τα οποία θα συνδέουν τις δομές της Δημόσιας Υγείας με την πρόγνωση επικίνδυνων καιρικών φαινομένων, όπως π.χ. ένα επεισόδιο καύσωνα. Ένα ολοκληρωμένο σύστημα προειδοποίησης απαιτεί:

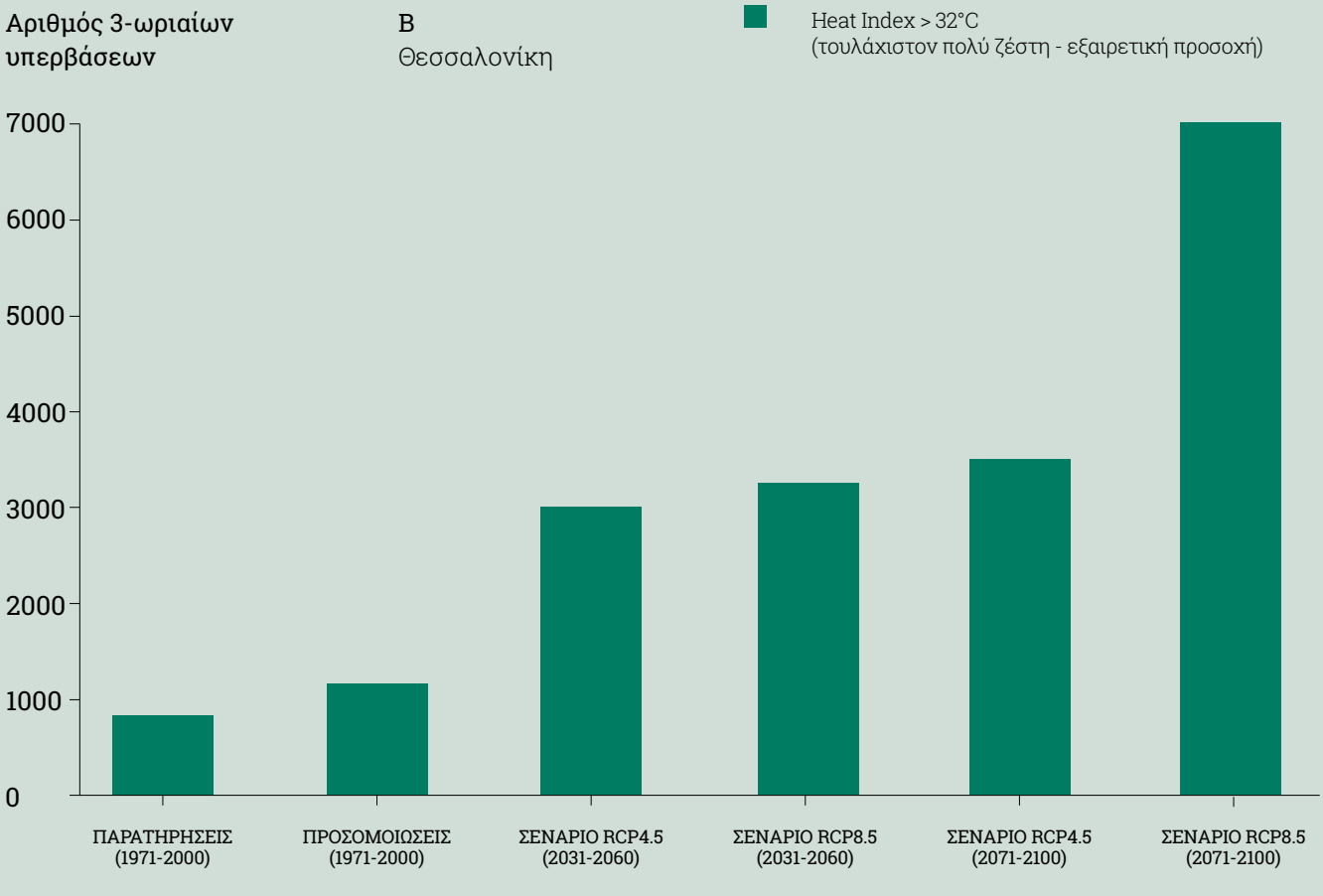
α) αξιόπιστες μετεωρολογικές προβλέψεις για τον πληθυσμό ή την περιοχή ενδιαφέροντος
β) ισχυρή κατανόηση της σχέσης αιτίας-αποτελέσματος μεταξύ του θερμικού περιβάλλοντος και των επιπτώσεων στην υγεία σε επίπεδο πληθυσμού, συμπεριλαμβανομένης της αναγνώρισης με βάση τα στοιχεία των μετεωρολογικών συνθηκών του «υψηλού κινδύνου», για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των κατάλληλων μέτρων
γ) αποτελεσματικά μέτρα αντίδρασης που θα πρέπει να εφαρμόζονται μέσα στο παράθυρο του χρόνου προειδοποίησης (1-3 ημέρες, περίπου)
δ) συμμετοχή των θεσμικών οργάνων και των φορέων που διαθέτουν επαρκείς πόρους, ικανότητες, γνώσεις και πολιτική βούληση να αναλάβουν ειδικά μέτρα αντιμετώπισης

Οι στοχευμένες δράσεις για την προστασία της δημόσιας υγείας κατά τη διάρκεια επεισοδίων καύσωνα περιλαμβάνουν ανακοινώσεις στα μέσα μαζικής ενημέρωσης ή μέσω ιστοσελίδων και δελτίων τύπου, διανομή ενημερωτικών φυλλαδίων, ύπαρξη τηλεφωνικής γραμμής βοήθειας, άνοιγμα κλιματιζόμενων χώρων για το κοινό, νοσοκομεία σε επίπεδο συναγερμού, επίσκεψη στις οικίες ατόμων που ανήκουν σε ευάλωτες ομάδες του πληθυσμού καθώς και πιθανή μεταφορά τους από τις οικίες τους σε κλιματιζόμενους χώρους.

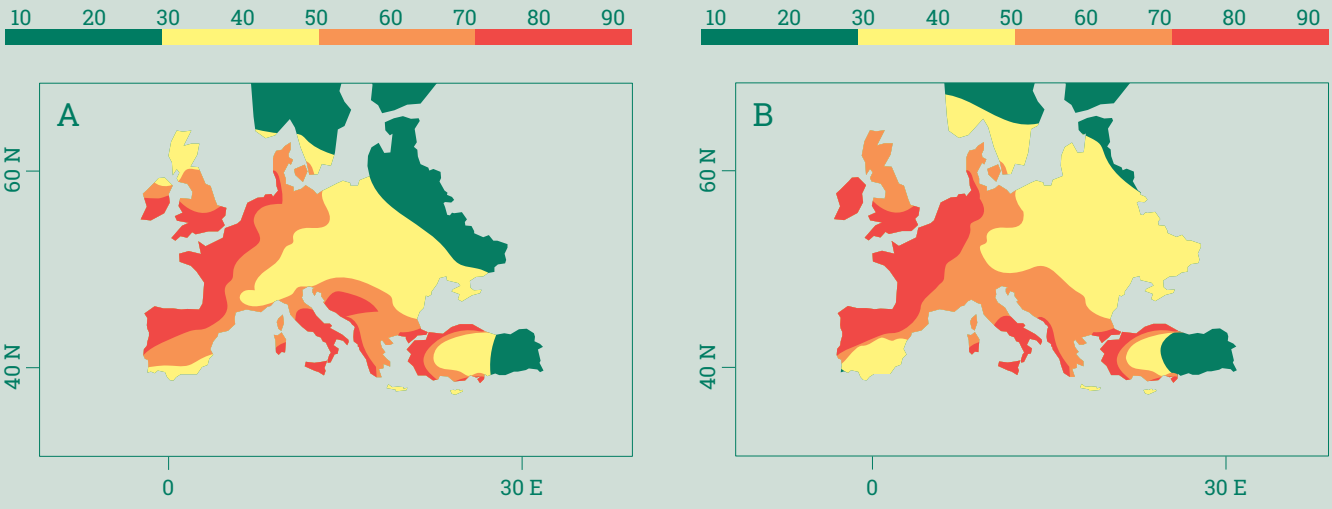


ΕΙΚΟΝΑ 4
Ημέρα του έτους της πρώτης και τελευταίας εμφάνισης όπου HD > 40 (τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης») μέσα σε ένα ημερολογιακό έτος για την περίοδο 1960–2017 στην Αθήνα. Απεικονίζονται επίσης οι γραμμές τάσης.





ΕΙΚΟΝΑ 5
Αριθμός υπερβάσεων α) για την Αθήνα όταν HI > 32 °C (τουλάχιστον «πολύ ζέστη – εξαιρετική προσοχή») και HD > 40 (τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης») για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και για το απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το μελλοντικό σενάριο RCP8.5 και β) για τη Θεσσαλονίκη όταν HI > 32 °C (τουλάχιστον «πολύ ζέστη – εξαιρετική προσοχή») για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και για το εγγύς (2031–2060) και απώτερο (2071–2100) μέλλον υπό τα μελλοντικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5.

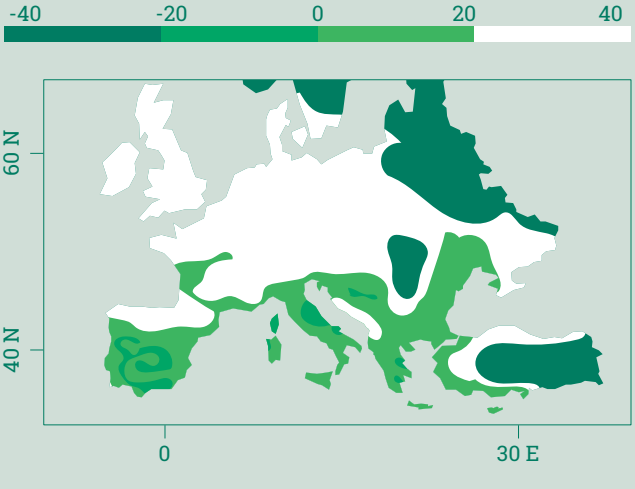


ΕΙΚΟΝΑ 6
Χάρτες συμβατότητας (%) του κουνουπιού Aedes albopictus σύμφωνα με τα αποτελέσματα του κλιματικού μοντέλου EMAC για την Ευρώπη α) κατά την πρόσφατη περίοδο 2000 – 2009 (οι πράσινοι κύκλοι δείχνουν τις χώρες στις οποίες ήδη υπάρχει καταγραφή του είδους) και β) κατά τη μελλοντική περίοδο 2045 – 2054, με βάση το κλιματικό σενάριο SRES-A2 (Πηγή: Proestos et al., 2015).

Οργανισμοί διαβιβαστές

Πέραν των επιπτώσεων που εκτιμάται ότι θα προκύψουν στην υγεία του ελληνικού πληθυσμού μέσω θερμικής καταπόνησης, οι μεταβολές στις κλιματικές παραμέτρους είναι δυνατό να επηρεάσουν και τη μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο μέσω οργανισμών διαβιβαστών, ιδίως κουνουπιών. Εκτός από τα ενδημικά είδη κουνουπιών στην Ευρώπη και την Ελλάδα, όπως τα είδη που ανήκουν στα γένη Culex και Anopheles, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιφέρει την επέκταση σε ευρύτερες γεωγραφικές ενότητες της Ευρώπης κάποιων άλλων ειδών κουνουπιών, τα οποία ήδη εμφανίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές και χαρακτηρίζονται ως κουνούπια «εισβολείς (invasive)». Μεταξύ των διαφόρων ειδών κουνουπιών εισβολέων του γένους Aedes, εκείνο το οποίο αποτελεί απειλή για την Ελλάδα είναι το Aedes albopictus, ευρύτερα γνωστό και ως Ασιατικό κουνούπι τίγρης. Οι κλιματικές συνθήκες στην Ελλάδα ευνοούν το συγκεκριμένο είδος και θεωρείται πλέον ότι η παρουσία του είναι σταθερή στη χώρα. Η κλιματική αλλαγή και η επερχόμενη άνοδος της θερμοκρασίας στην Ευρώπη αναμένεται να μετατοπίσουν τη ζώνη δράσης του κουνουπιού Aedes albopictus προς τον βορρά (Εικόνες 6 και 7), μειώνοντας τη συμβατότητα του στην Ελλάδα. Όμως η προσαρμογή του στη χώρα θα παραμείνει σε μεγάλο βαθμό εφικτή, ιδίως στη Δυτική αλλά και την Κεντρική Ελλάδα, την Πελοπόννησο και την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη (Εικόνα 6β). Τα παραπάνω συμπεράσματα προκύπτουν για την περίοδο 2045 – 2054 , με βάση το κλιματικό σενάριο SRES-A2, το οποίο υποθέτει μέτριες έως υψηλές εκπομπές CO_2. Επίσης, τις επόμενες δεκαετίες, η δυνητική διάρκεια της περιόδου δράσης του κουνουπιού «τίγρης» στην Ελλάδα μέσα στο έτος είναι πιθανό να επιμηκυνθεί λόγω της κλιματικής αλλαγής κατά ένα διάστημα της τάξης των 1 έως 2 εβδομάδων.

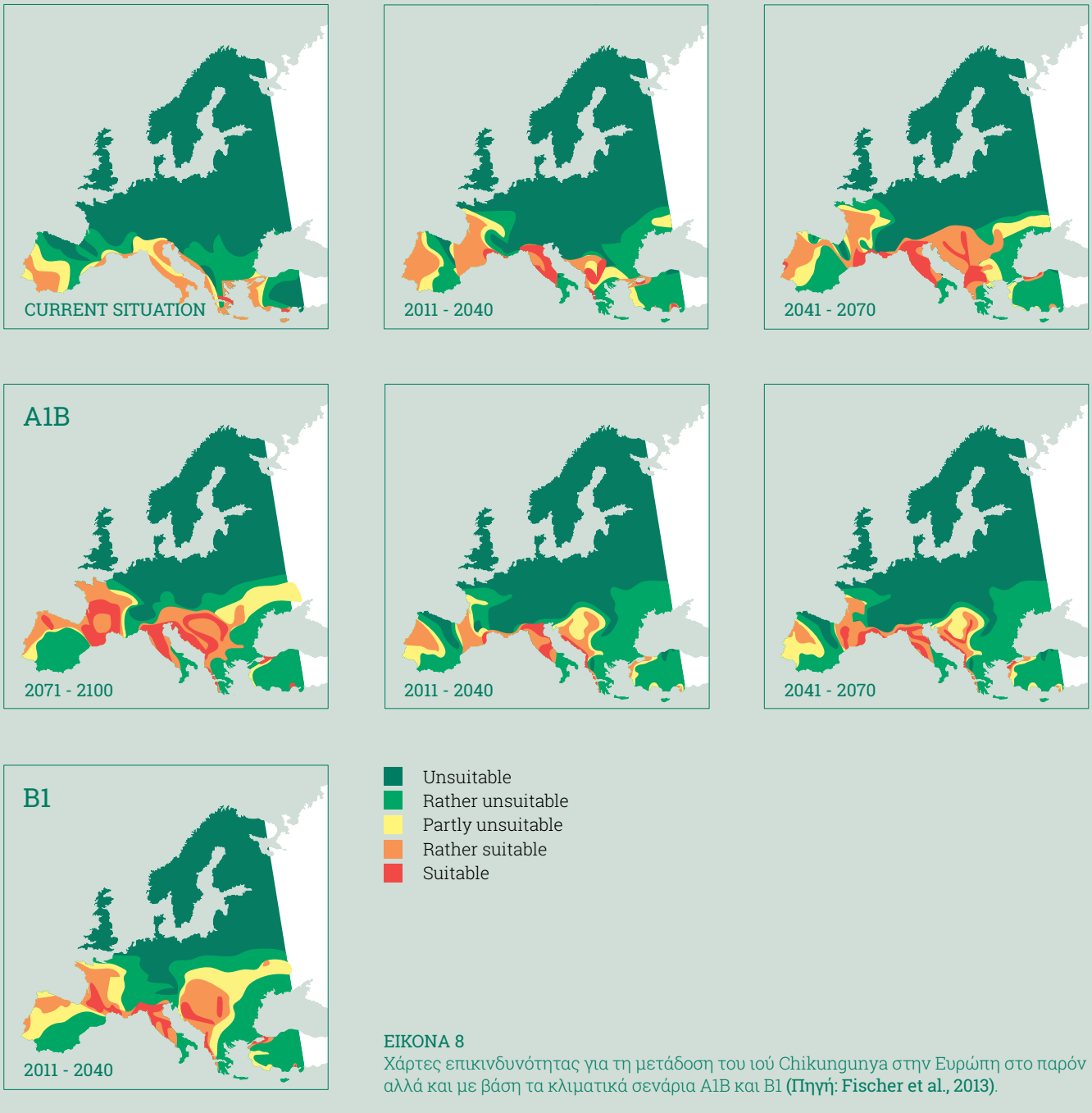
Το Ασιατικό κουνούπι τίγρης, αποτελεί τον κύριο διαβιβαστή του ιού Chikungunya. Στην Ελλάδα, ο συνδυασμός της ύπαρξης των αναγκαίων θερμοκρασιακών συνθηκών για τη μετάδοση του ιού με την παρουσία του είδους Aedes albopictus, επιφέρει σημαντική επικινδυνότητα για την πρόκληση αυτοχθόνων κρουσμάτων της νόσου. Η κλιματική αλλα-



ΕΙΚΟΝΑ 7
Εικόνα 7: Χάρτης που αποτυπώνει τις μεταβολές (%) στη συμβατότητα του κουνουπιού Aedes albopictus σε περιοχές της Ευρώπης, ανάμεσα στις περιόδους 2000 – 2009 και 2045 – 2054 (σενάριο SRES-A2), με βάση τα αποτελέσματα του κλιματικού μοντέλου EMAC. Περιοχές με συμβατότητα μικρότερη από 10% δεν ελήφθησαν υπ' όψιν (Πηγή: Proestos et al., 2015).

γή, εκτιμάται ότι θα οδηγήσει στην εκπλήρωση των θερμοκρασιακών απαιτήσεων για μετάδοση του ιού Chikungunya, για το σύνολο της χώρας, όμως ο περιορισμός της συμβατότητας για τα κουνούπια διαβιβαστές φαίνεται ότι θα υποβαθμίσει την πιθανότητα μετάδοσης. Ωστόσο, σχετικά με τον κίνδυνο διάδοσης του ιού Chikungunya, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα Δυτικά παράκτια τμήματα της Ελλάδας, όπως και σε περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης, όπου ο κίνδυνος θα παραμείνει υψηλός κατά τον 21ο αιώνα, με βάση τα μελετώμενα κλιματικά σενάρια A1B και B1 (Εικόνα 8).

Τα κουνούπια του γένους Culex, τα οποία είναι ενδημικά στην Ελλάδα, αποτελούν τον κύριο διαβιβαστή του ιού του Δυτικού Νείλου. Χαρακτηριστική για τη χώρα μας είναι η επιδημία του ιού που ξέσπασε το 2010 με επίκεντρο την Κεντρική Μακεδονία, όπου τα κουνούπια του γένους Culex αφθονούν, η οποία είχε ως αποτέλεσμα να νοσήσουν 262 άτομα, εκ των οποίων 197 υπέστησαν σοβαρές νευρολογικές παθήσεις και 33 τελικά κατέληξαν. Κρούσματα του ιού παρατηρήθηκαν στην Ελλάδα και κατά τα επόμενα χρόνια, γεγονός που αποτελεί ένδειξη ότι ο ιός μπορεί να καταστεί ενδημικός στην περιοχή μας. Η



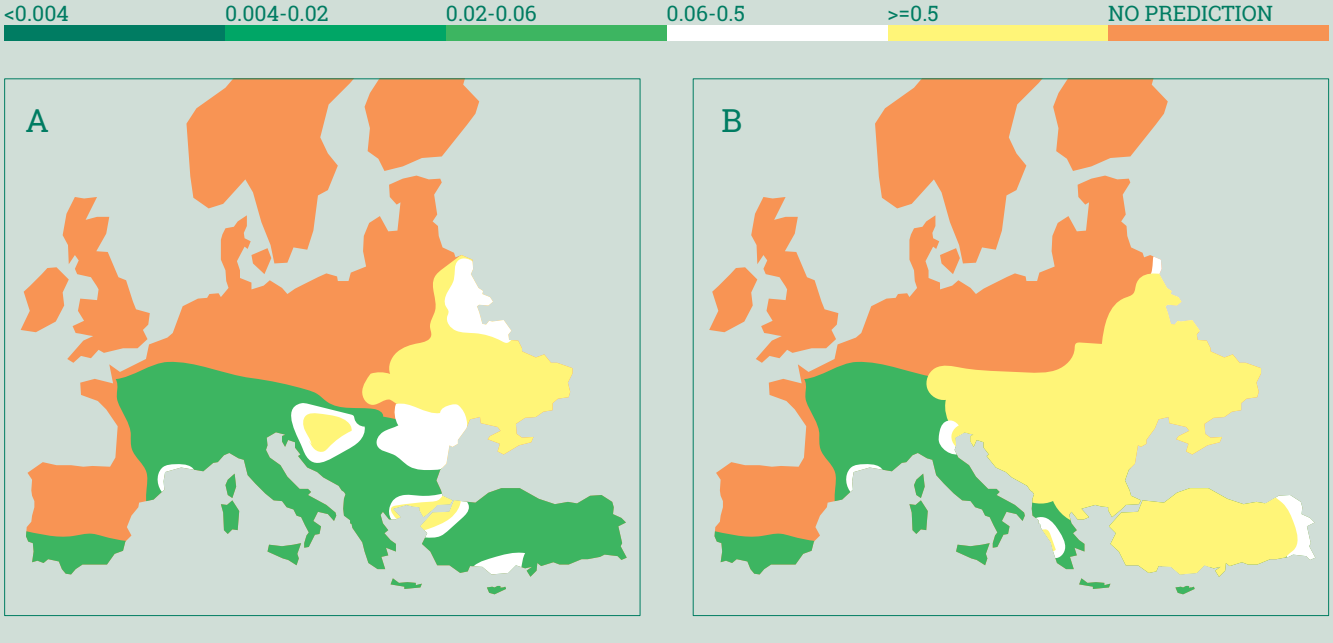
ΕΙΚΟΝΑ 8
Χάρτες επικινδυνότητας για τη μετάδοση του ιού Chikungunya στην Ευρώπη στο παρόν αλλά και με βάση τα κλιματικά σενάρια A1B και B1 **(Πηγή: Fischer et al., 2013)**.

κλιματική αλλαγή αναμένεται να διαμορφώσει ιδανικές συνθήκες για την περεταίρω εξάπλωση των κουνουπιών του γένους Culex στην Ελλάδα και για την αύξηση της μεταδοτικότητας τους σε ότι αφορά τον ιό του Δυτικού Νείλου. Οι περιοχές της χώρας που φαίνεται ότι θα έχουν τις επόμενες δεκαετίες την υψηλότερη πιθανότητα εμφάνισης κρουσμάτων του ιού είναι η Μακεδονία, η Θράκη αλλά και τμήματα της κεντρικής ηπειρωτικής χώρας, με έμφαση στο νομό Αιτωλοακαρνανίας (Εικόνα 9).

Κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα, αναμένεται στην Ελλάδα η επικράτηση των θερμοκρασιών που είναι απαραίτητες για την ολοκλήρωση της εξωγενούς περιόδου επώασης (το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στην πρόσληψη ενός ιού από ένα κουνούπι φορέα και στη στιγμή κατά την οποία το κουνούπι είναι ικανό να μεταδώσει τη νόσο σε κάποιον νέο ξενιστή όπως ο άνθρωπος) του Δάγγειου ιού, μέσω των κουνουπιών του είδους Aedes aegypti, τα οποία αποτελούν τον πρωτεύοντα διαβιβαστή του. Βέβαια, ανάλογα με το θερμοκρασιακό κριτήριο αλλά και το κλιματολογικό σενάριο που επιλέγεται, προκύπτουν σημαντικές διαφορές στην οριοθέτηση των περιοχών που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν μια ενδεχόμενη επιδημία του ιού. Σε κάθε περίπτωση, αναγκαία προϋπόθεση για την εμφάνιση ικανού αριθμού κρουσμάτων του Δάγγειου ιού στην Ελλάδα αποτελεί η επανεμφάνιση του κουνουπιού Aedes aegypti, καθώς το κουνούπι αυτό έχει εξαφανιστεί συνολικά από την ηπειρωτική Ευρώπη από το 1950. Μικρές πιθανότητες για μετάδοση του Δάγγειου ιού μπορεί να προκύψουν και μέσω του κουνουπιού Aedes albopictus, το οποίο αποτελεί δευτερεύοντα φορέα του ιού.

Με βάση τα παραπάνω, τα κύρια συμπεράσματα σε σχέση με την επίδραση που αναμένεται να έχει η κλιματική αλλαγή στη μετάδοση ασθενειών από κουνούπια διαβιβαστές στην Ελλάδα, συνοψίζονται στα εξής:

- Κατά τις επόμενες δεκαετίες, το κουνούπι τύπου «τίγρης» (Aedes albopictus) θα παραμείνει ενεργό στη χώρα μας παρά τη μείωση της συμβατότητας του.
- Κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα, ο κίνδυνος μετάδοσης του ιού Chikungunya, μέσω του κουνουπιού Aedes albopictus, θα παραμείνει υψηλός στα Δυτικά παράκτια τμήματα της Ελλάδας, όπως και σε περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης.
- Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να ενισχύσει περεταίρω τα κουνούπια του γένους Culex, τα οποία αποτελούν τον βασικό διαβιβαστή του ιού του Δυτικού Νείλου στον άνθρωπο.
- Οι περιοχές της Ελλάδας στις οποίες είναι πιθανό τα επόμενα χρόνια να υπάρξει έξαρση κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου είναι η Μακεδονία, η Θράκη αλλά και τμήματα της κεντρικής ηπειρωτικής χώρας.
- Κατά τον 21ο αιώνα, αναμένεται σε περιοχές της Ελλάδας η επικράτηση των θερμοκρασιών που είναι αναγκαίες για την διάδοση του Δάγγειου ιού μέσω του κουνουπιού Aedes aegypti, που όμως αυτή τη στιγμή δεν υπάρχει στη χώρα.



ΕΙΚΟΝΑ 9
Χάρτες εκτιμώμενης πιθανότητας για την εμφάνιση αυτόχθονων κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου σε περιοχές της Ευρώπης και γειτονικών χωρών α) για το έτος 2025 β) για το έτος 2050, με βάση το ενδιάμεσο σενάριο SRES-A1B **(Πηγή: Semenza et al., 2016)**.

Οι κίνδυνοι που απορρέουν από την μετάδοση ασθενειών στον άνθρωπο μέσω κουνουπιών διαβιβαστών μπορούν να περιοριστούν, αν ληφθούν τα αναγκαία μέτρα:

α) σε επίπεδο τοπικών αρχών και πολιτείας

β) σε ατομικό επίπεδο

γ) στο οικιακό και περι-οικιακό περιβάλλον

Ενδεικτικά, οι τοπικές αρχές θα πρέπει να εκτελούν αποτελεσματική παρακολούθηση του πληθυσμού των διαφόρων ειδών κουνουπιών με εγκατάσταση ενός εκτενούς δικτύου παγίδων και να εφαρμόζουν έγκαιρα τη χρήση εντομοκτόνων, ιδιαίτερα για την εξουδετέρωση των προνυμφών (προνυμφοκτονία). Η εξουδετέρωση των ακμαίων κουνουπιών (ακμαιοκτονία) γίνεται με ψεκασμούς από το έδαφος, ενώ οι εναέριοι ψεκασμοί συνίστανται μόνο σε ακραία περιστατικά και πάντα με την τήρηση αυστηρών κριτηρίων που έχουν σχέση με τις χρήσεις γης. Επίσης, οι πολίτες μπορούν αυτόνομα να λαμβάνουν μέτρα προστασίας τόσο του εαυτού τους (π.χ. χρήση εντομοαπωθητικών σκευασμάτων, χρήση κουνουπιέρας σε περιοχές με πολύ έντονη παρουσία κουνουπιών) όσο και της κατοικίας τους (π.χ. εξάλειψη φυσικών ή τεχνητών μικρών εστιών συσσώρευσης στάσιμου νερού οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν ιδανικό τόπο για την εναπόθεση των αυγών των κουνουπιών, χρήση προστατευτικών πλεγμάτων (σήτες) σε παράθυρα, τζάκια, αεραγωγούς και φεγγίτες για να παρεμποδίζεται η είσοδος των κουνουπιών στο εσωτερικό των σπιτιών). Η ενημέρωση των πολιτών σε σχέση με τις πιθανές συνέπειες των ασθενειών που μεταφέρονται από τα κουνούπια είναι αναγκαία προκειμένου να ενισχυθεί ο βαθμός επαγρύπνησης τους.

Εισαγωγή

Σύμφωνα με την ειδική έκθεση σχετικά με τον αντίκτυπο της παγκόσμιας αύξησης της θερμοκρασίας κατά 1.5°C, την οποία εξέδωσε πρόσφατα η Διακυβερνητική Επιτροπή για την Αλλαγή του Κλίματος (IPCC), οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκτιμάται ότι έχουν οδηγήσει σε άνοδο της μέσης παγκόσμιας θερμοκρασίας κατά περίπου 1°C (IPCC, 2018), σε σύγκριση με τα επίπεδα της θερμοκρασίας πριν από τη βιομηχανική επανάσταση. Το εύρος αυτής της ανόδου προσδιορίζεται από 0.8°C έως 1.2°C. Η έκθεση αναφέρει επίσης ότι η άνοδος της θερμοκρασίας αναμένεται να προσεγγίσει τους 1.5°C ανάμεσα στο 2030 και το 2052, αν συνεχιστεί με τον σημερινό ρυθμό. Η θερμοκρασία του πλανήτη ανέρχεται μεσοσταθμικά κατά 0.2°C ανά δεκαετία, λόγω των τρεχόντων αλλά και των προγενέστερων ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου. Οι παρελθούσες εκπομπές είναι δυνατό να προκαλέσουν προβλήματα όπως η περαιτέρω άνοδος της μέσης στάθμης της θάλασσας, αλλά θεωρείται απίθανο να μπορούν από μόνες τους να προκαλέσουν την προαναφερόμενη άνοδο της θερμοκρασίας κατά 1.5°C, σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο. Κατά συνέπεια, αν οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου εκμηδενίζονταν άμεσα, η οποία περεταίρω άνοδος της θερμοκρασίας μέσα στις επόμενες δύο με τρεις δεκαετίες δεν θα υπερέβαινε τους 0.5°C. Άρα, η αποτροπή της ανόδου της θερμοκρασίας κατά 1.5°C τα επόμενα χρόνια δεν είναι ανέφικτη και εξαρτάται από το ρυθμό της μείωσης των ανθρωπογενών εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Μέχρι σήμερα η κλιματική αλλαγή έχει προκαλέσει σοβαρά προβλήματα τόσο στις ανθρώπινες κοινωνίες, ιδίως των φτωχότερων χωρών, όπως και σε διάφορα οικοσυστήματα. Τα προβλήματα αυτά μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν αυξημένα περιστατικά ξηρασίας αλλά και πλημυρών, ακραία κύματα ζέστης, άνοδο της στάθμης της θάλασσας, πτώση στην παραγωγή τροφίμων και απώλεια βιοποικιλότητας. Αυτές οι αλλαγές συνδέονται με πρωτοφανείς κινδύνους, ειδικά για τις πιο ευαίσθητες ομάδες του ανθρώπινου πληθυσμού (IPCC 2018, Mysiak et al, 2016).

Η πιθανή μελλοντική άνοδος της θερμοκρασίας κατά 1.5°C ή και περισσότερο, αναμένεται να επιφέρει επιπλέον ενίσχυση των δυσχερειών για τον άνθρωπο. Ωστόσο, είναι κρίσιμο να επιτευχθεί η διατήρηση της αύξησης της θερμοκρασίας μέχρι τους 1.5°C, καθώς μια ενδεχόμενη περεταίρω άνοδος θα σημάνει πολύ πιο γενικευμένες συνέπειες για τον παγκόσμιο ανθρώπινο πληθυσμό (IPCC, 2018). Πιο συγκεκριμένα, αν η άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας συγκρατηθεί στους 1.5°C, εκτιμάται ότι αυτό θα οδηγήσει σε σημαντικά χαμηλότερη νοσηρότητα αλλά και θνησιμότητα λόγω αυξημένης ζέστης, όπως και σε μειωμένη θνησιμότητα λόγω έκθεσης στο τροποσφαιρικό όζον, συγκριτικά με ότι θα προέκυπτε από μια άνοδο της τάξεως των 2°C. Ειδικά στις πόλεις, αξίζει να σημειωθεί ότι τα παραπάνω περιστατικά νοσηρότητας και θνησιμότητας θα είναι ακόμη πιο ισχυρά, λόγω και του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Επίσης, ο κίνδυνος προσβολής των πολιτών από ασθένειες (π.χ. Δάγγειος ιός, Ελονοσία, κτλ) που μεταδίδονται μέσω φορέων διαβιβαστών (π.χ. κουνουπιών), αναμένεται να είναι ενισχυμένος μελλοντικά σε παγκόσμια κλίμακα, ιδιαίτερα αν η θερμοκρασία ανέλθει κατά 2°C αντί για 1.5°C, λόγω και της επέκτασης των περιοχών με κλιματική συμβατότητα για τις νόσους αλλά και τους φορείς. Βεβαίως, σχετικά με τη διάδοση ασθενειών μέσω φορέων, πρέπει να τονιστεί ότι το αν οι προβλέψεις για μια συγκεκριμένη περιοχή είναι θετικές οι αρνητικές εξαρτάται από το είδος της ασθένειας, τα χαρακτηριστικά της περιοχής και το βαθμό της κλιματικής αλλαγής που θα συμβεί στη συγκεκριμένη περιοχή (IPCC, 2018).

Τα αποτελέσματα της μεγάλης πλειοψηφίας των κλιματικών μοντέλων, συμφωνούν στο ότι τα επόμενα χρόνια θα προκύψει μια αύξηση στην ένταση των ακραίων περιστατικών ζέστης σε πολλές περιοχές του κόσμου, λόγω της κλιματικής αλλαγής (IPCC, 2018). Η μεγαλύτερη ενίσχυση των επεισοδίων ζέστης αναμένεται στα μεσαία γεωγραφικά πλάτη κατά τη θερμή περίοδο (κατά 3°C για άνοδο της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1.5°C), αλλά και στα μεγάλα γεωγραφικά πλάτη κατά την ψυχρή περίοδο (κατά 4.5°C για άνοδο της μέ-

σης θερμοκρασίας του πλανήτη κατά 1.5°C). Η Νότια Ευρώπη αλλά και η περιοχή της Μεσογείου συνολικότερα αναμένεται να είναι από τις περιοχές του πλανήτη που θα πληγούν ιδιαίτερα από τα ισχυρά κύματα ζέστης και κατά συνέπεια και η Ελλάδα είναι από τις χώρες οι οποίες θα πρέπει να βρίσκονται σε επιφυλακή για την αντιμετώπιση πιθανών ακραίων περιστάσεων. Ο περιορισμός της παγκόσμιας ανόδου της θερμοκρασίας στους 1.5°C αντί για τους 2°C θα μπορούσε να μειώσει το πλήθος των ανθρώπων που θα εκτίθεται συχνά σε ακραία κύματα ζέστης κατά 420 εκατομμύρια, γεγονός που καταδεικνύει τη μεγάλη σημασία του συγκεκριμένου στόχου.

Η άνοδος της μέσης θερμοκρασίας του πλανήτη τόσο κατά 1.5°C, όσο και κατά 2°C, εκτιμάται ότι θα προκαλέσει επίσης σοβαρές αλλαγές στο μέσο ύψος υετού ανά περιοχή, σε σύγκριση με την προβιομηχανική περίοδο. Αναφορικά με πιθανές διαφοροποιήσεις στο ύψος υετού, οι οποίες μπορεί να προκύψουν λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας κατά 2°C αντί για 1.5°C, αυτές υπάρχει περίπτωση να συμβούν σε περιοχές όπως η λεκάνη της Μεσογείου, συμπεριλαμβανομένης και της Νότιας Ευρώπης, όπου και αναμένεται περεταίρω μείωση του υετού στην περίπτωση του δυσμενέστερου σεναρίου (Vautard et al, 2014, Jacob et al, 2018, Kjellstrom et al, 2018). Με βάση τα παραπάνω, η ειδική έκθεση του IPCC για το κλίμα διαπιστώνει ότι υπάρχει ισχυρή τάση για άνοδο της ξηρασίας στην περιοχή της Μεσογείου, ενώ σε άλλες περιοχές του πλανήτη όπως η Βόρεια Αμερική και η Βορειοδυτική Αυστραλία η τάση δείχνει ότι οδηγούμαστε σε μείωση της ξηρασίας. Πρόσφατες δημοσιεύσεις (Gudmundsson and Seneviratne, 2016, Gudmundsson et al, 2017) οι οποίες βασίστηκαν τόσο σε μετρήσεις, όσο και σε αποτελέσματα μοντέλων, έδειξαν ότι οι ανθρωπογενείς εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου είναι η αιτία που έχει αυξήσει σημαντικά την πιθανότητα για πρόκληση ετών ξηρασίας στην περιοχή της Μεσογείου και ότι αυτή η τάση θα συνεχιστεί όσο η κλιματική αλλαγή ενισχύεται. Οι Schleussner et al, 2016, εκτιμούν ότι μια ενδεχόμενη αύξηση της θερμοκρασίας κατά 2°C αντί για 1.5°C, θα οδηγούσε σε ενίσχυση της μείωσης της ροής των ποταμών της Μεσογείου από το 9% στο 17%, ενώ οι Donelly et al, 2017 επίσης αναφέρουν ότι η ενίσχυση της κλιματικής αλλαγής θα επιφέρει μείωση στη ροή των ποταμών κατά μήκος των ακτών της Ιβηρικής και της Βαλκανικής χερσονήσου. Σύμφωνα με τους Lehner et al, 2017, ο περιορισμός της ανόδου της θερμοκρασίας μέχρι τους 1.5°C μπορεί να έχει ευεργετικά αποτελέσματα ως προς τον περιορισμό της ξηρασίας στην περιοχή της Μεσογείου, αλλά αυτό αποτελεί ένα εύρημα εξαιρετικά αβέβαιο και αφορά μόνο συγκεκριμένες περιοχές. Λόγω των παραπάνω ευρημάτων, ειδικά στην περίπτωση της ανόδου της θερμοκρασίας κατά 2°C, είναι πιθανό μελλοντικά να προκύψει μια έλλειψη στα αποθέματα και τη διαθεσιμότητα νερού στην περιοχή της Μεσογείου (Lehner et al, 2017, Greve et al, 2018, Wartenburger et al, 2017), γεγονός που μπορεί να έχει αρνητικό αντίκτυπο στην ανθρώπινη διατροφή και κατ' επέκταση στην υγεία του τοπικού πληθυσμού.

Η επερχόμενη ξηρασία, μπορεί να έχει επιπτώσεις στην ποιότητα ζωής του πληθυσμού της Νότιας Ευρώπης και λόγω της μείωσης των ενεργειακών αποθεμάτων. Οι Tobin et al, 2018, αναφέρουν ότι μια άνοδος της θερμοκρασίας κατά 2°C αντί για 1.5°C, θα μπορούσε να οδηγήσει σε μείωση του υδροηλεκτρικού δυναμικού κατά 10% αντί για 5% στην Ελλάδα, την Ισπανία και την Πορτογαλία, αν και τα μοντέλα που χρησιμοποιήθηκαν τονίζεται ότι παρουσιάζουν σημαντική διασπορά ως προς το παραπάνω εύρημα. Επιπροσθέτως, λόγω του συνδυασμού των μειωμένων ροών των ποταμών το καλοκαίρι και των υψηλότερων θερμοκρασιών του νερού τους, η διαθέσιμη ισχύς των θερμοηλεκτρικών εργοστασίων τα οποία χρησιμοποιούν το νερό των ποταμών για να ψύχονται αναμένεται να μειωθεί (Jacob et al, 2018, Tobin et al, 2018). Η Ελλάδα, η Βουλγαρία και η Ισπανία φαίνεται να έχουν τις μεγαλύτερες μειώσεις μεταξύ των Ευρωπαϊκών χωρών, στην παραγωγή των θερμοηλεκτρικών εργοστασίων τους, ειδικά στην περίπτωση που η άνοδος της παγκόσμιας θερμοκρασίας φτάσει τους 2°C.

Η γεωργία αποτελεί επίσης έναν κρίσιμο τομέα ο οποίος συνδέεται με την επάρκεια της παραγωγής τροφίμων και αναμένεται να πληγεί σοβαρά από την κλιματική αλλαγή. Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει ότι οι μέχρι τώρα παρατηρούμενες αλλαγές στο κλίμα έχουν ήδη προκαλέσει σημαντικές επιπτώσεις στις σοδιές συγκεκριμένων καλλιεργειών σε διάφορες περιοχές του πλανήτη. Ιδιαίτερη επιβάρυνση εντοπίζεται σε είδη φυτών με τοπικά χαρακτηριστικά, τα οποία απαιτούν πολύ εξειδικευμένες συνθήκες για την ομαλή ανάπτυξη τους. Για την περιοχή της Μεσογείου αναφέρονται ως πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα η ελιά και η άμπελος (Moriondo et al, 2013a,b). Οι αλλαγές στην θερμοκρασία και το ύψος υετού, λόγω της κλιματικής αλλαγής, έχουν διασυνδεθεί με μειώσεις στην παγκόσμια παραγωγή σίτου και αραβόσιτου (Lobell et al, 2011), ενώ οι επιδράσεις στην παραγωγή ρυζιού και σόγιας είναι λιγότερο ξεκάθαρες και μπορεί να είναι θετικές ή και αρνητικές (Kim et al, 2013). Σε κάποιες περιοχές που βρίσκονται σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, η κλιματική αλλαγή έχει οδηγήσει σε άνοδο της παραγωγής, ενώ σε κάποιες περιπτώσεις έχει κάνει εφικτό το να υπάρχουν δύο περίοδοι συγκομιδής το χρόνο (Jaggard et al, 2007, Sun et al, 2015). Παρ' όλα αυτά, σημαντική μείωση στην παγκόσμια παραγωγή σίτου (κατά 6% ± 2.9%), ρυζιού (κατά 3.2% ± 3.7%), αραβόσιτου (κατά 7.4% ± 4.5%) και σόγιας (κατά 3.1%), προβλέπεται για κάθε περεταίρω άνοδο της μέσης παγκόσμιας θερμοκρα-

σίας κατά 1°C (Asseng et al, 2015, Zhao et al, 2017), ενώ μια συνολική αποτίμηση της επίδρασης παραμέτρων σχετικών με την κλιματική αλλαγή όπως η θερμοκρασία, το ύψος υετού, η συγκέντρωση του CO_2 στην ατμόσφαιρα και τα περιστατικά ακραίων καιρικών φαινομένων, δείχνει ότι η άνοδος της θερμοκρασίας κατά 2°C αντί για 1.5°C θα προκαλέσει ισχυρότερες αρνητικές συνέπειες στην παγκόσμια απόδοση των καλλιεργειών και κατ' επέκταση στην παγκόσμια διατροφική ισορροπία. Τέλος, εκτός από τις άμεσες επιπτώσεις που μπορεί να επιφέρει η κλιματική αλλαγή στον γεωργικό τομέα λόγω π.χ. ακραίων υψών βροχής, ξηρασίας, πολύ υψηλών ή και χαμηλών θερμοκρασιών κτλ, υπάρχουν και έμμεσες επιπτώσεις οι οποίες συνδέονται κατά κύριο λόγο με τη διασπορά εντόμων και ασθενειών, που μπορεί να μειώσουν την ποιότητα και την ποσότητα των παραγόμενων προϊόντων (Jiao et al, 2014, van Brugen et al, 2015).

Στην ακόλουθη έκθεση για την Κλιματική αλλαγή και την υγεία στην Ελλάδα, περιγράφονται αναλυτικά οι πιθανοί κίνδυνοι για την υγεία του πληθυσμού της Ελλάδας τους οποίους μπορεί να επιφέρει η αναμενόμενη κλιματική αλλαγή Α) λόγω θερμικής καταπόνησης και Β) λόγω της πιθανής μετάδοσης ασθενειών μέσω κουνουπιών φορέων. Αυτή η επιλογή έγινε καθώς οι πιθανές άμεσες επιπτώσεις στην υγεία που μπορεί να προκύψουν λόγω των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στους δύο αυτούς τομείς, μπορεί να είναι εξαιρετικά σοβαρές και γενικευμένες σε μεγάλα τμήματα του Ελληνικού πληθυσμού.

Θερμική άνεση

Β.1.
Ομοιόσταση και θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί

Η ικανότητα του οργανισμού να διατηρεί το εσωτερικό του περιβάλλον σταθερό ανεξάρτητα από τις συνθήκες του εξωτερικού περιβάλλοντος καλείται ομοιόσταση και λειτουργεί σε όλα τα βιολογικά επίπεδα του οργανισμού. Η διατήρηση της ομοιόστασης στις διάφορες κλιματικές μεταβολές διασφαλίζετε μέσω των φυσιολογικών μηχανισμών ρύθμισης και της εκούσιας συμπεριφοράς του ατόμου σε συνδυασμό με διάφορες τεχνολογικές και κοινωνικό-πολιτιστικές τεχνικές (Εικόνα Α1).

Μια από τις εκφράσεις της ομοιόστασης είναι η διατήρηση μιας ουσιαστικά σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας σώματος μέσα σε ορισμένα φυσιολογικά όρια, η οποία περιγράφεται ως ομοιοθερμία. Ενώ η θερμοκρασία του περιβάλλοντος κυμαίνεται σε μεγάλο εύρος τιμών, η εσωτερική θερμοκρασία του σώματος ρυθμίζεται στα πλαίσια ενός στενού θερμοκρασιακού φάσματος (35 °C έως 41 $^{o\omega}$C) που κυμαίνεται γύρω από τους 37 °C. Ουσιαστικά, το ανθρώπινο σώμα διαιρείται σε ένα θερμό εσωτερικό πυρήνα και ένα εξωτερικό περίβλημα, με τις θερμοκρασίες να επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από το περιβάλλον και τη θερμοκρασία του δέρματος να κυμαίνεται σε μεγαλύτερα εύρη τιμών (Wenger, 2002) (Εικόνα Α2).

Όταν η θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα διαταράσσεται ενεργοποιούνται φυσιολογικοί μηχανισμοί ρύθμισης του κεντρικού κυκλοφορικού συστήματος, των σωματικών υγρών, της αναπνοής, του μεταβολισμού και της εφίδρωσης (Wenger, 2002). Οι αποκρίσεις αυτές παρατηρούνται σε όλα τα υγιή άτομα ανεξάρτητα από την ηλικία, το φύλο και την εθνότητα. Ωστόσο, σημειώνονται ποσοτικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ατόμων, με την ενδοατομική μεταβλητότητα να παρουσιάζει μικρότερες αποκλίσεις από τη διατομική (Yousef, 1987).

Σε ένα θερμό περιβάλλον οι κυριότεροι θερμοφυσιολογικοί μηχανισμοί είναι η διαστολή των περιφερειακών αιμοφόρων αγγείων και η εφίδρωση. Ο πρώτος μηχανισμός επιτρέπει μέσω του κυκλοφορικού συστήματος τη μεταφορά μεγαλύτερης ποσότητας αίματος από τον πυρήνα στην επιφάνεια του σώματος με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του δέρματος, γεγονός που συνεπάγεται μεγαλύτερη απώλεια θερμότητας από το σώμα καθώς αυξάνεται η θερμοκρασιακή βαθμίδα μεταξύ της επιφάνειας του σώματος και του περιβάλλοντος. Στις περιπτώσεις όπου συμβαίνει το αντίθετο το πλεόνασμα θερμότητας μειώνεται μέσω της αγγειοδιαστολής. Παράλληλα, ο μηχανισμός της εφίδρωσης ελέγχει την απώλεια θερμότητας μέσω της εξάτμισης από την επιφάνεια του σώματος και σχετίζεται με το συντελεστή διαβροχής του δέρματος. Στις περιπτώσεις όπου ο ιδρώτας αποβάλλεται από το σώμα με το σχηματισμό σταγόνων ή απορροφάται από την ενδυμασία μειώνεται η ικανότητα του ως μηχανισμός και δεν προσφέρει το βέλτιστο αποτέλεσμα (Wenger, 2002).

Σε ένα ψυχρό περιβάλλον οι κύριοι θερμορυθμιστικοί μηχανισμοί είναι η συστολή των περιφερειακών αιμοφόρων αγγείων και η παραγωγή θερμότητας από το ρίγος. Μέσω της αγγειοσυστολής μεγαλύτερη ποσότητα αίματος μεταφέρεται από την επιφάνεια του σώματος προς το πυρήνα με αποτέλεσμα την αύξηση του καρδιακού παλμού. Παράλληλα, ελαττώνεται η θερμοκρασιακή βαθμίδα μεταξύ της επιφάνειας του σώματος και του περιβάλλοντος συντελώντας στη διατήρηση της θερμότητας στο σώμα. Η παραγωγή θερμότητας από το ρίγος ξεκινά όταν η θερμοκρασία του πυρήνα υπερβεί ένα ορισμένο κατώτερο όριο, με το ρυθμό μεταβολισμού λόγω ρίγους να αυξάνεται στο διπλάσιο ή και στο τριπλάσιο (Höppe, 1993).

Η έκθεση του οργανισμού σε πολύ υψηλή περιβαλλοντική θερμοκρασία μπορεί να οδηγήσει σε θερμικές κακώσεις όπως η θερμική εξάντληση και η θερμοπληξία. Η θερμική εξάντληση είναι μια ήπια μορφή κλινικής κατάστασης σχετιζόμενη με τη θερμότητα, με συμπτωματολογία η οποία σχετίζεται με την αυξημένη θερμοκρασία του σώματος (όχι μεγαλύτερη των 40

°C). Τα συμπτώματα της θερμικής εξάντλησης είναι η κόπωση, η ζάλη, ο εμετός, η ναυτία, η ταχυκαρδία και η υπόταση. Αντιθέτως, η θερμοπληξία είναι μια εξαιρετικά σοβαρή κλινική κατάσταση κατά την οποία το ανθρώπινο σώμα αδυνατεί να ρυθμίσει τη θερμοκρασία του εξαιτίας της υπερβολικής θερμότητας και ορίζεται από την αυξημένη θερμοκρασία του σώματος (μεγαλύτερη των 40 °C) και την αφυδάτωση. Η θερμοπληξία μπορεί να προκαλέσει το θάνατο καθώς και μόνιμες βλάβες στον οργανισμό εάν δεν ληφθεί άμεσα ιατρική βοήθεια (Theoharatos et al., 2010).

Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

Θερμοκρασία αέρα	Βαρύτητα κ.α.	Σπηλιές
Υγρασία	Αρκτικός	Υπόγεια νερά
Ακτινοβολία	Έρημος	Διάστημα
Άνεμος	Τροπικοί	
Έλλειψη O_2	Βουνά	

Διάταξη Ομοιόστασης

ΕΙΚΟΝΑ Α1
Διαγραμματική απεικόνιση της αλληλεπίδρασης μεταξύ του εξωτερικού περιβάλλοντος και της διατήρησης της ομοιόστασης στον άνθρωπο (Πηγή: Yousef, 1987).

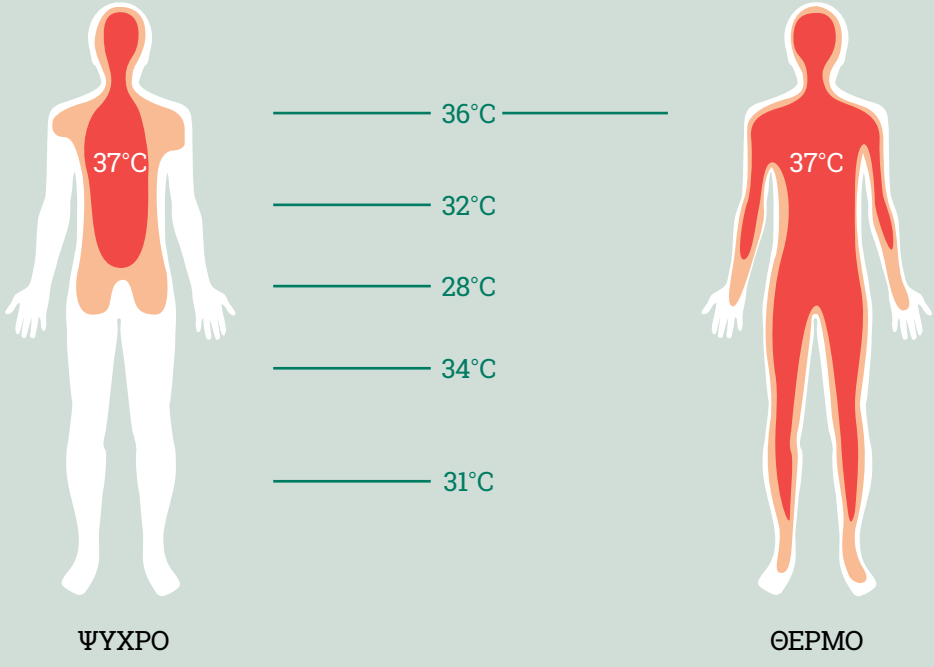
Β.1.2. Προσαρμογή και εγκλιματισμός

Ο άνθρωπος επιδεικνύει αξιοσημείωτη ικανότητα προσαρμογής σε έντονες και ταχύτατες μεταβολές των περιβαλλοντικών συνθηκών, γεγονός που του επιτρέπει τη διαβίωση στις περισσότερες κλιματικές περιοχές του πλανήτη. Με την ευρύτερη έννοια ο όρος προσαρμογή ορίζεται ως η βαθμιαία μείωση της αντίδρασης του οργανισμού κατά την επαναλαμβανόμενη έκθεση σε ένα ερέθισμα, συμπεριλαμβανομένων όλων των δράσεων οι οποίοι συντελούν στην κατεύθυνση αυτή, κατά την παραμονή σε ένα περιβάλλον (Nikolopoulou and Steemers, 2003, Nikolopoulou, 2011, Lam et al., 2018). Σε αυτή τη βάση η προσαρμογή διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες: την φυσιολογική, την φυσική και την ψυχολογική (Nikolopoulou and Steemers, 2003, Nikolopoulou, 2011).

Η φυσιολογική προσαρμογή σχετίζεται με το σύνολο των αντιδράσεων στο ανθρώπινο σώμα και οι οποίες διακρίνονται σε βραχυπρόθεσμες αντιδράσεις όπως είναι η εφίδρωση, η διαστολή και συστολή των περιφερειακών αιμοφόρων αγγείων καθώς και στις μακροπρόθεσμες όπως είναι ο εγκλιματισμός. Στο πλαίσιο αυτό εγκλιματισμός ορίζεται το σύνολο των φυσιολογικών μεταβολών κατά τη διαδοχική έκθεση ή παραμονή σε ένα θερμό ή ψυχρό περιβάλλον, με αποτέλεσμα τη βαθμιαία μείωση της φυσιολογικής έντασης που υφίσταται ο ανθρώπινος οργανισμός (Wenger, 2002). Οι κυριότερες φυσιολογικές μεταβολές που παρατηρούνται κατά τον εγκλιματισμό σε ένα θερμό περιβάλλον είναι η διαμόρφωση σε χαμηλότερα επίπεδα τιμών του καρδιακού παλμού και της θερμοκρασίας του πυρήνα και η αύξηση του ρυθμού εφίδρωσης (Yousef, 1987, Wenger, 2002).

Η φυσική προσαρμογή περιλαμβάνει όλες εκείνες τις αλλαγές που πραγματοποιεί ο άνθρωπος ώστε να βελτιώσει τη διαβίωση του στο εκάστοτε περιβάλλον. Τέτοιες αλλαγές μπορεί να είναι ατομικές όπως η προσαρμογή της ενδυμασίας ανάλογα με τις κλιματικές συνθήκες, η στάση του σώματος και η μετακίνηση από μια θέση σε μια άλλη που του προκαλεί μικρότερη ένταση καθώς και διαδραστικές όπως η βελτίωση των συνθηκών για παράδειγμα με το άνοιγμα ή κλείσιμο ενός παραθύρου (Nikolopoulou and Steemers, 2003, Nikolopoulou, 2011, Lam et al., 2018).

Η ψυχολογική προσαρμογή σχετίζεται με τις παραμέτρους εκείνες οι οποίες επηρεάζουν τη θερμική αντίληψη των ανθρώπων για το περιβάλλον και τις αλλαγές που συντελούνται σε αυτό, βασιζόμενη στο γεγονός ότι ένα φυσικό ερέθισμα δεν είναι σε άμεση σχέση με το μέγεθος αλλά εξαρτάται από την "πληροφορία" όπου οι άνθρωποι έχουν για συγκεκριμένες καταστάσεις (Nikolopoulou and Steemers, 2003, Knez et al., 2009, Nikolopoulou, 2011, Lam et al., 2018). Τέτοιες παράμετροι είναι ο χρόνος έκθεσης, η φυσικότητα του περιβάλλοντος καθώς και οι προσδοκίες και εμπειρίες των ανθρώπων (Nikolopoulou and Steemers, 2003, Knez et al., 2009, Nikolopoulou, 2011, Lam et al., 2018).



ΕΙΚΟΝΑ Α2
Κατανομή των θερμοκρασιών στο ανθρώπινο σώμα κατά τη διάρκεια έκθεσης σε α) ψυχρό και β) θερμό περιβάλλον **(Πηγή: Wenger, 2002)**.

Β.1.3. Θερμική άνεση, αίσθηση, επιβάρυνση και ένταση

Η υποκειμενική και ψυχολογική προσέγγιση της ανθρώπινης θερμικής άνεσης (human thermal comfort) περιγράφει την κατάσταση του μυαλού όπου εκφράζει ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον (ASHRAE, 2013). Βάσει της θερμοφυσιολογίας η άνεση σχετίζεται με την ενεργοποίηση των θερμοϋποδοχών στο δέρμα και στον υποθάλαμο, ως ο ελάχιστος ρυθμός νευρικού σήματος από τους θερμοϋποδοχείς (Mayer, 1993). Επιπλέον, ο ενεργητικός ορισμός της προϋποθέτει θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα, με τη θερμοκρασία δέρματος και τον ρυθμό εφίδρωσης να εντοπίζονται στα όρια της άνεσης (Fanger, 1972).

Η θερμική αίσθηση (thermal sensation) περιγράφει το συνειδητό αίσθημα το οποίο προϋποθέτει υποκειμενική εκτίμηση. Ουσιαστικά, η θερμική άνεση και η θερμική αίσθηση αποτελούν διπολικά φαινόμενα, με διαβάθμιση από το "ψυχρό" έως το "θερμό", όπου η άνεση ή η ουδέτερη αίσθηση εντοπίζονται στο μέσο της κλίμακας (Epstein and Moran, 2006). Διάφορες κλίμακες έχουν παρουσιαστεί κατά καιρούς, ενώ στον Πίνακα Α1 συνοψίζονται η υποκειμενική ταξινόμηση της δυσφορίας με την φυσιολογική αντίδραση.

Οι θεμελιώδεις παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν τη θερμική αίσθηση διακρίνονται σε δυο κατηγορίες, τους περιβαλλοντικούς και αυτούς που σχετίζονται με την εκούσια συμπεριφορά του ατόμου. Οι πρώτοι περιλαμβάνουν τη θερμοκρασία του αέρα, την υγρασία του αέρα, την ταχύτητα του ανέμου και την ακτινοβολία, ενώ οι δεύτεροι την παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό λόγω δραστηριότητας και την ενδυμασία. Η αλληλεπίδραση των έξι θεμελιωδών παραμέτρων ορίζουν το θερμικό περιβάλλον και την αίσθηση της θερμικής άνεσης (Fanger, 1972, McGregor and Vanos, 2018).

Οι δυναμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του περιβάλλοντος, βάσει των περιβαλλοντικών παραμέτρων και αυτών που σχετίζονται με τη δραστηριότητα του ατόμου, διαμορφώνουν το πλεόνασμα ή την απώλεια θερμότητας στον ανθρώπινο οργανισμό μέσω της ακτινοβολίας, της μεταφοράς, της αγωγής, της εξάτμισης και της αναπνοής. Το καθαρό φορτίο θερμότητας το οποίο προκύπτει και στο οποίο εκτίθεται ο οργανισμός, από τη συνδυασμένη συνεισφορά των παραμέτρων αυτών, ονομάζεται θερμική επιβάρυνση (heat stress) (ACGIH, 2004, Epstein and Moran, 2006, McGregor and Vanos, 2018). Έτσι, ενώ μια ήπια ή μέτρια θερμική επιβάρυνση μπορεί να προκαλέσει δυσφορία αλλά δεν είναι επιζήμια για την ανθρώπινη υγεία, όσο αυξάνεται το επίπεδο επιβάρυνσης προσεγγίζοντας τα όρια αντοχής του οργανισμού τόσο αυξάνεται και ο κίνδυνος θερμικών διαταραχών. Η θερμική επιβάρυνση σχετίζεται με την θερμική ένταση (heat strain) αλλά ως όροι δεν ταυτίζονται μεταξύ τους. Ουσιαστικά, η θερμική ένταση ορίζεται ως το σύνολο των φυσιολογικών αντιδράσεων του οργανισμού ώστε να διατηρήσει μια σταθερή εσωτερική θερμοκρασία σώματος μέσα σε ορισμένα φυσιολογικά όρια, και είναι αποτέλεσμα της θερμικής επιβάρυνσης (ACGIH, 2004, McGregor and Vanos, 2018).

Ψυχο-Φυσιολογική κλίμακα ψήφου		Θερμική αίσθηση	Αίσθηση άνεσης	Ζώνη θερμικής επίδρασης	Heat strain index (HSI, %)
	9	Πολύ θερμό	Πολύ μη άνετα	Μη αποκατάσταση θερμότητας	80
+3	8	Θερμό	Μη άνετα		40-60
+2	7	Ζεστό	Ήπια μη άνετα	Αποκατάστα-ση εξάτμισης ιδρώτα	20
+1	6	Ήπια ζεστό			
0	5	Ουδέτερο	Άνετα	Αποκατάσταση θερμορύθμισης	0
-1	4	Ήπια δροσερό			
-2	3	Δροσερό	Ήπια μη άνετα		
-3	2	Ψυχρό		Αποκατάσταση ρίγους	
	1	Πολύ ψυχρό	Μη άνετα	Μη αποκατά-σταση ψύχους	

ΠΙΝΑΚΑΣ Α1
Θερμική αίσθηση και άνεση σε συνδυασμό με τη φυσιολογική ζώνη θερμικής επίδρασης και την αντίστοιχη επί της εκατό υγρότητα του δέρματος (Πηγή: Epstein and Moran, 2006).

Εμπειρικοί δείκτες	
Δείκτης	Περιγραφή
Effective Temperature (ET, °C) Yaglou, 1927)	Η θερμοκρασία ήρεμης κορεσμένης ατμόσφαιρας από υδρατμούς με ταχύτητα άνεμου 0.1ms-1, που έχει τις ίδιες επιπτώσεις στην ανθρώπινη αίσθηση με την υπό έρευνα ατμοσφαιρική κατάσταση σε άτομα που ηρεμούν και είναι ντυμένα ελαφριά. Αρχικά ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα ενώ αργότερα λήφθηκε υπόψη ο άνεμος και η ακτινοβολία.
Wet-Bulb Globe Temperature (WBGT, °C) (Yaglou and Minard, 1957)	Αναπαριστά την επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας στον άνθρωπο και ταξινομείται βάσει της δραστηριότητας.
Discomfort Index (DI, αδιάστατο) (Thom, 1959)	Δίνεται ως συνάρτηση της θερμοκρασίας του ξηρού και υγρού θερμομέτρου και ταξινομείται βάσει του ποσοστού δυσφορίας του πληθυσμού.
Humidex (HU, °C) (Masterton and Richardson, 1979)	Η θερμοκρασία που αισθάνεται ο άνθρωπος στο εξωτερικό περιβάλλον, ως συνάρτηση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα.

ΠΙΝΑΚΑΣ Α2
Επιλεγμένοι εμπειρικοί θερμικοί δείκτες.

Λογικοί Δείκτες	
Δείκτης	Περιγραφή
Heat Stress Index (HSI, %) (Belding and Hatch, 1955)	Ο λόγος της εξάτμισης που απαιτείται για τη διατήρηση της θερμικής ισορροπίας του οργανισμού προς τη μέγιστη εξάτμιση στο πραγματικό περιβάλλον.
Predicted Mean Vote (PMV, αδιάστατο) (Fanger, 1972)	Η μέση προβλεπόμενη ψήφος μιας μεγάλης ομάδας ατόμων ως προς τη θερμική αίσθηση, ως συνάρτηση της δραστηριότητας, της ενδυμασίας, της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας του αέρα, της σχετικής ταχύτητας του ανέμου και της μέσης θερμοκρασίας ακτινοβολίας.
Outdoor Standard Effective Temperature (OUT_SET*, °C) (Pickup and de Dear, 2000)	Η ισοδύναμη θερμοκρασία ενός ιδεατού περιβάλλοντος όπου ο άνθρωπος βιώνει την ίδια εφίδρωση και διαμορφώνει την ίδια θερμοκρασία δέρματος με το υπό εξέταση περιβάλλον. Συνθήκες ιδεατού περιβάλλοντος: Tmrt=Ta, v=0.15ms-1, f=50%.
Physiologically Equivalent Temperature (PET, °C) (Mayer and Höppe, 1987, Höppe, 1999)	Η ισοδύναμη θερμοκρασία σε ένα ιδεατό εσωτερικό περιβάλλον όπου η θερμική ισορροπία στο ανθρώπινο σώμα διατηρείται με τη θερμοκρασία δέρματος και πυρήνα ίσες με εκείνες του υπό εξέταση περιβάλλοντος (εσωτερικό ή εξωτερικό). Συνθήκες ιδεατού εσωτερικού περιβάλλοντος: Tmrt=Ta, v=0.1ms-1, VPa=12hPa, Icl = 0.9 clo και ελαφρά δραστηριότητα.
Heat Load (HL, αδιάστατο) (Błażejczyk, 1994, 2001, 2006)	Το φορτίο του θερμορυθμιστικού συστήματος του ανθρώπινου οργανισμού λόγω της έντασης των διαδικασιών προσαρμογής, ως συνδυασμός τριών βασικών ροών: της καθαρής αποθηκευόμενης θερμότητας, της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας και της τυρβώδους ανταλλαγής λανθάνουσας θερμότητας.
Water Loss Index (SW, gh-1) (Błażejczyk, 1994, 2001, 2006)	Η απώλεια ύδατος μέσω της δυνητικής απώλειας θερμότητας λόγω εξάτμισης στο ανθρώπινο σώμα στο υπό εξέταση περιβάλλον, με τα όρια τιμών να εξαρτώνται από το επίπεδο δραστηριότητας και το βαθμό εγκλιματισμού.
Universal Thermal Climate Index (UTCI, °C) (COST Action 730, Jendritzky et al., 2012, Bröde et al., 2012)	Η θερμοκρασία του αέρα σε ένα ιδεατό περιβάλλον όπου προκαλεί την ίδια φυσιολογική αντίδραση στον οργανισμό όπως το υπό εξέταση περιβάλλον. Συνθήκες ιδεατού περιβάλλοντος: Tmrt=Ta, v=0.5ms-1 στα 10m, VPa αναφέρεται σε υγρασία 50% ενώ για υψηλές θερμοκρασίες λαμβάνεται σταθερή 20hPa, η δραστηριότητα αναφέρεται σε άνθρωπο που περπάτα με 1.1ms-1 και η αντίσταση της ενδυμασίας προσδιορίζεται ως συνάρτηση της Ta.

ΠΙΝΑΚΑΣ Α3
Επιλεγμένοι λογικοί θερμικοί δείκτες.

Β.1.4.
Θερμικοί δείκτες (ή βιοκλιματικοί δείκτες)

Η μελέτη της επίδρασης του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος ολοκληρωτικά στον άνθρωπο είναι εξαιρετικά πολύπλοκη διότι πρέπει να συμπεριλάβει τόσο τις σχετικές συνιστώσες των μετεωρολογικών παραμέτρων όσο και τις ανθρώπινες λειτουργίες, μέσω των οποίων ο ανθρώπινος οργανισμός αντιδρά και προσαρμόζεται συνεχώς στο εκάστοτε περιβάλλον. Επιπλέον, η επίδραση αυτή δεν δύναται να περιγραφή αποκλειστικά ως συνάρτηση μιας και μόνης μετεωρολογικής παραμέτρου διότι το ανθρώπινο σώμα δεν διαθέτει μεμονωμένους αισθητήρες για την αντίληψη της κάθε κλιματικής παραμέτρου, αλλά μέσω των θερμοϋποδοχών ρυθμίζει τη θερμοκρασία του δέρματος και τη ροή του αίματος που διέρχεται από τον υποθάλαμο (Höppe, 1999). Το γεγονός αυτό οδήγησε στην ανάπτυξη πληθώρας δεικτών οι οποίοι συνδυάζουν περισσότερες παραμέτρους σε μια τιμή, όπου με τη σειρά της ταξινομείται βάσει της αίσθησης και της φυσιολογικής αντίδρασης του οργανισμού (De Freitas and Grigorieva, 2015, 2017).

Σε αυτή τη βάση οι δείκτες διακρίνονται σε δυο γενικές κατηγορίες: τους εμπειρικούς (empirical or simple indices) και τους λογικούς (rational indices) (McGregor and Vanos, 2018). Οι εμπειρικοί δείκτες αναπτύχθηκαν ιδιαίτερα το πρώτο μισό του 20ου αιώνα και περιορίζονται στον υπολογισμό του συνδυαζόμενου αποτελέσματος της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας του αέρα και της ταχύτητας του ανέμου στη θερμική αίσθηση του ατόμου, κυρίως για καθιστική δραστηριότητα (Πίνακας Α2) (De Freitas and Grigorieva, 2015, 2017, McGregor and Vanos, 2018). Επιπλέον, οι δείκτες αυτοί διακρίνονται ανάλογα με τις θερμοκρασιακές συνθήκες, σε δείκτες που αναφέρονται στο ψυχρό περιβάλλον ή στο θερμό περιβάλλον. Οι πρώτοι συνδυάζουν την θερμοκρασία του αέρα και την ταχύτητα του ανέμου, όπως οι δείκτες αποψύξεως, για να περιγράψουν τα απαγόμενα ποσά θερμότητας από τον ατμοσφαιρικό αέρα στη μονάδα του χρόνου ανά μονάδα επιφάνειας του σώματος, ενώ οι δεύτεροι συνδυάζουν τη θερμοκρασία και την υγρασία του αέρα για να περιγράψουν την εξάτμιση στο ανθρώπινο σώμα (De Freitas and Grigorieva, 2015, 2017, McGregor and Vanos 2018).

Σε αντίθεση, οι λογικοί δείκτες στηρίζονται στη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου σώματος έχοντας φυσικό και θερμοφυσιολογικό υπόβαθρο (Πίνακας Α3). Ταυτόχρονα, εξετάζουν όλες τις σχετιζόμενες μετεωρολογικές παραμέτρους καθώς, επίσης, το επίπεδο της δραστηριότητας, την ενδυμασία και τα ανθρωπομετρικά χαρακτηριστικά, όπως το ύψος, το βάρος, την ηλικία και το φύλο.

Το γεγονός της ύπαρξης πληθώρας δεικτών οδήγησε την Παγκόσμια Βιομετεωρολογική Εταιρεία (International Society of Biometeorology, ISB) στα πλαίσια της δράσης COST Action 730, υπό την αιγίδα του Παγκόσμιου Οργανισμού Μετεωρολογίας (World Meteorological Organization, WMO), στην ανάπτυξη του δείκτη Universal Thermal Climate Index (UTCI), ώστε να αποτελέσει πρότυπο δείκτη για το εξωτερικό περιβάλλον (Πίνακας Α3). Ο δείκτης περιλαμβάνει θερμοφυσιολογικό υπόβαθρο σε όλο το εύρος των θερμικών ανταλλαγών με το περιβάλλον ενώ είναι εφαρμόσιμος σε όλα τα κλίματα, τις εποχές και τις κλίμακες ενώ ταυτόχρονα αποτελεί χρήσιμο εργαλείο εφαρμογών στη βιομετεωρολογία του ανθρώπου (Jendritzky et al., 2012, Bröde et al., 2012).

Μοντέλο	Δείκτης
Μοντέλο άνεσης του Fanger (Fanger, 1972)	PMV, PPD
Μοντέλο 24-κόμβων του σώματος (Stolwijk, 1971)	-
Μοντέλο 2-κόμβων του σώματος (Gagge et al., 1971, 1986)	ET*, SET*
Klima Michel Model (KMM) (Jendritzky et al., 1979, 1990)	PMV, PT
Munich Energy-balance Model for Individuals (MEMI) Instationary Munich Energy-balance (IMEM) (Höppe, 1984, 1993, 1999)	PET
COMfort formulA (COMFA) (Brown and Gillespie, 1986)	-
Man-ENvironment heat EXchange model (MENEX) (Błażejczyk, 1994, 2001, 2005, 2006)	HL, SW, STI, PhS, PST
Μοντέλο 16-κόμβων του σώματος, τροποποιημένο μοντέλο του Stolwijk (Huizenga et al., 2001)	-
Το τροποποιημένο μοντέλο COMFA για άτομα που πραγματοποιούν φυσική δραστηριότητα (Kenny et al., 2009a, 2009b)	-
Μαθηματικό προγνωστικό μοντέλο της θερμορύθμισης (Fiala et al., 2001, 2012, Jendritzky et al., 2012, Bröde et al., 2012)	UTCI

ΠΙΝΑΚΑΣ Α4
Επιλεγμένα μοντέλα θερμικής ισορροπίας.

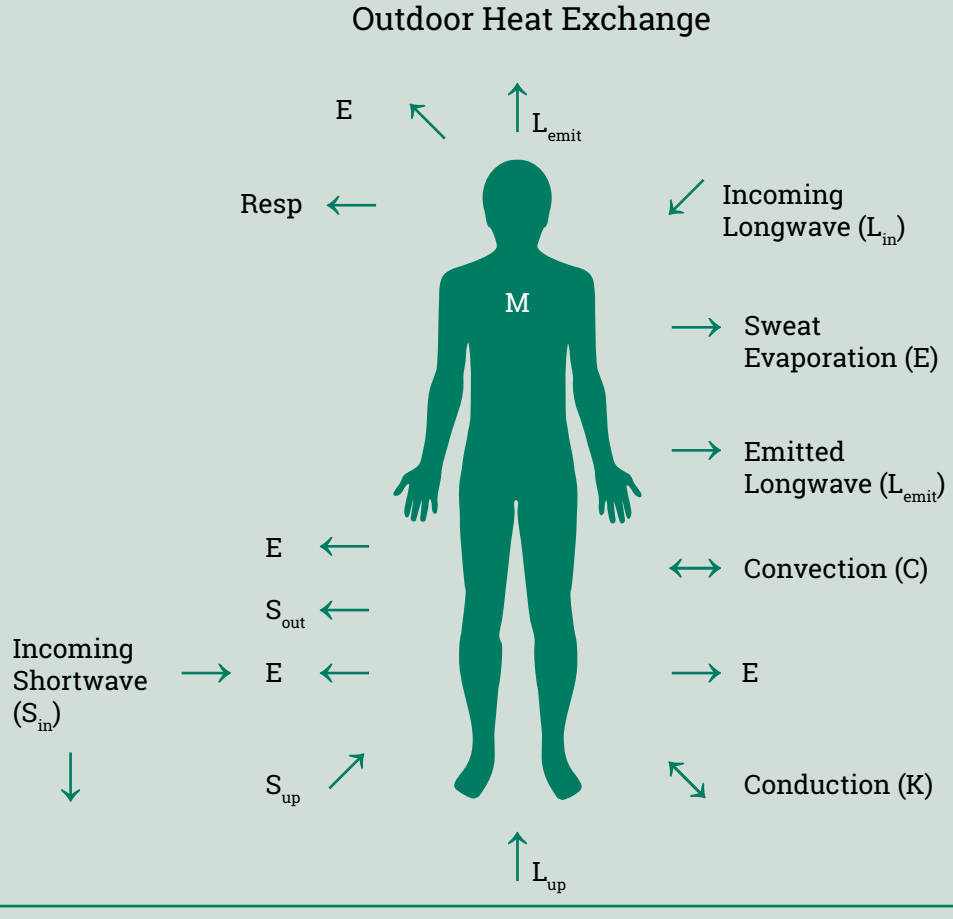
B.1.5.
Μοντέλα και εξίσωση θερμικού ισοζυγίου

Με στόχο τη διατήρηση μιας σταθερής εσωτερικής θερμοκρασίας μέσα σε ορισμένα φυσιολογικά όρια, το ανθρώπινο σώμα βρίσκεται σε μια συνεχή ανταλλαγή θερμότητας με το περιβάλλον (McGregor and Vanos, 2018) (Εικόνα Α3). Οι ροές θερμότητας από και προς το ανθρώπινο σώμα διέπονται από τους θεμελιώδεις νόμους της θερμοδυναμικής και περιγράφονται από την γενικευμένη εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου:

$$M+C+R+L+E_d+E_{sw}+E_{res}+E_{rel}+K_d=S$$

όπου M η παραγωγή θερμότητας από το μεταβολισμό η οποία συνίσταται στο βασικό ρυθμό μεταβολισμού, στην ελεύθερη παραγωγή ενέργειας από το μεταβολισμό λόγω της δραστηριότητας και στο φόρτο της δραστηριότητας, C η τυρβώδη ανταλλαγή αισθητής θερμότητας, R η ροή θερμότητας μέσω της απορροφούμενης ηλιακής ακτινοβολίας, L η ροή θερμότητας μέσω της μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία, E_d η ανταλλαγή θερμότητας μέσω διάχυσης των υδρατμών, E_{sw} η ροή θερμότητας λόγω εξάτμισης του ιδρώτα, E_{res} η ξηρή απώλεια θερμότητας από την αναπνοή, E_{rel} η λανθάνουσα απώλεια θερμότητας από την ύγρανση του εισπνεόμενου αέρα, K_d η ροή θερμότητας μέσω αγωγής και S η καθαρή αποθηκευόμενη θερμότητα, με όλες τις ροές εκφρασμένες σε Wm^{-2}.

Όλα τα μοντέλα θερμικής ισορροπίας βασίζονται στη γενικευμένη εξίσωση του θερμικού ισοζυγίου, με τις διαφορές τους να εντοπίζονται είτε στους συντελεστές που υπεισέρχονται στον υπολογισμό των ροών, είτε στην παραμετροποίηση των θερμοφυσιολογικών παραμέτρων, είτε στο υποκείμενο θερμοφυσιολογικό μοντέλο με το οποίο είναι συζευγμένα (Πίνακας Α4).



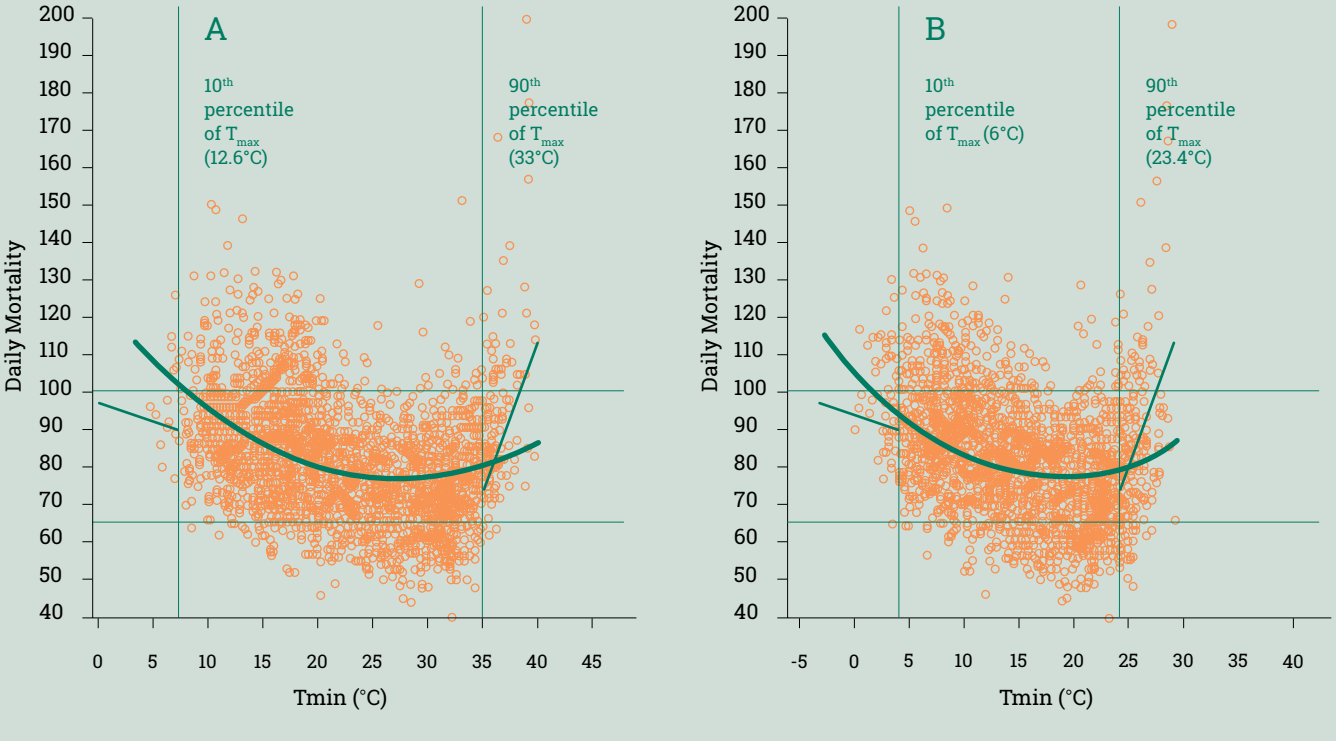
ΕΙΚΟΝΑ Α3
Σχηματική απεικόνιση των ενεργειακών ροών μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος (Πηγή: McGregor and Vanos, 2018).

B.2
Σύνδεση ατμοσφαιρικού περιβάλλοντος με τη θνησιμότητα, τη νοσηρότητα και τη θερμική άνεση

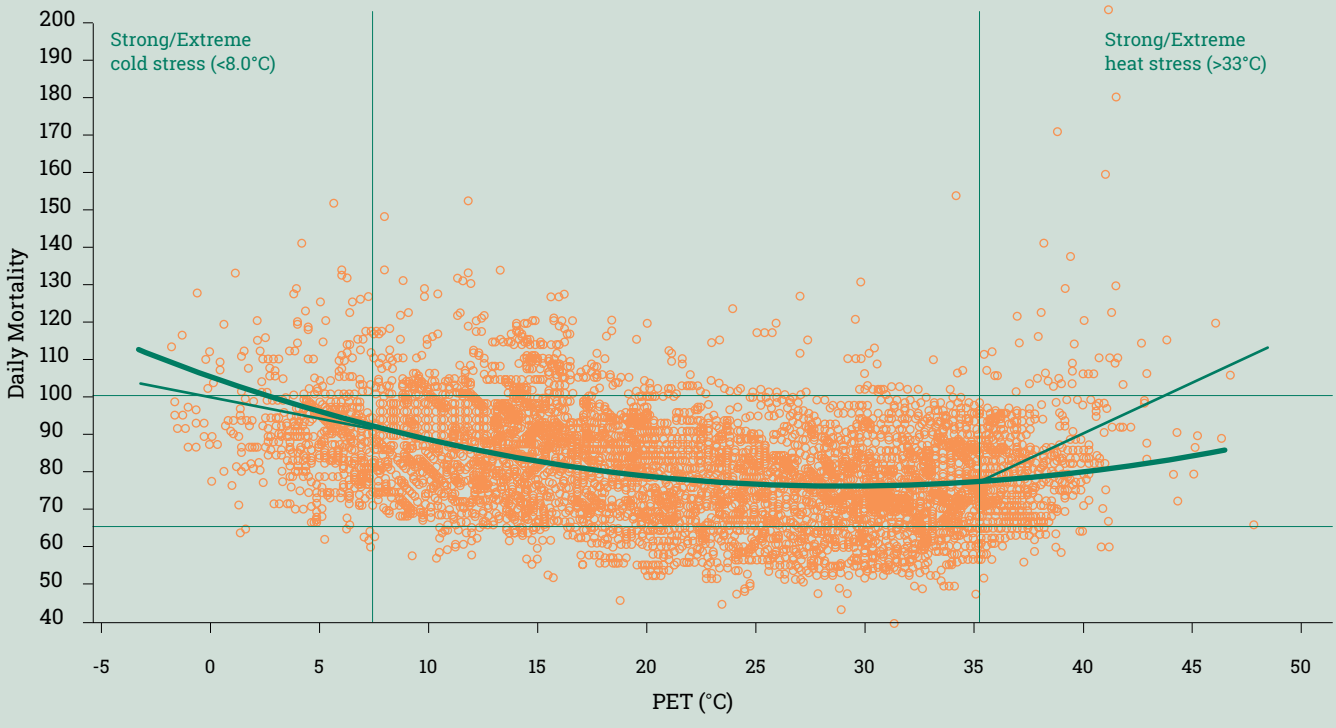
Οι Nastos and Matzarakis (2012) μελέτησαν τη σχέση μεταξύ της ημερήσιας θνησιμότητας και των θερμικών συνθηκών, όπως αυτές αποτυπώνονται από την ημερήσια μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα καθώς και από τους θερμικούς δείκτες PET (Physiologically Equivalent Temperature) και UTCI (Universal Thermal Climate Index). Η μελέτη χρησιμοποίησε δεδομένα θνησιμότητας από βιολογικά αίτια (organic-cause mortality) για την περίοδο 1992-2001 στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι η σχέση μεταξύ θνησιμότητας και θερμοκρασίας περιβάλλοντος/θερμικών δεικτών είναι μη γραμμική. Συγκεκριμένα, η σχέση της θνησιμότητας με τη θερμοκρασία και τον PET παρουσιάζει ένα μοτίβο U ενώ η σχέση με τον UTCI ακολουθεί ένα μοτίβο J (Εικόνες Α4, Α5).

Παρότι η ημερήσια θνησιμότητα μειώνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, το αποτέλεσμα αυτό αντιστρέφεται πέραν ενός κρίσιμου σημείου. Όταν η ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία υπερβεί τους 23 °C, η ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία τους 33 °C και ο PET τους 35 °C (πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση, strong heat stress) παρατηρείται μια απότομη αύξηση της ημερήσιας θνησιμότητας, με όλες τις τάσεις να είναι στατιστικά σημαντικές (p= 0.000) (Εικόνες Α4, Α5) (Nastos and Matzarakis, 2012). Σε αντίστοιχη μελέτη για την περιοχή της Αθήνας βρέθηκε ότι η θνησιμότητα ατόμων άνω των 65 ετών αυξάνεται όταν η μέγιστη θερμοκρασία υπερβεί τους 35 °C (Paravantis et al., 2017). Τα αποτελέσματα αυτά αποκαλύπτουν ότι τα ακραία επεισόδια καύσωνα συνδέονται με υψηλότερες ημερήσιες συχνότητες θνησιμότητας. Επίσης, κατά τη διάρκεια της θέρμης περιόδου, το χρονικό διάστημα απόκρισης της θερμοκρασίας και των θερμικών δεικτών στη θνησιμότητα βρέθηκε να είναι 1 ημέρα (Nastos and Matzarakis, 2012).

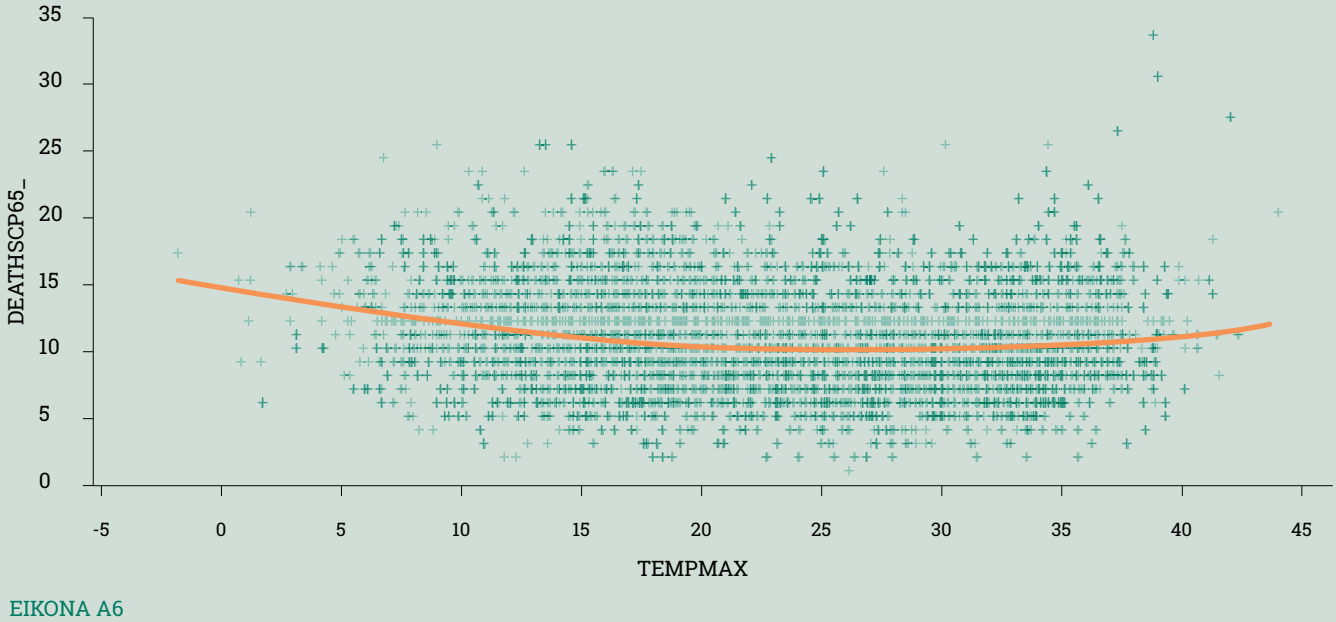
Η μελέτη των Paravantis et al. (2017) εστιάζει στις επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών του αέρα και των επεισοδίων καύσωνα στην καρδιαγγειακή και αναπνευστική θνησιμότητα ατόμων άνω των 65 ετών για τα έτη 2002 έως 2012 στην περιοχή της Αθήνας. Η συσχέτιση του ημερήσιου αριθμού καρδιαγγειακής και αναπνευστικής θνησιμότητας ατόμων άνω των 65 ετών με την θερμοκρασία του αέρα επιβεβαίωσε μια καμπύλη απόκρισης σχήματος U στην έκ-



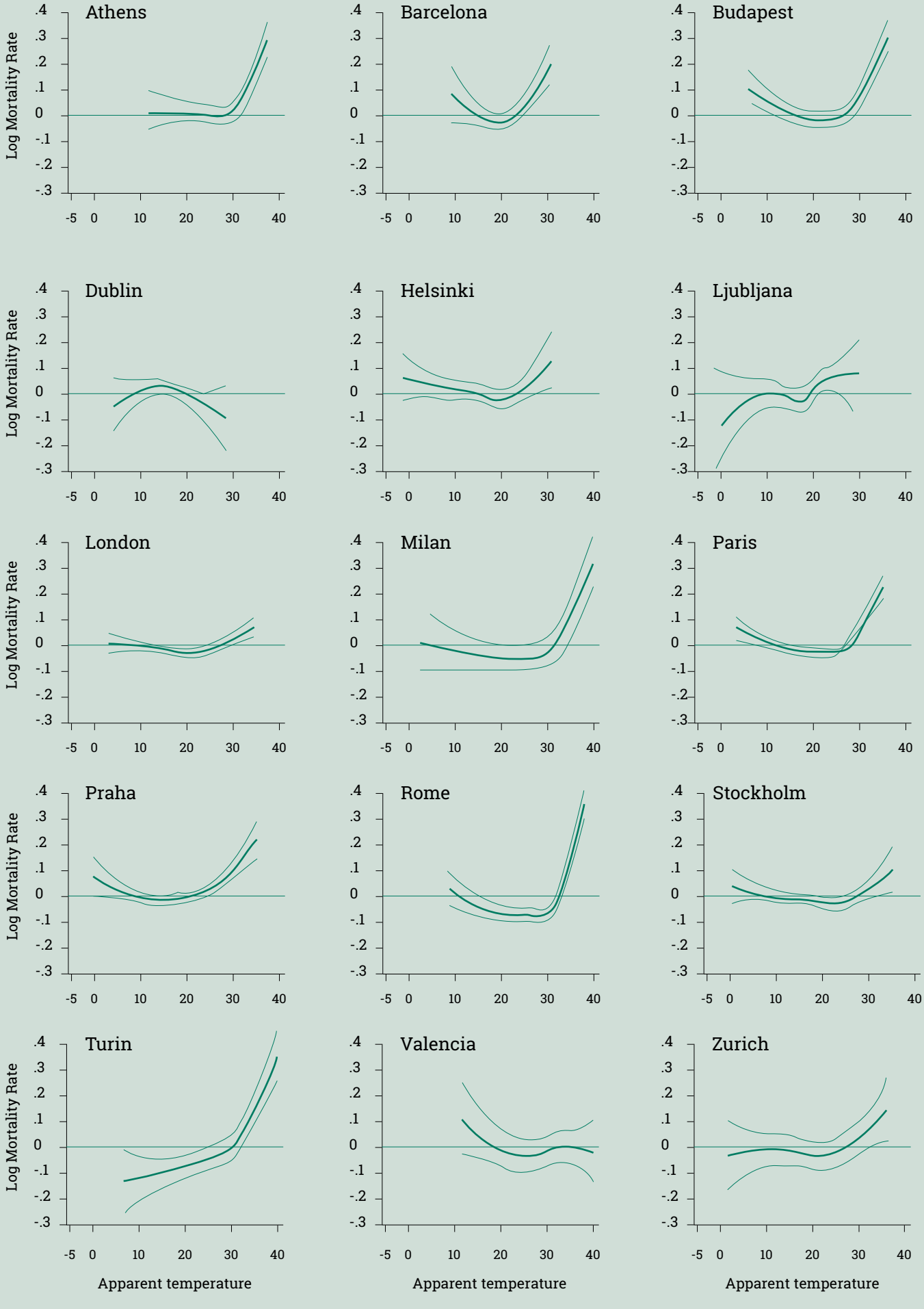
ΕΙΚΟΝΑ Α4
Διάγραμμα διασποράς της ημερήσιας θνησιμότητας σε σχέση με την α) ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία του αέρα και β) ημερήσια ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα εφαρμόζοντας παράλληλα πολυωνυμική προσαρμογή (Πηγή: Nastos and Matzarakis, 2012).



ΕΙΚΟΝΑ Α5
Διάγραμμα διασποράς της ημερήσιας θνησιμότητας σε σχέση με το θερμικό δείκτη PET (Physiologically Equivalent Temperature) εφαρμόζοντας παράλληλα πολυωνυμική προσαρμογή (Πηγή: Nastos and Matzarakis, 2012).



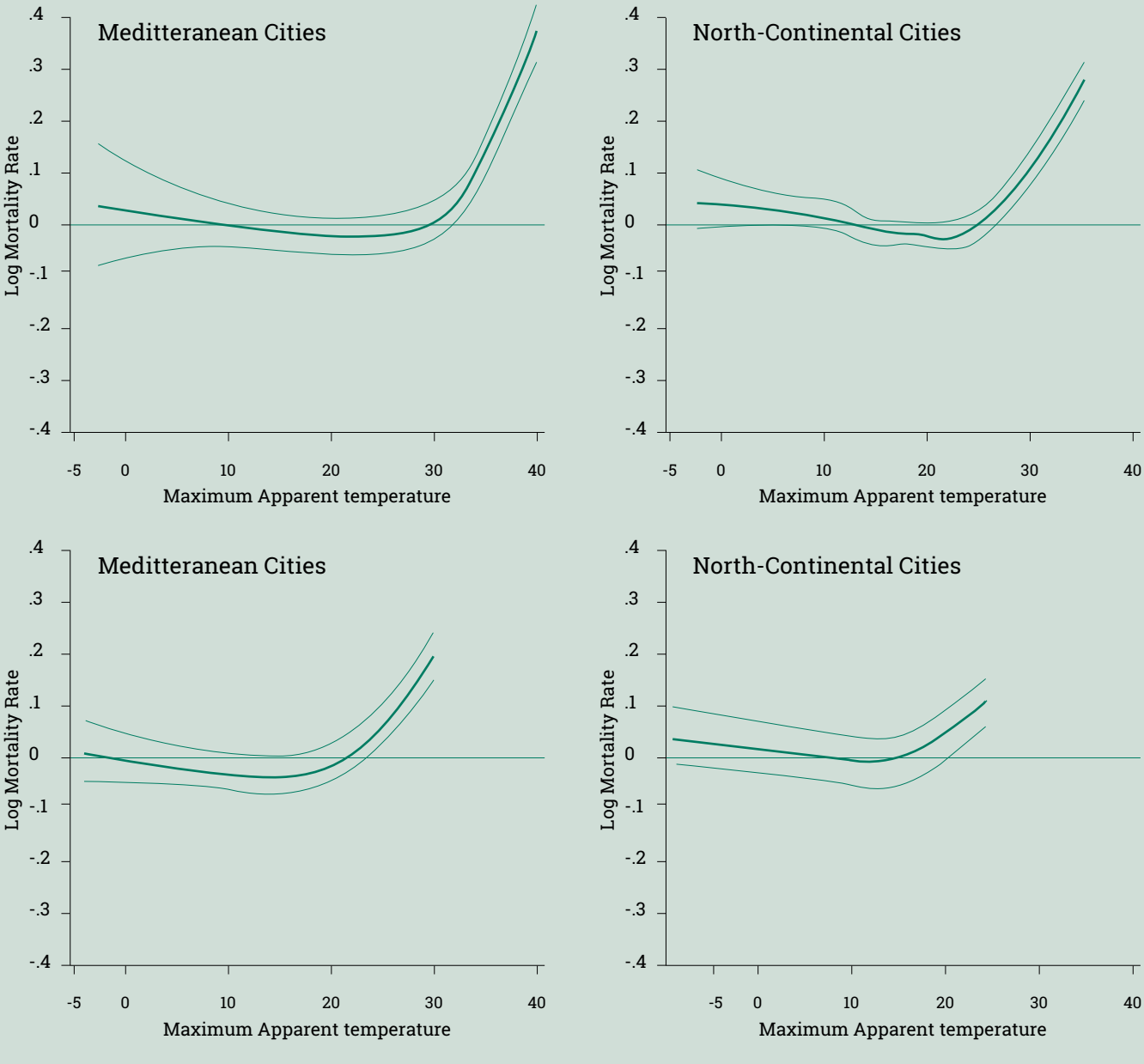
ΕΙΚΟΝΑ Α6
Ημερήσιος αριθμός καρδιαγγειακής και αναπνευστικής θνησιμότητας ατόμων άνω των 65 ετών ανά μήνα ως συνάρτηση της μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας (Πηγή: Paravantis et al., 2017).



ΕΙΚΟΝΑ Α7
Καμπύλες παλινδρόμησης (ζώνη εμπιστοσύνης 95%) που περιγράφουν, σε λογαριθμική κλίμακα, τη σχέση της ημερήσιας μέγιστης τιμής του θερμικού δείκτη AT (apparent temperature, φαινόμενη θερμοκρασία) και της φυσικής θνησιμότητας σε 15 Ευρωπαϊκές πόλεις (Πηγή: Baccini et al., 2008).

θεση, με χαμηλά επίπεδα θνησιμότητας σε μέτρια θερμοκρασιακά εύρη (20 °C -30 °C) (Εικόνα Α6). Σε υψηλές (35 °C) και πολύ υψηλές θερμοκρασίες (40 °C) αέρα, η θνησιμότητα αυξάνεται κατά 20% έως 35% αντιστοίχως, με την τάση να είναι στατιστικά σημαντική. Η ανάλυση κατά συστάδες (cluster analysis) αποκάλυψε τον υψηλότερο αριθμό θνησιμότητας κατά 23% για τη συστάδα που συγκροτούσε τις πιο ζεστές ημέρες και κατά 20.6% για τη συστάδα που συγκροτούσε συνθήκες επεισοδίου καύσωνα (Paravantis et al., 2017).

Στα πλαίσια του ερευνητικού έργου PHEWE (Assessment and Prevention of acute Health Effects of Weather conditions in Europe) (Michelozzi et al., 2007) διερευνήθηκε εκτός των άλλων, η σχέση μεταξύ του θερμικού δείκτη AT (apparent temperature, φαινόμενη θερμοκρασία) και της θνησιμότητας κατά τη θερμή περίοδο του έτους (Απρίλιος - Σεπτέμβριος) σε 15 ευρωπαϊκές πόλεις, μια εκ των οποίων και η Αθήνα (Baccini et al., 2008). Τα δεδομένα θνησιμότητας αφορούσαν ημερήσιο αριθμό θανάτων από όλες τις αιτίες, εξαιρουμένων των εξωτερικών αιτίων, των καρδιαγγειακών παθήσεων και των αναπνευστικών παθήσεων. Τα δεδομένα θνησιμότητας αφορούσαν τη χρονική περίοδο μεταξύ 1992-1996. Η σχέση μεταξύ της μέγιστης τιμής του θερμικού δείκτη AT (apparent temperature, φαινόμενη θερμοκρασία) (υστέρηση 0-3) και του δείκτη θνησιμότητας (log mortality rate) είναι κυρίως της μορφής V ή J ανάλογα με την πόλη (Εικόνα Α7).

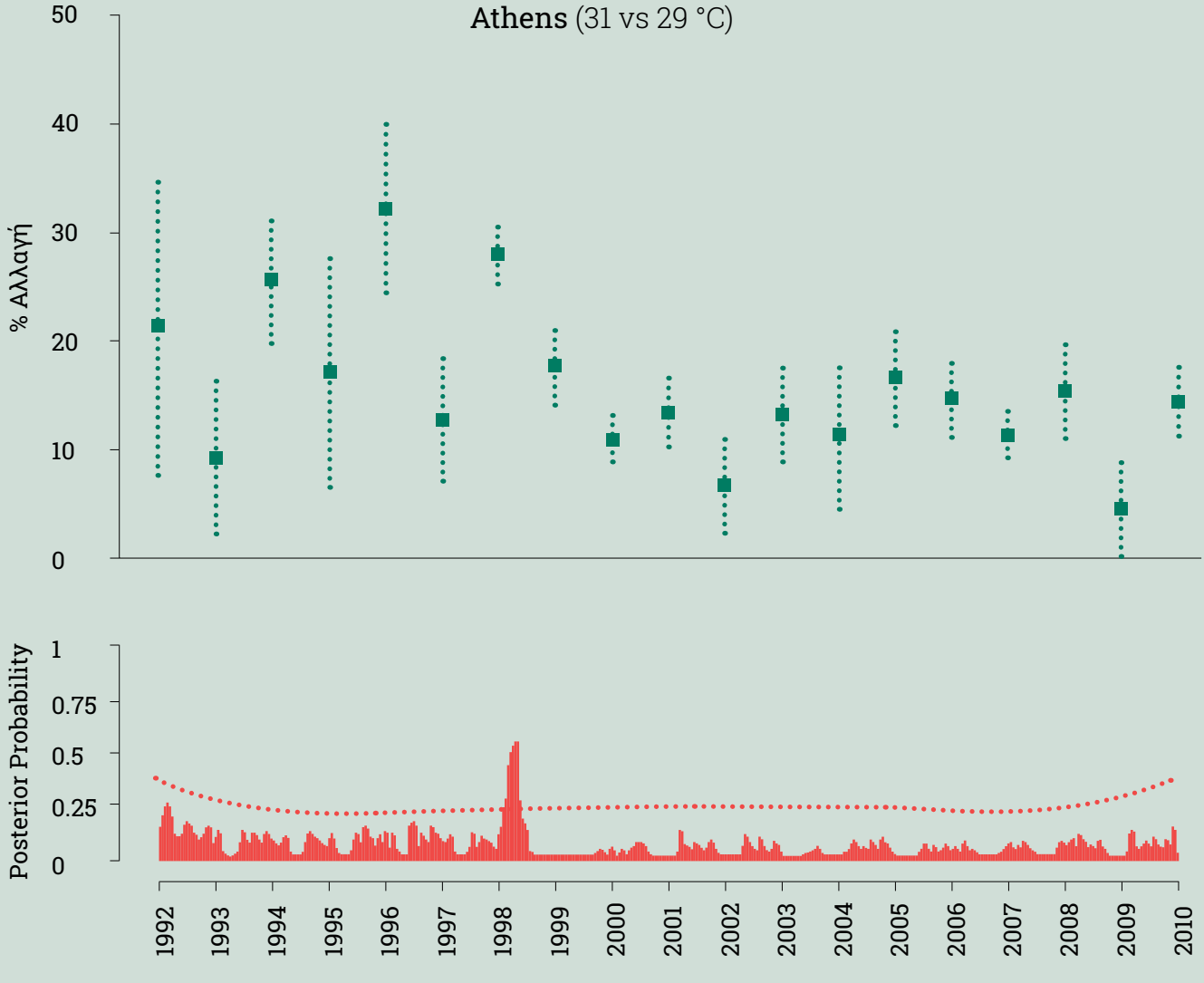


ΕΙΚΟΝΑ Α8
Καμπύλες μετα-ανάλυσης (ζώνη εμπιστοσύνης 95%) που περιγράφουν, σε λογαριθμική κλίμακα, τη σχέση της ημερήσιας μέγιστης και ελάχιστης τιμής του θερμικού δείκτη AT (apparent temperature, φαινόμενη θερμοκρασία) και της φυσικής θνησιμότητας για μεσογειακές και βόρειες ηπειρωτικές πόλεις (Πηγή: Baccini et al., 2008).

City	Study Period	Total Deaths		Mean Temperature	
		Mean Daily Value	Mean Trend	Mean Daily Value	Mean Trend (°C)
Helsinky	1990-2010	17	0.0	12.5	+ 0.09
Stockholm	1990-2010	29	-0.1	13.2	+ 0.07
London	1990-2010	144	-2.7	15.4	+ 0.03
Paris	1991-2009	108	-1.4	17.1	+ 0.05
Budapest	1992-2010	65	-1.0	18.4	+ 0.03
Rome	1992-2010	53	+0.2	20.9	+ 0.06
Barcelona	1991-2009	36	-1.0	20.8	+ 0.14
Valencia	1994-2010	15	0.0	22.3	- 0.02
Athens	1992-2010	73	+0.6	24.1	+ 0.07

* Helsinky metropolitan area includes 4 cities: Helsinky, Espoo, Vantaa and Kauniainen.

ΠΙΝΑΚΑΣ Α5
Συνολική θνησιμότητα, μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα και αντίστοιχες μέσες τάσεις σε 9 Ευρωπαϊκές πόλεις (1990-2010) (Πηγή: Scortichini et al., 2018).



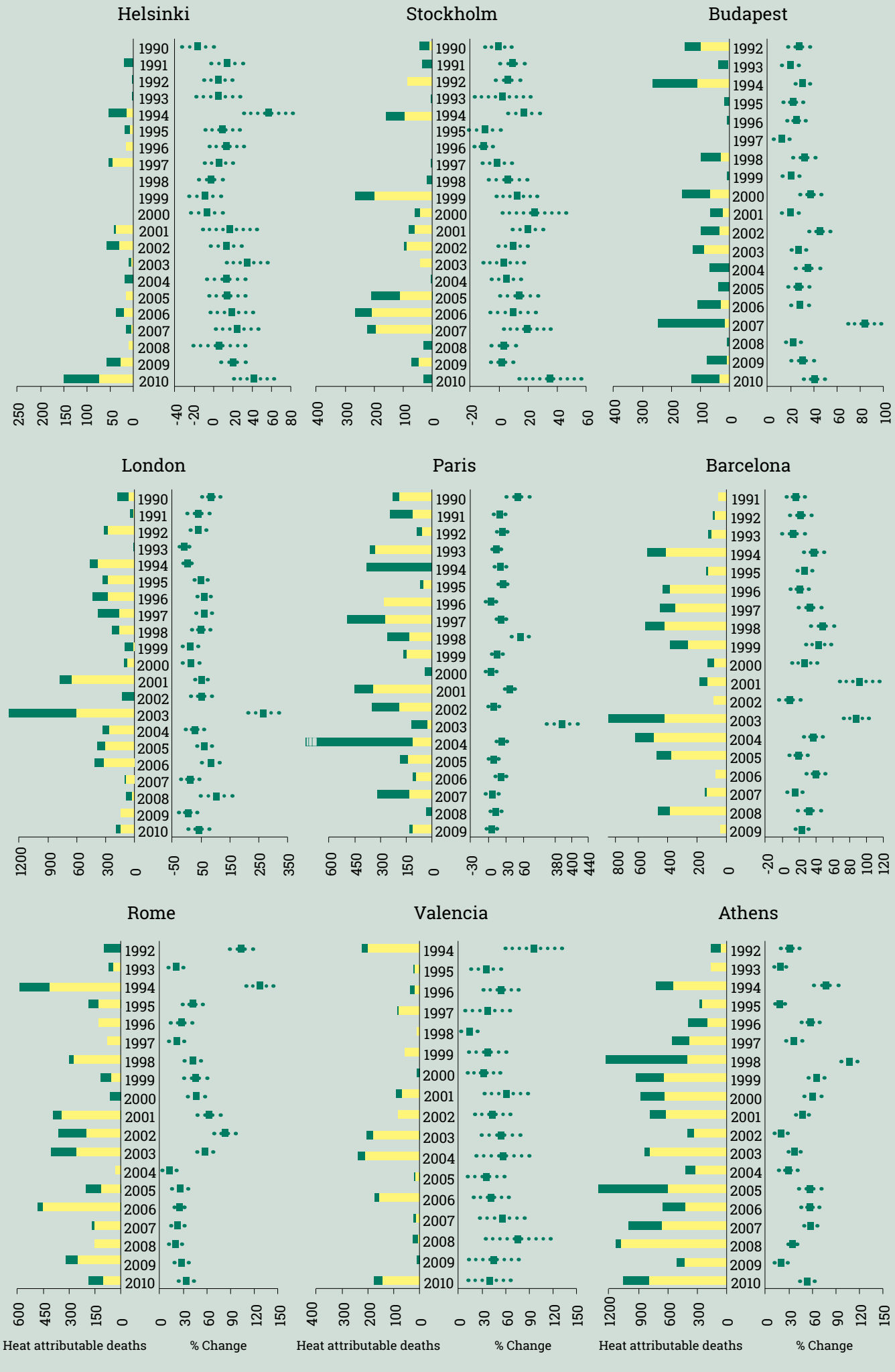
ΕΙΚΟΝΑ Α9
Επίδραση της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στη θνησιμότητα στην Αθήνα ανά έτος για την περίοδο 1992-2010.
Άνω γράφημα: Επιδράσεις που εκφράζονται ως ποσοστιαία μεταβολή της θνησιμότητας για αύξηση κατά 2 °C της μέσης θερμοκρασίας πέραν του ορίου (29 °C). Κάτω γράφημα: Ύστερη πιθανότητα ενός σημείου αλλαγής κάθε εκτιμώμενης παρατήρησης από την ανάλυση Bayesian Change Point. Η κόκκινη διακεκομμένη γραμμή αντιπροσωπεύει τη στατιστική σημαντικότητα (Πηγή: Scortichini et al., 2018).

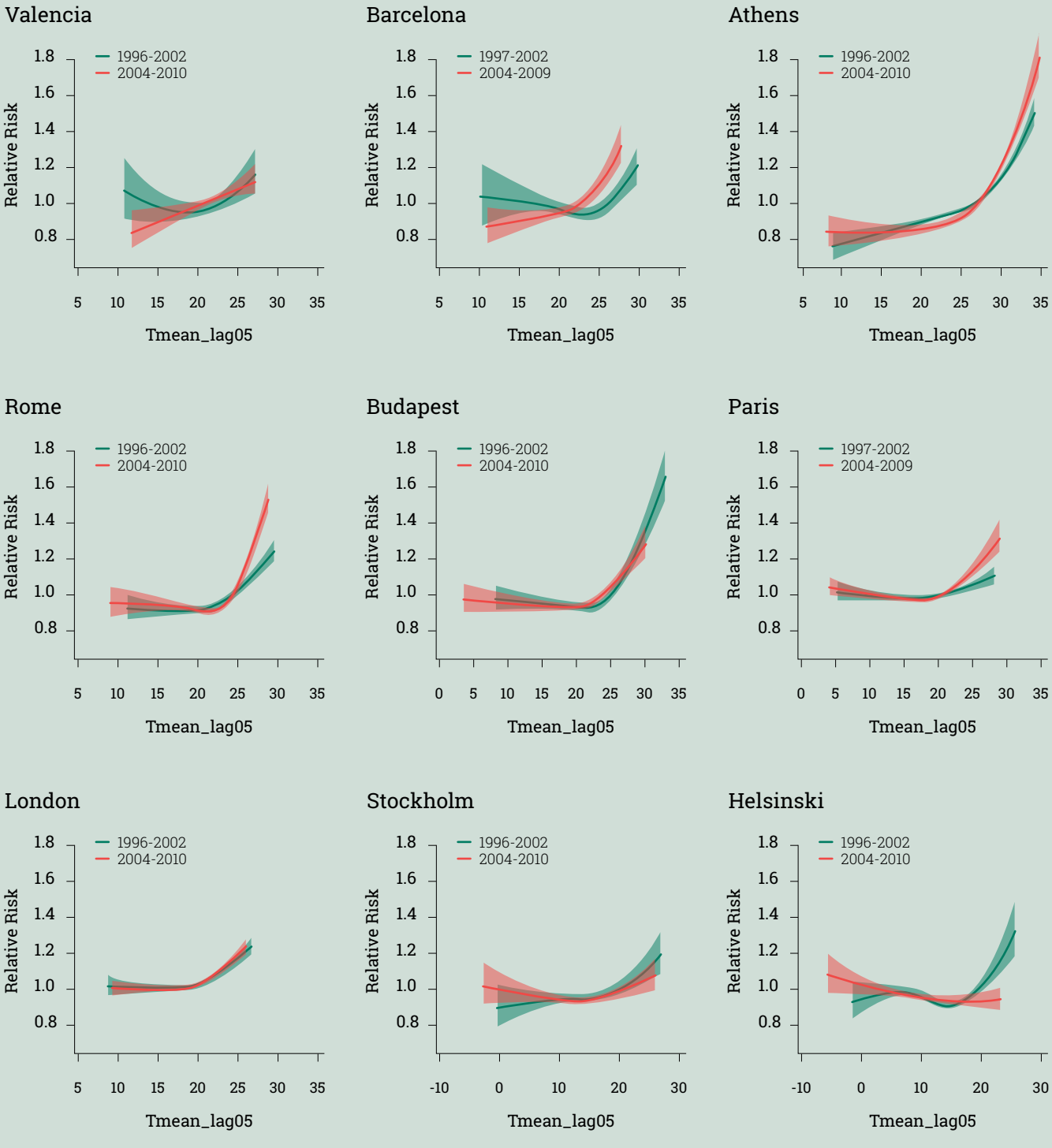
Για την Αθήνα συγκεκριμένα, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μια σχέση της μορφής J, με τον δείκτη θνησιμότητας να αυξάνεται σημαντικά όταν ο θερμικός δείκτης AT υπερβεί τους 30 °C (Εικόνα Α7). Η εκτιμώμενη συνολική μεταβολή της φυσικής θνησιμότητας που συνδέεται με αύξηση της μέγιστης τιμής του θερμικού δείκτη AT κατά 1 °C πάνω από το κατώτατο όριο της κάθε πόλης διαμορφώνεται σε 3.12% στην περιοχή της Μεσογείου (Εικόνα Α8) (Baccini et al., 2008).

Η πρόσφατη μελέτη των Scortichini et al. (2018) εστιάζει στις διαχρονικές διακυμάνσεις της επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος σε ένα σταθερό εύρος θερμοκρασίας, στη θνησιμότητα σε 9 ευρωπαϊκές πόλεις για την περίοδο 1990-2010. Τα δεδομένα θνησιμότητας που αναλύθηκαν αφορούσαν θανάτους από όλες τις φυσικές αιτίες. Για την περίπτωση της Αθήνας, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μια ελαφρά αυξανόμενη τάση της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα (+0.07), με τη θνησιμότητα να παρουσιάζει επίσης μια αυξητική τάση της τάξης του +0.6 για την περίοδο 1992-2010 (Πίνακας Α5).

Μια μεταβολή στην διαχρονική τάση παρατηρείται για την Αθήνα και αναγνωρίζεται από την κορυφή στο γράφημα πιθανότητας BCP (Bayesian Change Point), με μια μείωση της επίδρασης μετά το 2000 (Εικόνα Α9). Η επίδραση της θερμότητας, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τις εκτιμήσεις σχετικού κινδύνου όσο και τις επιπτώσεις, είναι σαφές ότι παρουσιάζει μεγάλη μεταβλητότητα ανά έτος, κυρίως για τους αποδοτέους θανάτους. Ο μεγαλύτερος αντίκτυπος της θερμότητας από την άποψη των αποδοτέων θανάτων παρατηρείται στις μεσογειακές πόλεις (Αθήνα, Βαρκελώνη και Ρώμη) τόσο για ήπιες όσο και για ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος, ενώ στις άλλες πόλεις ο αντίκτυπος σχετίζεται κυρίως με ακραίες θερμοκρασίες (Εικόνα Α10).

Η μελέτη των Scortichini et al. (2018) δείχνει ότι η σχέση μεταξύ θερμοκρασίας αέρα και θνησιμότητας παρουσιάζει μια διαχρονική μεταβλητότητα η οποία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, με τις θερμοκρασίες κατά τη θερμή περίοδο τους έτους και την ευπάθεια του πληθυσμού να διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Σύμφωνα με τη μελέτη των de'Donato et al. (2015), η θνησιμότητα αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα, όμως ο σχετικός κίνδυνος (relative risk) έχει μειωθεί για την περίπτωση της Αθήνας την περίοδο 2004-2010 συγκριτικά με την περίοδο 1996-2002 (Εικόνα Α11). Η μείωση του σχετικού κινδύνου για την Αθήνα μεταξύ των δυο περιόδων παρατηρείται όχι μόνο για τη συνολική θνησιμότητα αλλά και όταν η ανάλυση πραγματοποιείται με ειδική ως προς την αιτία θνησιμότητα (θάνατοι σχετιζόμενοι με αναπνευστικά και καρδιαγγειακά αίτια) (Πίνακας Α6) αλλά και για την ηλικιακή κατηγορία 75+ (Εικόνα Α12).


Helsinki
Stockholm
Budapest
London
Paris
Barcelona
Rome
Valencia
Athens
Heat attributable deaths
% Change



ΕΙΚΟΝΑ Α10
Συνολική θνησιμότητα σχετιζόμενη με τη θερμότητα σε εννέα ευρωπαϊκές πόλεις ανά καλοκαίρι για την περίοδο 1990-2010. Δεξιό γράφημα: Εκτίμηση κινδύνου που αποδίδεται στη θερμότητα. Αριστερό γράφημα: Θάνατοι που αποδίδονται σε ήπια θερμότητα (γαλάζιο) και σε υπερβολική θερμότητα (μπλε) (Πηγή: Scortichini et al., 2018).

ΕΙΚΟΝΑ Α11
Μέση σχέση θερμοκρασίας-θνησιμότητας (διάστημα εμπιστοσύνης 95%) για τα έτη πριν από το 2003 (κόκκινη γραμμή) και μετά το 2003 (μπλε γραμμή) σε εννέα ευρωπαϊκές πόλεις (Πηγή: de'Donato et al., 2015).

Cities	Period	All Causes			Respiratory Causes			Cardiovascular Causes		
		RR	95% CI	P Value [a]	RR	95% CI	P Value [a]	RR	95% CI	P Value [a]
Valencia	1996-2002	1.11	1.04-1.17		0.81	0.53-1.33		1.12	0.85-1.46	
	2004-2010	1.18	1.03-1.36	0.216	1.28	0.86-1.92	0.159	1.27	0.98-1.64	0.507
Barcelona	1997-2002	1.27	1.18-1.36		1.55	1.23-1.96		1.42	1.25-1.60	
	2004-2009	1.26	1.17-1.36	0.946	1.65	1.30-2.10	0.700	1.27	1.10-1.47	0.263
Athens	1996-2002	1.63	1.53-1.75		2.10	1.72-2.56		1.79	1.64-1.96	
	2004-2010	1.35	1.29-1.42	<0.001	1.42	1.23-1.63	0.001	1.53	1.43-1.64	0.006
Rome	1996-2002	1.53	1.45-1.61		2.04	1.65-2.53		1.72	1.59-1.86	
	2004-2010	1.27	1.19-1.35	<0.001	1.64	1.29-2.08	0.180	1.32	1.19-1.46	<0.001
Budapest	1996-2002	1.29	1.22-1.37		1.07	1.76-1.50		1.97	0.88-1.06	
	2004-2010	1.33	1.27-1.40	0.451	1.52	1.24-1.87	0.082	1.44	1.35-1.53	<0.001
Paris	1997-2002	1.31	1.24-1.37		1.72	1.43-2.06		1.25	1.15-1.37	
	2004-2009	1.11	1.06-1.17	<0.001	1.26	1.02-1.55	0.026	1.04	0.95-1.15	0.006
London	1996-2002	1.20	1.16-1.25		1.26	1.15-1.39		1.23	1.15-1.30	
	2004-2010	1.18	1.12-1.23	0.429	1.35	1.19-1.53	0.413	1.22	1.13-1.32	0.958
Stockholm	1996-2002	1.10	1.04-1.17		1.25	1.01-1.54		1.07	0.98-1.17	
	2004-2010	1.12	1.06-1.19	0.628	1.25	1.02-1.53	0.999	1.17	1.07-1.27	0.157
Helsinki	1996-2002	1.02	0.93-1.12		1.42	1.05-1.92		1.00	0.87-1.15	
	2004-2010	1.24	1.14-1.35	0.003	1.06	0.68-1.65	0.287	1.18	1.02-1.35	0.111

a significance test of effect modification based on REM index

ΠΙΝΑΚΑΣ Α6
Εκτιμώμενος σχετικός κίνδυνος (relative risk, RR) (95% CI) για υψηλές θερμοκρασίες αέρα και συνολική ημερήσια θνησιμότητα καθώς και για θνησιμότητα σχετιζόμενη με αναπνευστικά και καρδιαγγειακά αίτια για όλες τις ηλικιακές κατηγορίες μεταξύ του 75ου και 99ου εκατοστημορίου της μέσης θερμοκρασίας αέρα για τις περιόδους πριν και μετά το 2003, για εννέα ευρωπαϊκές πόλεις, 1996-2010 (Πηγή: de'Donato et al., 2015).

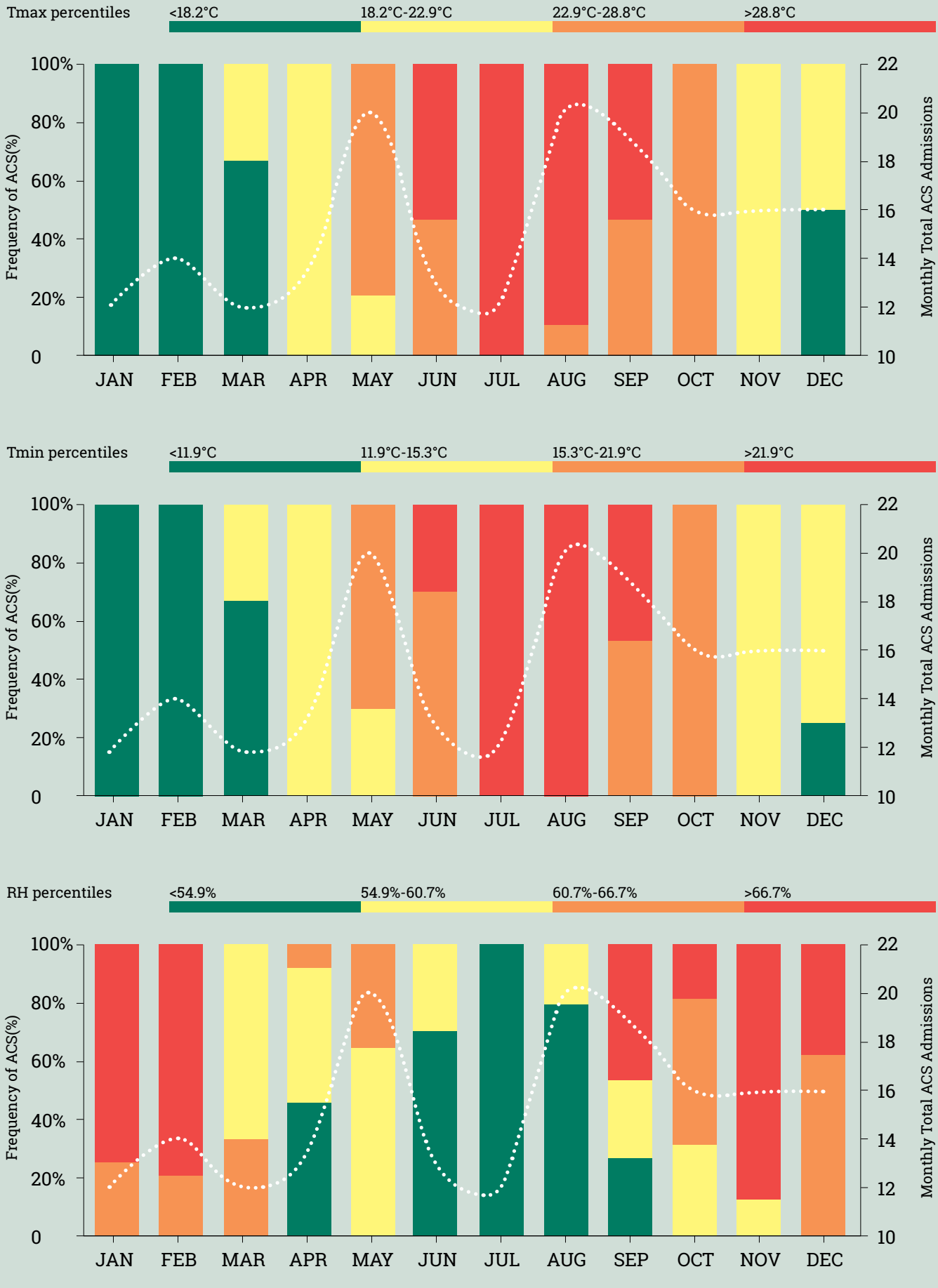
ΕΙΚΟΝΑ Α12
Εκτιμώμενος σχετικός κίνδυνος (relative risk, RR) (95% CI) για υψηλές θερμοκρασίες αέρα με τη συνολική θνησιμότητα ανά ηλικιακή κατηγορία μεταξύ του 75ου και 99ου εκατοστημορίου της μέσης θερμοκρασίας αέρα, για την περίοδο πριν από το 2003 (κόκκινη γραμμή) και μετά το 2003 (μπλε γραμμή) για εννέα ευρωπαϊκές πόλεις, 1996-2010 (Πηγή: de'Donato et al., 2015).

Σύμφωνα με τους de'Donato et al. (2015), η παρατηρούμενη μείωση στην Αθήνα δεν οφείλεται σε μέτρα που έλαβε το Δημόσιο Σύστημα Υγείας ή στην ικανότητα προσαρμογής του πληθυσμού μιας και η πόλη δεν έχει σχεδιάσει και εφαρμόσει κάποιο σχέδιο πρόληψης. Μια αιτία θα μπορούσε να είναι το γεγονός ότι μετά το ισχυρό επεισόδιο καύσωνα του 2003, το οποίο έπληξε το μεγαλύτερο τμήμα της Ευρώπης, η ατομική ευαισθητοποίηση και η προσαρμοστική ικανότητα θα μπορούσαν να αλλάξουν λόγω της μεγάλης προσοχής από το σύνολο των μέσων ενημέρωσης στις περισσότερες ευρωπαϊκές χώρες. Επίσης, η χρήση κλιματισμού μπορεί να επηρεάσει την απόκριση στη θερμότητα περιορίζοντας τις επιπτώσεις στην υγεία (de'Donato et al., 2015).

Η μελέτη των Zoumakis et al. (2011) εστίασε σε περιοχές της βόρειας Ελλάδας για να διερευνήσει τη διαχρονική επίδραση των ακραίων θερμοκρασιών στη θνησιμότητα τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο) για την περίοδο 1970-2009, λαμβάνοντας υπόψη την προσαρμογή (adaptation) του πληθυσμού στο τοπικό κλίμα. Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν ότι η υπερέχουσα θνησιμότητα (excess mortality) παρουσιάζει αυξητική τάση, γεγονός που υποδηλώνει έντονη αύξηση του δείκτη θνησιμότητας (mortality rate) κατά τη διάρκεια ακραίων επεισοδίων καύσωνα, δηλαδή των χρονικών περιόδων με ισχυρή και ακραία θερμή επιβάρυνση για τον πληθυσμό (Zoumakis et al. 2011). Οι εξάρσεις της θνησιμότητας, ειδικά κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, σχετίζονται με ακραία κύματα καύσωνα που συνέβησαν κατά τη διάρκεια εκτεταμένων θερμών περιόδων (Εικόνα Α13). Τα πιο ισχυρά από αυτά για την περίοδο 1970-2009 συνέβησαν τον Ιούλιο 1987, Ιούλιο 1988, Ιούλιο και Αύγουστο 1998, Ιούλιο 2000, Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο 2007 όπου και παρατηρούνται εξάρσεις στο δείκτη θνησιμότητας (Εικόνα Α13).

Σύμφωνα με τη μελέτη (Zoumakis et al., 2011), οι επιπτώσεις των επακόλουθων επεισοδίων καύσωνα μετά το 2007, είναι πιθανόν να έχουν μειωθεί λόγω προσαρμογής του πληθυσμού σε ένα πιο θερμό περιβάλλον. Επίσης, η μεγαλύτερη ευαισθησία του πληθυσμού στα επεισόδια καύσωνα που λαμβάνουν χώρα στις αρχές του καλοκαιριού, όπου ο πληθυσμός δεν έχει εγκλιματιστεί πλήρως στο ζεστό καιρό, είναι σε συμφωνία με το αυξημένο ποσοστό θνησιμότητας κατά τον καύσωνα του Ιουνίου 2007 σε σχέση με τον καύσωνα του Ιουλίου 2007. Τα παραπάνω βρίσκονται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Theoharatos et al. (2010) που μελέτησαν τα επεισόδια καύσωνα του 2007 στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας και οι οποίοι απέδωσαν την μείωση του αριθμού των εισαγωγών στα νοσοκομεία μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου καύσωνα στην ψυχολογική προσαρμογή (psychological adaptation) (Nikolopoulou and Lykoudis 2006), μιας και ο πληθυσμός αναμένει υψηλότερες θερμοκρασίες στα τέλη Ιουλίου από ότι τον Ιούνιο.

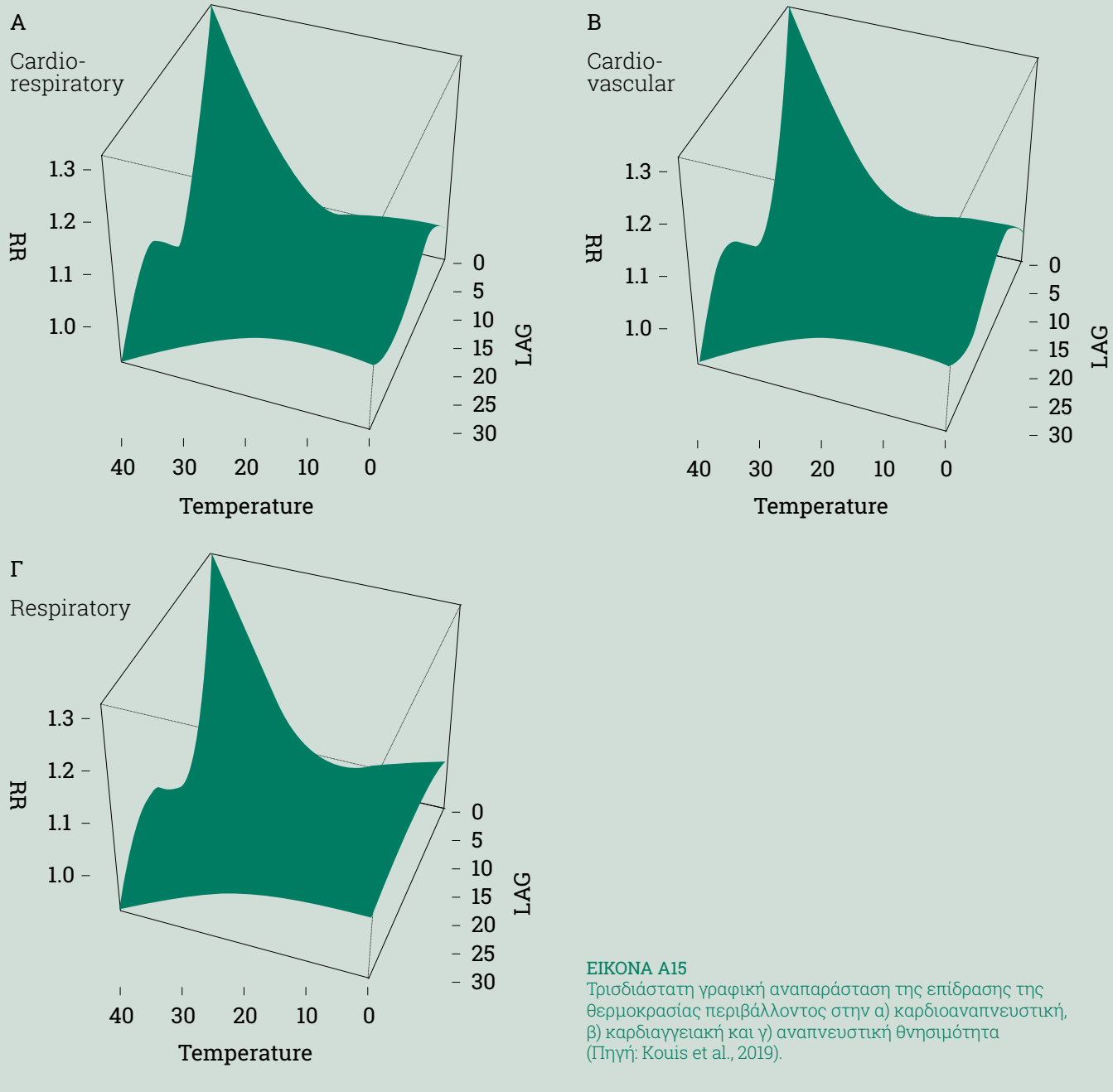
ΕΙΚΟΝΑ Α13
Διαχρονικές διακυμάνσεις τον Ιούνιο: α) συνολική θνησιμότητα (εκτός από τις εξωτερικές αιτίες) στην Ελλάδα (σταθερή γραμμή) έναντι των τιμών (× 100) της σωρευτικής μέγιστης θερμοκρασίας για τις υπερβάσεις CT30 και CT35 (γράφημα ράβδων), β) CVR-θνησιμότητα (καρδιαγγειακά, εγκεφαλοαγγειακά και αναπνευστικά-CVR) στην Ελλάδα (σταθερή γραμμή), όπου το ποσοστό θνησιμότητας (ανά 10 εκατομμύρια άνθρωποι) δίνεται ως διακεκομμένη γραμμή και γ) η απόλυτη θνησιμότητα (σταθερή γραμμή) για την περιοχή της Μακεδονίας και της Θράκης, όπου το ποσοστό θνησιμότητας (ανά 1 εκατομμύριο άτομα) δίνεται ως διακεκομμένη γραμμή και οι τιμές (× 10) της σωρευτικής μέγιστης θερμοκρασίας για τις υπερβάσεις CT30 και CT35 (γράφημα ράβδων). Ομοίως με τα παραπάνω αλλά για τον Ιούλιο (δ-ζ), τον Αύγουστο (η-ι) και το καλοκαίρι (κ) (Πηγή: Zoumakis et al., 2011).



ΕΙΚΟΝΑ Α14
Συχνότητα εισαγωγών με οξύ στεφανιαίο σύνδρομο (ACS) ως συνάρτηση α) της μηνιαίας μέγιστης θερμοκρασίας του αέρα, β) της μηνιαίας ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα και γ) της σχετικής υγρασίας, παράλληλα με την ενδοετήσια ACS στην Ιεράπετρα της Κρήτης για την περίοδο 2004-2007 (Πηγή: Nastos et al., 2013).

Σε αντίστοιχη μελέτη, οι Nastos et al. 2013 μελέτησαν την ενδοετήσια μεταβλητότητα των εισαγωγών με οξύ στεφανιαίο σύνδρομο (acute coronary syndrome, ACS) σε σχέση με τις βιοκλιματικές συνθήκες στην περιοχή της Ιεράπετρας στο νοτιοανατολικό τμήμα της Κρήτης. Τα αποτελέσματα της μελέτης δείχνουν μη στατιστικά σημαντική σχέση (C.L. 95%) μεταξύ των μηνιαίων εισαγωγών με οξύ στεφανιαίο σύνδρομο ACS και των μετεωρολογικών παραμέτρων. Τα εποχιακά μέγιστα των εισαγωγών με οξύ στεφανιαίο σύνδρομο (ACS) εμφανίζονται κατά κύριο λόγο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και πιθανότατα οφείλονται στην αύξηση του τοπικού πληθυσμού λόγω της έλευσης μεγάλου αριθμού τουριστών που προέρχονται κυρίως από χώρες της κεντρικής και βόρειας Ευρώπης και οι οποίοι είναι περισσότερο ευάλωτοι στις υψηλές θερμοκρασίες (Εικόνα Α14).

Η μελέτη των Kouis et al. (2019) εξετάζει τη σχέση μεταξύ υψηλής θερμοκρασίας περιβάλλοντος και καρδιαγγειακής καθώς και αναπνευστικής θνησιμότητας για τον πληθυσμό της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης, λαμβάνοντας υπόψη τον ρόλο της σωματιδιακής ρύπανσης ως δυνητικά συγχυτικού παράγοντα (potential confounder). Τα μετεωρολογικά δεδομένα και τα δεδομένα θνησιμότητας αφορούν την περίοδο 1999-2012.

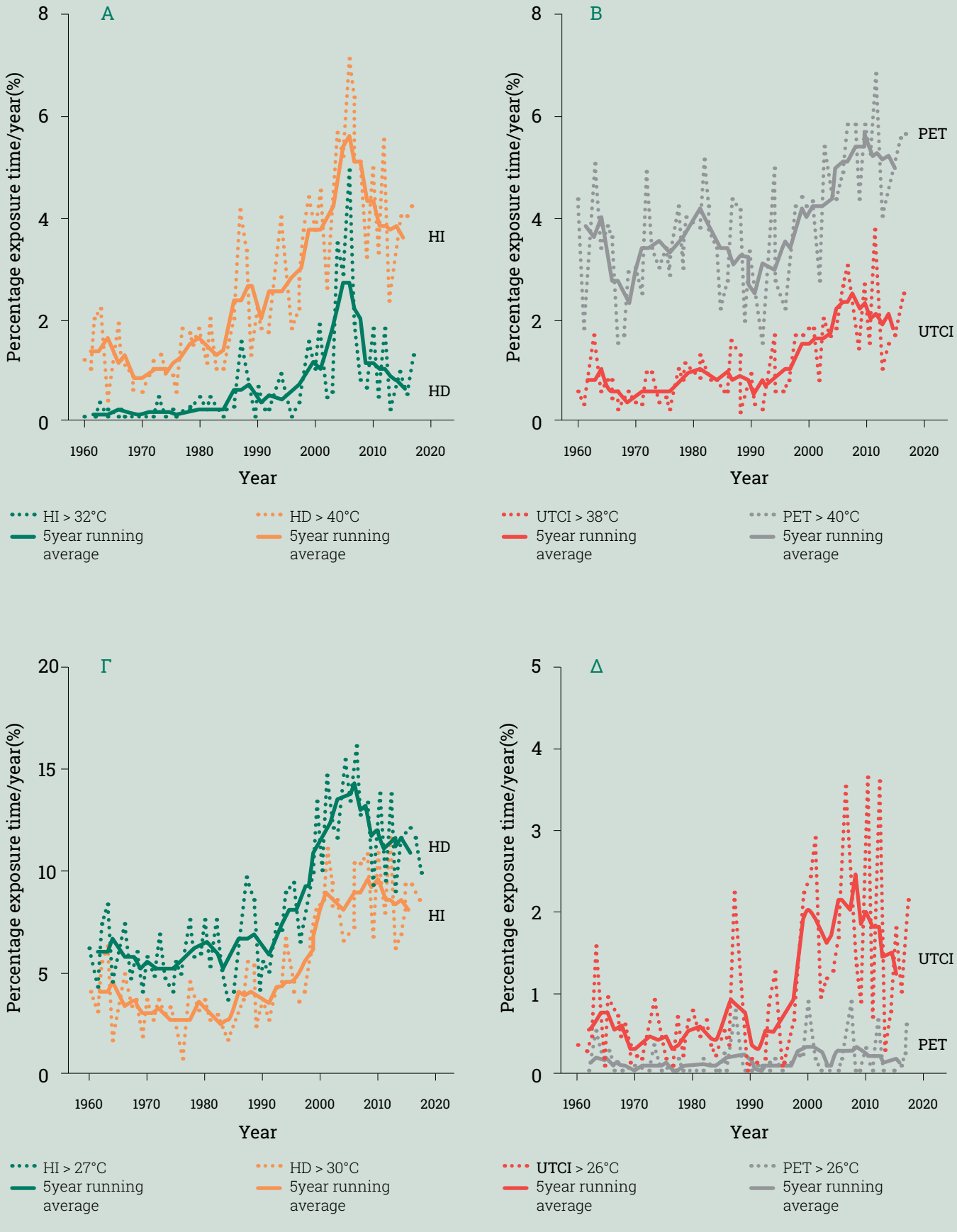


ΕΙΚΟΝΑ Α15
Τρισδιάστατη γραφική αναπαράσταση της επίδρασης της θερμοκρασίας περιβάλλοντος στην α) καρδιοαναπνευστική, β) καρδιαγγειακή και γ) αναπνευστική θνησιμότητα (Πηγή: Kouis et al., 2019).

Τα αποτελέσματα της έρευνας υποδεικνύουν άμεση επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών περιβάλλοντος, καθώς ο κίνδυνος θνησιμότητας αυξάνεται σημαντικά πάνω από τους 33 °C, υποδηλώνοντας μια σημαντική επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στη θνησιμότητα την ίδια και αλλά και την επόμενη ημέρα ενός επεισοδίου υψηλών θερμοκρασιών (υστέρηση 0-1) και η οποία διατηρείται για μια εβδομάδα (Εικόνα Α15). Ο κίνδυνος θνησιμότητας από καρδιαγγειακά και αναπνευστικά νοσήματα αυξάνεται κατά μέσο όρο 4.4% και 5.9%, αντίστοιχα, την ημέρα ενός επεισοδίου υψηλών θερμοκρασιών αλλά και την επομένη, ενώ ο κίνδυνος μειώνεται απότομα τις επόμενες ημέρες (Εικόνα Α16) (Kouis et al., 2019).

Η θερμοκρασία κατωφλίου των 33 °C πάνω από την οποία παρατηρείται σημαντική αύξηση του κινδύνου θνησιμότητας για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης (Kouis et al., 2019) ομοιάζει με την αντίστοιχη θερμοκρασία κατωφλίου των 29.4 °C που βρέθηκε για άλλες Μεσογειακές πόλεις, όπως η Αθήνα, η Ρώμη, η Βαλένθια, το Τορίνο, το Μιλάνο και η Λιουμπλιάνα (Baccini et al., 2008). Επίσης, τα αποτελέσματα των Kouis et al. 2019 είναι σύμφωνα με τα ευρήματα προηγούμενων μελετών που εξέτασαν την επίδραση των επεισοδίων καύσωνα στη θνησιμότητα κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου στη Θεσσαλονίκη για τις περιόδους 1945-2012 (Zoumakis et al., 2013) και 1970-2009 (Zoumakis et al., 2012, 2011).

ΕΙΚΟΝΑ Α16
Καρδιοαναπνευστικός κίνδυνος θνησιμότητας για διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας α) 30 °C, β) 35 °C και γ) 40 °C την ημέρα του επεισοδίου υψηλών θερμοκρασιών (υστέρηση 0) και τις επόμενες ημέρες (έως την υστέρηση 30)
(Πηγή: Kouis et al., 2019).



ΕΙΚΟΝΑ Α17
Διαχρονική έκθεση (%) του πληθυσμού της Αθήνας σε συνθήκες α) HI > 32 °C (ζέστη-εξαιρετική προσοχή; hot-extreme caution), HD > 40 (μεγάλη δυσφορία; great discomfort), β) UTCI > 38 °C (πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση; very strong heat stress), PET > 40 (ακραία θερμή επιβάρυνση; extreme heat stress) και κατά τη διάρκεια της νύχτας γ) HI > 27 (μέτρια ζέστη-προσοχή; warm-caution), HD > 30 (μερική δυσφορία; some discomfort), δ) UTCI > 26 °C (μέτρια θερμή επιβάρυνση; moderate heat stress), PET > 26 °C (ελαφριά θερμή επιβάρυνση; slight heat stress) για την περίοδο 1960-2017 (Πηγή: Katavoutas and Founda, 2019).

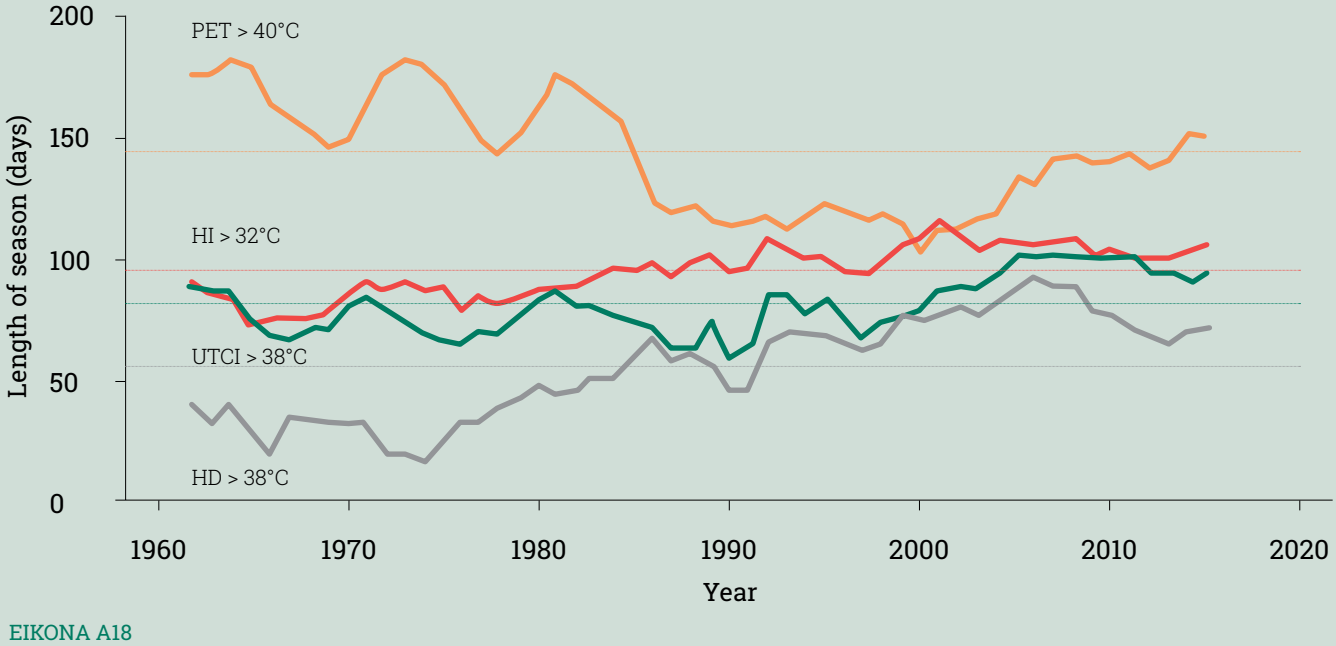
Η μελέτη αποκαλύπτει επίσης μείωση της θνησιμότητας μετά από ακραίες θερμοκρασίες περιβάλλοντος (Kouis et al., 2019), ένα φαινόμενο το οποίο έχει παρατηρηθεί και σε άλλες αντίστοιχες μελέτες παγκοσμίως και το οποίο στη διεθνή βιβλιογραφία καλείται μετατόπιση θνησιμότητας (mortality displacement ή harvesting effect). Σύμφωνα με το φαινόμενο αυτό, οι υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος επηρεάζουν κυρίως μια υποομάδα ατόμων, οι οποίοι είναι ήδη ευαίσθητοι σε χρόνιες καταστάσεις και οι οποίοι θα κατέληγαν μερικές ημέρες αργότερα ανεξαρτήτως των καιρικών συνθηκών.

Μια πρόσφατη μελέτη των Fountoulakis et al. (2016) καταδεικνύει ότι η κλιματική αλλαγή και συγκεκριμένα οι υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος συσχετίζονται τόσο με τις αυτοκτονίες όσο και με τις απόπειρες αυτοκτονιών στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι άλλοι παράγοντες όπως για παράδειγμα η ανεργία. Σύμφωνα με τη μελέτη η θερμοκρασία του αέρα είναι η μοναδική παράμετρος η οποία καθορίζει τις αυτοκτονίες των ανδρών και εξηγεί το 51% της διακύμανσης τους. Επίσης, η περίοδος κατά την οποία ο δείκτης αυτοκτονιών εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές παρατηρείται μεταξύ Μαΐου και Αυγούστου (Fountoulakis et al., 2016).

Οι Nastos and Matzarakis (2006) μελετώντας την επίδραση των μετεωρολογικών και βιομετεωρολογικών παραμέτρων στην ανθρώπινη υγεία προσδιόρισαν μια στατιστικά σημαντική συσχέτιση μεταξύ του αριθμού των εισαγωγών με συμπτώματα λοίμωξης του αναπνευστικού και των θερμικών δεικτών PMV, PET και SET*. Η μελέτη τους υπέδειξε ότι μείωση κατά 10 μονάδες του δείκτη PMV και κατά 10 oC των δεικτών PET και SET* σχετίζεται με αύξηση της πιθανότητας εμφάνισης λοίμωξης του αναπνευστικού κατά 47%, 12% και 11%, αντίστοιχα (Nastos and Matzarakis, 2006).

Σε αντίστοιχη μελέτη, οι Pantavou et al. 2008, προσδιόρισαν αρνητική ισχυρή συσχέτιση μεταξύ του δείκτη PMV και του αριθμού των περιστατικών με αναπνευστικά και καρδιαγγειακά συμπτώματα κατά τη θερμή περίοδο. Το αποτέλεσμα αυτό επιβεβαιώνεται και από την πρόσφατη μελέτη των Pantavou et al. 2011, με τη θερμική αίσθηση, τη θερμική επιβάρυνση και την άνεση να προσδιορίζονται μέσω των θερμικών δεικτών HL, ASV, DI, TS.

Η πρόσφατη μελέτη των Katavoutas and Founda (2019) μελέτησε τη διαχρονική εξέλιξη και τις μακροπρόθεσμες τάσεις του θερμικού κινδύνου στην Αθήνα τα τελευταία 60 χρόνια (1960-2017). Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν σημαντική αύξηση του κινδύνου που συνδέεται με τη θερμότητα τα τελευταία χρόνια. Συγκεκριμένα, ο χρόνος έκθεσης του πληθυσμού ανά έτος υπό συνθήκες "ζέστη-εξαιρετική προσοχή (hot-extreme caution), μεγάλη δυσφορία (great discomfort)", "πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση (very strong heat stress)", "ακραία θερμή επιβάρυνση (extreme heat stress)" παρουσιάζει στατιστικά σημαντική τάση αύξησης με ρυθμό 0.9%/δεκαετία, 0.4%/δεκαετία, 0.3%/δεκαετία και 0.4%/δεκαετία κατά την περίοδο 1960-2017, αντίστοιχα (Εικόνα Α17).

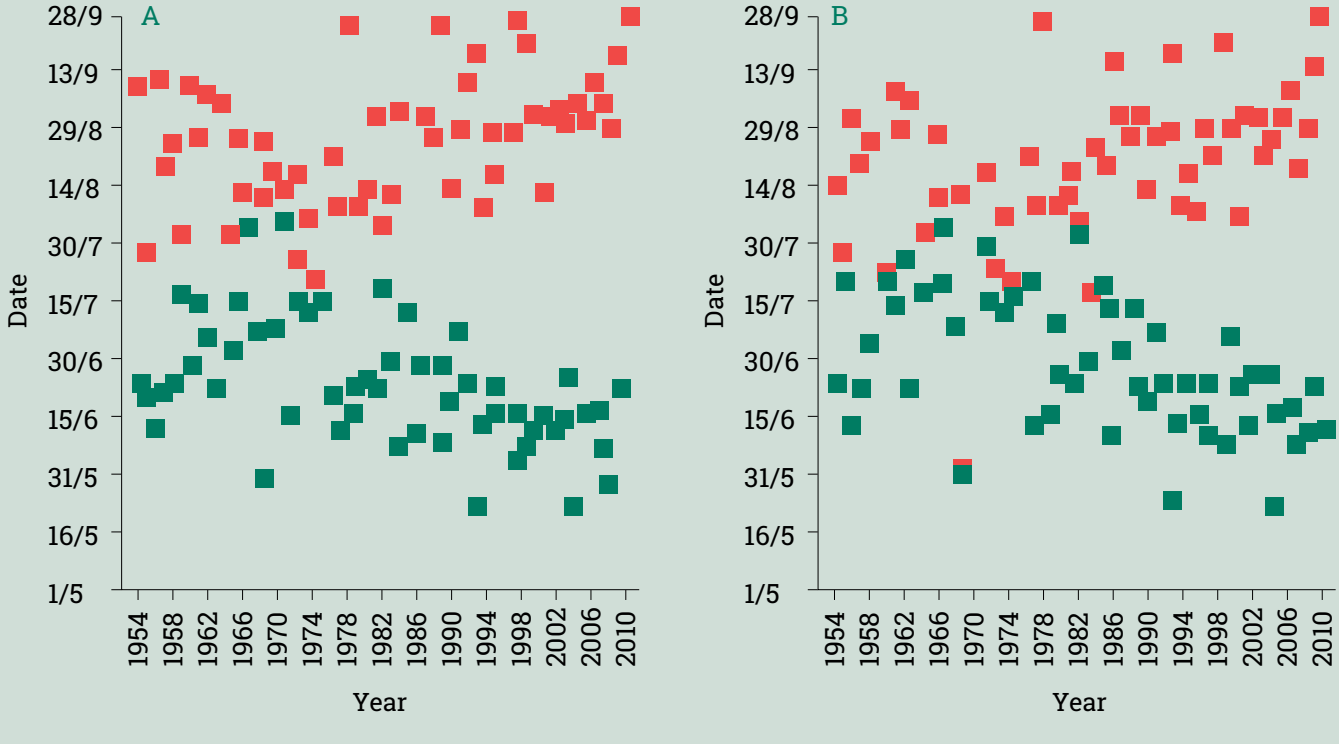


ΕΙΚΟΝΑ Α18
Διάρκεια της εποχής κατά την οποία παρατηρούνται υπερβάσεις των ορίων (HI > 32 °C (ζέστη-εξαιρετική προσοχή; hot-extreme caution), HD > 40 (μεγάλη δυσφορία; great discomfort), UTCI > 38 °C (πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση; very strong heat stress), PET > 40 (ακραία θερμή επιβάρυνση; extreme heat stress)) για την περίοδο 1960-2017. Η διάρκεια της εποχής αναφέρεται στην περίοδο (αριθμός ημερών) μεταξύ του πρώτου και του τελευταίου περιστατικού σε ένα έτος όπου παρατηρούνται οι αντίστοιχες υπερβάσεις.
Οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν τη μέση τιμή του κάθε ορίου για την περίοδο 1960-2017 (Πηγή: Katavoutas and Founda, 2019).

Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του '80, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες "ζέστη-εξαιρετική προσοχή; hot-extreme caution" (HI > 32 °C) και "μεγάλη δυσφορία; great discomfort" (HD > 40) διαμορφώνεται σε επίπεδα μικρότερα του 2% και 0.6% ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα Α17). Τις επόμενες δεκαετίες αποκαλύπτεται μια σημαντική ανοδική τάση στον χρόνο έκθεσης υπό αυτές τις συνθήκες, όπου ένα μέγιστο στον χρόνο έκθεσης στα μέσα της δεκαετίας του 2000 ακολουθείται από μια μείωση μέχρι σήμερα. Για παράδειγμα, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες "ζέστη-εξαιρετική προσοχή; hot-extreme caution" (HI > 32 °C) διαμορφώνεται στο 1.4% το 1960, αυξάνεται σε 8.8% το 2006 (σχετική αύξηση κατά 529%) και σε 5.3% το 2017 (σχετική αύξηση κατά 279%). Ακόμα και κατά τις νυχτερινές ώρες, τρεις από τους τέσσερις δείκτες που εξετάστηκαν, υποδεικνύουν ότι ο πληθυσμός εκτίθεται σε σημαντικά υψηλότερα επίπεδα θερμής επιβάρυνσης τις τελευταίες δεκαετίες σε σύγκριση με τις προηγούμενες (Katavoutas and Founda, 2019).

Μία προοδευτική επέκταση της περιόδου θερμής επιβάρυνσης αποκαλύπτεται κατά τη διάρκεια των ετών, με αποτέλεσμα την επιμήκυνση της περιόδου με "ζέστη-εξαιρετική προσοχή (hot-extreme caution)" (HI > 32 °C), "μεγάλη δυσφορία (great discomfort)" (HD > 40), "πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση (very strong heat stress)" (UTCI > 38 °C) κατά 5.6 ημέρες/δεκαετία, 11.3 ημέρες/δεκαετία και 4.3 ημέρες/δεκαετία, αντίστοιχα (Εικόνα Α18). Το αποτέλεσμα αυτό αποκαλύπτει τη μετατόπιση νωρίτερα μέσα στο έτος της πρώτης εμφάνισης συνθηκών οπού δημιουργούν θερμή επιβάρυνση στον πληθυσμό της Αθήνας καθώς και μετατόπιση αργότερα μέσα στο έτος της τελευταίας εμφάνισης των συνθηκών αυτών. Συγκεκριμένα, η πρώτη εμφάνιση μεγάλης δυσφορίας (HD > 40, great discomfort) στις αρχές της δεκαετίας του 1960 εμφανιζόταν κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, ενώ τα τελευταία χρόνια, αυτό συμβαίνει τον Ιούνιο και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και στα τέλη Μαΐου. Ταυτόχρονα, η τελευταία εμφάνιση μεγάλης δυσφορίας (HD > 40, great discomfort) στις αρχές της δεκαετίας του 1960 συνέβαινε κυρίως τον Αύγουστο και σίγουρα όχι αργότερα από τις αρχές Σεπτεμβρίου, ενώ τα τελευταία χρόνια, αυτό παρατηρείται ακόμα και μετά τα μέσα Σεπτεμβρίου (Katavoutas and Founda, 2019).

Αντίστοιχα αποτελέσματα προκύπτουν και από την μελέτη των Bartzokas et al. (2013) για την Αθήνα, βάσει της οποίας η έναρξη και η διακοπή της περιόδου θερμικής δυσφορίας μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980 συνέβαινε στις αρχές Ιουλίου και στο τέλος Αυγούστου, αντίστοιχα, αλλά τις επόμενες δεκαετίες οι ημερομηνίες έναρξης και διακοπής έχουν μετακινηθεί ελαφρώς νωρίτερα και αργότερα, αντίστοιχα, οδηγώντας σε επιμήκυνση της καλοκαιρινής περιόδου με θερμική δυσφορία (Εικόνα Α19) (Bartzokas et al., 2013).



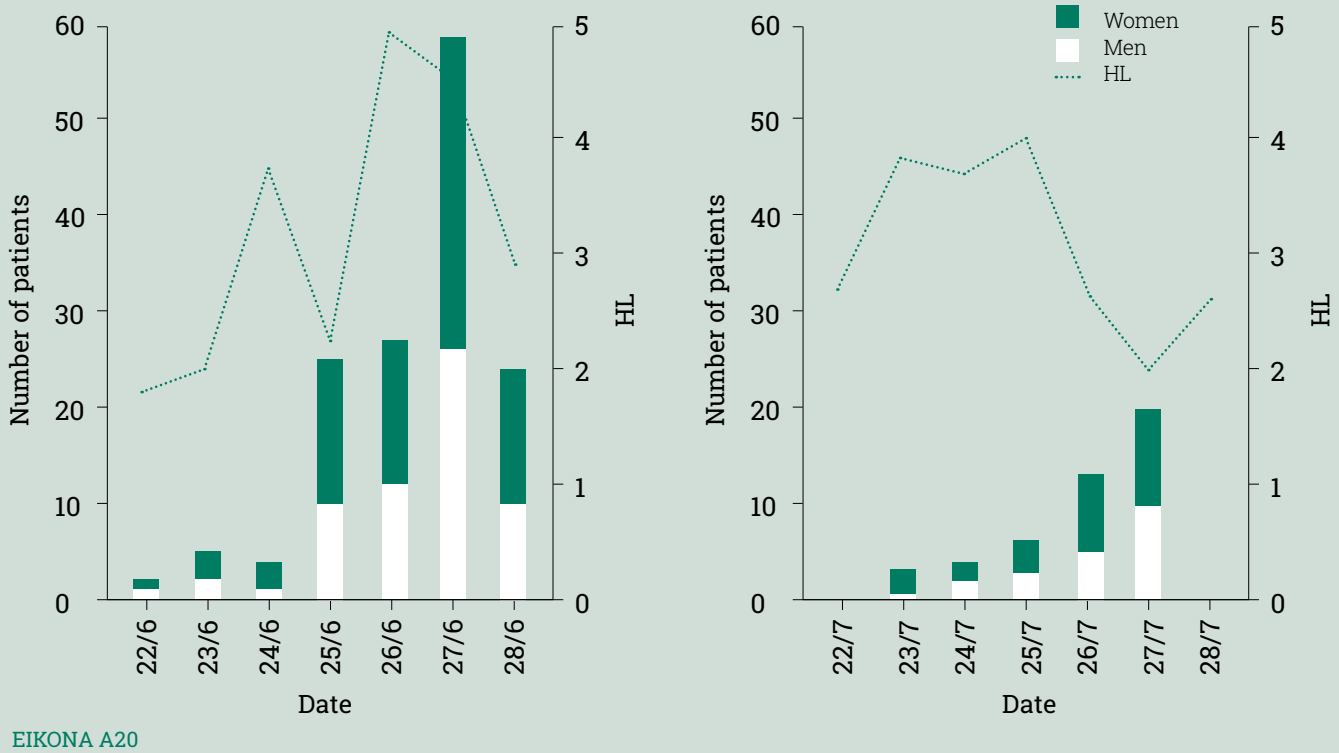
ΕΙΚΟΝΑ Α19
Ημερομηνίες έναρξης (πράσινα τετράγωνα) και διακοπής (κόκκινα τετράγωνα) της θερμικής δυσφορίας (PMV≥2) στην Αθήνα στις 14:00 τοπική ώρα για α) άπνοια και β) χαμηλές ταχύτητες ανέμου (Πηγή: Bartzokas et al., 2013).

B.3
Θνησιμότητα, νοσηρότητα και θερμική άνεση κατά τη διάρκεια επεισοδίων καύσωνα

Τα επείγοντα περιστατικά εισαγωγής σε νοσοκομεία με συμπτώματα θερμοπληξίας και θερμικής εξάντλησης καθώς και η θνησιμότητα αυξάνονται σημαντικά κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου καύσωνα. Οι Theoharatos et al. (2010) μελέτησαν τον αριθμό των εισαγωγών στα νοσοκομεία της Αττικής (Ελλάδα) με συμπτώματα θερμοπληξίας και θερμικής εξάντλησης κατά τη διάρκεια δυο ακραίων κυμάτων καύσωνα που έλαβαν χώρα τον Ιούνιο και τον Ιούλιο του 2007, σε συνδυασμό με την ημερήσια τιμή του θερμικού (βιοκλιματικού) δείκτη Heat Load (HL) (Εικόνα Α20). Οι συγγραφείς παρατήρησαν μια πτώση της τάξης του 68.5% στον αριθμό των εισαγωγών στα νοσοκομεία μεταξύ του πρώτου καύσωνα (Ιούνιος 2007) και του δεύτερου καύσωνα (Ιούλιος 2007). Η πτώση αυτή υποδεικνύει ότι ένα κύμα καύσωνα έχει μεγαλύτερες επιπτώσεις στον άνθρωπο όταν εκδηλώνεται νωρίτερα μέσα στο καλοκαίρι.

Η διάρκεια και η ένταση του καύσωνα παίζουν καθοριστικό ρολό μιας και ο καύσωνας του Ιουνίου ήταν ισχυρότερος από αυτόν του Ιουλίου με βάση τις τιμές του θερμικού δείκτη HL (Theoharatos et al., 2010). Οι συγγραφείς επίσης απέδωσαν την πτώση του αριθμού των εισαγωγών στα νοσοκομεία μεταξύ του πρώτου και του δεύτερου καύσωνα στην ψυχολογική προσαρμογή (psychological adaptation) (Nikolopoulou and Lykoudis, 2006), μιας και ο πληθυσμός της Αθήνας αναμένει υψηλότερες θερμοκρασίες στα τέλη Ιουλίου από ότι το μήνα Ιούνιο.

Επίσης, η χρονική εξέλιξη του ημερήσιου αριθμού ασθενών με θερμική εξάντληση και θερμοπληξία σε συνδυασμό με την πορεία του θερμικού δείκτη HL κατά τη διάρκεια των κυμάτων καύσωνα αποκάλυψε ότι ο μέγιστος αριθμός ασθενών καταγράφηκε 1 με 2 ημέρες αργότερα από την ημέρα που σημειώθηκαν τα υψηλότερα επίπεδα θερμικής δυσφορίας (Theoharatos et al., 2010). Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει πιθανή υστέρηση της επίδρασης της θερμικής δυσφορίας όπως αυτή εκφράζεται από το δείκτη HL στον αριθμό των ασθενών και οι συγγραφείς προτείνουν το επίπεδο συναγερμού κατά τη διάρκεια ενός επεισοδίου καύσωνα να παρατείνεται κατά 3 ή και 4 ημέρες μετά τις μέγιστες τιμές του θερμικού δείκτη HL (Theoharatos et al., 2010).



ΕΙΚΟΝΑ Α20
Ημερήσιος αριθμός ασθενών που διαγνώστηκαν με θερμική εξάντληση και θερμοπληξία στα επείγοντα εξωτερικά ιατρεία στο σύνολο των νοσοκομείων της Αττικής κατά τη διάρκεια των ακραίων κυμάτων καύσωνα α) του Ιουνίου 2007 και β) του Ιουλίου 2007 σε συνδυασμό με την ημερήσια τιμή του θερμικού δείκτη Heat Load (HL) (Πηγή: Theoharatos et al., 2010).

Σε μια αντίστοιχη μελέτη, οι Katsouyanni et al. (1993) διερεύνησαν τη θνησιμότητα σε διάφορες πόλεις της Ελλάδας κατά τη διάρκεια ενός πολύ ισχυρού επεισοδίου καύσωνα που συνέβη το τελευταίο δεκαήμερο του Ιούλιο του 1987. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν ότι ο μέσος ημερήσιος αριθμός θανάτων αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και η αύξηση έγινε ιδιαίτερα έντονη όταν η θερμοκρασία του αέρα υπερέβη τους 30 °C (Εικόνα Α21, Πίνακας Α7).

Ο μέσος αριθμός θανάτων αυξήθηκε επίσης με την αντίστοιχη αύξηση του βιοκλιματικού δείκτη DI (Discomfort Index), ο οποίος συνδυάζει τη θερμοκρασία του αέρα και την υγρασία (Πίνακας Α7). Και οι δυο τάσεις ήταν στατιστικά σημαντικές. Συγκεκριμένα, ο αριθμός των θανάτων αυξήθηκε με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά μέσο όρο περίπου 3 θανάτους την ημέρα όταν η μέση ημερήσια θερμοκρασία ήταν μεταξύ 25 °C και 30 °C, ενώ ο αριθμός αυτός αυξήθηκε κατά περισσότερο από 40 θανάτους ημερησίως όταν η θερμοκρασία υπερέβη τους 30 °C.

Η μελέτη επίσης αποκάλυψε ότι οι καταγεγραμμένοι θάνατοι στην Αθήνα κατά το μήνα Ιούλιο (1987) που συνέβη ο καύσωνας ήταν σχεδόν διπλάσιοί από τον αναμενόμενο αριθμό θανάτων όταν εφαρμόστηκαν μοντέλα γραμμικής παλινδρόμησης με βάση τα δεδομένα θνησιμότητας της περιόδου 1981-1986 (Katsouyanni et al., 1993). Η αύξηση της θνησιμότητας έφτασε στο 96.5% στην Αθήνα, στο 32.5% σε άλλες αστικές περιοχές της Ελλάδας εξαιρουμένης της Αθήνας και στο 26.8% σε ημιαστικές και αγροτικές περιοχές (Πίνακες Α8, Α9). Σύμφωνα με τους συγγραφείς το ιδιαίτερα υψηλό ποσοστό αύξησης της θνησιμότητας στην Αθήνα συγκριτικά με άλλες περιοχές της Ελλάδας οφείλεται στην ελαφρώς υψηλότερη θερμοκρασία περιβάλλοντος λόγω της πυκνής δόμησης καθώς και σε κοινωνικούς παράγοντες, όπως στο γεγονός ότι πολλοί ηλικιωμένοι μένουν συχνά χωρίς επίβλεψη σε διαμερίσματα με ανεπαίσθητο αερισμό (Katsouyanni et al., 1993).

Στο επεισόδιο καύσωνα του 1987 καταγράφηκαν 2960 εισαγωγές με συμπτωματολογία σχετιζόμενη με την υψηλή θερμοκρασία (θερμοπληξία, θερμική εξάντληση) και 926 θάνατοι στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας (Katsouyanni et al., 1988). Τα θανάσιμα περιστατικά ανήλθαν στο 31% μεταξύ των αποδεκτών περιπτώσεων ασθενειών που σχετίζονται με τη θερμότητα. Ο ρυθμός εισαγωγής στα νοσοκομεία αυξήθηκε περισσότερο από 5 φορές μετά την τρίτη ημέρα του καύσωνα, υποδεικνύοντας ότι για πολλούς ασθενείς η διάρκεια του καύσωνα ήταν ο καθοριστικός παράγοντας για την εμφάνιση θερμικών κακώσεων. Τα θανάσιμα περιστατικά ήταν περισσότερα τις 2 πρώτες ημέρες του καύσωνα από ότι τις υπόλοιπες ημέρες (72% έναντι 32%), γεγονός που συνεπάγεται είτε την αύξηση της αποτελεσματικότητας των ιατρικών υπηρεσιών ή τη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης. Η ηλικία έχει σαφώς σημαντική επίδραση στη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα που σχετίζεται με τη θερμότητα και μπορεί επίσης να επηρεάσει το ποσοστό θνησιμότητας (Πίνακας Α10) (Katsouyanni et al., 1988).

Temperature	No. days	No. deaths	
		X	SD
< 25	445	35.61	6.71
≥ 25 and < 30	348	35.95	9.14
≥ 30	206	85.73	63.82
Discomfort index			
< 25	351	33.88	6.34
≥ 25 and < 27	218	35.27	8.15
≥ 30	90	53.44	41.02

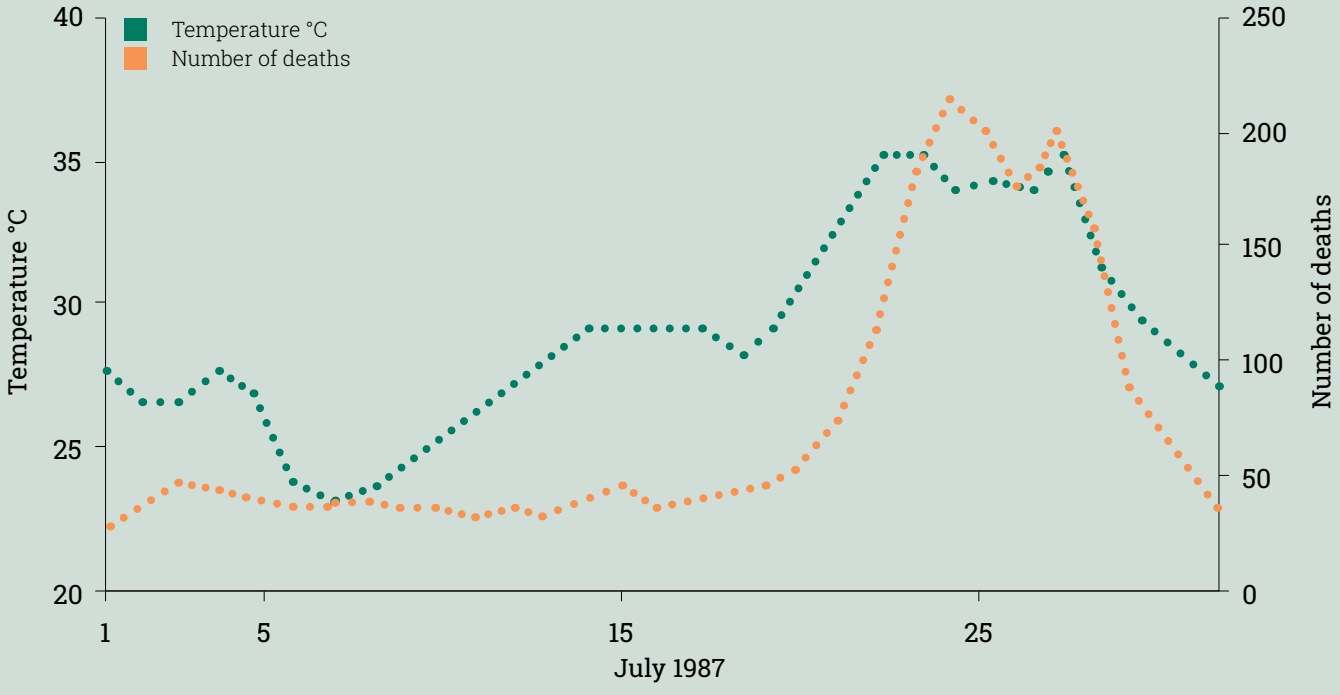
ΠΙΝΑΚΑΣ Α7
Μέσος ημερήσιος αριθμός θανάτων κατά τη διάρκεια ημερών με διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας αέρα και δυσφορίας με βάση το δείκτη DI (Discomfort Index) (Πηγή: Katsouyanni et al., 1993).

City or area	Number of deaths						
	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
Athens	1905	1763	1972	1983	2016	2928	4093
Thessaloniki	383	358	424	379	346	440	572
Patra	84	81	105	88	119	81	140
Larisa	68	44	65	55	70	64	71
Iraklio	49	46	46	53	50	62	53
Kavala	36	49	50	49	49	38	66
Ioannina	28	22	20	36	27	37	40
Kalamata	27	27	31	45	16	38	27
Hania	38	33	35	34	30	36	37
Serres	36	25	34	38	36	24	58
Trikala	32	20	30	27	21	32	29
Tripoli	11	6	11	17	16	13	11
Arta	9	12	11	12	14	15	16
Florina	8	4	10	11	11	15	5
Korinthos	16	16	22	17	17	14	25
Alla urban areas (except Athens)	1536	1452	1682	1627	1721	1747	2396
All other areas	3200	3318	3654	3637	3669	3806	5015

ΠΙΝΑΚΑΣ Α8
Αριθμός θανάτων κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, από το 1981 έως το 1987, για διάφορες πόλεις της Ελλάδας
(Πηγή: Katsouyanni et al., 1993).

City	Observed deaths	Expected deaths (95% C.I.)		Percentage increase	p (one-tailed)
Athens	4093	2083	(1949, 2217)	96.5	$<10^{-6}$
Thessaloniki	572	451	(404, 498)	26.8	.001
Patra	149	101	(71, 132)	47.5	.01
Larisa	71	66	(47, 85)	7.6	NS
Iraklio	53	59	(51, 67)	-10.2	NS
Kavala	66	46	(33, 59)	43.5	.01
Ioannina	40	36	(24, 48)	10.0	NS
Kalamata	27	34	(14, 54)	-20.5	NS
Hania	37	32	(27, 37)	15.6	NS
Serres	58	30	(18, 42)	93.3	.002
Trikala	29	27	(15, 39)	7.4	NS
Tripoli	11	17	(11, 23)	-35.3	NS
Arta	16	16	(14, 18)	0	NS
Florina	5	16	(12, 20)	-68.8	NS
Korinthos	25	16	(11, 21)	56.3	.01
Alla urban areas (except Athens)	2396	1808	(1687, 1932)	32.5	.0001
All other areas	5015	3954	(3776, 4132)	26.8	$<10^{-4}$

ΠΙΝΑΚΑΣ Α9
Αριθμός θανάτων που καταγράφηκαν τον Ιούλιο του 1987 και αριθμός των «αναμενόμενων» (95% C.I.) θανάτων που υπολογίστηκαν μέσω γραμμικής παλινδρόμησης, βάσει των δεδομένων από το 1981 έως το 1986, σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας
(Πηγή: Katsouyanni et al., 1993).



ΕΙΚΟΝΑ Α21
Μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα και θνησιμότητα τον Ιούλιο του 1987 (Πηγή: Katsouyanni et al., 1993).

Φύλο		Ηλικία						
		-39	40-49	50-59	60-69	70-79	80-89	90+
Επίπτωση	Αρσενικό	8	21	51	181	510	2043	3896
	Θηλυκό	4	14	46	173	707	2314	3362
Θνησιμότητα	Αρσενικό	1	4	12	50	169	679	1195
	Θηλυκό	0	2	14	50	226	824	1399

ΠΙΝΑΚΑΣ Α10
10-ημερών αθροιστική επίπτωση και θνησιμότητα (ανά 100000) ανά ηλικία και φύλο στην Αθήνα κατά τη διάρκεια του επεισοδίου καύσωνα του 1987 (21-31 Ιουλίου) (Πηγή: Katsouyanni et al., 1988).

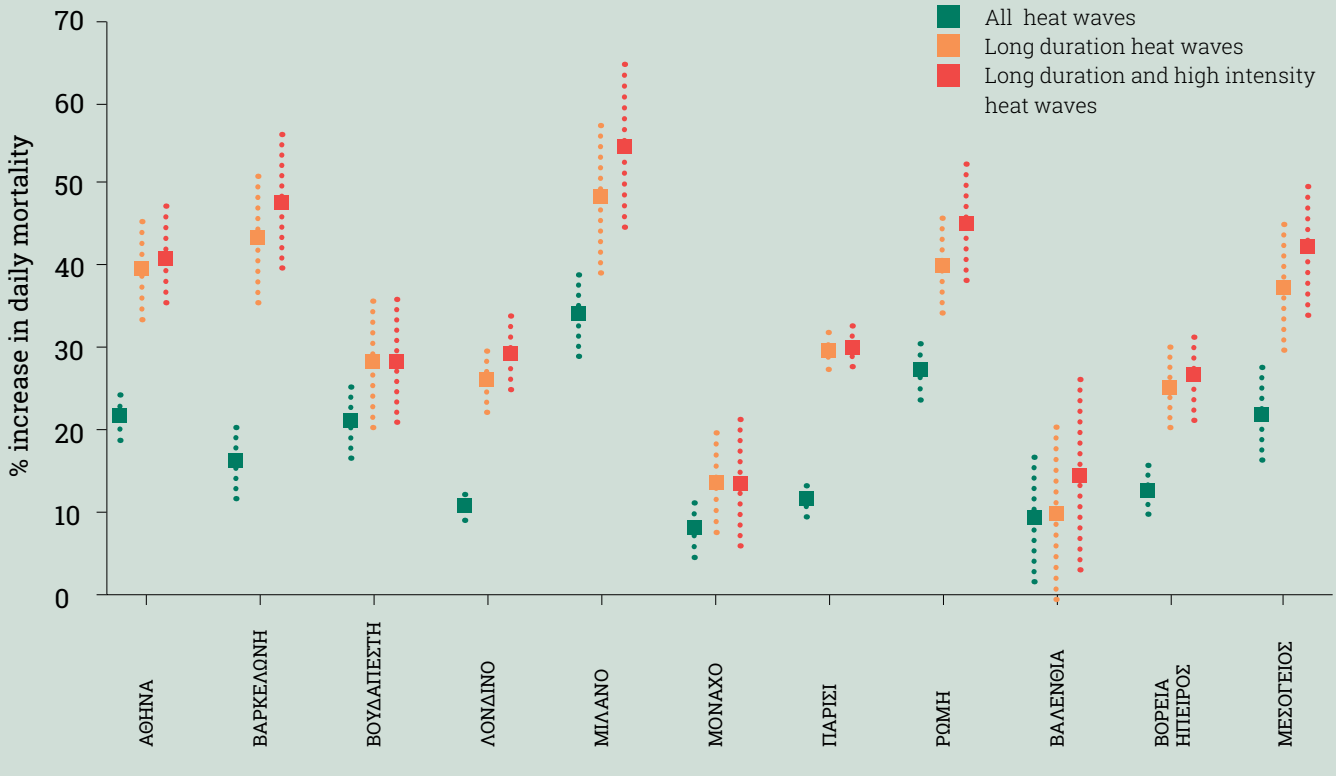
Πόλη	Φυσικοί Θάνατοι		Αναπνευστικοί Θανάτοι		Καρδιαγγειακοί Θάνατοι		Εγκεφαλοαγγειακοί Θάνατοι	
	% αύξηση	(90% CI)	% αύξηση	(90% CI)	% αύξηση	(90% CI)	% αύξηση	(90% CI)
Αθήνα	21.6	(18.5 - 24.8)	34.5	(24.6 - 45.2)	28.4	(24.0 - 33.0)	33.0	(26.9 - 40.4)
Βαρκελώνη	15.6	(11.0 - 20.4)	41.3	(26.4 - 57.9)	21.4	(14.0. - 29.4)	25.1	(12.4 - 39.3)
Βουδαπέστη	21.1	(17.3 -24.9)	20.6	(2.6 - 41.7)	24.1	(19.3 - 29.1)	24.6	(15.6 - 34.4)
Λονδίνο	10.4	(8.6 - 12.2)	18.0	(13.4 - 22.8)	9.3	(6.6 -12.1)	10.6	(5.2 - 16.3)
Μιλάνο	33.6	(28.5 -39.0)	92.5	(72.3 - 115.1)	39.2	(31.2 - 47.6)	49.8	(35.6 - 65.6)
Μόναχο	7.6	(3.8 - 11.5)	3.9	(-0.8 - 30.8)	8.2	(2.8 - 13.9)	14.7	(2.4 - 28.6)
Παρίσι	11.4	(10.0 - 12.9)	27.7	(19.4 - 36.6)	12.3	(8.5 - 16.2)	19.7	(12.1 - 27.8)
Ρώμη	26.8	(23.4 - 30.4)	66.9	(51.9 - 83.3)	37.8	32.5 -43.3)	48.0	(38.0 - 58.8)
Βαλένθια	8.5	(1.2 - 16.3)	32.4	(9.1 - 60.7)	20.1	(7.9 - 33.6)	1.4	(-17.4 -24.4)

ΠΙΝΑΚΑΣ Α11
Επίπτωση των επεισοδίων καύσωνα στην ημερήσια θνησιμότητα (ως % αύξηση και 90% CI) ανά αιτία θανάτου σε άτομα ηλικίας 65+ (Πηγή: D'Ippoliti et al., 2010).

Στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος EuroHEAT (Improving Public Health Responses to extreme weather/heat-waves) διερευνήθηκαν οι επιπτώσεις των επεισοδίων καύσωνα στη θνησιμότητα ανά φύλο, ηλικία και αίτια θανάτου στην Ευρώπη (D'Ippoliti et al., 2010). Η μελέτη επικεντρώθηκε στην ηλικιακή κατηγορία 65+ και η ένταση των επεισοδίων καύσωνα στηρίχθηκε στο θερμικό δείκτη AT (apparent temperature, φαινόμενη θερμοκρασία) κατά τη διάρκεια της καλοκαιρινής περιόδου (Ιούνιος - Αύγουστος). Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική αύξηση στην ημερήσια θνησιμότητα κατά τη διάρκεια επεισοδίων καύσωνα σε όλες τις Ευρωπαϊκές πόλεις υπό εξέταση. Συγκεκριμένα για την Αθήνα, η αύξηση της ημερήσιας θνησιμότητας ανέρχεται στο 21.6% (90% CI) συνολικά για όλες τις αιτίες θανάτων (Πίνακας Α11). Στατιστικά σημαντική αύξηση της θνησιμότητας παρατηρείται επίσης και ανά αιτία θανάτου (θάνατοι λόγω αναπνευστικών νοσημάτων, καρδιαγγειακών νοσημάτων, εγκεφαλοαγγειακών νοσημάτων), με την αύξηση της ημερήσιας θνησιμότητας για την Αθήνα να είναι μεγαλύτερη για τα αναπνευστικά νοσήματα (34.5%) κατά τη διάρκεια επεισοδίων καύσωνα. Επίσης, οι επιπτώσεις των επεισοδίων καύσωνα στη θνησιμότητα αυξάνεται με την ηλικία.

Τα επεισόδια καύσωνα με μεγάλη διάρκεια και ένταση εμφανίζουν μεγαλύτερη επίδραση στην ημερήσια θνησιμότητα, με τη διάρκεια να διαδραματίζει σημαντικότερο ρόλο από την ένταση (Εικόνα Α22). Οι επιπτώσεις των επεισοδίων καύσωνα με μεγάλη διάρκεια στη θνησιμότητα είναι κατά 1.5 έως και 3 φορές μεγαλύτερη από ότι σε καύσωνες με μικρότερη διάρκεια (D'Ippoliti et al., 2010).

Μια άλλη παράμετρος η οποία φαίνεται να διαδραματίζει σημαντικό ρόλο στη θνησιμότητα κατά τη διάρκεια των επεισοδίων καύσωνα είναι τα επίπεδα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Τα αποτελέσματα της μελέτης των Analitis et al. (2014), στα πλαίσια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος EuroHEAT (Improving Public Health Responses to extreme weather/heat-waves) στο οποίο συμμετείχε και η πόλη της Αθήνας, υποδεικνύουν αύξηση της ημερήσιας θνησιμότητας κατά τη διάρκεια των επεισοδίων καύσωνα κατά 54% τις ημέρες με υψηλά επίπεδα όζοντος σε σύγκριση με τις ημέρες με χαμηλά επίπεδα όζοντος, στην ηλιακή ομάδα 75-84 (Εικόνα Α23). Τις ημέρες επεισοδίων καύσωνα που συνοδεύονται από υψηλά επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης (PM10) η αύξηση είναι 36% και 106% στις ηλικιακές ομάδες 75-84 και 85+, αντίστοιχα, συγκριτικά με τις ημέρες καύσωνα με χαμηλή σωματιδιακή ρύπανση (Εικόνα Α24).



ΕΙΚΟΝΑ Α22
Επίπτωση των επεισοδίων καύσωνα στην ημερήσια θνησιμότητα (ως % αύξηση και 90% CI) ανά διάρκεια και ένταση σε διάφορες Ευρωπαϊκές πόλεις (Πηγή: D'Ippoliti et al., 2010).

ΕΙΚΟΝΑ Α23
Ποσοστό αύξησης της ημερήσιας θνησιμότητας κατά τη διάρκεια επεισοδίων καύσωνα με «χαμηλά» ή «υψηλά» επίπεδα όζοντος ανά αιτία θανάτου και ηλικιακή ομάδα για τις Μεσογειακές πόλεις **(Πηγή: Analitis et al., 2014)**.

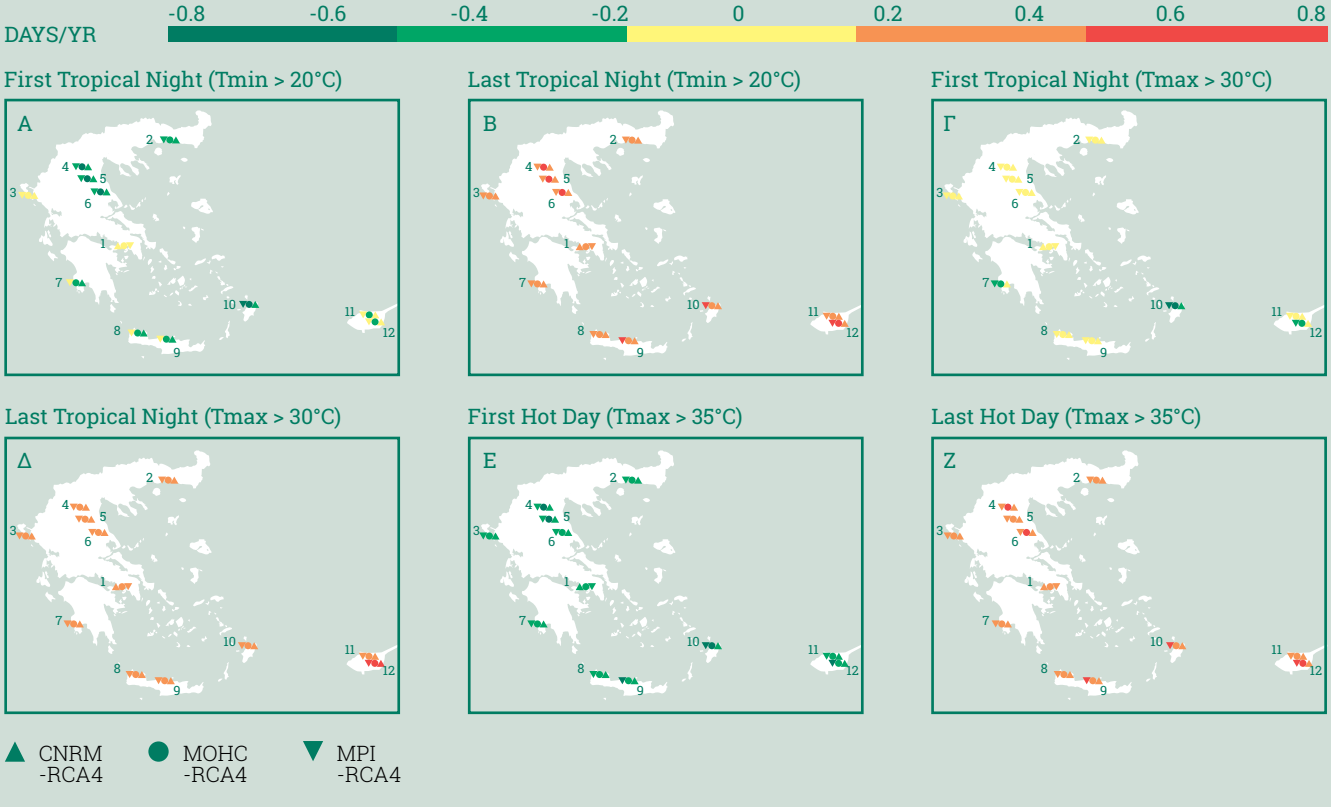
ΕΙΚΟΝΑ Α24
Ποσοστό αύξησης της ημερήσιας θνησιμότητας κατά τη διάρκεια επεισοδίων καύσωνα με «χαμηλά» ή «υψηλά» επίπεδα σωματιδιακής ρύπανσης (PM10) ανά αιτία θανάτου και ηλικιακή ομάδα για τις Μεσογειακές πόλεις (Πηγή: Analitis et al., 2014).

Β.4.
Προβολή των επιπέδων δυσφορίας στο μέλλον

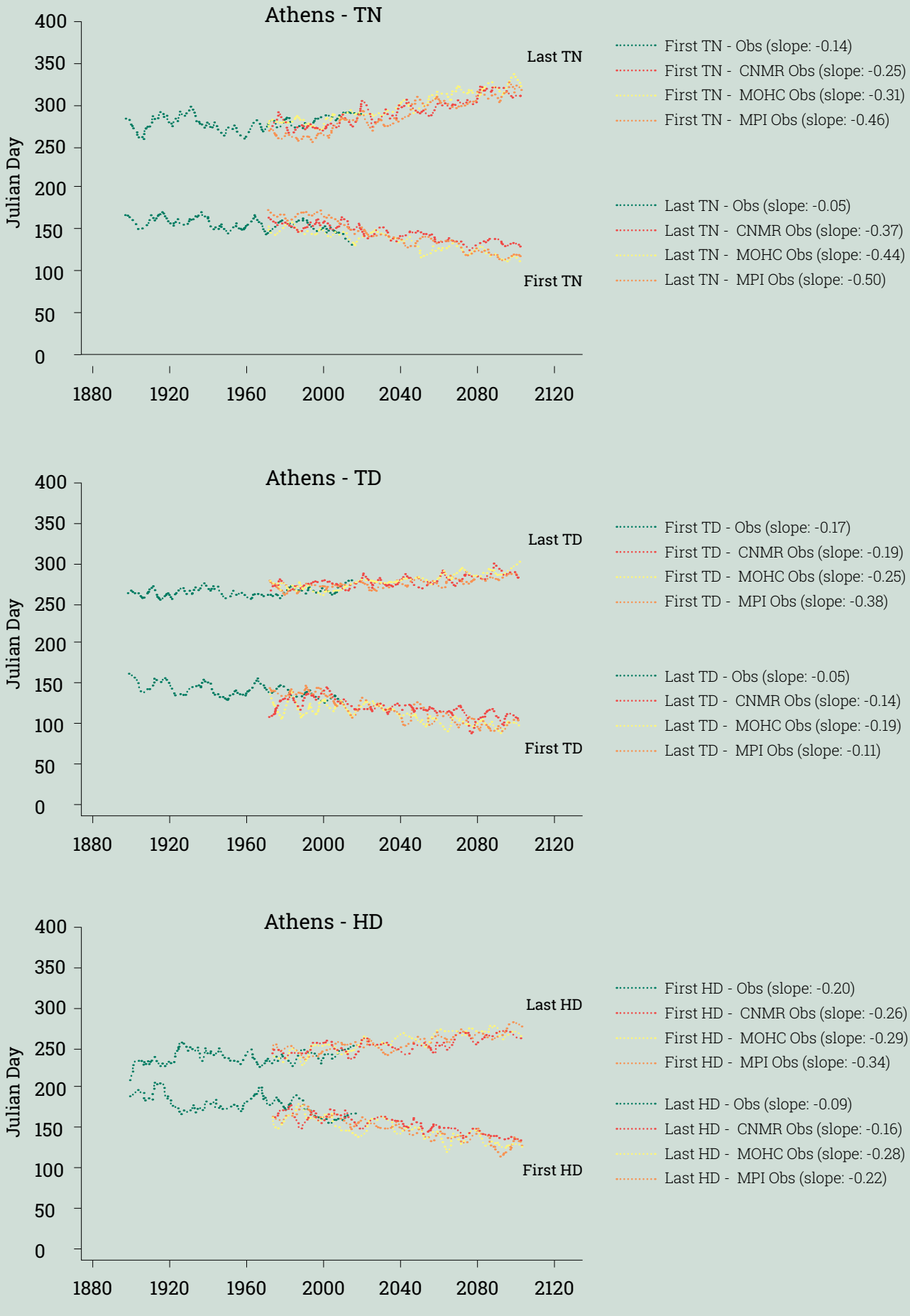
Οι προσομοιώσεις για το μέλλον (1970-2100) υποδεικνύουν μετατόπιση νωρίτερα μέσα στο έτος της πρώτης εμφάνισης τροπικών βραδιών (Tmin > 20 °C), τροπικών ημερών (Tmax > 30 °C) και θερμών ημερών (Tmax > 35 °C) καθώς και αντίστοιχη μετατόπιση αργότερα της τελευταίας εμφάνισης τους, για διάφορες περιοχές στην Ελλάδα αλλά και για την περιοχή της Αθήνας (Εικόνες Α25, Α26) (Founda et al., 2019). Το αποτέλεσμα αυτό υποδεικνύει ότι θα αυξηθεί ο χρόνος έκθεσης του πληθυσμού υπό συνθήκες θερμικής δυσφορίας. Σύμφωνα με τη μελέτη των Katavoutas et al. (2019), η απόλυτη συχνότητα των υπερβάσεων οι οποίες υποδηλώνουν "ζέστη-εξαιρετική προσοχή (hot-extreme caution)" και "μεγάλη δυσφορία (great discomfort)" πρόκειται να αυξηθεί κατά 164% και 171%, αντίστοιχα, στο μακρινό μέλλον (2071-2100) υπό το κλιματικό σενάριο RCP8.5 στην Αθήνα (Εικόνα Α27).

Η μέση τιμή του βιοκλιματικού δείκτη Humidex (HD) κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στην Αθήνα αναμένεται να αυξηθεί περίπου 2 °C στο εγγύς μέλλον (2021-2050) και 5 °C στο μακρινό μέλλον (2071-2100) (Keramitsoglou et al., 2017). Με βάση την κλίμακα του δείκτη, τα επίπεδα τιμών τόσο στο εγγύς όσο και στο μακρινό μέλλον θα υποδηλώνουν "μεγάλη δυσφορία (great discomfort)" για τον πληθυσμό της Αθήνας. Συγκεκριμένα, ο αριθμός συνεχόμενων ημερών με "μεγάλη δυσφορία" αναμένεται να αυξηθεί κατά 12 ημέρες στο εγγύς μέλλον (2021-2050) και κατά 32 ημέρες στο μακρινό μέλλον (2070-2100) (Εικόνα Α28) (Keramitsoglou et al., 2017).

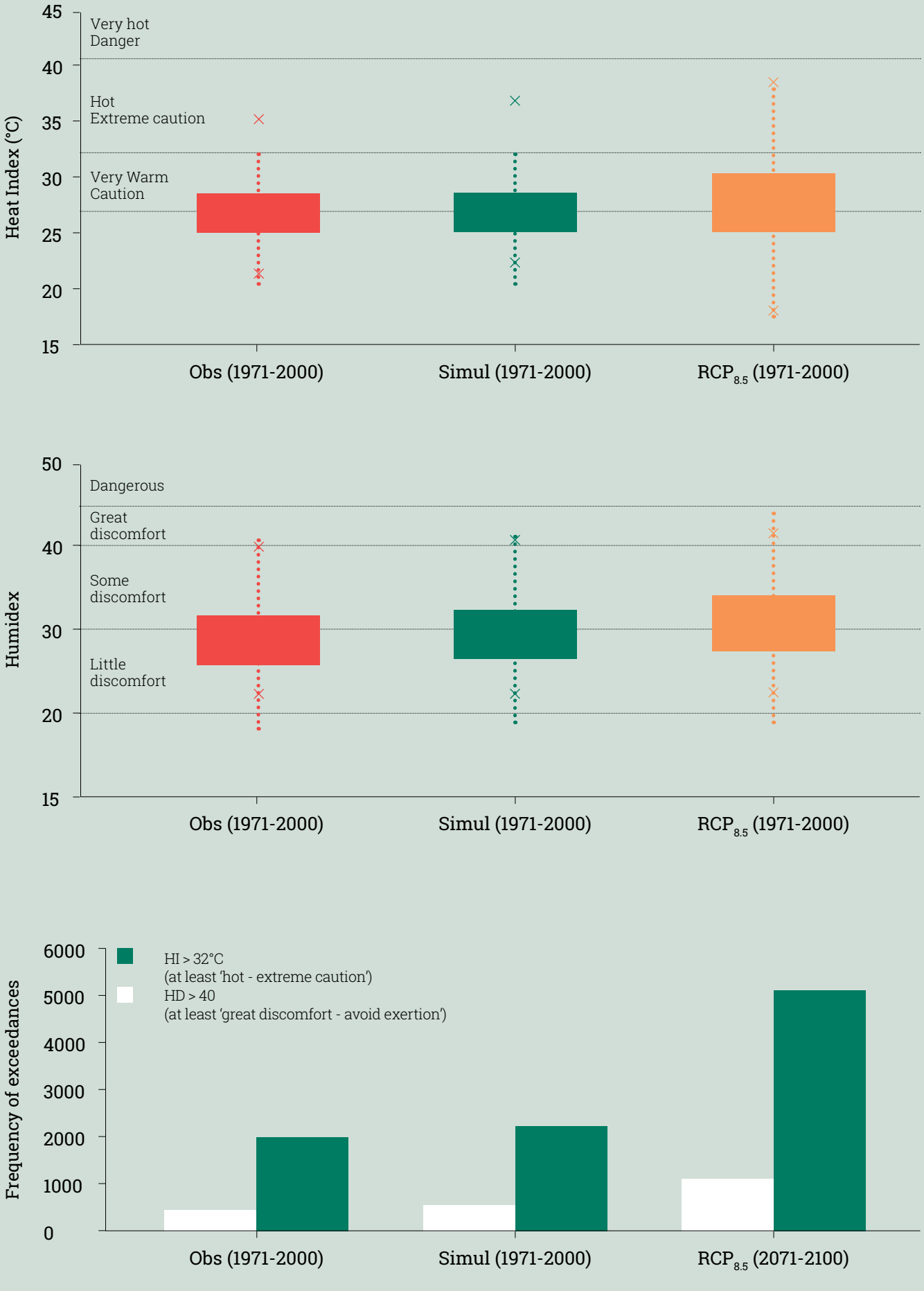
Τα επίπεδα θερμικής δυσφορίας αναμένεται να αυξηθούν στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας. Συγκεκριμένα, η μέγιστη διάρκεια ημερών με "μεγάλη δυσφορία (great discomfort)" θα αυξηθεί σε όλες τις περιοχές, τόσο τις παράκτιες όσο και τις νησιωτικές, την περίοδο 2021-2050 (Εικόνα Α29) (Giannakopoulos et al., 2011). Στις αστικές περιοχές η αύξηση θα κυμανθεί μεταξύ 10 και 13 ημερών, με εξαίρεση την πόλη της Καλαμάτας στην οποία θα παρατηρηθεί η μεγαλύτερη αύξηση κατά 16 επιπλέον ημέρες. Ο αριθμός ημερών με "μεγάλη δυσφορία (great discomfort)" αναμένεται να αυξηθεί σε όλες τις τουριστικές περιοχές της Ελλάδας. Η υψηλότερη αύξηση κατά 30 (±6) ημέρες θα παρατηρηθεί στη Ρόδο και στο Ηράκλειο, ενώ η μικρότερη αύξηση κατά 7 (±2) θα σημειωθεί στα νησιά των Κυκλάδων (Giannakopoulos et al., 2011).



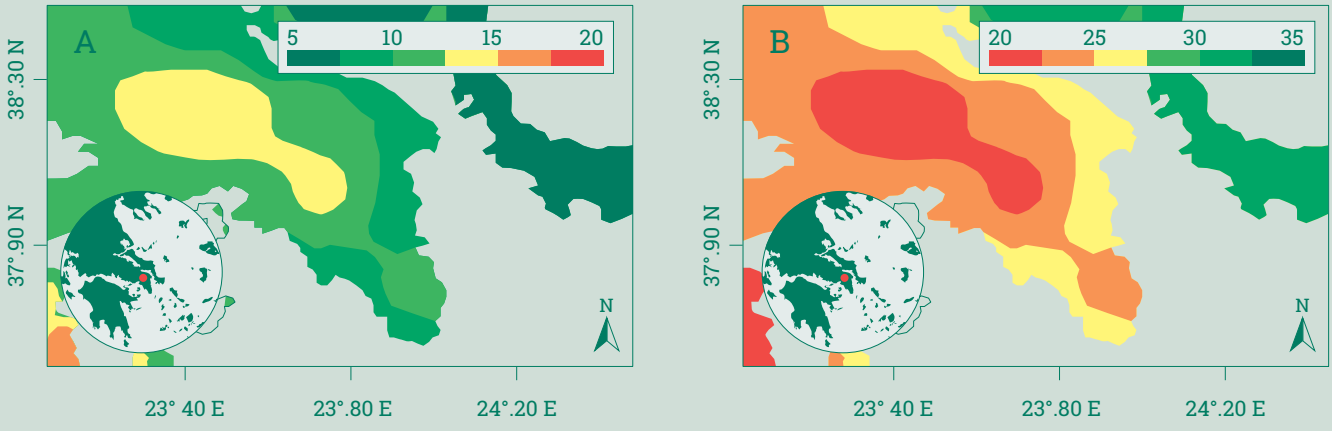
ΕΙΚΟΝΑ Α25
Προσομοίωση τάσεων για την α) πρώτη και β) τελευταία εμφάνιση τροπικών βραδιών (Tmin > 20 °C), γ) πρώτη και δ) τελευταία εμφάνιση τροπικών ημερών (Tmax > 30 °C) και ε) πρώτη και ζ) τελευταία εμφάνιση θερμών ημερών (Tmax > 35 °C) με βάση τις προσομοιώσεις των μοντέλων CNRM-RCA4, MOHC-RCA4 και MPI-RCA4 για την περίοδο 1970-2100 (Πηγή: Founda et al., 2019).



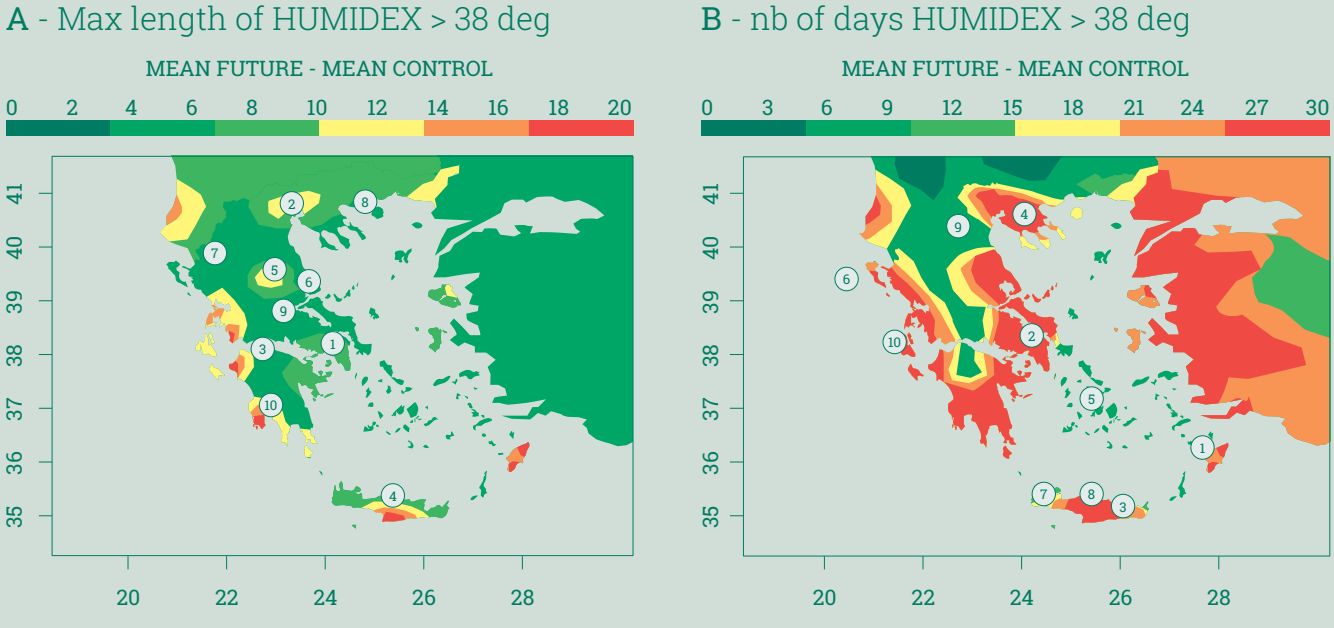
ΕΙΚΟΝΑ Α26
Χρονική εξέλιξη της πρώτης και τελευταίας εμφάνισης α) τροπικών βραδιών (TN, Tmin > 20 °C), β) τροπικών ημερών (TD, Tmax > 30 °C) και γ) θερμών ημερών (HD, Tmax > 35 °C) από δεδομένα παρατηρήσεων (1896-2017) και προσομοιώσεων για το μέλλον (1970-2100) για την Αθήνα (Πηγή: Founda et al., 2019).



ΕΙΚΟΝΑ Α27
Επίπεδα θερμικής δυσφορίας βάσει των δεικτών α) HI, β) HD καθώς και γ) συχνότητα υπερβάσεων με τουλάχιστον "ζέστη-εξαιρετική προσοχή (hot-extreme caution)" και "μεγάλη δυσφορία (great discomfort)" για την περίοδο αναφοράς (1971-2000, παρατηρήσεις, προσομοιώσεις) και για το μακρινό μέλλον (2071-2100) υπό το κλιματικό σενάριο RCP8.5 στην Αθήνα (Πηγή: Katavoutas et al., 2019).



ΕΙΚΟΝΑ Α28
Μεταβολή του αριθμού διαδοχικών ημερών με μεγάλη δυσφορία στην Αθήνα για α) το εγγύς μέλλον 2021-2050 και β) το μακρινό μέλλον 2071-2100 σε σύγκριση με το σημερινό κλίμα (1971-2000) (Πηγή: Keramitsoglou et al., 2017).



ΕΙΚΟΝΑ Α29
Μεταβολές στην α) μέγιστη διάρκεια ημερών και β) στον αριθμό ημερών με "μεγάλη δυσφορία (great discomfort)" (Humidex > 38 °C) μεταξύ των περιόδων 2021-2050 και 1961-1990 (Πηγή: Giannakopoulos et al., 2011).

Η εφαρμογή του λογικού θερμικού δείκτη PET (Physiologically Equivalent Temperature) στην πόλη της Αθήνας για τις περιόδους 2021-2050 και 2071-2100 αποκαλύπτει μια σημαντική αύξηση της θέρμης επιβάρυνσης για τον πληθυσμό σε σχέση με το παρόν κλίμα (Εικόνα Α30) (Matzarakis et al., 2014). Συγκεκριμένα, ο αριθμός ημερών με θερμή επιβάρυνση διαμορφώνεται περίπου στις 40 ημέρες στο παρόν κλίμα, οι οποίες παρατηρούνται τους καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιο μέχρι Αύγουστο). Στο εγγύς μέλλον (2021-2050), η ετήσια μέση τιμή του δείκτη PET αναμένεται να αυξηθεί κατά 1.5 °C, ενώ ο αριθμός ημερών με θερμή επιβάρυνση θα αυξηθεί κατά 50%. Οι αλλαγές αυτές θα αυξηθούν περαιτέρω μέχρι τα τέλη του 21ου αιώνα (Matzarakis et al., 2014).

Στον ευρύτερο Ελλαδικό χώρο, ο αριθμός των ημερών με ισχυρή θερμή επιβάρυνση αναμένεται να αυξηθεί την τελευταία δεκαετία του 21ου αιώνα (2091-2100) υπό το κλιματικό σενάριο A1B σε σχέση με την τελευταία δεκαετία του 20ου αιώνα (1991-2000), όπως προκύπτει από την εφαρμογή του θερμοφυσιολογικού δείκτη PET (Εικόνα Α31, Ματζαράκης κ.α., 2014). Η παρατηρούμενη αύξηση αναμένεται να υπερβεί τις 30 ημέρες για τις περισσότερες περιοχές της Μεσογείου.

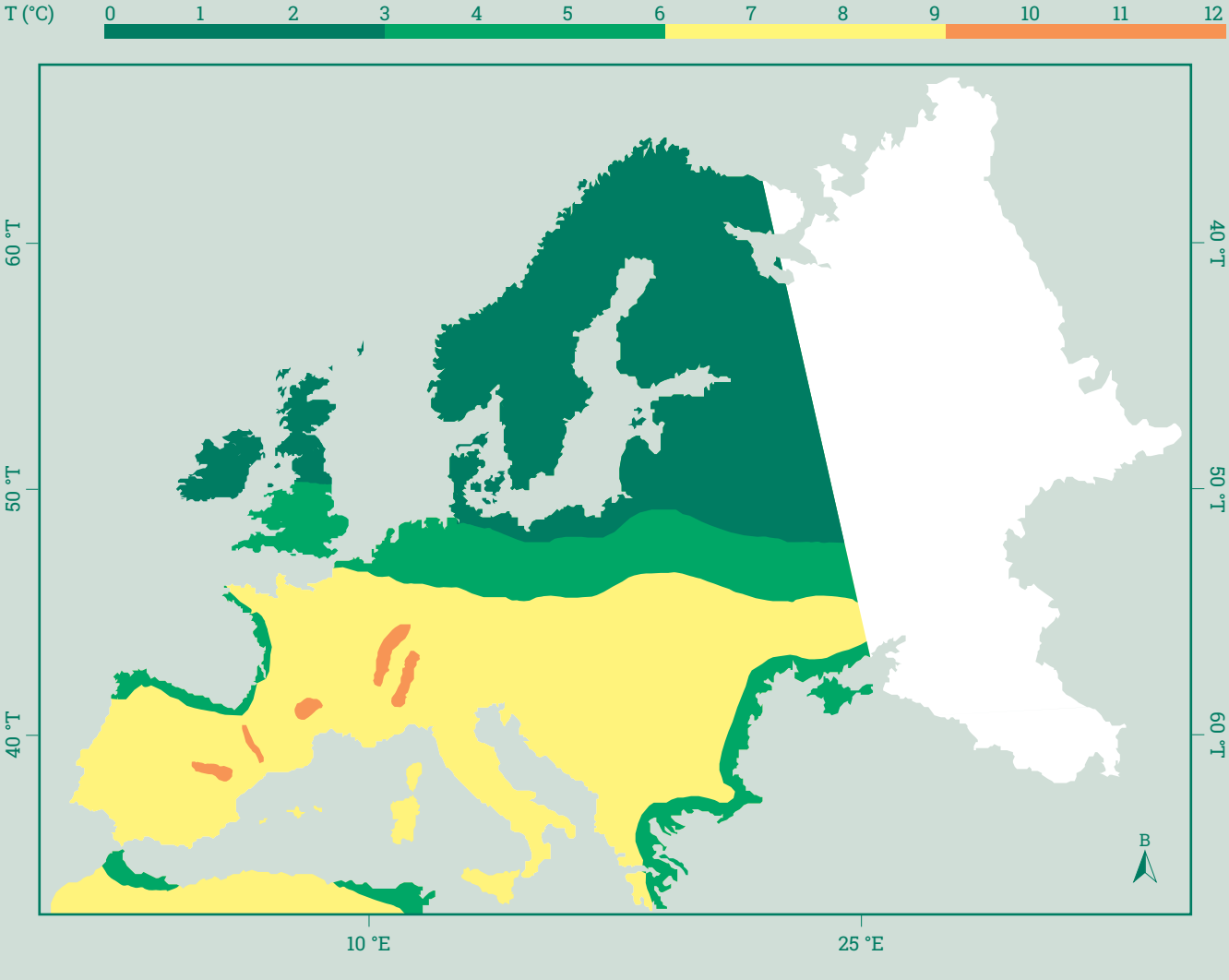
Λόγω της εξελισσόμενης κλιματικής αλλαγής η οποία λαμβάνει χώρα στον πλανήτη, η συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων καύσωνα στο μέλλον αναμένεται να αυξηθεί στις περισσότερες χώρες της Ευρώπης, με την παρατηρούμενη αύξηση να είναι μεγαλύτερη σε περιοχές της Νότιας Ευρώπης και της Μεσογείου (Εικόνα Α32, ΕΑΑ, 2019). Η Ελλάδα αναμένεται να επηρεαστεί σε σημαντικό βαθμό τόσο στο εγγύς (2020-2052) όσο και στο απώτερο (2068-2100) μέλλον με βάση και τα δυο σενάρια εκπομπών, RCP4.5 και RCP8.5. Μια τέτοια αύξηση στη συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων καύσωνα στο μέλλον πιθανότατα να αυξήσει

ΕΙΚΟΝΑ Α30
Μηνιαία κατανομή συχνοτήτων του θερμικού δείκτη PET για την Αθήνα για α) την περίοδο αναφοράς (1961-1990), β) το εγγύς μέλλον (2021-2050) και γ) το μακρινό μέλλον (2071-2100) υπό το κλιματικό σενάριο A1B (Πηγή: Matzarakis et al., 2014).

τα περιστατικά εισαγωγής σε νοσοκομεία με συμπτώματα θερμοπληξίας και θερμικής εξάντλησης καθώς και τα επίπεδα θνησιμότητας, σύμφωνα με τα έως τώρα ευρήματα από τις επιπτώσεις ενός επεισοδίου καύσωνα στον πληθυσμό, τα οποία παρουσιάστηκαν στο προηγούμενο υποκεφάλαιο Β3.

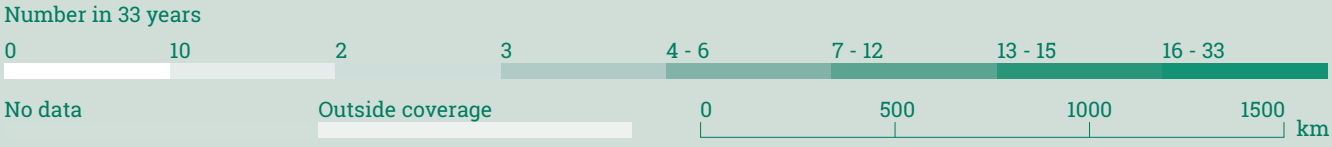
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα πρόσφατων μελετών (Nastos et al., 2014, Ματζαράκης κ.α., 2014), στην περιοχή της Πελοποννήσου αναμένεται αύξηση του αριθμού ημερών με ισχυρή θερμή επιβάρυνση μέχρι τα μέσα του 21ου αιώνα, με την αύξηση να είναι μεγαλύτερη στην ενδοχώρα σε σχέση με τις παράκτιες περιοχές λόγω της επίδρασης της θαλάσσιας αύρας κατά τη διάρκεια του θέρους (Εικόνα Α33). Περαιτέρω αύξηση του αριθμού ημερών με ισχυρή θερμή επιβάρυνση αναμένεται μέχρι τα τέλη του 21ου αιώνα όπου και θα επηρεαστούν οι παράκτιες περιοχές της δυτικής και ανατολικής Πελοποννήσου.

Στο νησί της Μήλου, το οποίο αποτελεί ένα σημαντικό τουριστικό προορισμό κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, αναμένεται αύξηση του αριθμού ημερών με θερμή επιβάρυνση κατά 21 ημέρες (αύξηση 34%) και μείωση του αριθμού ημερών με ψυχρή επιβάρυνση κατά 5 ημέρες (μείωση 33%) ανά έτος στο εγγύς μέλλον (2021-2050) υπό το σενάριο RCP4.5 (Εικόνα Α34β) (Nastos and Matzarakis, 2019). Για την ίδια περίοδο στο μέλλον αλλά βάσει του σεναρίου εκπομπών RCP8.5, η αύξηση στον αριθμό ημερών με θερμή επιβάρυνση αναμένεται μεγαλύτερη και φτάνει τις 24 ημέρες (αύξηση 39%) (Εικόνα Α34γ).

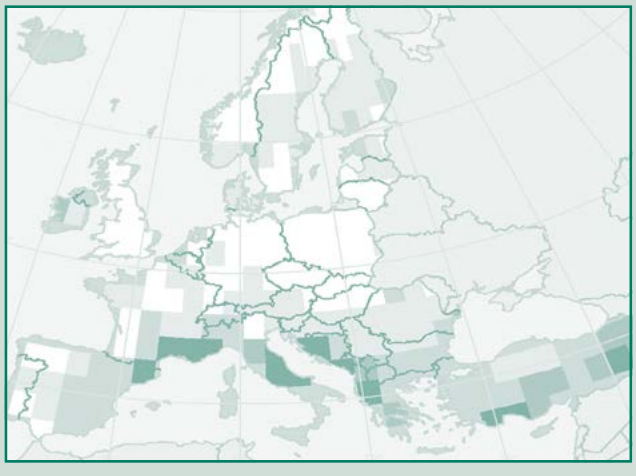


ΕΙΚΟΝΑ Α31
Αποκλίσεις στον αριθμό ημερών με τουλάχιστον ισχυρή θερμή επιβάρυνση (PET > 35 °C) μεταξύ των περιόδων 2091-2100 και 1991-2000 υπό το κλιματικό σενάριο Α1Β (Πηγή: Ματζαράκης κ.α., 2014).

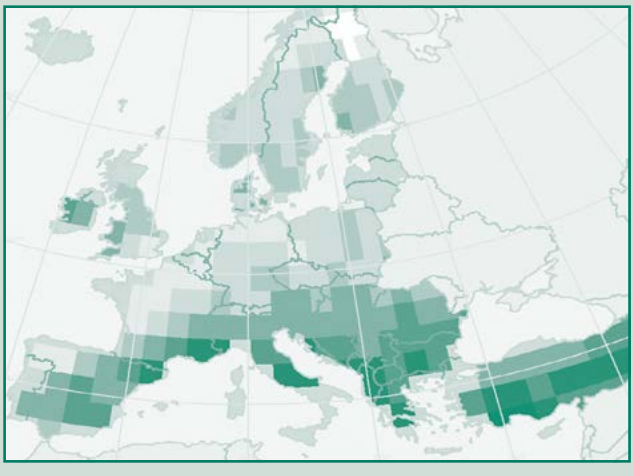
HEAT WAVE FREQUENCY



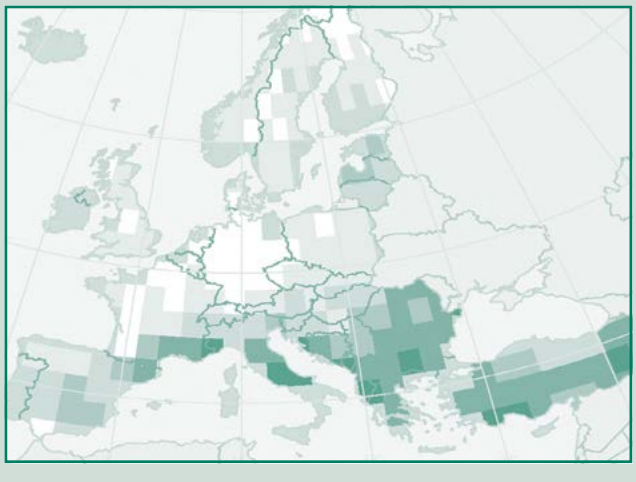
2020 - 2052 RCP4.5



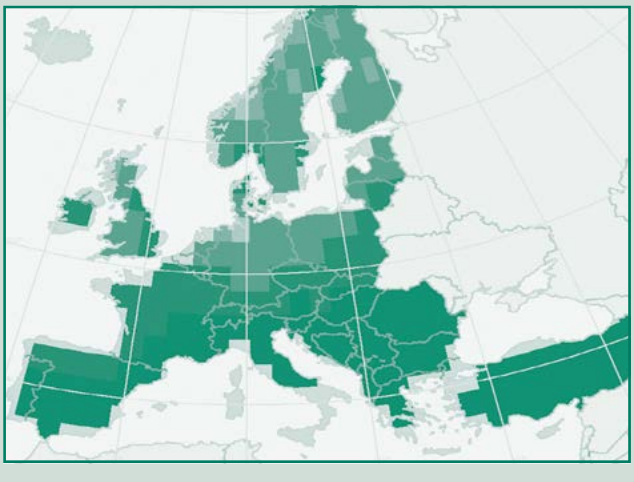
2068 - 2100 RCP4.5



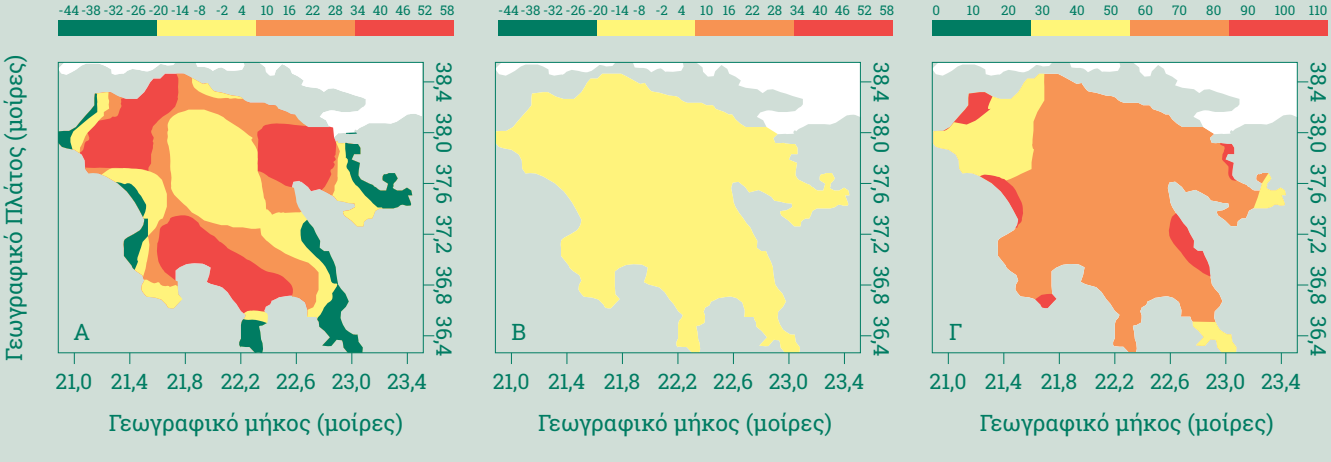
2020 - 2052 RCP8.5



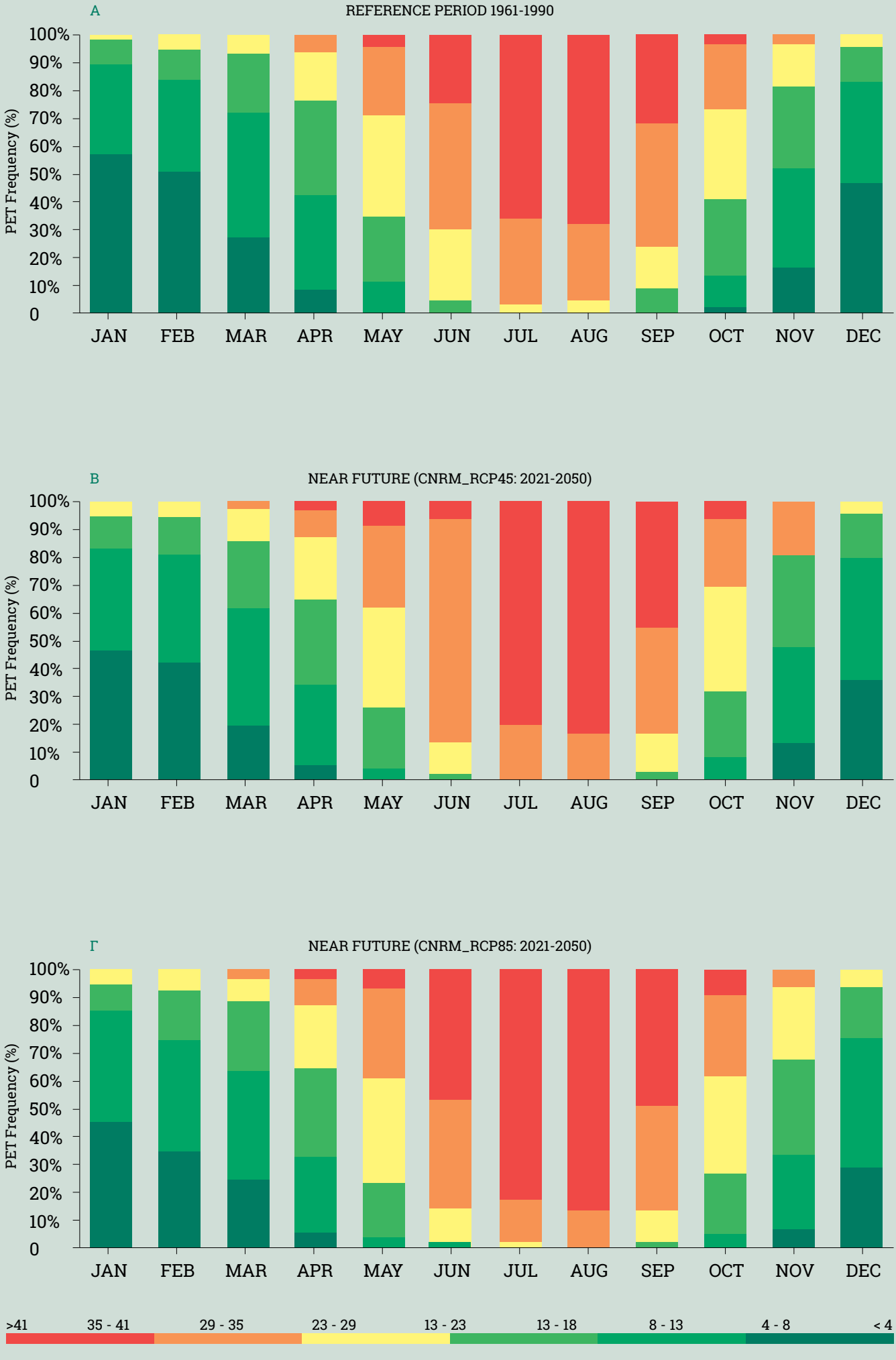
2068 - 2100 RCP8.5



ΕΙΚΟΝΑ Α32
Συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων καύσωνα για το εγγύς (2020-2052) και το απώτερο (2068-2100) μέλλον υπό τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5 (EEA, 2019).



ΕΙΚΟΝΑ Α33
Χωρική κατανομή α) του αριθμού ημερών με PET > 35 °C (ισχυρή θερμή επιβάρυνση) για την περίοδο αναφοράς (1961-1990), β) της μεταβολής του αριθμού ημερών με PET > 35 °C για το εγγύς μέλλον (2031-2050) από την περίοδο αναφοράς και γ) της μεταβολής του αριθμού ημερών με PET > 35 °C για το απώτερο μέλλον (2071-2100) από την περίοδο αναφοράς, υπό το σενάριο εκπομπών A1B (Πηγή: Nastos et al., 2014, Ματζαράκης κ.α., 2014).


A
REFERENCE PERIOD 1961-1990
PET Frequency (%)
100%
90%
80%
70%
60%
50%
40%
30%
20%
10%
0
JAN
FEB
MAR
APR
MAY
JUN
JUL
AUG
SEP
OCT
NOV
DEC
B
NEAR FUTURE (CNRM_RCP45: 2021-2050)
Γ
NEAR FUTURE (CNRM_RCP85: 2021-2050)
>41
35 - 41
29 - 35
23 - 29
13 - 23
13 - 18
8 - 13
4 - 8
< 4

ΕΙΚΟΝΑ Α34
Συχνότητα εμφάνισης του δείκτη PET ανά μήνα στη Μήλο για α) την περίοδο αναφοράς (1961-1990), β) το εγγύς μέλλον (2021-2050) υπό το σενάριο εκπομπών RCP4.5, γ) το εγγύς μέλλον (2021-2050) υπό το σενάριο εκπομπών RCP8.5, δ) το απώτερο μέλλον (2071-2100) υπό το σενάριο εκπομπών RCP4.5 και ε) το απώτερο μέλλον (2071-2100) υπό το σενάριο εκπομπών RCP8.5
(Πηγή: Nastos and Matzarakis, 2019).

Η μελέτη των Nastos and Matzarakis (2019) αποκαλύπτει επίσης ότι οι μεταβολές στη συχνότητα εμφάνισης του θερμοφυσιολογικού δείκτη PET αναμένεται να είναι μεγαλύτερες μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα στη Μήλο. Συγκεκριμένα, στο απώτερο μέλλον (2071-2100), ο αριθμός ημερών με θερμή επιβάρυνση αναμένεται να αυξηθεί κατά 33 ημέρες (αύξηση 54%) υπό το σενάριο RCP4.5 και κατά 54 ημέρες (αύξηση 89%) βάσει του σεναρίου RCP8.5 (Εικόνες Α34δ, ε). Παράλληλα με την αύξηση των ημερών με θερμή επιβάρυνση, αναμένεται μείωση των ημερών με ψυχρή επιβάρυνση, η οποία διαμορφώνεται στο 60% (9 ημέρες) και στο 73% (11 ημέρες) με βάση τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5, αντίστοιχα.

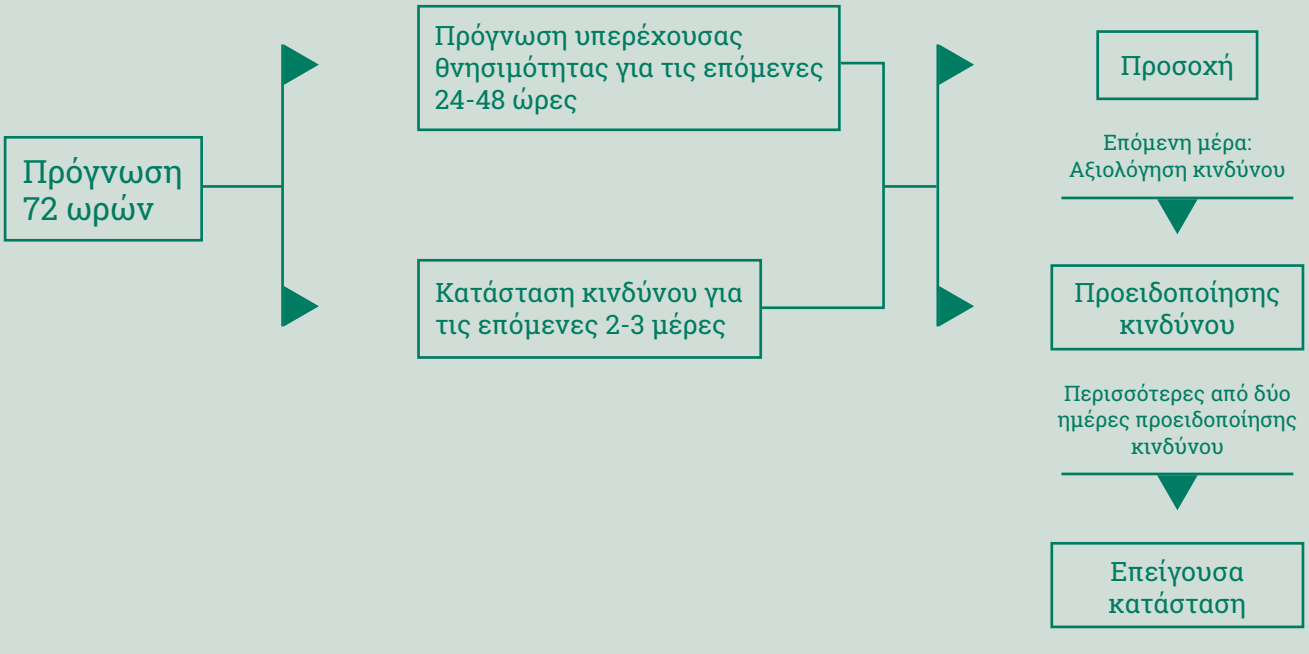
Β.5.
Μέτρα πρόληψης

Στα πλαίσια της πρόληψης, για τον μετριασμό της θνησιμότητας, της νοσηρότητας και της δυσφορίας που σχετίζονται με υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος, θα πρέπει να αναπτυχθούν και να εφαρμοστούν δράσεις για τη δημόσια υγεία. Τα συστήματα προειδοποίησης για την υγεία θα πρέπει να συνδέουν τις δομές της Δημόσιας Υγείας με την πρόγνωση επικίνδυνων καιρικών φαινομένων (Casanueva et al., 2019, Kovats and Kristie, 2006). Ένα ολοκληρωμένο σύστημα προειδοποίησης απαιτεί:

- αξιόπιστες μετεωρολογικές προβλέψεις για τον πληθυσμό ή την περιοχή ενδιαφέροντος.
- ισχυρή κατανόηση των σχέσεων αιτίας-αποτελέσματος μεταξύ του θερμικού περιβάλλοντος και των επιπτώσεων στην υγεία σε επίπεδο πληθυσμού, συμπεριλαμβανομένης της αναγνώρισης με βάση τα στοιχεία των μετεωρολογικών συνθηκών του "υψηλού κινδύνου", για την ενεργοποίηση και απενεργοποίηση των κατάλληλων μέτρων.
- αποτελεσματικά μέτρα αντίδρασης που πρέπει να εφαρμοστούν μέσα στο παράθυρο του χρόνου προειδοποίησης (1-3 ημέρες, περίπου).
- συμμετοχή των θεσμικών οργάνων και των φορέων που διαθέτουν επαρκείς πόρους, ικανότητες, γνώσεις και πολιτική βούληση να αναλάβουν ειδικά μέτρα αντιμετώπισης.

Η πλειοψηφία των σύγχρονων συστημάτων προειδοποίησης για επεισόδια καύσωνα που εφαρμόζονται μετά το 2003 έχουν περισσότερα από ένα επίπεδα προειδοποίησης (Εικόνα Α35). Οι διαφορετικές προειδοποιήσεις ξεκινούν στα πλαίσια του κάθε επιπέδου με βάση το επίπεδο εμπιστοσύνης στην πρόγνωση του επεισοδίου καύσωνα ή το μέγεθος του επεισοδίου. Ένα σύστημα ενός επιπέδου θα εκδώσει μια προειδοποίηση όταν το όριο προβλέπεται να ξεπεραστεί μέσα σε λίγες ημέρες. Οι πόλεις στις Η.Π.Α διαθέτουν συστήματα προειδοποίησης δύο ή και τριών επιπέδων. Πολλές πόλεις στην Ευρώπη διαθέτουν σχέδια έκτακτης ανάγκης τα οποία αναπτύσσονται για ακραία επεισόδια καύσωνα (Casanueva et al., 2019, Kovats and Kristie, 2006).

Στις Η.Π.Α αλλά και στην Ευρώπη εφαρμόζονται μια σειρά από δράσεις για την προστασία της δημόσιας υγείας κατά τη διάρκεια επεισοδίων καύσωνα, με το επίπεδο υλοποίησης της κάθε δράσης να διαφοροποιείται (Πίνακας Α12) (Casanueva et al., 2019, Kovats and Kristie, 2006).



ΕΙΚΟΝΑ Α35
Παράδειγμα ενός συστήματος προειδοποίησης για επεισόδιο καύσωνα με τρία επίπεδα ειδοποίησης, Προσοχή (attention), Προειδοποίησης κινδύνου (alarm), Επείγουσα κατάσταση (emergency) (Πηγή: Kovats and Kristie, 2006).

Μέτρα	Βαθμός υλοποίησης	Σχόλια
Ανακοινώσεις στα μέσα μαζικής ενημέρωσης	+++	Παρέχονται γενικές πληροφορίες για την αποφυγή θερμικής επιβάρυνσης στο ευρύ κοινό
Δελτία τύπου ή ιστοσελίδες	+++	Πιθανή περιορισμένη πρόσβαση, σε σχετικούς επαγγελματίες ή πρόσβαση σε οποιονδήποτε
Ενημερωτικά φυλλάδια	++	Γενικές οδηγίες, και οδηγίες σε διευθυντές νοσηλευτών. Συχνά διανέμονται στις αρχές του καλοκαιριού μέσω των κέντρων υγείας και σε χώρους συνάθροισης ευάλωτων ομάδων του πληθυσμού
Τηλεφωνική γραμμή βοήθειας	++	Είτε λειτουργία μιας ειδικής τηλεφωνικής υπηρεσίας ή ενθάρρυνση του πληθυσμού για επικοινωνία μέσω μιας ήδη προ υπάρχουσας τηλεφωνικής υπηρεσίας για την παροχή συμβουλών υγείας
Άνοιγμα κλιματιζόμενων χώρων για το κοινό	++	Υπάρχουν ενδείξεις ότι τέτοιοι χώροι συχνά δεν χρησιμοποιούνται από άτομα υψηλού κίνδυνου, αλλά από άτομα χαμηλού κινδύνου
Νοσοκομεία σε επίπεδο συναγερμού	+	Εφαρμόζεται για τη βελτίωση της επιχειρησιακής ετοιμότητας (π.χ., εάν χρειάζεται να αναπτυχθεί επιπλέον προσωπικό). Πρέπει να βασίζεται σε τοπικές πληροφορίες και να αξιολογείται προσεκτικά
Επίσκεψη στις οικίες ατόμων που ανήκουν σε ευάλωτες ομάδες του πληθυσμού	+	Σημαντικό μέτρο αλλά συνήθως ακριβό. Χρησιμοποιήστε ήδη υπάρχοντα δίκτυα εθελοντών ή επαγγελματιών (π.χ. κοινωνικοί λειτουργοί). Απαιτεί μητρώο ευάλωτων ομάδων του πληθυσμού
Μεταφορά ευπαθών ατόμων από τις οικίες τους σε κλιματιζόμενους χώρους	+	Χρησιμοποιώντας ένα μητρώο ευάλωτων ομάδων του πληθυσμού, ειδικοί επαγγελματίες επισκέπτονται ευπαθείς ομάδες στις οικίες τους και εάν κριθεί απαραίτητο τους μεταφέρουν
Εγρήγορση για τους άστεγους	+	Ομάδα υψηλού κινδύνου (π.χ., στις νότιες ΗΠΑ 11 άστεγοι πέθαναν στο κύμα καύσωνα στο Φοίνιξ, Ιούλιος 2005)
Οι εταιρείες παροχής ηλεκτρικού ρεύματος να παύσουν τις διακοπές σε άτομα που δεν έχουν πληρώσει	+++	Οι επιχειρήσεις κοινής ωφέλειας έχουν ξεκινήσει και υποστηρίζουν οικονομικά τα συστήματα παρακολούθησης/προειδοποίησης επικίνδυνων καιρικών φαινομένων (π.χ., στις ΗΠΑ). Ιδιαίτερα σε χώρες όπου ο πληθυσμός βασίζεται στον κλιματισμό (όπως στις ΗΠΑ)
Οι εταιρείες παροχής νερού να παύσουν τις διακοπές σε άτομα που δεν έχουν πληρώσει	+	-
Διανομή ανεμιστήρων	++	Οι ανεμιστήρες είναι αποτελεσματικοί, αλλά όχι όταν η θερμοκρασία του αέρα είναι υψηλότερη από 37 °C

ΠΙΝΑΚΑΣ Α12
Μέτρα προστασίας στις Η.Π.Α και στην Ευρώπη κατά τη διάρκεια επεισοδίων καύσωνα. Βαθμός υλοποίησης, (+) σπάνια εφαρμόζεται, (++) συχνά εφαρμόζεται, (+++) πολύ συχνά εφαρμόζεται (Kovats and Kristie, 2006).

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής σε ασθένειες που σχετίζονται με κουνούπια φορείς

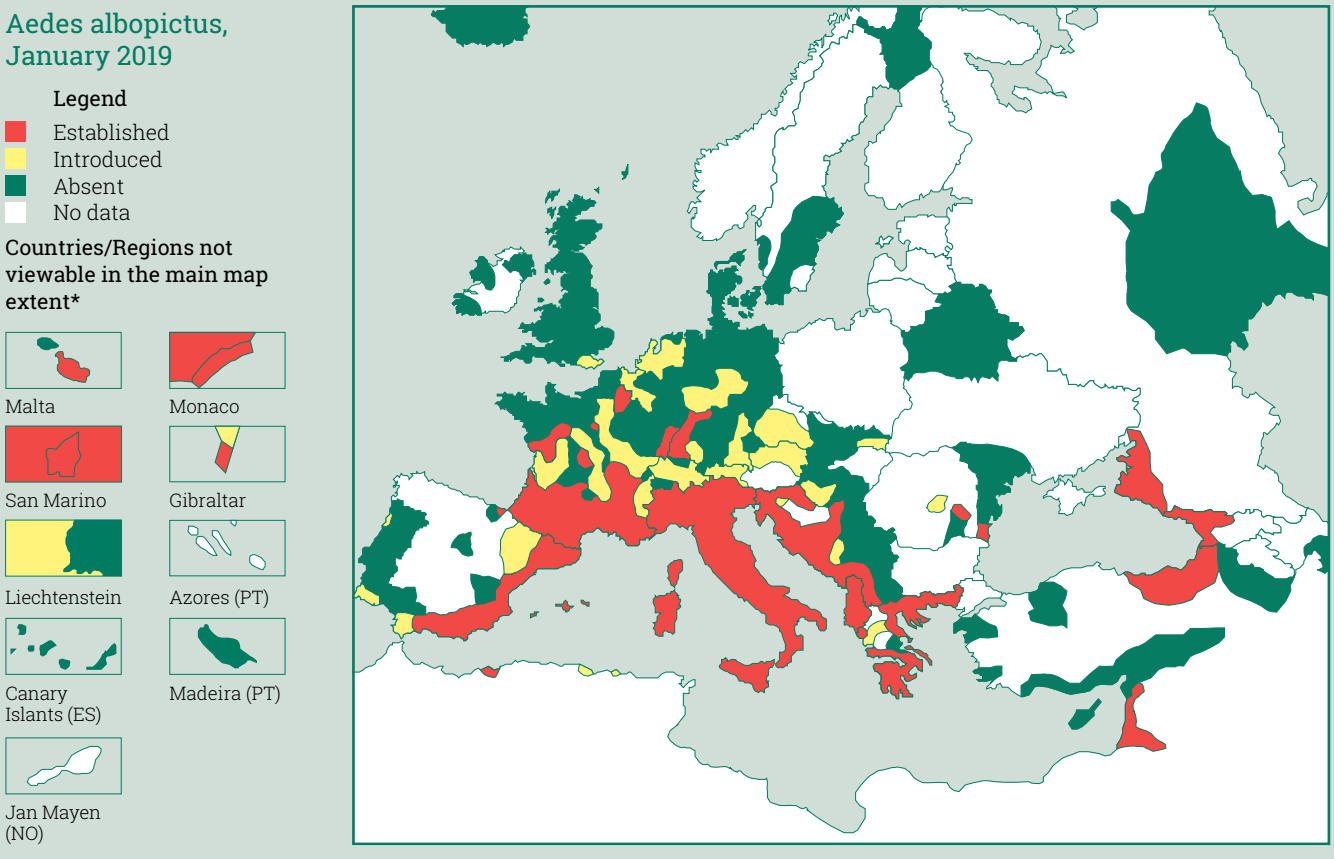
Β.6.1. Κουνούπια εισβολείς στην Ελλάδα και την Ευρώπη

Τα κουνούπια ανήκουν στην τάξη των δίπτερων εντόμων. Είναι αιμομυζητικά έντομα που ενοχλούν όχι μόνο τον άνθρωπο αλλά και τα ζώα και τα πτηνά. Μέχρι σήμερα έχουν καταγραφεί 3450 είδη κουνουπιών στον κόσμο και στην Ελλάδα περισσότερα από 50 είδη. Η Ελλάδα είναι μια χώρα που το γεωμορφολογικό της περιβάλλον και οι μικροκλιματικές συνθήκες ευνοούν την ανάπτυξη πληθυσμών μιας πληθώρας ειδών κουνουπιών. Σε όλη τη χώρα σχεδόν, υπάρχουν πολλές τυπικές εστίες αναπαραγωγής κουνουπιών, όπως είναι οι ορυζώνες, τα παραθαλάσσια έλη, τα ποτάμια, οι λίμνες, τα αποστραγγιστικά – αρδευτικά κανάλια, τα δέλτα των ποταμών κ.α. Επίσης, στην Ελλάδα υπάρχει έλλειψη αποχετευτικού δικτύου σε πολλές επαρχίες, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την ύπαρξη και μεγάλου αριθμού αστικών εστιών αναπαραγωγής κουνουπιών (Kokkotis et al, 2014).

Εκτός από τα ενδημικά είδη κουνουπιών στην Ευρώπη και την Ελλάδα, όπως τα είδη που ανήκουν στα γένη Culex και Anopheles, η κλιματική αλλαγή αναμένεται να επιφέρει την επέκταση σε ευρύτερες γεωγραφικές ενότητες της Ευρώπης κάποιων άλλων ειδών κουνουπιών, τα οποία ήδη εμφανίζονται σε συγκεκριμένες περιοχές και χαρακτηρίζονται ως κουνούπια «εισβολείς». Η παρακολούθηση/παρατήρηση αυτών των ειδών κρίνεται ως αναγκαία λόγω του γεγονότος ότι μπορούν να αποτελέσουν φορείς (vectors) ασθενειών για τον άνθρωπο. Οι σημαντικότερες κατηγορίες κουνουπιών εισβολέων στην Ευρώπη ανήκουν στο γένος Aedes και είναι οι ακόλουθες:

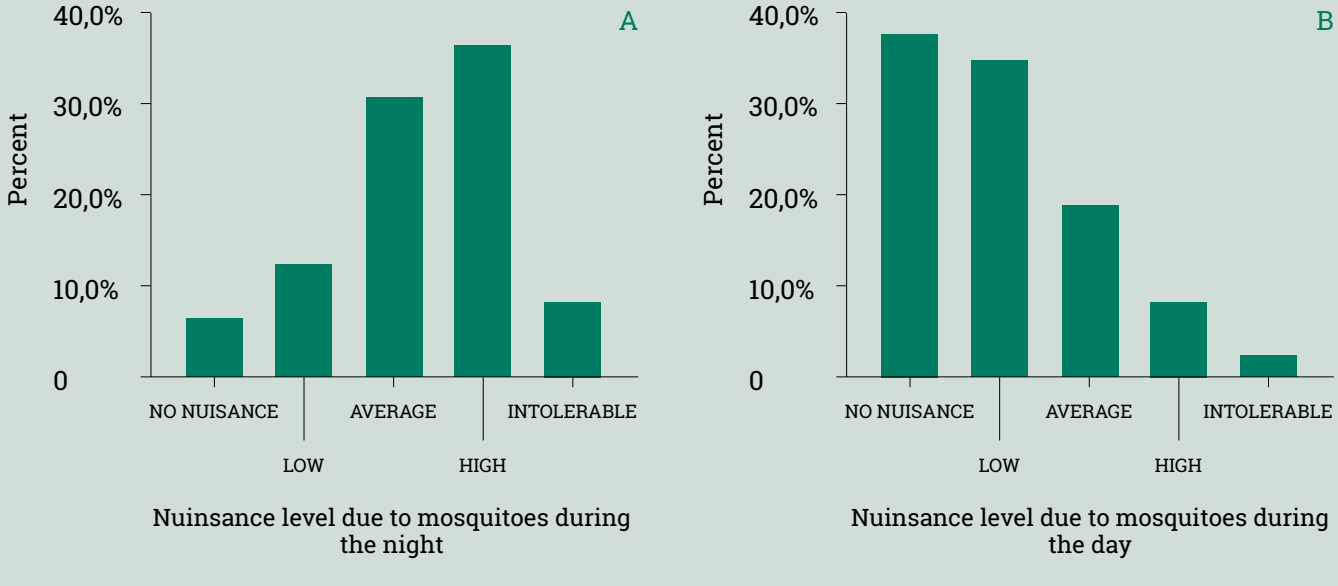
1. Aedes albopictus: Το Ασιατικό κουνούπι τύπου «τίγρης», το οποίο κατατάσσεται ως ένα από τα 100 πιο επεκτατικά είδη στον κόσμο και προέρχεται από τις τροπικές και υποτροπικές περιοχές της Νοτιοανατολικής Ασίας (Caminade et al, 2012). Αναπαράγεται με αυγά τα οποία εναποθέτει σε σημεία με παροδική παρουσία νερού σε αστικές και περιαστικές περιοχές. Τις προηγούμενες δεκαετίες το συγκεκριμένο είδος κουνουπιού επεκτάθηκε σε πολλές περιοχές του κόσμου, υποβοηθούμενο και από την μεταφορά των ανθεκτικών στην ξηρασία αυγών του μέσω του εμπορίου αγαθών και ιδιαίτερα των μεταχειρισμένων ελαστικών και φυτών όπως το μπαμπού (Caminade et al, 2012). Το κουνούπι τίγρης, εντοπίστηκε για πρώτη φορά στην Ευρώπη στην Αλβανία το 1979, στη συνέχεια στην Ιταλία το 1990 και πλέον έχει παρουσία σε πλήθος Ευρωπαϊκών χωρών στις οποίες συμπεριλαμβάνεται και η Ελλάδα σύμφωνα με το Ευρωπαϊκό Κέντρο για την Πρόληψη και τον Έλεγχο Ασθενειών (ECDC) (Εικόνα Β1). Έχει επίσης καθιερώσει την παρουσία του σε πλήθος Μεσογειακών χωρών όπως η Συρία, το Ισραήλ και ο Λίβανος (Failloux et al, 2017). Εκτός από την απλή ενόχληση που προκαλεί λόγω των ισχυρών τσιμπημάτων του, το κουνούπι Aedes albopictus συνδέεται και με τη μεταφορά ιών στον άνθρωπο και τα ζώα, όπως ο ιός Chikungunya, ο Δάγγειος ιός (Dengue) κ.α. (Caminade et al, 2012, Failloux et al, 2017). Πάντως, σύμφωνα με τους Bithas et al, 2018, οι πολίτες της Αθήνας φαίνεται να εντοπίζουν την όχληση από τα κουνούπια κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες (Εικόνα Β2), γεγονός που καταδεικνύει ότι η παρουσία του κουνουπιού Aedes albopictus, το οποίο δρα και την ημέρα, είναι ακόμα μειωμένη σε σύγκριση με τα ενδημικά είδη στην πρωτεύουσα της Ελλάδας.

2. Aedes aegypti: Αυτός ο τύπος κουνουπιού ήταν ιδιαίτερα διαδεδομένος στην Νότια Ευρώπη και την Μέση Ανατολή στις αρχές του 20ου αιώνα. Τα θηλυκά κουνούπια γενούν τα αυγά τους πάνω ή κοντά σε υδάτινες επιφάνειες οι οποίες μπορεί να είναι φυσικές αλλά και τεχνητές, γι' αυτό και το συγκεκριμένο είδος κουνουπιού συνδέεται έντονα με την ανθρώπινη παρουσία και τις ανθρώπινες κατοικίες (Bouzid et al, 2014). Με την εξέλιξη της υγιεινής και της διαχείρισης

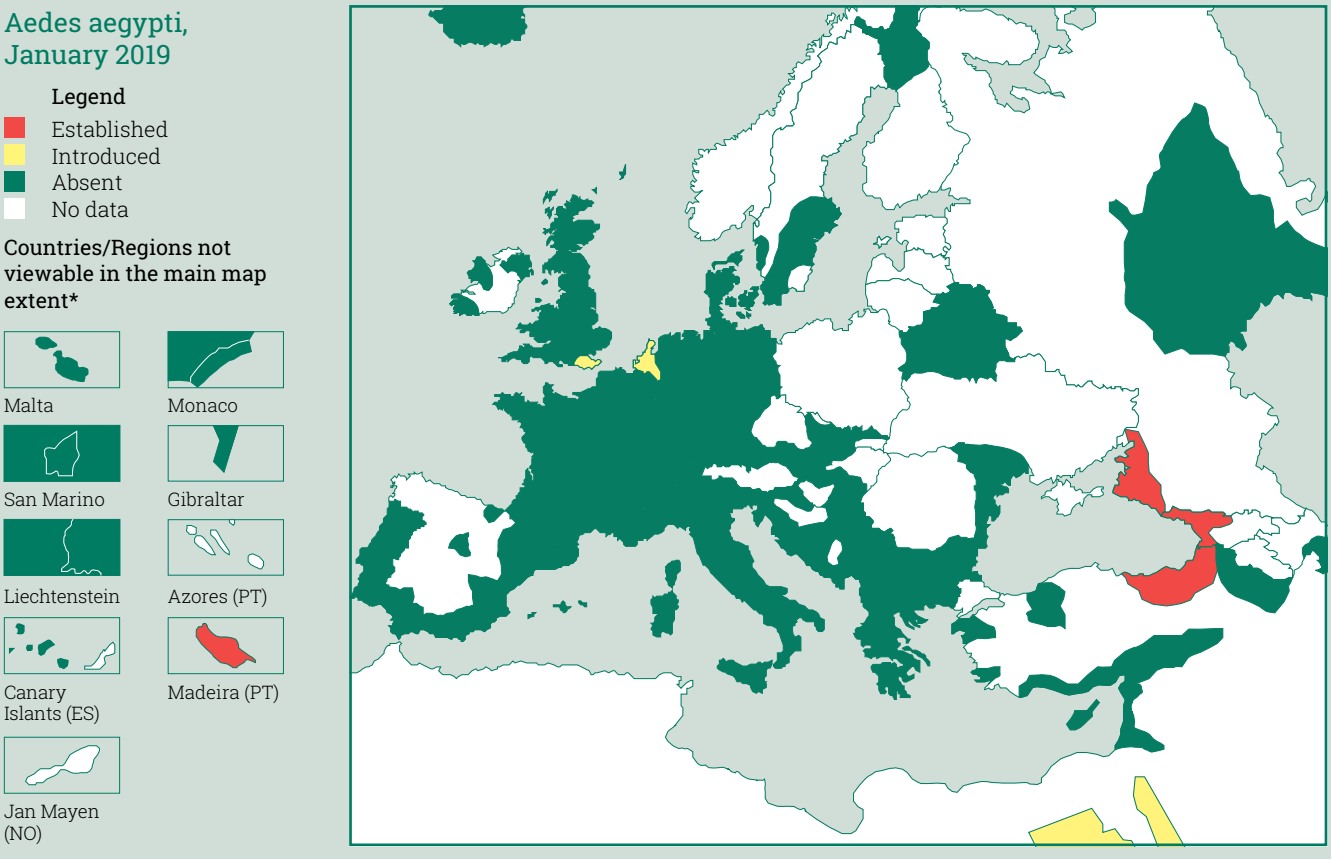


ECDC and EFCA, map produced on 16 Jan 2019. Data presented in this map are collected by the VectorNet project. Maps are validated by externatl experts prior to publication. Please note that the depicted data do not deflect the official views of the countries. * Countries/Regions are displayed at different scales to facilitate their visualisation. Administrative boundaries ©Eurographics, UNFAO, TurkShat.

ΕΙΚΟΝΑ Β1
Κατανομή των κουνουπιών Aedes albopictus στην Ευρώπη σε επίπεδο διοικητικών περιφερειών τον Ιανουάριο του 2019 (Πηγή: ECDC).



ΕΙΚΟΝΑ Β2
Επίπεδα όχλησης του πληθυσμού της Αθήνας από την παρουσία κουνουπιών α) κατά τη νύχτα και β) κατά την ημέρα (Πηγή: Bithas et al, 2018)

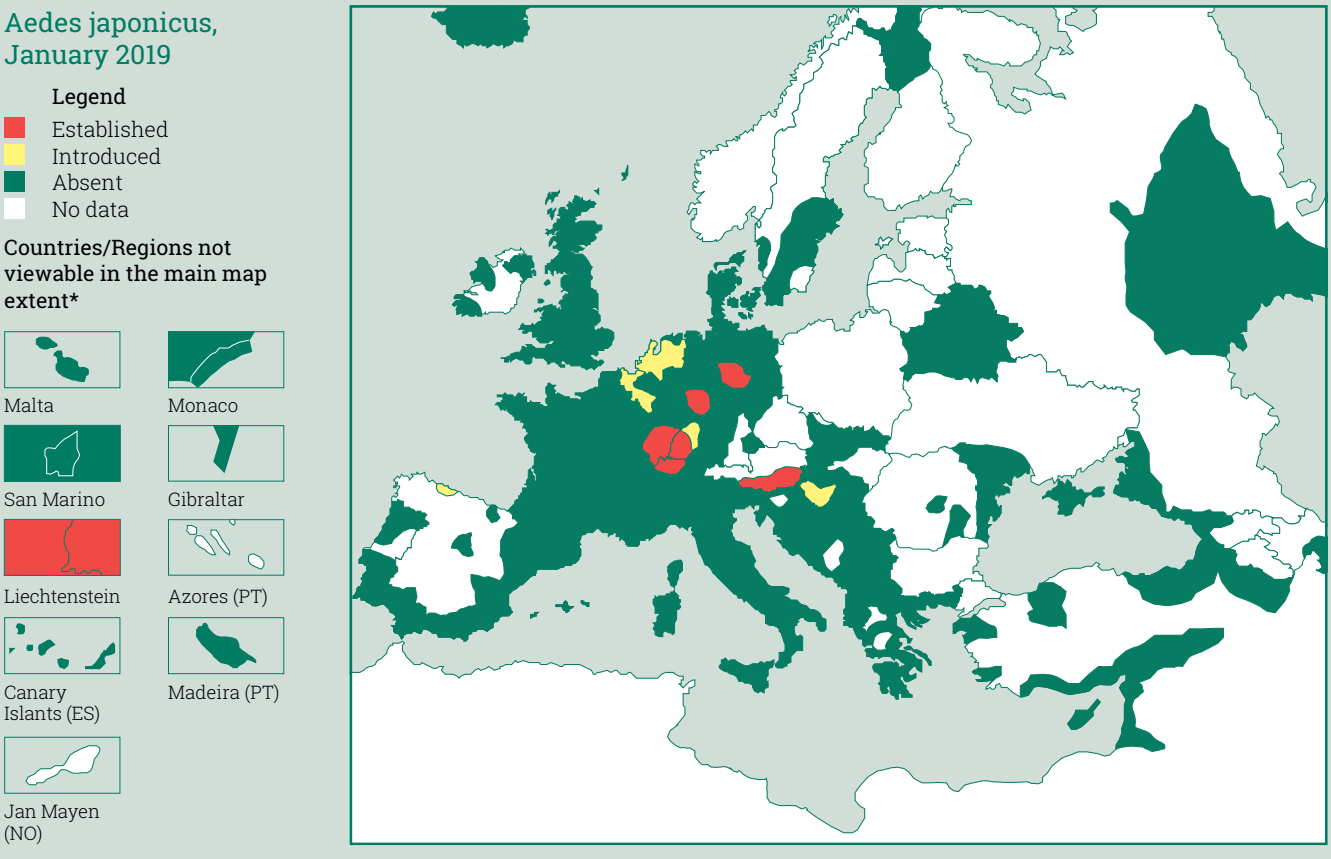


ECDC and EFCA, map produced on 16 Jan 2019. Data presented in this map are collected by the VectorNet project. Maps are validated by externatl experts prior to publication. Please note that the depicted data do not deflect the official views of the countries. * Countries/Regions are displayed at different scales to facilitate their visualisation. Administrative boundaries ©Eurographics, UNFAO, TurkShat.

ΕΙΚΟΝΑ Β3
Κατανομή των κουνουπιών Aedes aegypti στην Ευρώπη σε επίπεδο διοικητικών περιφερειών τον Ιανουάριο του 2019 (Πηγή: ECDC)

των αστικών υδατικών αποθεμάτων αλλά και των μέτρων ελέγχου των φορέων της ελονοσίας (Malaria) με το εντομοκτόνο DDT, τα κουνούπια Aedes aegypti εξαφανίστηκαν από την Ευρώπη μετά το 1950. Μετά από δεκαετίες απουσίας του Aedes aegypti από την Ευρασία, το 2004 έκανε ξανά την εμφάνιση του σε περιοχές γύρω από την Μαύρη Θάλασσα και συγκεκριμένα στη Νότια Ρωσία, τη Γεωργία και τη Βορειοανατολική Τουρκία (Failloux et al, 2017, Εικόνα Β3). Επιπροσθέτως, το 2012 καταγράφηκε μια έξαρση της εμφάνισης του Aedes aegypti στην Πορτογαλική νήσο Μαδέρα ενώ έχει παρατηρηθεί και η εμφάνιση του στην Ολλανδία (Failloux et al, 2017, Bouzid et al, 2014, Εικόνα Β3). Θεωρείται ως ο κύριος φορέας του Δάγγειου ιού παγκοσμίως (Bouzid et al, 2014).

3. Aedes japonicus: Αυτό το είδος κουνουπιών του γένους Aedes, απομονώθηκε για πρώτη φορά στην Ιαπωνία στην περιοχή βόρεια από τις νήσους Ryukyu (Hokkaido, Honshu, Shikoku, και Kyushu), αλλά και στην Κορεατική χερσόνησο όπου η παρουσία του είναι κοινή ακόμα και σε μεγάλες πόλεις, αλλά όχι σε ιδιαίτερη αφθονία. Το διεθνές και διηπειρωτικό εμπόριο, όπως αυτό των χρησιμοποιημένων ελαστικών, αλλά και η ανθεκτικότητα των αυγών του στις χαμηλές χειμερινές θερμοκρασίες, είναι παράμετροι που ευνόησαν την μεταφορά του στην Ευρώπη όπως ακριβώς συνέβη και με το είδος Aedes albopictus (Cunze et al, 2016). Παρ' όλα αυτά, τα κουνούπια του είδους Aedes japonicus, σε σχέση με εκείνα του είδους Aedes albopictus, φαίνεται να προσαρμόζονται πιο εύκολα σε χαμηλότερες θερμοκρασίες και κατά συνέπεια η αναμενόμενη άνοδος της θερμοκρασίας λόγω της κλιματικής αλλαγής δεν αναμένεται να ευνοήσει την άνοδο του πληθυσμού τους (Cunze et al, 2016). Στην Ευρώπη, πληθυσμοί του γένους Aedes japonicus έχουν παρατηρηθεί μέχρι στιγμής σε βορειότερες περιοχές της Αυστρίας, της Γαλλίας, της Γερμανίας, της Ελβετίας, της Ολλανδίας, της Σλοβενίας και του Βελγίου (Εικόνα Β4), ενώ δεν διαφαίνεται πιθανή επέκταση του στη Μεσόγειο. Θεωρείται αποτελεσματικός διαβιβαστής για ασθένειες όπως ο Ιός του Δυτικού Νείλου, ο Δάγγειος ιός κ.α. (Cunze et al, 2016).



ECDC and EFCA, map produced on 16 Jan 2019. Data presented in this map are collected by the VectorNet project. Maps are validated by externatl experts prior to publication. Please note that the depicted data do not deflect the official views of the countries. * Countries/Regions are displayed at different scales to facilitate their visualisation. Administrative boundaries ©Eurographics, UNFAO, TurkShat.

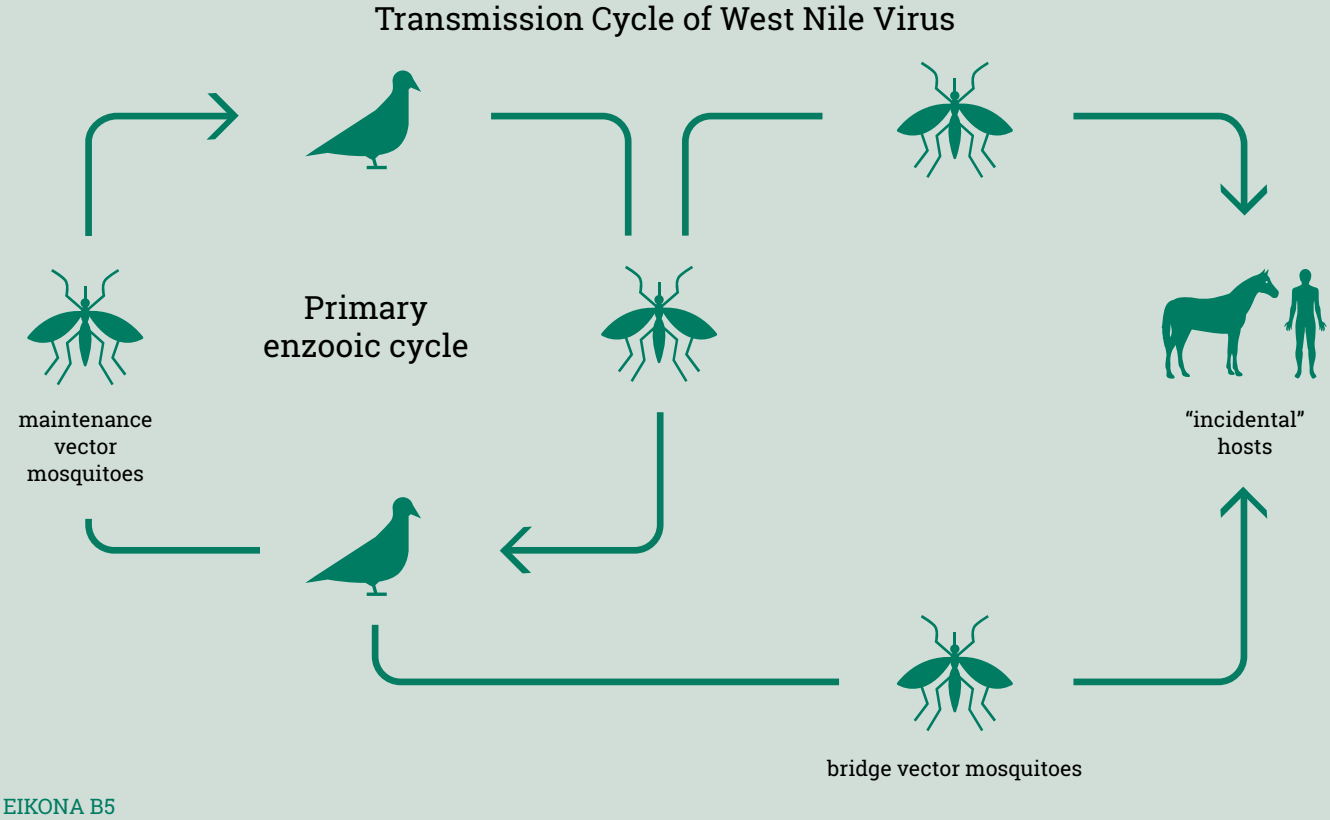
ΕΙΚΟΝΑ Β4
Κατανομή των κουνουπιών Aedes japonicus στην Ευρώπη σε επίπεδο διοικητικών περιφερειών τον Ιανουάριο του 2019 (Πηγή: ECDC)

Β.6.2.
Περιγραφή ασθενειών των οποίων η μετάδοση συνδέεται με κουνούπια διαβιβαστές

Οι κυριότερες ασθένειες η μετάδοση των οποίων συνδέεται με κουνούπια διαβιβαστές είναι 1) ο ιός του Δυτικού Νείλου 2) ο Δάγγειος ιός 3) ο ιός Chikungunya και 4) η Ελονοσία:

1. Ιός του Δυτικού Νείλου: Ανήκει στην κατηγορία των φλαβοϊών και διατηρείται στη φύση μέσω ενός ενζωοτικού κύκλου πολλαπλασιασμού και μετάδοσης (Mavrouli et al, 2015). Ο κύκλος μετάδοσης του στον άνθρωπο περιλαμβάνει τα πουλιά και τα κουνούπια. Άγρια αλλά και οικόσιτα είδη πτηνών (π.χ. κορακοειδή, σπουργίτια, γλάροι, κουκουβάγιες, διάφορα είδη γερακιών κτλ) μπορούν να αποτελέσουν φορείς του ιού και αναπτύσσουν σημαντικές συγκεντρώσεις του ιού στο αίμα τους γεγονός που τα καθιστά μεταδοτικά. Στη συνέχεια τα κουνούπια που τρέφονται με το αίμα αυτών των πουλιών μπορούν να αποτελέσουν τη γέφυρα της μετάδοσης του ιού σε άλλα υγιή μέχρι πρότινος πουλιά, αλλά και στον άνθρωπο και σε άλλα θηλαστικά (π.χ. άλογα), που αποτελούν τους τελικούς ξενιστές του ιού καθώς οι συγκεντρώσεις στο αίμα τους δεν φτάνουν σε επαρκή επίπεδα έτσι ώστε να τα καταστήσουν μεταδοτικά (Blitvich et al, 2008, Conte et al, 2015) (Εικόνα Β5). Η δυνατότητα των μεταναστευτικών πτηνών να πετούν καλύπτοντας αποστάσεις εκατοντάδων χιλιομέτρων για αρκετές ώρες, με ταχύτητες μέχρι και 100 km/h, έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά του ιού σε νέες απομακρυσμένες περιοχές.

Η πλειοψηφία των μολύνσεων από τον ιό του Δυτικού Νείλου σε ανθρώπους είναι ασυμπτωματικές ενώ μόλις το 20% των περιπτώσεων παρουσιάζει συμπτώματα που προσομοιάζουν με εκείνα μια ήπιας γρίπης όπως πυρετός, πονοκέφαλος, μυαλγία, ναυτία, κούραση, αδυναμία, εμετοί και διάρροιες, τα οποία εξελίσσονται συνήθως 2-14 μέρες μετά τη μόλυνση. Τα συμπτώματα διαρκούν περίπου 2-5 μέρες αλλά στις πιο σοβαρές περιπτώσεις το αίσθημα κόπωσης μπορεί να διατηρηθεί για πάνω από ένα μήνα (Blitvich et al, 2008). Περιστασιακά, σε ποσοστό <1%, συμβαίνει προσβολή του κεντρικού νευρικού συστήματος, με αποτέλεσμα την ανάπτυξη νευροδιεισδυτικής νόσου που εκδηλώνεται ως εγκεφαλίτιδα, μηνιγγίτιδα και οξεία χαλαρή παράλυση (Blitvich et al, 2008, Mavrouli et al, 2015). Η εμφάνιση της νευροδιεισδυτικής νόσου παρουσιάζεται κυρίως σε ηλικιωμένα άτομα, άνω των 65 ετών, με βεβαρυμμένο ιατρικό ιστορι-



ΕΙΚΟΝΑ Β5
Ο κύκλος μετάδοσης του ιού του Δυτικού Νείλου που περιλαμβάνει άγρια και κατοικίδια πτηνά ως φορείς και ορνιθοφιλικά κουνούπια ως διαβιβαστές του ιού, τόσο μεταξύ των πτηνών, όσο και προς τους τελικούς ξενιστές (άνθρωποι και άλογα).
(Πηγή: Mavrouli et al, 2015)

κό, ενώ πολύ πιο σπάνια σε νεότερα άτομα κάτω των 30 ετών. Ανάμεσα στα άτομα που θα παρουσιάσουν εγκεφαλική νόσο η θνησιμότητα προσεγγίζει το 10% ενώ μακροχρόνιες νευρολογικές δυσλειτουργίες παραμένουν σε ένα ποσοστό 50% (Blitvich et al, 2008, Mavrouli et al, 2015).

Στην Ελλάδα, ξεχωρίζει η επιδημία του ιού του Δυτικού Νείλου η οποία ξέσπασε το 2010 στα βόρεια τμήματα της χώρας, και η οποία είχε ως επίκεντρο το δέλτα του Αξιού στο οποίο εκβάλουν τέσσερεις ποταμοί (Αξιός, Αλιάκμονας, Γαλλικός και Λουδίας). Η περιοχή αποτελεί σημαντικό υγρότοπο ο οποίος αξιοποιείται από τα μεταναστευτικά αλλά και τα υδρόβια πουλιά τα οποία αποτέλεσαν την πηγή του ιού (Mavrouli et al, 2015, Bezirtzoglou et al, 2011). Η ευδοκίμηση των κουνουπιών του γένους Culex στην περιοχή κατέστησε την μετάδοση από τα πτηνά στους ανθρώπους ανεξέλεγκτη, με αποτέλεσμα να καταγραφούν 262 ασθενείς που νόσησαν τελικά από την ασθένεια, από τους οποίους 197 υπέστησαν σοβαρές νευρολογικές νόσους και 33 τελικά πέθαναν. Κρούσματα του ιού παρατηρήθηκαν στην Ελλάδα και τα επόμενα χρόνια γεγονός που αποτελεί ένδειξη ότι ο ιός μπορεί να καταστεί ενδημικός στην περιοχή μας (Hernández-Triana et al, 2014).

2.Δάγγειος ιός: Οι κύριοι διαβιβαστές του Δάγγειου ιού είναι τα κουνούπια του γένους Aedes και συγκεκριμένα τα είδη Aedes aegypti (πρωτεύων διαβιβαστής) και Aedes albopictus (δευτερεύων διαβιβαστής) (Bouzid et al, 2014). Υπάρχει μια σαφής διάκριση ανάμεσα στα στάδια εξέλιξης του ιού. Το πρώτο στάδιο περιλαμβάνει έναν ενζωοτικό κύκλο μετάδοσης, το δεύτερο μια μετάδοση της επιδημίας σε μικρά αγροτικά χωριά και το τρίτο που έχει και μεγαλύτερη υγειονομική σημασία την επέκταση της επιδημίας σε μεγάλα αστικά κέντρα. Τα συμπτώματα της νόσου περιλαμβάνουν ήπιο ή και υψηλό πυρετό, ο οποίος συνδυάζεται με ισχυρό πονοκέφαλο, πόνο πίσω από τα μάτια, πόνους στους μυς και στις αρθρώσεις αλλά και εμφάνιση εξανθημάτων. Οι ασθενείς και ιδιαίτερα τα μικρά παιδιά που θα υποστούν και μία ενδεχόμενη δεύτερη μόλυνση από κάποιον άλλο από τους τέσσερεις διαφορετικούς ορότυπους του Δάγγειου ιού, έχουν πολύ υψηλότερη πιθανότητα για να νοσήσουν με Δάγγειο αιμορραγικό πυρετό. Τα κλινικά συμπτώματα του Δάγγειου αιμοραγικού πυρετού είναι ο υψηλός πυρετός που συχνά συνδυάζεται με διόγκωση στο συκώτι και στις πιο σοβαρές περιπτώσεις με προβλήματα στο κυκλοφορικό. Χωρίς την κατάλληλη φροντίδα, ο Δάγγειος αιμορραγικός πυρετός μπορεί να οδηγήσει σε μια θνησιμότητα στον άνθρωπο που αγγίζει το 20%. Η τελευταία μεγάλη επιδημία του Δάγγειου πυρετού στην Ευρώπη συνέβη στην Ελλάδα, κατά τα έτη 1927 και 1928, όταν ακόμα τα κουνούπια του είδους Aedes aegypti ήταν διαδεδομένα στη χώρα και μετέδιδαν τον ιό (Thomas et al, 2011).

3. Ιός Chikungunya: Είναι ιός «άλφα» (alpha virus) της οικογενείας των Togaviridae και απομονώθηκε για πρώτη φορά σε μια έξαρση του στην Τανζανία το 1953. Προκαλεί υψηλό πυρετό, εξανθήματα και μακράς διάρκειας αρθραλγία (Fischer et al, 2013). Τα τελευταία χρόνια ο ιός επανεμφανίστηκε στην Αφρική αλλά και σε περιοχές της Ινδίας και σε νησιά του Ινδικού ωκεανού. Στην Ευρώπη, η πρώτη επιδημία του ιού συνέβη στην περιοχή της Ραβέννα στη Βόρεια Ιταλία το 2007, με πάνω από 200 κρούσματα (Rezza et al, 2007). Η εισαγωγή του ιού έγινε από έναν ταξιδιώτη από την Ινδία και η διάχυση του μέσω των κουνουπιών Aedes albopictus που υπάρχουν στην περιοχή και τα οποία μαζί με τα Aedes aegypti αποτελούν τους κύριους διαβιβαστές του (Fischer et al, 2013). Πάντως, σχεδόν όλες οι περιπτώσεις στην περιοχή της Ραβέννα ήταν ήπιες, με μόνο ένα αναφερόμενο περιστατικό θανάτου (Rezza et al, 2007).

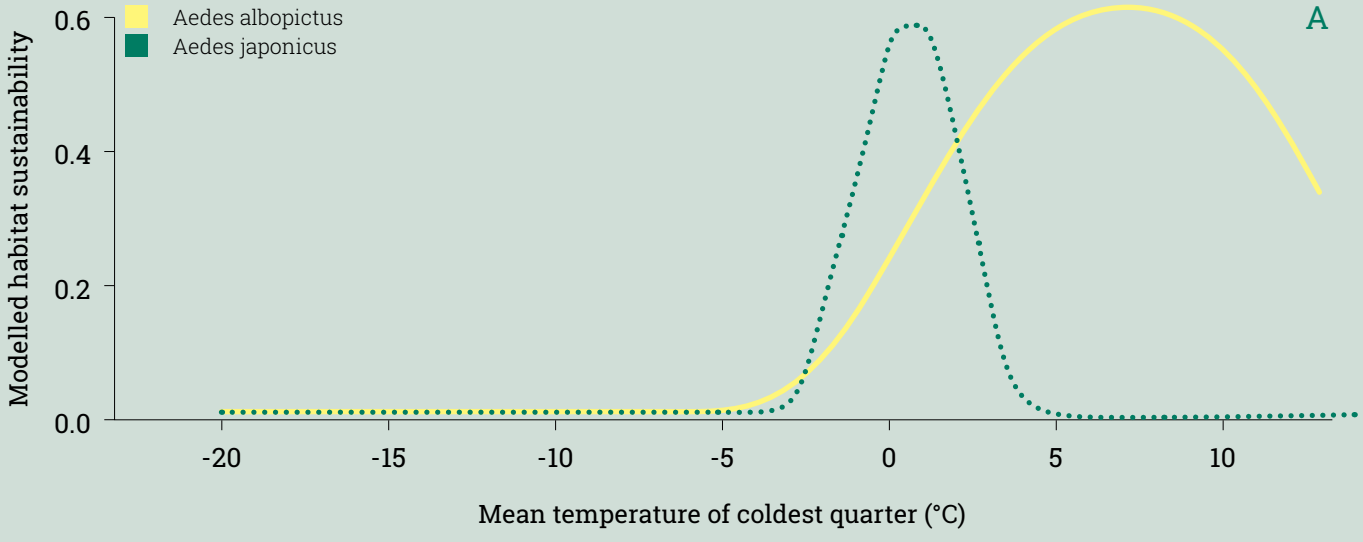
4. Ελονοσία: Η ελονοσία είναι νόσος των τροπικών και των παρατροπικών χωρών, η οποία προκαλείται από τα πέντε παράσιτα του γένους πλασμώδιο (Plasmodium falciparum, Plasmodium vivax, Plasmodium ovale, Plasmodium malariae και Plasmodium knowlesi) και μεταδίδεται στον άνθρωπο μόνο από τα θηλυκά κουνούπια του γένους Anopheles (Zeller et al, 2013). Τα συμπτώματα της περιλαμβάνουν πυρετό, πονοκέφαλο, ρίγη, ναυτία και εμετούς, μυϊκούς πόνους, εφίδρωση και πόνο στο στήθος. Είναι μια παλιά ασθένεια στην Ευρώπη η οποία εξαφανίστηκε όμως τη δεκαετία του 1970 από ένα συνδυασμό έγκαιρης διάγνωσης και θεραπείας της νόσου αλλά και μέτρων κατά των κουνουπιών. Στις χώρες που βρίσκονται σε άμεση γειτνίαση με την Ευρώπη, η μετάδοση της ελονοσίας επίσης παρουσιάζει έντονη εξασθένιση. Κατά την περίοδο 2006-2010, στις χώρες της Ευρωπαϊκής Ένωσης (ΕΕ) αναφέρθηκαν μόνο σποραδικά κρούσματα ελονοσίας, τα οποία κυμάνθηκαν περίπου στο ποσοστό 1/100000 άτομα και οφείλονταν σχεδόν στο σύνολο τους (>99%) σε εισαγόμενους ταξιδιώτες από ενδημικές περιοχές (Zeller et al, 2013). Παρ' όλα αυτά, κατά το διάστημα Μαΐου – Σεπτεμβρίου του 2011, παρατηρήθηκε τοπική μετάδοση της νόσου σε αγροτικές περιοχές της Ελλάδας (Danis et al, 2011), όπου είδη κουνουπιών του γένους anopheles είναι παρόντα. Αυτό το γεγονός οφείλονταν στη παρουσία εργατών από χώρες στις οποίες ενδημεί το παράσιτο Plasmodium vivax. Για το λόγο αυτό ενεργοποιήθηκε ένα σχέδιο έγκαιρης διάγνωσης των συμπτωμάτων σε αυτές τις κατηγορίες μεταναστών, προκειμένου να αποφευχθούν παρόμοια περιστατικά στο μέλλον (Zeller et al, 2013).

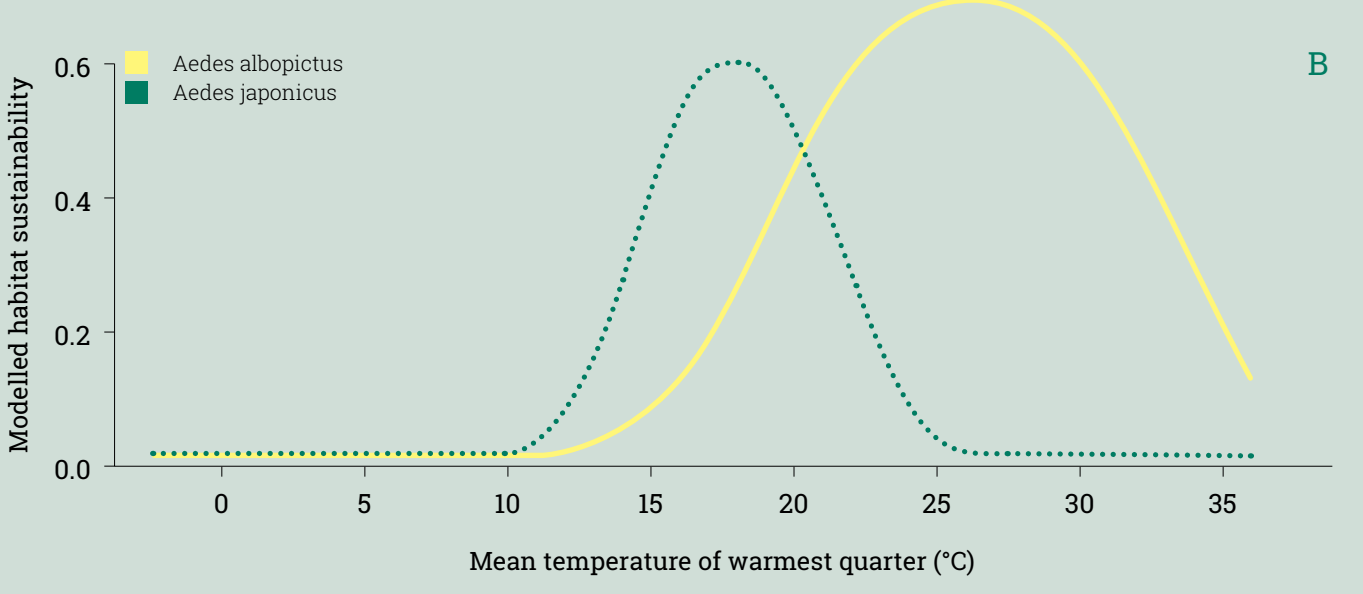
Β.6.3.
Η επίδραση αβιοτικών παραγόντων στους πληθυσμούς των κουνουπιών και στη μετάδοση ασθενειών στον κόσμο και την Ελλάδα

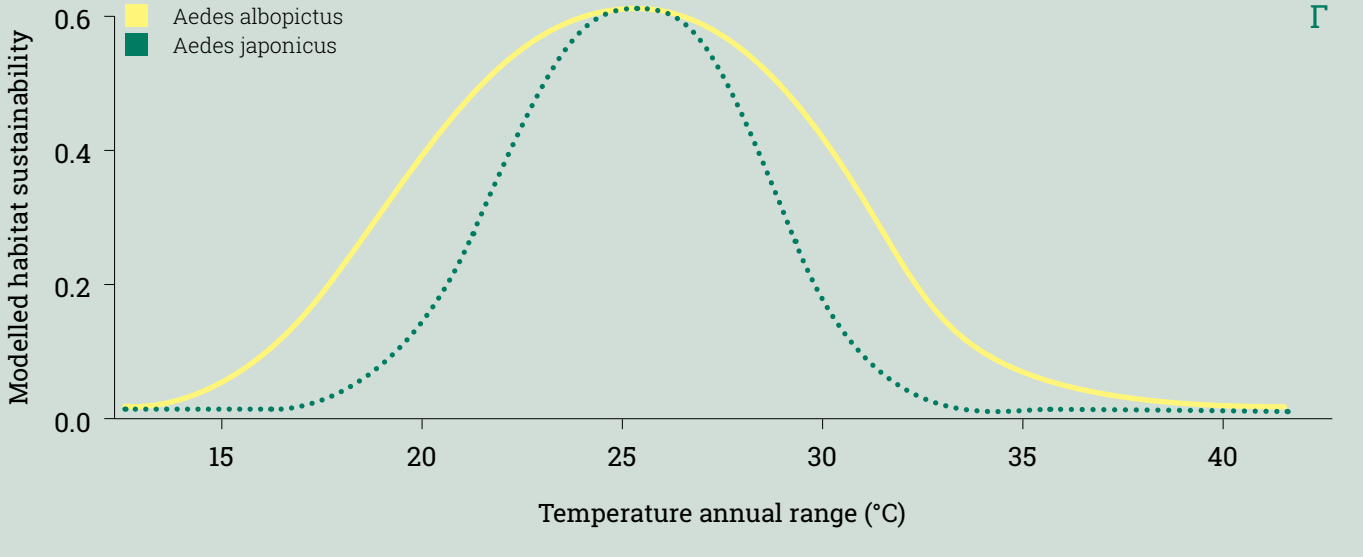
Οι κύριοι αβιοτικοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την διάδοση των κουνουπιών και τη μετάδοση ασθενειών είναι 1) η θερμοκρασία 2) ο υετός 3) η σχετική υγρασία και 4) ο άνεμος.

1. **Θερμοκρασία:** Οι αυξημένες θερμοκρασίες προκαλούν γενικά αύξηση στους πληθυσμούς των κουνουπιών, μειώνουν το χρονικό διάστημα ανάμεσα στα γεύματα αίματος που έχουν ανάγκη ενώ μειώνουν και τη διάρκεια επώασης του ιού του Δυτικού Νείλου μέσα στα κουνούπια, έτσι ώστε αυτά να καταστούν από μολυσμένα μολυσματικά, τόσο για τους ανθρώπους όσο για τα πουλιά (Paz, 2015). Βεβαίως, ανάλογα και με το είδος των κουνουπιών, οι πολύ υψηλές θερμοκρασίες μπορεί να προκαλέσουν και αντίθετα αποτελέσματα, καθώς κάποια είδη αδυνατούν να προσαρμοστούν σε αυτές. Για παράδειγμα, όπως προκύπτει από την Εικόνα Β6 (Cunze et al, 2016), τα κουνούπια Aedes albopictus χρειάζονται για την βιωσιμότητα τους υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες από τα Aedes japonicus, τόσο στο ψυχρότερο τέταρτο του έτους (Εικόνα Β6α), όσο και στο θερμότερο τέταρτο του έτους (Εικόνα Β6β). Επίσης, όπως προκύπτει από την Εικόνα Β6γ τα κουνούπια του είδους Aedes albopictus, μπορούν να προσαρμοστούν ικανοποιητικά σε πολύ περισσότερες τιμές ετήσιου θερμομετρικού εύρους, σε σχέση με τα κουνούπια του είδους Aedes japonicus (Cunze et al, 2016). Τα παραπάνω δικαιολογούν την διασπορά των κουνουπιών Aedes japonicus σε πολύ μικρότερο τμήμα της Ευρώπης σε σχέση με τα Aedes albopictus και κατά κύριο λόγω σε βορειότερες και ψυχρότερες περιοχές όπως προκύπτει από τις Εικόνες Β1 και Β3. Τέλος, σε σχέση αποκλειστικά με την διάδοση του ιού του Δυτικού Νείλου, η άνοδος της θερμοκρασίας λόγω της κλιματική αλλαγής μπορεί να έχει και μια έμμεση επίδραση στη επέκταση του, λόγω διαταραχών που μπορεί να προκληθούν στα μεταναστευτικά ταξίδια των πτηνών φορέων του ιού. Συγκεκριμένα έχει παρατηρηθεί ότι αρκετά είδη πουλιών μεταναστεύουν στις περιοχές αναπαραγωγής τους νωρίτερα σε σύγκριση με το φυσιολογικό, λόγω της πρώιμης ανόδου των θερμοκρασιών την άνοιξη (Paz, 2015).

2. **Υετός:** Το ενδεχόμενο να υπάρξουν αυξημένα ύψη υετού σε κάποιες περιοχές, είναι πιθανό να οδηγήσει σε άνοδο του πληθυσμού των κουνουπιών, λόγω της αύξησης που θα προκληθεί στην επιφάνεια των στάσιμων υδάτων, τα οποία χρησιμοποιούνται από τα κουνούπια για την ανάπτυξη των προνυμφών. Παρ' όλα αυτά, οι ισχυρές βροχοπτώσεις μπορεί να ελαττώσουν την περιεκτικότητα των στάσιμων υδάτων σε θρεπτικά συστατικά απαραίτητα για τις προνύμφες, μειώνοντας έτσι τον ρυθμό ανάπτυξης τους, ενώ είναι πιθανό και να ξεπλύνουν τα χαντάκια και τα κανάλια αποστράγγισης στα οποία βρίσκονται οι προνύμφες καταστρέφοντας τες (Paz, 2015, Trájer, 2017). Από την άλλη πλευρά, η ισχυρή ξηρασία σε μια περιοχή κάνει το εναπομείναν νερό πολύ πιο πλούσιο σε θρεπτικά συστατικά, διευκολύνοντας την ανάπτυξη των προνυμφών, ενώ μειώνει και τον πληθυσμό των πιθανών θηρευτών των κουνουπιών όπως είναι οι βάτραχοι και οι λιβελλούλες (Mavrouli et al, 2015). Επιπροσθέτως, η μείωση της επιφάνειας των υγροτόπων λόγω ενδεχόμενης ξηρασίας και η συνεπακόλουθη συσσώρευση κουνουπιών και πτηνών γύρω από μικρότερες επιφάνειες, μπορεί να ενισχύσει την μεταξύ τους αλληλεπίδραση ευνοώντας έτσι την διάδοση ασθενειών όπως ο ιός του Δυτικού Νείλου (Paz, 2015, Mavrouli et al, 2015).





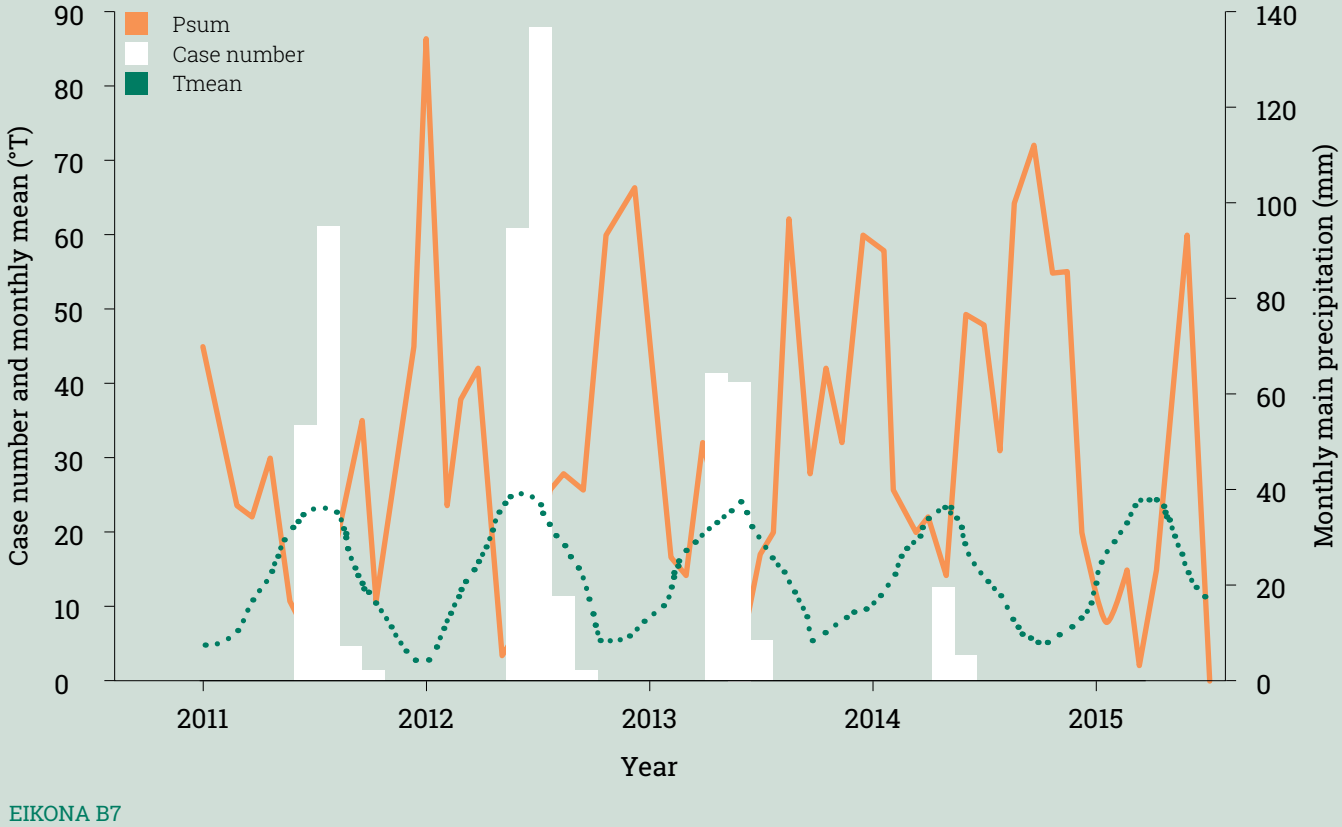


ΕΙΚΟΝΑ Β6
Καμπύλες συμβατότητας των κουνουπιών Aedes albopictus και Aedes japonicus σε συνάρτηση α) με την μέση θερμοκρασία του ψυχρότερου τετάρτου του έτους β) με τη μέση θερμοκρασία του θερμότερου τετάρτου του έτους και γ) με το ετήσιο εύρος διακύμανσης της θερμοκρασίας. (Πηγή: Cunze et al, 2016)

3. Σχετική υγρασία: Γενικά τα διαθέσιμα στοιχεία σε σχέση με την επίδραση της σχετικής υγρασίας στη διάδοση των κουνουπιών και κατ' επέκταση των ασθενειών τις οποίες αυτά μεταφέρουν είναι πολύ περιορισμένα (Paz, 2015). Παρ' όλα αυτά, αφού η άνοδος της θερμοκρασίας αυξάνει τον αριθμό των κουνουπιών και τη διάδοση του ιού του Δυτικού Νείλου, ενώ μειώνει τη σχετική υγρασία, είναι αναμενόμενη η αρνητική συσχέτιση που παρατηρήθηκε σε κάποιες περιπτώσεις ανάμεσα στη σχετική υγρασία και τον αριθμό κρουσμάτων του ιού (Paz, 2015, Paz et al, 2013). Κατά συνέπεια η σχετική υγρασία δεν θεωρείται καλός δείκτης για την πρόγνωση πιθανών εξάρσεων του ιού του Δυτικού Νείλου σε σύγκριση με τη θερμοκρασία (Paz et al, 2013).

4. Ταχύτητα ανέμου: Γενικά ο άνεμος θεωρείται ως μέσο διάδοσης και διασποράς των κουνουπιών και κατά συνέπεια όλων των ιών που αυτά μεταφέρουν (Paz, 2015). Ειδικά τα μέτωπα των καταιγίδων και οι ισχυροί άνεμοι που τα συνοδεύουν μπορεί να συνεισφέρουν καθοριστικά προς αυτή την κατεύθυνση (Sellers and Maarouf, 1990, Kay and Farrow, 2000, Reisen et al, 2004).

Ειδικά για την περίπτωση της Ελλάδας, η επίδραση αβιοτικών παραγόντων στην επέκταση του ιού του Δυτικού Νείλου, μέσω του πληθυσμού των κουνουπιών, έχει μελετηθεί σε κάποιες δημοσιευμένες εργασίες. Συγκεκριμένα, στη μελέτη Trájer, 2017, διαπιστώθηκε ότι κατά τα έτη 2011-2014, τα κρούσματα του ιού στην Ελλάδα εκδηλώθηκαν κατά το διάστημα Ιουλίου-Οκτωβρίου. Ο μήνας που σώρευσε τον μεγαλύτερο αριθμό κρουσμάτων (55.52%) ήταν ο Αύγουστος ενώ το 93.1% των κρουσμάτων καταγράφηκαν το διάστημα Ιουλίου-Αυγούστου όταν η μέση θερμοκρασία ήταν 24.2 °C. Το διάστημα Ιουλίου-Αυγούστου ήταν το ξηρότερο στην Ελλάδα για την περίοδο 2011-2014, με ένα μέσο ύψος υετού ίσο με 13.5mm/μήνα, ποσό που αντιστοιχεί στο 27.6% του μέσου μηνιαίου ύψους υετού. Από την Εικόνα Β7 προκύπτει ότι το μέγιστο των κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου στην Ελλάδα για το διάστημα 2011-2014 συμπίπτει με το μέγιστο των θερμοκρασιών και το ελάχιστο ύψος υετού. Κατά συνέπεια, οι συσχετίσεις των κρουσμάτων του ιού με τη θερμοκρασία και τον υετό ήταν ισχυρά θετικές και αρνητικές αντίστοιχα. Πάντως, η άνοιξη του έτους 2010, έτος κατά το οποίο και εμφανίστηκε η μεγάλη έξαρση του ιού του Δυτικού Νείλου στη Βόρεια Ελλάδα, χαρακτηρίστηκε από ασυνήθιστα αυξημένες βροχοπτώσεις οι οποίες και ακολούθησαν έναν ιδιαιτέρως ξηρό και θερμό χειμώνα **(Papa, 2013)**. Αυτό καταδεικνύει τις πολλαπλές διαφορετικές επιδράσεις που μπορεί να έχει το ύψος υετού αλλά και η χρονική κατανομή του μέσα στο έτος, στους πληθυσμούς των κουνουπιών και κατ' επέκταση στη διάδοση ασθενειών μέσω αυτών.



ΕΙΚΟΝΑ Β7
Αποτύπωση των κρουσμάτων (Case number) του ιού του Δυτικού Νείλου στην Ελλάδα κατά τα έτη 2011-2015 σε μηνιαία βάση, σε συνδυασμό με την θερμοκρασία (T_{mean}) και το ύψος του υετού (P_{sum}). Τα δεδομένα των κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου για το έτος 2015 δεν ήταν διαθέσιμα. (Πηγή: Trájer, 2017)

ΕΙΚΟΝΑ Β8
Χάρτης της Ελλάδας που υποδεικνύει την περιοχή μελέτης των Stilianakis et al, 2016 (Πηγή: Stilianakis et al, 2016)

Επίσης σε μια άλλη μελέτη, οι Stilianakis et al, 2016 μελέτησαν τα συνολικά 441 εργαστηριακά επιβεβαιωμένα κρούσματα του ιού του Δυτικού Νείλου σε τμήμα της βόρειας Ελλάδας (Εικόνα Β8) για την περίοδο 2010 – 2014 σε συνάρτηση με αβιοτικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία του αέρα, η θερμοκρασία του εδάφους, η ταχύτητα του ανέμου, το ύψος υετού, η σχετική υγρασία και η περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό. Οι τιμές αυτών των αβιοτικών παραμέτρων για τα έτη 2010 – 2014, συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες τιμές της περιόδου 1979 – 2008, οι οποίες αποτέλεσαν ένα κλιματικό μέτρο αναφοράς 30 ετών για τον εντοπισμό τυχόν ακραίων διακυμάνσεων που πιθανά συνδέονται με τα κρούσματα του ιού.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των Stilianakis et al, 2016, τα οποία περιλαμβάνονται συνοπτικά στον Πίνακα Β1, το 52% των συνολικών κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου εμφανίστηκαν όταν οι θερμοκρασίες εδάφους ήταν πολύ υψηλές (πάνω από το 90ο εκατοστημόριο της περιόδου 1979 – 2008), ενώ το αντίστοιχο ποσοστό για τη θερμοκρασία του αέρα ήταν 42%. Όταν οι υπολογισμοί έγιναν εφαρμόζοντας μια χρονική υστέρηση των κρουσμάτων μίας ή και δύο εβδομάδων, τα ποσοστά ήταν ελαφρώς μειωμένα. Αντιθέτως το 41% των κρουσμάτων αντιστοιχήθηκε με χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας, κάτω από το 10ο εκατοστημόριο, ενώ τα ποσοστά αν και μειούμενα παρέμειναν υψηλά και όταν τα κρούσματα συνέβησαν 1-3 εβδομάδες μετά τις πολύ χαμηλές τιμές σχετικής υγρασίας. Επιπροσθέτως, το 18% των κρουσμάτων αντιστοιχήθηκε με χαμηλές τιμές υετού, μέχρι το 10ο εκατοστημόριο, ενώ τα αποτελέσματα ήταν πιο σαφή σε ότι αφορά την περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό, καθώς το 30% - 39% των κρουσμάτων, ανάλογα και με το κριτήριο της χρονικής υστέρησης που ελήφθη υπ' όψιν, συνδέθηκε με τιμές κάτω από το 10ο εκατοστημόριο της περιόδου αναφοράς 1979 - 2008. Τέλος οι Stilianakis et al, 2016 αναφέρουν ότι οι ακραία υψηλές τιμές ανέμου διαπιστώθηκε ότι δεν ευνοούν την εμφάνιση κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου στους ανθρώπους. Το τελικό συμπέρασμα των Stilianakis et al, 2016 είναι ότι οι παράμετροι της θερμοκρασίας αέρα και της θερμοκρασίας εδάφους συνδέονται ισχυρά με την εμφάνιση του ιού του Δυτικού Νείλου στους ανθρώπους και για το λόγο αυτό μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως μεταβλητές πρόβλεψης ξεσπασμάτων του ιού. Ειδικά η θερμοκρασία του εδάφους διαπιστώθηκε ότι έχει την ισχυρότερη επίδραση στην επέκταση του ιού, καθώς επηρεάζει άμεσα τον πληθυσμό των κουνουπιών διαβιβαστών, ενισχύοντας την ανάπτυξη των προνυμφών και μειώνοντας τον χρόνο γέννησης των κουνουπιών.

Χρονική Υστέρηση (Εβδομάδες)	0	0	1	1	2	2	3	3
Εκατοστημόριο	5°	10°	5°	10°	5°	10°	5°	10°
	n(%)	n(%)	n(%)	n(%)	n(%)	n(%)	n(%)	n(%)
Υετός	70(16)	80(18)	55(12)	63(14)	59(13)	70(16)	48(11)	55(12)
Σχετική υγρασία	114(26)	182(41)	118(27)	162(37)	100(23)	150(34)	105(24)	140(32)
Περιεκτικότητα του εδάφους σε νερό	141(32)	174(39)	142(32)	170(39)	124(28)	153(35)	122(28)	134(30)
Ταχύτητα ανέμου	29(7)	44(10)	23(5)	31(7)	45(10)	52(12)	58(13)	58(13)
Εκατοστημόριο	95°	90°	95°	90°	95°	90°	95°	90°
Θερμοκρασία αέρα	122(28)	187(42)	108(25)	176(40)	109(25)	180(41)	98(22)	154(35)
Θερμοκρασία εδάφους	128(29)	230(52)	119(27)	217(49)	111(25)	197(45)	113(26)	172(39)

ΠΙΝΑΚΑΣ Β1
Αριθμός (ποσοστό) των κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου σε περιοχές της βόρειας Ελλάδας για την περίοδο 2010 – 2014, που αντιστοιχούν σε θερμοκρασίες αέρα και εδάφους πάνω από το 90ο και το 95ο εκατοστημόριο και σε τιμές σχετικής υγρασίας, υετού, ταχύτητας ανέμου και περιεκτικότητας του εδάφους σε νερό κάτω από το 5ο και το 10ο εκατοστημόριο, σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς 1979 – 2008. (Πηγή: Stilianakis et al, 2016)

Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα και την Ευρώπη σε είδη κουνουπιών που αποτελούν δυνητικούς φορείς ασθενειών για τον άνθρωπο

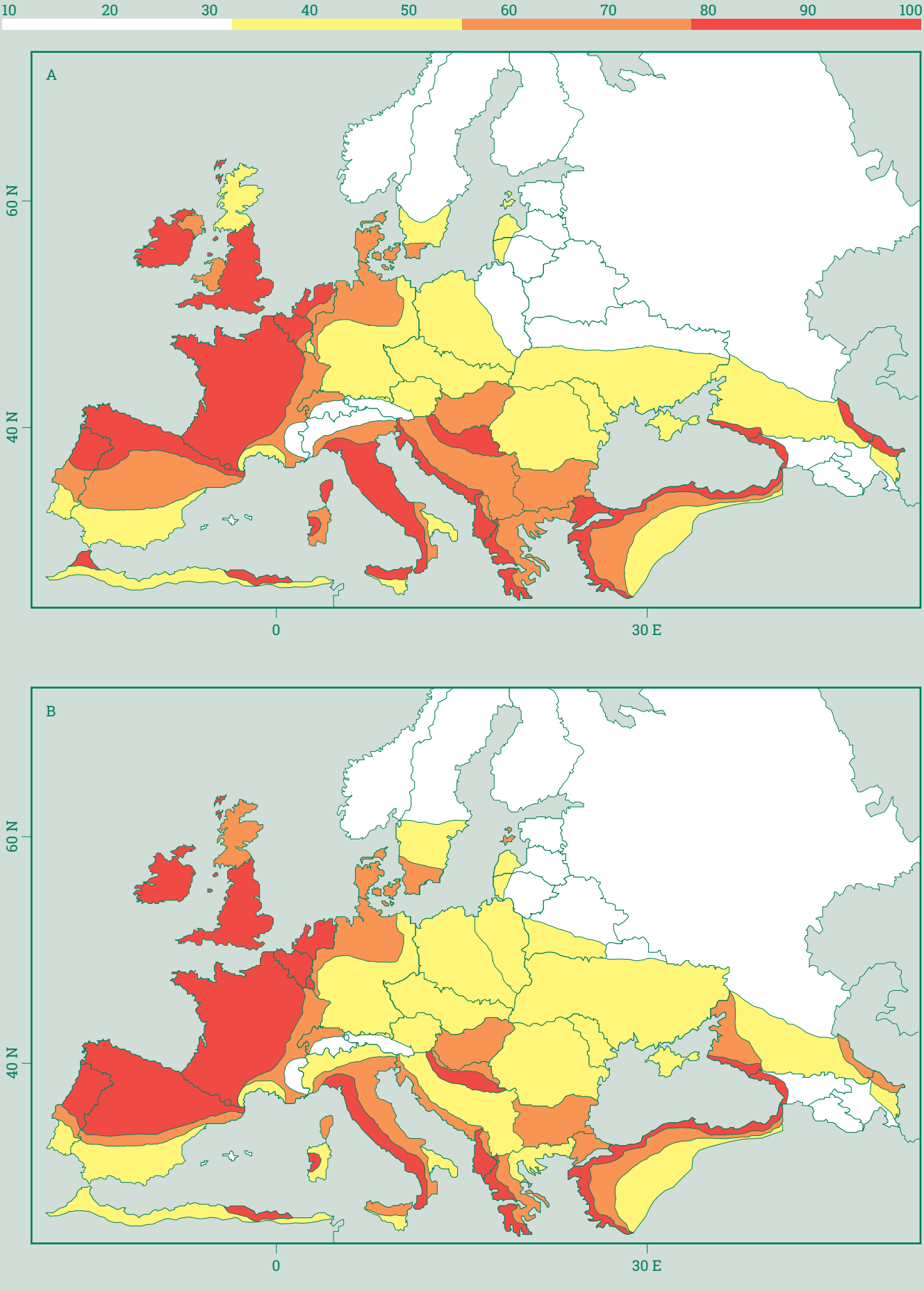
Β.6.4.1. Πιθανές μεταβολές στη γεωγραφική συμβατότητα συγκεκριμένων ειδών κουνουπιών σε διάφορα κλιματικά σενάρια.

Λόγω της εξελισσόμενης κλιματικής αλλαγής η οποία λαμβάνει χώρα στον πλανήτη, οι πληθυσμοί των κουνουπιών αναμένεται να επηρεαστούν. Κλιματικά μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί προκειμένου να πραγματοποιήσουν εκτιμήσεις σχετικά με την βιωσιμότητα διαφόρων ειδών κουνουπιών, σε διάφορες γεωγραφικές περιοχές, υπό την προϋπόθεση κλιματικών σεναρίων. Ειδικά για την Ευρώπη, οι διαθέσιμες μελέτες εστιάζουν στη διερεύνηση της πιθανής διασποράς των κουνουπιών εισβολέων του γένους Aedes.

Οι Proestos et al, 2015 εφήρμοσαν το κλιματικό μοντέλο EMAC με στόχο να κατασκευάσουν χάρτες που να οριοθετούν τις περιοχές της Ευρώπης στις οποίες είναι συμβατή η εγκαθίδρυση αποικιών του ασιατικού κουνουπιού τύπου «τίγρης» (Aedes albopictus), τόσο στο παρόν αλλά και στο μέλλον με βάση τις προϋποθέσεις που θέτει το κλιματικό σενάριο SRES-A2. Το κλιματικό αυτό σενάριο υποθέτει μέτριες έως υψηλές εκπομπές CO_2 και παραπέμπει σε έναν πολιτικά κατακερματισμένο κόσμο στον οποίο τα έθνη βασίζονται το καθένα σε μια αυτόνομη ανάπτυξη ενώ ό παγκόσμιος πληθυσμός συνεχώς αυξάνεται. Έξι εμπειρικά κριτήρια με βάση την υπάρχουσα βιβλιογραφία (π.χ. Waldock et al, 2013) τέθηκαν από τους Proestos et al, 2015, προκειμένου να ορίσουν με κλιματικούς όρους τις συνθήκες βιωσιμότητας για τα κουνούπια Aedes albopictus:

1. Το μέσο ετήσιο ύψος υετού να είναι τουλάχιστον 200mm
2. Η μέση ετήσια θερμοκρασία να είναι τουλάχιστον 8°C. Εργαστηριακά πειράματα έχουν δείξει ότι το κάτω θερμοκρασιακό όριο για την ανάπτυξη των αυγών, των προνυμφών και των νυμφών για τα Aedes albopictus είναι αντίστοιχα 12.8°C, 12.5°C και 9.6°C αντίστοιχα. Έτσι το όριο τέθηκε στους 8°C.
3. Για το βόρειο ημισφαίριο η ελάχιστη θερμοκρασία | τον Ιανουάριο να είναι πάνω από -4°C, έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η επιβίωση των αυγών των κουνουπιών κατά τη διάρκεια του χειμώνα.
4. Η μέγιστη θερμοκρασία του καλοκαιριού να μην υπερβαίνει τους 40°C καθώς τότε τα αυγά των Aedes albopictus δεν εκκολάπτονται.
5. Τουλάχιστον 60 μέρες τον χρόνο να έχουν ένα μετρήσιμο ύψος υετού της τάξεως του 1mm.
6. Η σχετική υγρασία το καλοκαίρι να είναι τουλάχιστον 30% και το χειμώνα τουλάχιστον 50%. Τα όρια αυτά τέθηκαν καθώς περιορισμένα δεδομένα στην διεθνή βιβλιογραφία δείχνουν ότι ο βαθμός επιβίωσης των Aedes albopictus αλλά και εκκόλαψης των αυγών τους αυξάνεται όταν ανέρχεται η σχετική υγρασία, αλλά και ότι η άνοδος της σχετικής υγρασίας στο 60% - 90% προκαλεί μικρή διαφορά στην επιβίωση των ενήλικων κουνουπιών του είδους.

Με βάση τα παραπάνω κριτήρια το μοντέλο EMAC χρησιμοποιήθηκε για να δημιουργήσει χάρτες συμβατότητας (%) για το είδος κουνουπιού Aedes albopictus στην Ευρώπη, τόσο για την πρόσφατη περίοδο 2000 – 2009, όσο και για την μελλοντική περίοδο 2045 – 2054 με βάση το κλιματικό σενάριο SRES-A2 (Εικόνα Β9). Οι μεταβολές (%) στη συμβατότητα ανάμεσα στις δύο προαναφερθείσες χρονικές περιόδους διακρίνονται στο χάρτη της Εικόνας Β10.



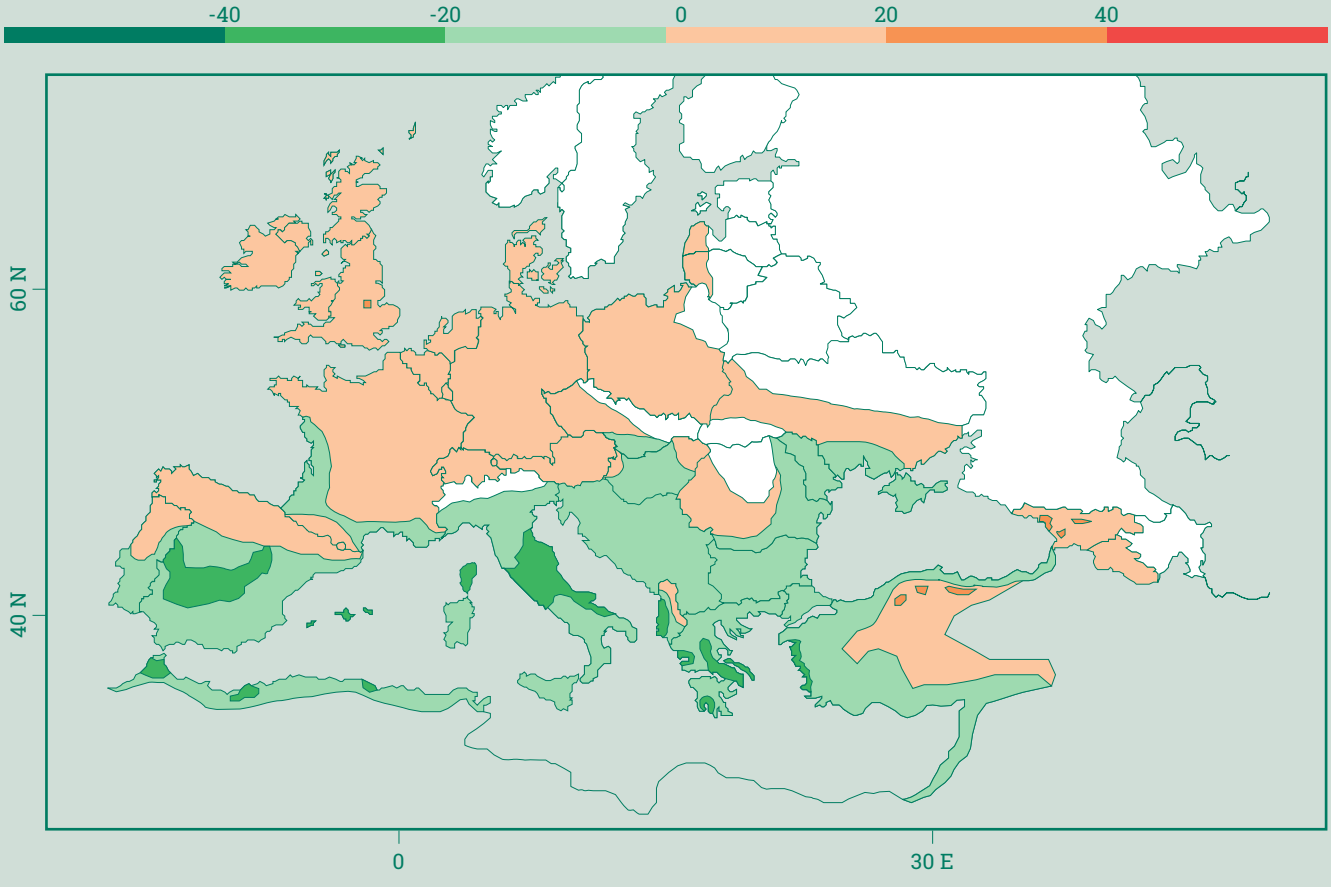
ΕΙΚΟΝΑ Β9
Χάρτες συμβατότητας (%) του κουνουπιού Aedes albopictus σύμφωνα με τα αποτελέσματα του κλιματικού μοντέλου EMAC για την Ευρώπη α) κατά την πρόσφατη περίοδο 2000 – 2009 (οι πράσινες τελείες δείχνουν τις χώρες στις οποίες ήδη υπάρχει καταγραφή του είδους) και β) κατά την μελλοντική περίοδο 2045 – 2054 με βάση το κλιματικό σενάριο SRES-A2. (Πηγή: Proestos et al, 2015)

Στην Εικόνα Β9α, φαίνεται ότι οι περιοχές της Ευρώπης στις οποίες οι κλιματικές συνθήκες ευνοούν την εισβολή των κουνουπιών Aedes albopictus είναι κατά κύριο λόγο οι περιοχές της Μεσογείου. Έτσι χώρες όπως η Ιταλία, η Ελλάδα, η Αλβανία, το Μαυροβούνιο, η Κροατία, η Βοσνία και Ερζεγοβίνη, το Δυτικό και το Βόρειο τμήμα της Τουρκίας αλλά και μεγάλα τμήματα της Ισπανίας και της Πορτογαλίας, έχουν συμβατές συνθήκες για το Ασιατικό κουνούπι «τίγρης». Επίσης η προσαρμογή του κουνουπιού «τίγρης» είναι εφικτή και σε βορειότερες περιοχές της Γαλλίας, της Ολλανδίας, του Βελγίου της Ιρλανδίας και της Νότιας Αγγλίας. Σε πολλές από τις προαναφερθείσες χώρες μάλιστα έχει ήδη καταγραφεί η εμφάνιση κουνουπιών του είδους Aedes albopictus. Αντιθέτως, χαμηλός βαθμός συμβατότητας καταγράφεται σε χώρες όπως η Γερμανία, η Τσεχία, η Πολωνία, η Σλοβακία και η Ουκρανία, γεγονός που αποδίδεται κυρίως στις χαμηλές ελάχιστες θερμοκρασίες που καταγράφονται κατά τον χειμώνα, όπως και συνολικά στις χαμηλές μέσες ετήσιες θερμοκρασίες. Βέβαια, οι Proestos et al, 2015 τονίζουν ότι σε κάποιες περιπτώσεις το Ασιατικό κουνούπι τίγρης έχει κάνει την εμφάνιση του και σε πόλεις όπου το μοντέλο EMAC προβλέπει χαμηλή συμβατότητα, γεγονός που οφείλεται στο μικροκλίμα που υπάρχει σε ορισμένες περιοχές αυτών των πόλεων (π.χ. πάρκα), όπου τα όρια θερμοκρασίας και υετού καταστρατηγούνται. Από την Εικόνα Β9α γίνεται επίσης ξεκάθαρο ότι οι παράκτιες περιοχές της Μεσογείου είναι ιδιαιτέρως κατάλληλες για τα κουνούπια Aedes albopictus, λόγω του δροσισμού τους από τη θάλασσα κατά το θέρος, που έχει ως αποτέλεσμα η μέγιστη θερμοκρασία να παραμένει κάτω από το όριο των 40°C. Στην Ελλάδα οι πιο ευάλωτες περιοχές στο κουνούπι τίγρης φαίνεται να βρίσκονται σε τμήματα της Δυτικής αλλά και της κεντρικής ηπειρωτικής χώρας, της Πελοποννήσου και της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης.

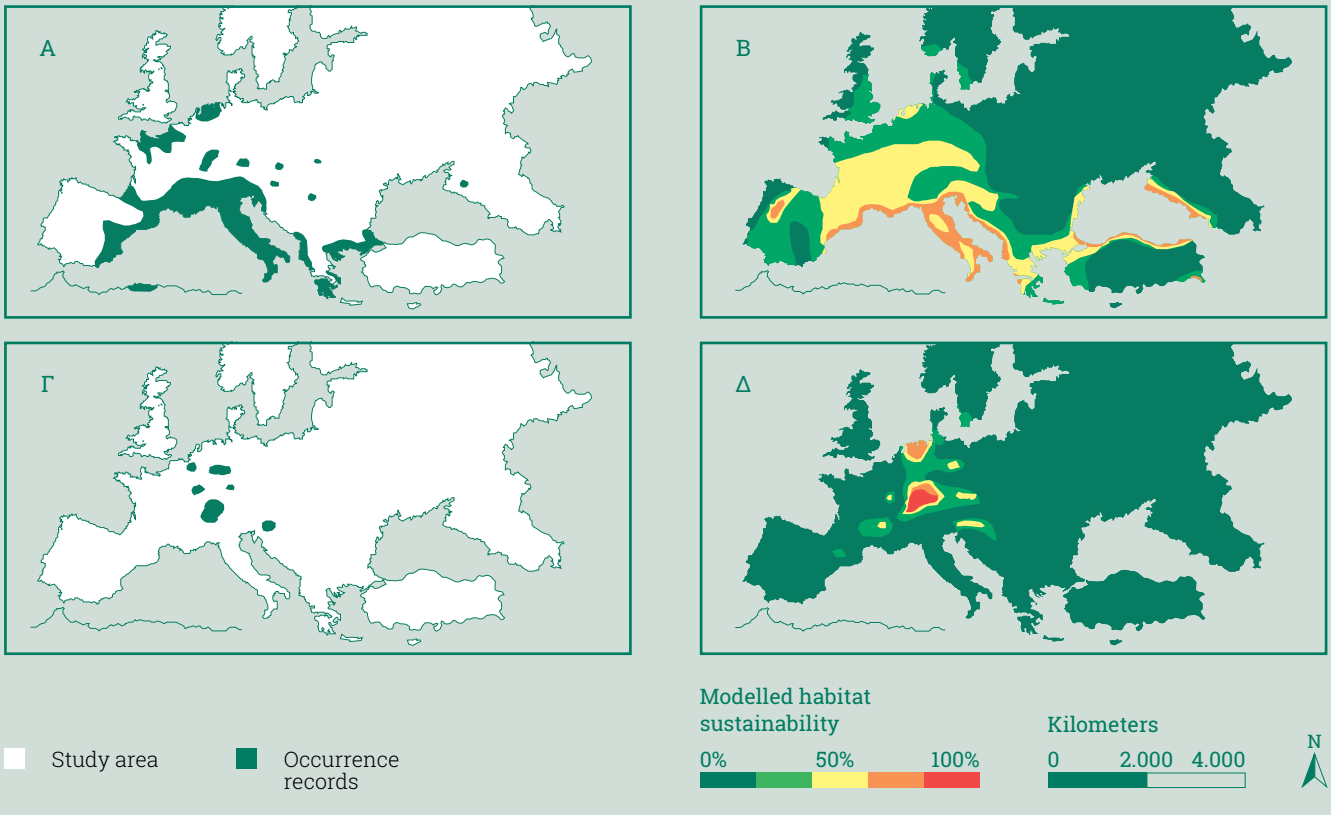
Σύμφωνα με την Εικόνα Β9β, αλλά και την Εικόνα Β10, η παγκόσμια θέρμανση που θα συμβεί με βάση το σενάριο SRES-A2, οδηγεί σε μια προς βορρά μετατόπιση της ζώνης συμβατότητας του κουνουπιού Aedes albopictus στην Ευρώπη. Βέβαια η γενική εικόνα δεν αλλάζει με τις Μεσογειακές χώρες να παραμένουν ιδιαιτέρως ευνοϊκές για την εισβολή και εγκατάσταση του Ασιατικού κουνουπιού «τίγρης» κατά την περίοδο 2045 – 2054, με μειωμένη όμως συμβατότητα σε σύγκριση με την περίοδο 2000 – 2009. Αντιθέτως οι βόρειες χώρες λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας φαίνεται να αποκτούν χαρακτηριστικά που θα επιτρέψουν στο μέλλον την εγκατάσταση του Aedes albopictus. Σε ότι αφορά την Ελλάδα, οι πιο ευαίσθητες περιοχές για την ανάπτυξη του Ασιατικού κουνουπιού «τίγρης» παραμένουν ίδιες κατά την περίοδο 2045 – 2054 σε σχέση με την περίοδο 2000 – 2009, με μειωμένη όμως συμβατότητα όπως και στις υπόλοιπες Μεσογειακές χώρες. Ανοδική τάση του δείκτη συμβατότητας στην Ελληνική επικράτεια διαφαίνεται μόνο σε περιορισμένα τμήματα της Δυτικής και της Ανατολικής Μακεδονίας (Εικόνα Β10).

Η μελέτη των Cunze et al, 2016, εστίασε επίσης στην εκτίμηση της συμβατότητας των ειδών των κουνουπιών Aedes albopictus και Aedes japonicus στην Ευρώπη, στις παρούσες κλιματικές συνθήκες, αλλά και με βάση τα μελλοντικά κλιματικά σενάρια RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 και RCP 8.5. Το σενάριο RCP 2.6 βασίζεται στην υπόθεση ότι το μέγιστο των παγκόσμιων εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου θα συμβεί κατά την τρέχουσα δεκαετία 2010-2020, ενώ στη συνέχεια θα ακολουθήσει σημαντική μείωση. Σύμφωνα με τα σενάρια RCP 4.5 και RCP 6.0, οι εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα αυξάνονται μέχρι το 2040 και το 2080 αντίστοιχα και μετά θα μειωθούν. Τέλος με βάση το σενάριο RCP 8.5 οι παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου θα συνεχίσουν να αυξάνονται καθ' όλη τη διάρκεια του 21ου αιώνα.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων των Cunze et al, 2016, με βάση τις τωρινές κλιματικές συνθήκες οι περιοχές στις οποίες είναι συμβατή η ανάπτυξη των κουνουπιών Aedes albopictus και Aedes japonicus είναι ξεκάθαρα διακριτές (Εικόνα Β11). Οι κατάλληλες συνθήκες για την βιωσιμότητα των Aedes albopictus εντοπίζονται κυρίως στις Μεσογειακές περιοχές που χαρακτηρίζονται από θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και υγρούς χειμώνες. Σε ότι αφορά την Ελλάδα, σε συμφωνία με τα αποτελέσματα των Proestos et al, 2015 (Εικόνα Β9α), οι Cunze et al, καταλήγουν επίσης στο συμπέρασμα ότι στην παρούσα κλιματική κατάσταση οι βέλτιστες συνθήκες για την ανάπτυξη εγκατάσταση των Aedes albopictus υπάρχουν στη Δυτική και την κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα και σε τμήματα της Μακεδονίας και της Θράκης. Αντιθέτως τα κουνούπια του είδους Aedes japonicus μπορούν να προσαρμοστούν μόνο σε ψυχρότερες περιοχές της κεντρικής Ευρώπης, οι οποίες βρίσκονται κυρίως στην Γερμανία, τη Γαλλία, την Ελβετία, τη βόρεια Ιταλία, την Σλοβενία και την Κροατία, οπότε το συγκεκριμένο είδος κουνουπιού δεν φαίνεται να αποτελεί απειλή για την Ελλάδα. Από την Εικόνα Β11 γίνεται ξεκάθαρο ότι οι καταγεγραμμένες εμφανίσεις μέχρι το έτος 2015 για τα Aedes albopictus και για τα Aedes japonicus, όπως ήταν αναμενόμενο εντοπίζονται στις περιοχές με υψηλή συμβατότητα για το κάθε είδος.

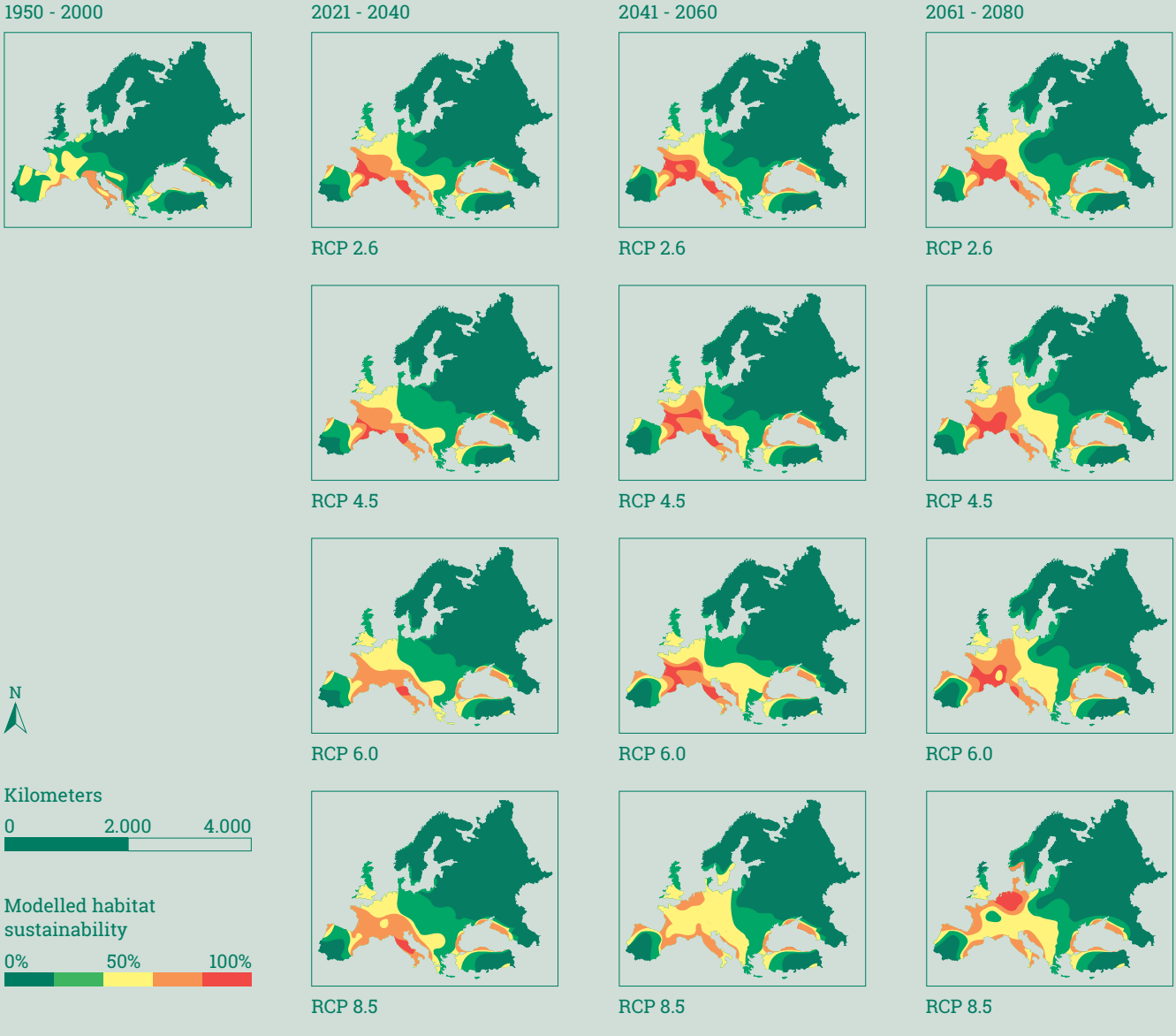


ΕΙΚΟΝΑ Β10
Χάρτης που αποτυπώνει τις μεταβολές (%) στη συμβατότητα του κουνουπιού Aedes albopictus σε περιοχές της Ευρώπης, ανάμεσα στις περιόδους 2000 – 2009 και 2045 – 2054 (σενάριο SRES-A2), με βάση τα αποτελέσματα του κλιματικού μοντέλου EMAC. Περιοχές με συμβατότητα μικρότερη από 10% δεν ελήφθησαν υπ' όψιν (Πηγή: Proestos et al, 2015)



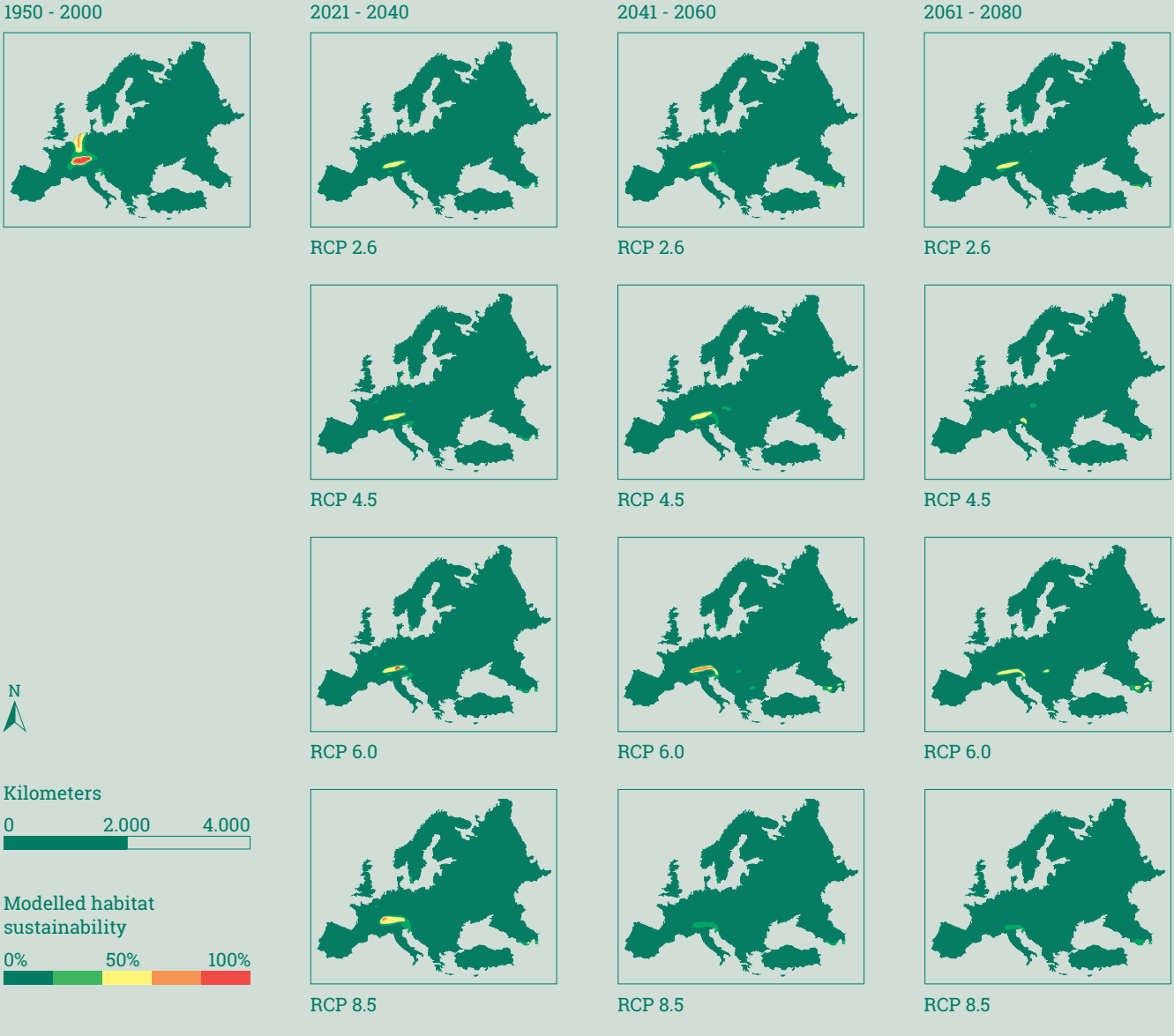
ΕΙΚΟΝΑ Β11
α) Καταγεγραμμένες εμφανίσεις για τα κουνούπια του είδους Aedes albopictus στην Ευρώπη μέχρι το έτος 2015 β) Χάρτης συμβατότητας για τα κουνούπια του είδους Aedes albopictus με τις παρούσες κλιματικές συνθήκες γ) Καταγεγραμμένες εμφανίσεις για τα κουνούπια του είδους Aedes japonicus στην Ευρώπη μέχρι το έτος 2015 δ) Χάρτης συμβατότητας για τα κουνούπια του είδους Aedes japonicus με τις παρούσες κλιματικές συνθήκες. (Πηγή: Cunze et al, 2016)

Με βάση όλα τα πιθανά μελλοντικά κλιματικά σενάρια, οι περιοχές συμβατότητας για το κουνούπι Aedes albopictus αναμένεται να επεκταθούν προς βορά αλλά και προς τα ανατολικά, με μεγάλα τμήματα της Γαλλίας, του Βελγίου, της Ολλανδίας και της Γερμανίας να αποκτούν υψηλή συμβατότητα (Εικόνα Β12). Η ελάχιστη άνοδος στη συμβατότητα για το κουνούπι «τίγρης» αντιστοιχίζεται με το ευνοϊκότερο σενάριο RCP 2.6, το οποίο χαρακτηρίζεται από την μικρότερη άνοδο της θερμοκρασίας, ενώ η μέγιστη άνοδος της συμβατότητας παρατηρείται στο σενάριο RCP 8.5, το οποίο χαρακτηρίζεται από την μεγαλύτερη άνοδο της θερμοκρασίας. Αντιθέτως στις μεσογειακές χώρες η συμβατότητα του Aedes albopictus αναμένεται να παραμείνει σταθερή, σύμφωνα με όλα τα κλιματικά σενάρια, ή και να μειωθεί σε κάποιες περιπτώσεις με χαρακτηριστικότερη αυτή της Ιταλίας για το δυσμενέστερο σενάριο RCP 8.5, λόγω των πολύ αυξημένων θερμοκρασιών και της επερχόμενης ξηρασίας. Στην Ελλάδα, η βιωσιμότητα του κουνουπιού «τίγρης» αναμένεται επίσης να παραμείνει σταθερή, με μια τάση ελαφριάς μείωσης, ενώ οι περιοχές ενδιαφέροντος στις οποίες θα πρέπει να υπάρχει αυξημένη επιφυλακή από την πολιτεία εντοπίζονται και πάλι στα Δυτικά και κεντρικά ηπειρωτικά τμήματα της χώρας, την Μακεδονία και τη Θράκη.



ΕΙΚΟΝΑ Β12
Χάρτες συμβατότητας για το κουνούπι Aedes albopictus υπό τις τωρινές αλλά και τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες με βάση τα σενάρια RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 και RCP 8.5. (Πηγή: Cunze et al, 2016)

Σε αντίθεση με την επεκτατική τάση που αναμένεται να έχει το κουνούπι Aedes albopictus μέσα στον 21ο αιώνα στην Ευρώπη λόγω της κλιματικής αλλαγής, τα κουνούπια του είδους Aedes japonicus αναμένεται να έχουν όλο και μικρότερη περιοχή δυνατής δράσης (Εικόνα Β13), καθώς έχουν την ανάγκη χαμηλότερων θερμοκρασιών. Συγκεκριμένα, η επερχόμενη άνοδος της θερμοκρασίας αναμένεται να οριοθετήσει τις περιοχές που ευνοούν την δράση των Aedes japonicus μόνο σε τμήματα της νότιας Γερμανίας, της Αυστρίας και στην οροσειρά των Υψηλών Τάτρα (οροσειρά που απλώνεται κατά μήκος των βορείων συνόρων της Σλοβακίας με τη νότια Πολωνία). Ανάλογα με το κλιματικό σενάριο που επιλέγεται, παρατηρούνται αποκλίσεις στην εξέλιξη της συμβατότητας του είδους Aedes japonicus, με τις περιοχές που ευνοούν την προσαρμογή του σχεδόν να απαλείφονται από την Ευρώπη στο δυσμενέστερο σενάριο RCP 8.5, λόγω της πολύ μεγάλης ανόδου της θερμοκρασίας (Εικόνα Β13). Στην Ελλάδα παρατηρείται μηδενική πιθανότητα εγκατάστασης κουνουπιών του είδους Aedes japonicus, τόσο υπό τις παρούσες κλιματικές συνθήκες όσο και με βάση όλα τα πιθανά μελλοντικά κλιματικά σενάρια.



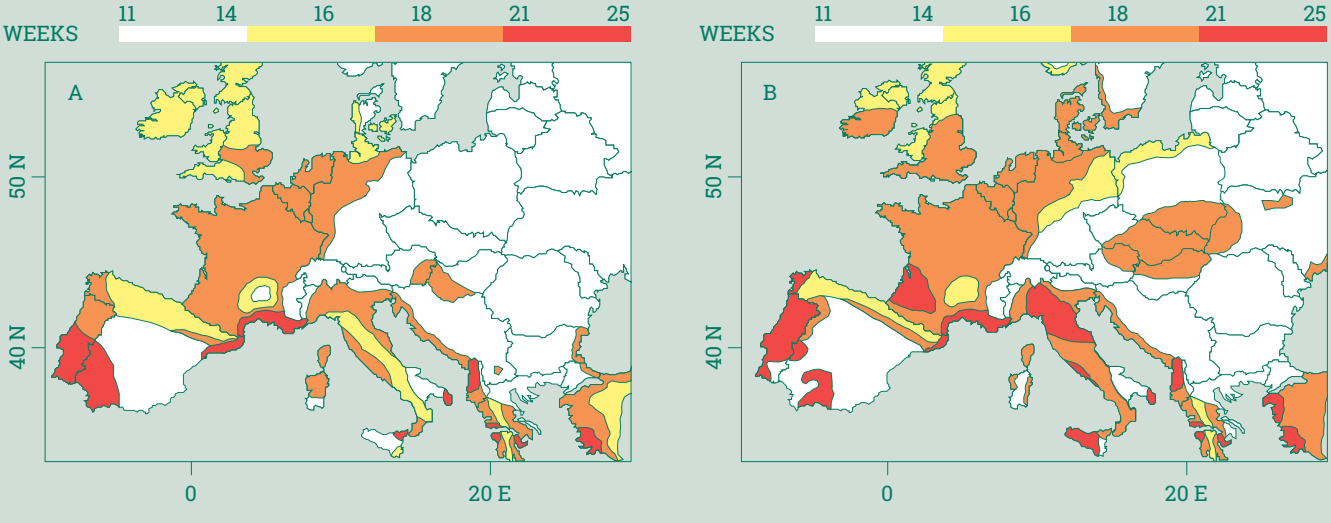
ΕΙΚΟΝΑ Β13
Χάρτες συμβατότητας για το κουνούπι Aedes japonicus υπό τις τωρινές αλλά και τις μελλοντικές κλιματικές συνθήκες με βάση τα σενάρια RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 6.0 και RCP 8.5. (Πηγή: Cunze et al, 2016)

Β.6.4.2. Πιθανές μεταβολές στη δυνητική ετήσια διάρκεια της δραστηριότητας του κουνουπιού Aedes albopictus με βάση το σενάριο κλιματικής αλλαγής SRES-A1B

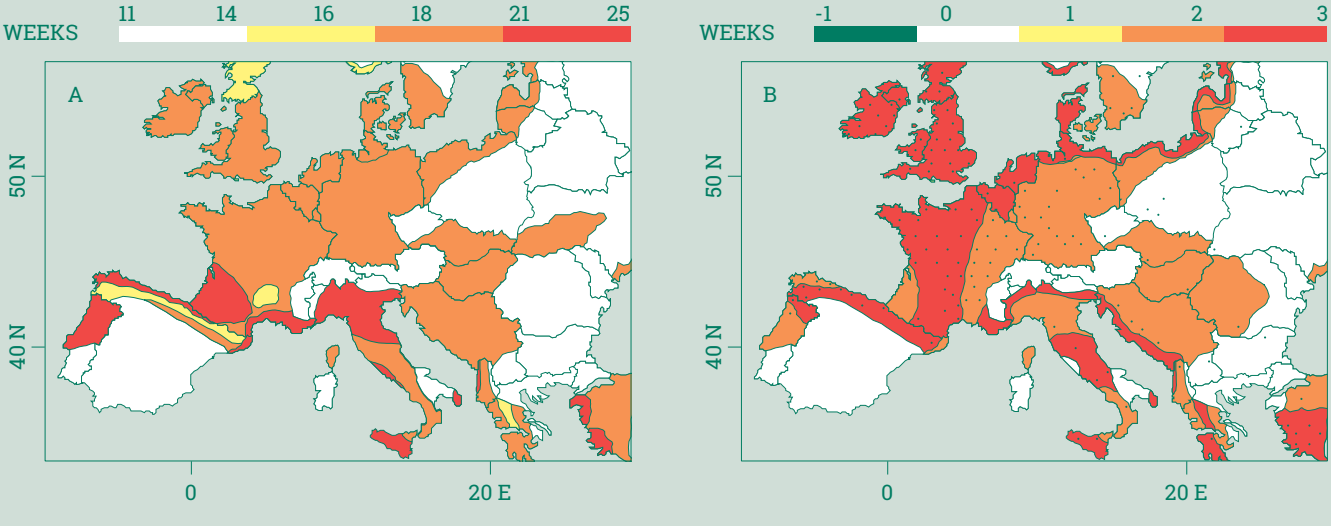
Στη μελέτη των Caminade et al, 2012, χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός 10 διαφορετικών περιφερειακών κλιματολογικών μοντέλων και εκτιμήθηκε η εξέλιξη που είχε η δυνητική διάρκεια (σε εβδομάδες) της δραστηριότητας των κουνουπιών Aedes albopictus στην Ευρώπη ανά έτος κατά τις περιόδους 1960 – 1989 και 1990 – 2009, ενώ έγινε και μια εκτίμηση της δυνητικής διάρκειας της δραστηριότητας τους ανά έτος για την μελλοντική περίοδο 2030 – 2050, με βάση το σενάριο κλιματικής αλλαγής SRES-A1B. Το σενάριο αυτό γενικά προβλέπει άνοδο του παγκόσμιου πληθυσμού μέχρι τα μέσα του 21ου αιώνα, ενώ χαρακτηρίζεται και από μια ισοδύναμη χρήση ορυκτών και μη ορυκτών ενεργειακών πόρων, καταλήγοντας σε ενδιάμεσες εκπομπές CO_2. Το συνδυαστικό μοντέλο των Caminade et al, 2012, χρησιμοποίησε μέσες εβδομαδιαίες θερμοκρασίες και φωτοπεριόδους στην Ευρώπη, μαζί με ένα κριτήριο επιβίωσης των αυγών των κουνουπιών Aedes albopictus κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Ως φωτοπερίοδος ορίστηκε η χρονική διάρκεια ανάμεσα στην ανατολή και τη δύση του ηλίου σε κάθε σημείο του χρησιμοποιούμενου πλέγματος. Επίσης, οι περιοχές που έχουν μέση ετήσια βροχόπτωση πάνω από 500mm και μέση θερμοκρασία του μηνός Ιανουαρίου πάνω από 2°C, θεωρήθηκαν ως συμβατές για την επιβίωση των κουνουπιών κατά τη διάρκεια του χειμώνα, με βάση το κριτήριο που τέθηκε (Caminade et al, 2012 supplemental material). Αρχικά χρησιμοποιήθηκε το κριτήριο για την χειμερινή επιβίωση των αυγών, προκειμένου να αποκλειστούν από τη μελέτη περιοχές που δεν αναμένεται να ευνοούν την ανάπτυξη των Aedes albopictus, ενώ στη συνέχεια η έναρξη της ανοιξιάτικης εκκόλαψης των αυγών και η φθινοπωρινή διάπαυση (περίοδος ανάσχεσης της δραστηριότητας των κουνουπιών) οριοθετήθηκαν με βάση τις τιμές της θερμοκρασίας και της διάρκειας της φωτοπεριόδου (εκκόλαψη αυγών: θερμοκρασία > 10.5°C & διάρκεια φωτοπεριόδου > 11.25h, διάπαυση: θερμοκρασία < 9.5°C & διάρκεια φωτοπεριόδου < 13.5h).

Οι προσομοιωμένες δυνητικές διάρκειες δραστηριότητας του κουνουπιού Aedes albopictus στην Ευρώπη ανά έτος κατά τις περιόδους 1960 – 1989 και 1990 – 2009 διακρίνονται στην Εικόνα Β14. Για την περίοδο 1960 – 1989, οι περιοχές στις οποίες η δραστηριότητα του κουνουπιού θα μπορούσε να έχει την μεγαλύτερη διάρκεια (περίπου 5 μήνες) είναι η νότια Γαλλία, η Βορειοδυτική ακτή και τα Νοτιοδυτικά τμήματα της Ισπανίας, η Πορτογαλία, η Ιταλία και η Δυτική Τουρκία. Το παράθυρο της ετήσιας δραστηριότητας του Ασιατικού κουνουπιού «τίγρης» στην Ευρώπη γενικά διευρύνθηκε κατά την περίοδο 1990 – 2009, με τις πιο ισχυρές ανοδικές τάσεις να παρατηρούνται στην βόρεια Ιταλία, την Νοτιοδυτική και την Νοτιοανατολική Γαλλία, την Σικελία και τις βόρειες ακτές της Ισπανίας. Ενίσχυση παρατηρείται και σε βορειότερες περιοχές της Ευρώπης όπως η Γερμανία, η Ολλανδία και το Βέλγιο, λόγω των υψηλότερων χειμερινών θερμοκρασιών, ενώ η διάρκεια δραστηριότητας δείχνει να περιορίζεται ισχυρά στη νότια Ισπανία και την Σαρδηνία λόγω των ξηρότερων συνθηκών. Στην Ελλάδα οι καλύτερες συνθήκες για πιο επιμηκυμένη δράση του κουνουπιού Aedes albopictus κατά τις περιόδους 1960 – 1989 και 1990 – 2009 εντοπίζονται στα Δυτικά τμήματα της ηπειρωτικής χώρας, με τάση ενίσχυσης κατά την δεκαετία 1990 – 2009. Η δυνατή διάρκεια δραστηριότητας του κουνουπιού «τίγρης» σε αυτά τα τμήματα της Ελλάδας κατά τις προαναφερθείσες περιόδους εκτιμήθηκε στις 15-25 εβδομάδες (Εικόνα Β14). Σε αυτό το σημείο πρέπει να τονισθεί το γεγονός ότι οι χάρτες στην Εικόνα Β14 παρουσιάζουν απλώς δυνητικές διάρκειες δραστηριότητας ανά έτος, δηλαδή αποτυπώνουν απλώς την εφικτή διάρκεια δραστηριότητας των κουνουπιών στη διάρκεια ενός έτους με βάση τις κλιματολογικές συνθήκες κάθε περιοχής. Για παράδειγμα στην Ελλάδα παρουσιάζεται η εφικτή διάρκεια δραστηριότητας των κουνουπιών Aedes albopictus κατά τις περιόδους 1960 – 1989 και 1990 – 2009, ενώ το κουνούπι «τίγρης» εντοπίστηκε για πρώτη φορά το 2005.

Κατά την μελλοντική περίοδο 2030 – 2050, αναμένεται σύμφωνα με τους Caminade et al, 2012 μια ενίσχυση της δυνητικής διάρκειας ανά έτος της δραστηριότητας των κουνουπιών Aedes albopictus σε περιοχές της βόρειας Ευρώπης, στις οποίες το Ασιατικό κουνούπι «τίγρης» δείχνει να μπορεί να επεκταθεί (Εικόνα Β15). Αυτή η επέκταση αποδίδεται κυρίως στη υπέρβαση του κριτηρίου επιβίωσης των αυγών των κουνουπιών κατά τη διάρκεια του χειμώνα, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών που αναμένεται να βιώνουν αυτές οι περιοχές κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Αυτό το κριτήριο είναι ο παράγοντας που προφυλάσσει μέχρι στιγμής τις βορειότερες περιοχές της Ευρώπης από την επέκταση του Ασιατικού κουνουπιού «τίγρης», αλλά αναμένεται να ανατραπεί λόγω της κλιματικής αλλαγής. Στις Μεσογειακές περιοχές αναμένεται να προκύψει μια μικτή εικόνα, με τα νότια τμήματα της Πορτογαλίας και της Ισπανίας να γίνονται τελείως ακατάλληλα λόγω των υπερβολικά θερμών και ξηρών συνθηκών, ενώ αντιθέτως η δυνητική διάρκεια δραστηριότητας του Aedes albopictus αναμένεται να επιμηκυνθεί στην Ιταλία και στην Ελλάδα. Ειδικότερα για την Ελλάδα, οι περιοχές στις οποίες αναμένεται να δραστηριοποιείται το κουνούπι «τίγρης» παραμένουν στα Δυτικά τμήματα της ηπειρωτικής χώρας και το σύνολο της Πελοποννήσου, σε συμφωνία και με τα ευρήματα των Proestos et al, 2015 (Εικόνα Β9), ενώ η άνοδος στην δυνητική περίοδο δράσης των κουνουπιών του είδους εκτιμάται περίπου από μία έως δύο εβδομάδες (Εικόνα Β15β). Η συνολική περίοδος δράσης των Aedes albopictus αναμένεται πάντως να παραμείνει στα επίπεδα των 15 έως 25 εβδομάδων ανά έτος (Εικόνα Β15α).



ΕΙΚΟΝΑ Β14
Χάρτες δυνητικής διάρκειας (σε εβδομάδες) ανά έτος της δραστηριότητας των κουνουπιών Aedes albopictus κατά τις περιόδους α) 1960 – 1989 και β) 1990 – 2009 (Πηγή: Caminade et al, 2012)



ΕΙΚΟΝΑ Β15
α) Δυνητική διάρκεια (σε εβδομάδες) ανά έτος της δραστηριότητας των κουνουπιών Aedes albopictus κατά την περίοδο 2030 – 2050 β) Μεταβολές στη δυνητική διάρκεια δραστηριότητας των κουνουπιών Aedes albopictus κατά την περίοδο 2030 – 2050, σε σχέση με την περίοδο 1990 – 2009 (οι μαύρες τελείες σηματοδοτούν σημεία του πλέγματος στα οποία η μέση μεταβολή της διάρκειας των κατάλληλων συνθηκών δραστηριότητας των κουνουπιών ήταν ισχυρή, ήτοι τουλάχιστον διπλάσια από την τυπική απόκλιση του συνδυαστικού κλιματικού μοντέλου) (Πηγή: Caminade et al, 2012)

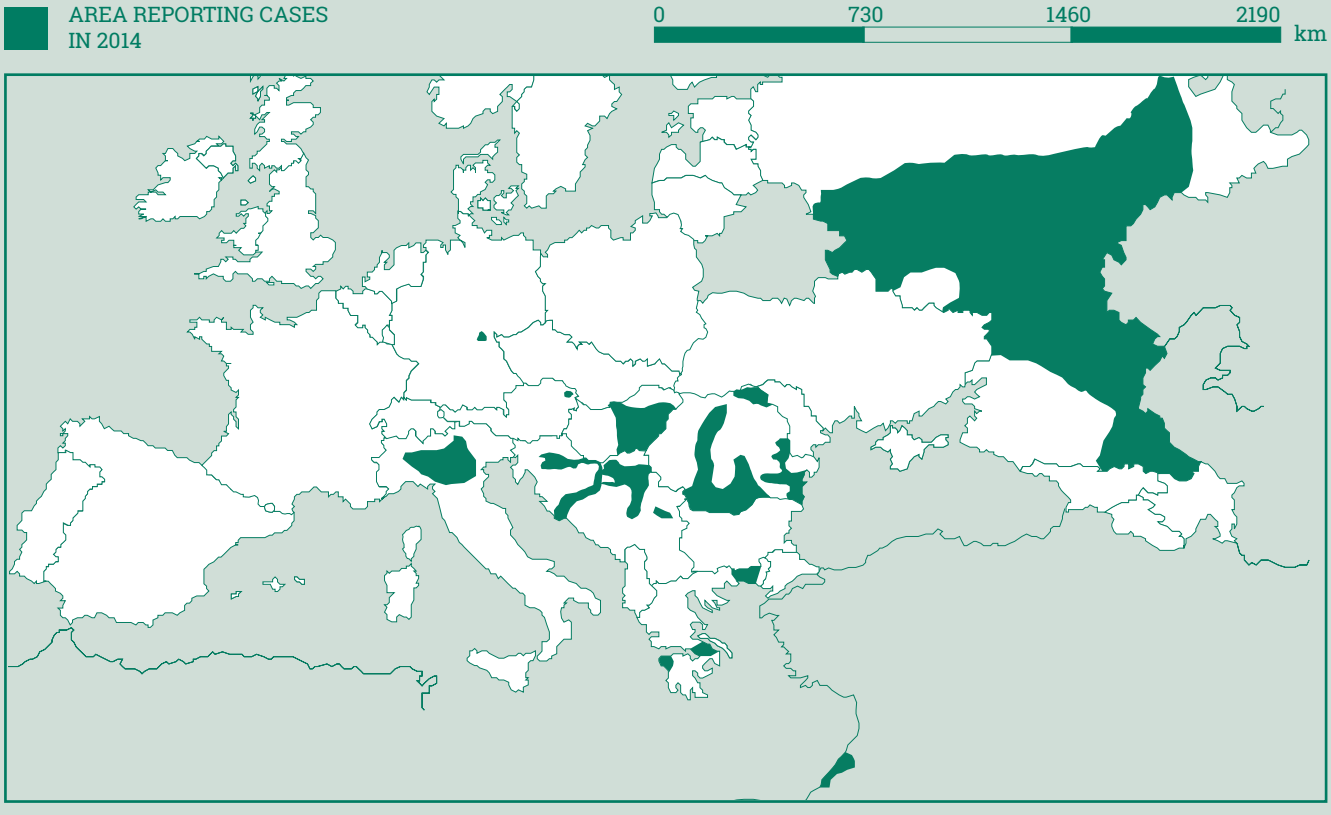
Εκτίμηση της διάδοσης ασθενειών από κουνούπια φορείς με βάση σενάρια κλιματικής αλλαγής

B.6.5.1. Ιός του Δυτικού Νείλου

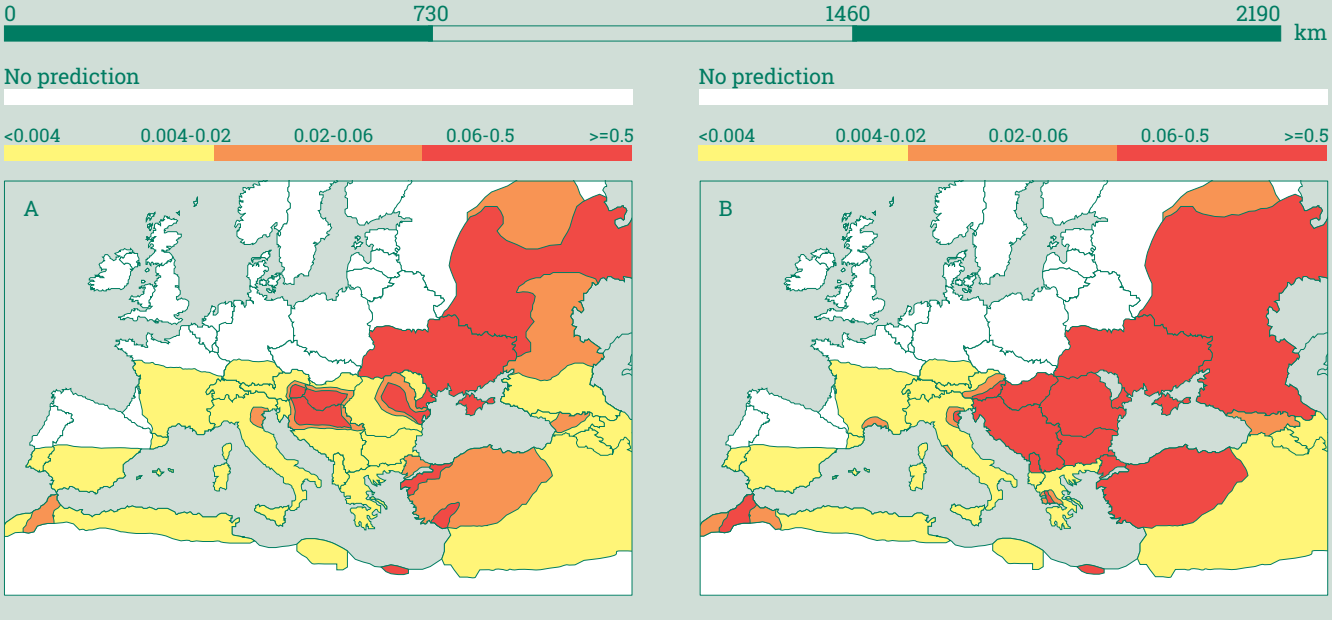
Οι Semenza et al, 2016, πραγματοποίησαν μια εκτίμηση της διάδοσης του ιού του Δυτικού Νείλου στην Ευρώπη κατά τα έτη 2025 και 2050, με βάση το κλιματικό σενάριο SRES-A1B. Το σενάριο αυτό επιλέχθηκε καθώς χαρακτηρίζεται από ισορροπημένη αναλογία ανάμεσα στη χρήση ορυκτών και μη ορυκτών καυσίμων. Η εκτίμηση των Semenza et al, 2016 πραγματοποιήθηκε με βάση ένα μοντέλο πολυπαραγοντικής λογιστικής παλινδρόμησης, το οποίο έλαβε υπ' όψιν για κάθε περιοχή παράγοντες όπως τον πληθυσμό, τις θερμοκρασίες του μηνός Ιουλίου, την πιθανότητα διέλευσης μεταναστευτικών πουλιών που αποτελούν δυνητικούς φορείς του ιού, την ύπαρξη βλάστησης και στάσιμων υδάτων που προσφέρουν ιδανικές συνθήκες για την ανάπτυξη των κουνουπιών του γένους Culex τα οποία ενδημούν σε πολλές περιοχές της Ευρώπης και αποτελούν τον κύριο διαβιβαστή της νόσου κ.α.

Συνολικά κατά το έτος 2014 κατεγράφησαν σε χώρες της Ευρώπης αλλά και σε χώρες που γειτνιάζουν με την Ευρώπη (Εικόνα Β16) 210 πιθανά και επιβεβαιωμένα κρούσματα του ιού του Δυτικού Νείλου, 15 από τα οποία εντοπίστηκαν στην Ελλάδα. Ως επιβεβαιωμένα κρούσματα ορίζονται αυτά που έχουν ταυτοποιηθεί εργαστηριακά, ενώ ως πιθανά εκείνα στα οποία οι ασθενείς είχαν την αναμενόμενη κλινική εικόνα και επιπλέον είτε είχαν κάποια επιδημιολογική διασύνδεση για την μετάδοση του ιού είτε είχαν υποστεί κάποιον εργαστηριακό έλεγχο που υποδεικνύει πιθανή μετάδοση του ιού. Οι περιοχές της Ελλάδας στις οποίες καταγράφηκαν οι 15 αυτές περιπτώσεις βρίσκονται στην Αττική, την Ηλεία και την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη (Εικόνα Β16). Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου των Semenza et al, 2016, κατά τα έτη 2025 και 2050 αναμένεται μια επέκταση των περιοχών με αυξημένη πιθανότητα για κρούσματα του ιού του Δυτικού Νείλου στην Ευρώπη (Εικόνα Β17), σε σχέση με τις περιοχές στις οποίες εντοπίστηκαν κρούσματα το 2014 (Εικόνα Β16). Η επέκταση αυτή εστιάζεται κυρίως γύρω από τις περιοχές στις οποίες υπήρξαν και προγενέστερα περιστατικά μετάδοσης του ιού (Εικόνες Β16 και Β17). Συγκεκριμένα, για το έτος 2025 αυξημένη πιθανότητα για αυτόχθονη μετάδοση του ιού έχουν χώρες όπως η Σερβία, η Ουγγαρία, η Ρουμανία και η Ελλάδα (Εικόνα Β17α), οι οποίες επλήγησαν από τον ιό και στο παρελθόν (Εικόνα Β16). Στην Ελλάδα, για το έτος 2025, οι περιοχές υψηλού κινδύνου εντοπίζονται στην κεντρική Μακεδονία και ιδιαίτερα στην Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη (Εικόνα Β17α). Κατά το έτος 2050, αναμένεται μια περεταίρω επέκταση των περιοχών της Ευρώπης με υψηλή πιθανότητα για κρούσματα του ιού του Δυτικού Νείλου, με επίκεντρο πάντα τις χώρες της Βαλκανικής χερσονήσου και τις χώρες της Κεντρικής Ευρώπης που συνορεύουν με τα Βαλκάνια (Εικόνα Β17β). Στην Ελλάδα κατά το έτος 2050, οι περιοχές αυξημένης επικινδυνότητας, οι οποίες παρουσιάζουν εκτιμώμενη πιθανότητα εμφάνισης κρουσμάτων πάνω από 50%, καταλαμβάνουν πλέον ολόκληρη την Μακεδονία και τη Θράκη ενώ αναμένεται να επεκταθούν και σε τμήματα της κεντρικής ηπειρωτικής χώρας με έμφαση στο νομό Αιτωλοακαρνανίας (Εικόνα Β17β).

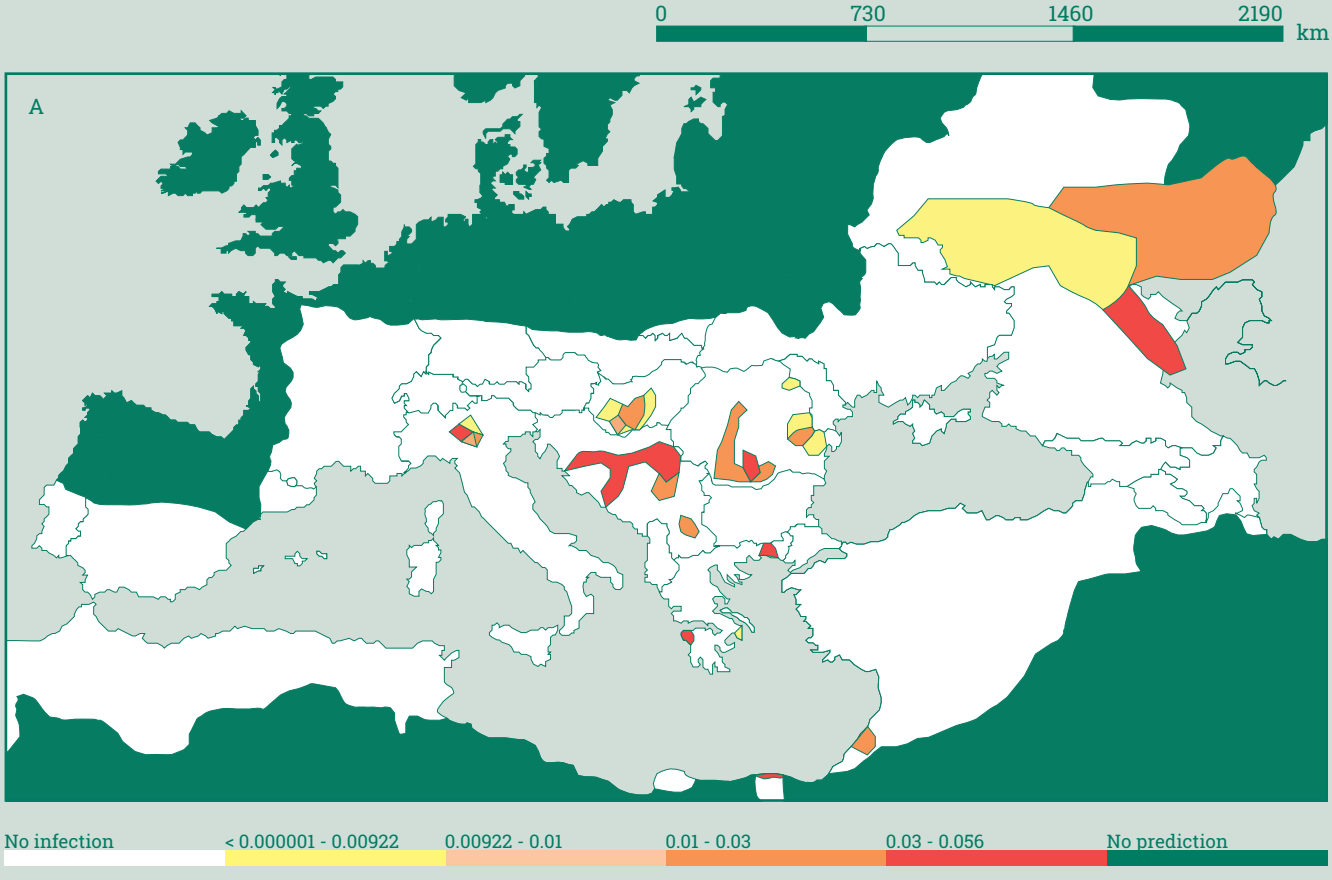
Η προαναφερθείσα μελλοντική επέκταση των περιοχών με πιθανότητα εμφάνισης κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου στην Ευρώπη και την Ελλάδα, με βάση το κλιματικό σενάριο SRES-A1B, αποδίδεται από τους Semenza et al, 2016 κυρίως στην αύξηση των περιστατικών ακραίων υψηλών θερμοκρασιών κατά τον μήνα Ιούλιο. Ειδικότερα, οι πολύ υψηλές τιμές θερμοκρασίας μπορεί να οδηγήσουν σε άνοδο του ρυθμού ανάπτυξης των κουνουπιών διαβιβαστών του ιού, σε μείωση του χρονικού διαστήματος που μεσολαβεί ανάμεσα στα γεύματα αίματος των κουνουπιών, σε μείωση του χρόνου επώασης του ιού μέσα στα κουνούπια φορείς και σε άνοδο της μεταδοτικότητας τους (Paz, 2015, Paz and Semenza, 2013, Reisen et al, 2006). Κατά συνέπεια,

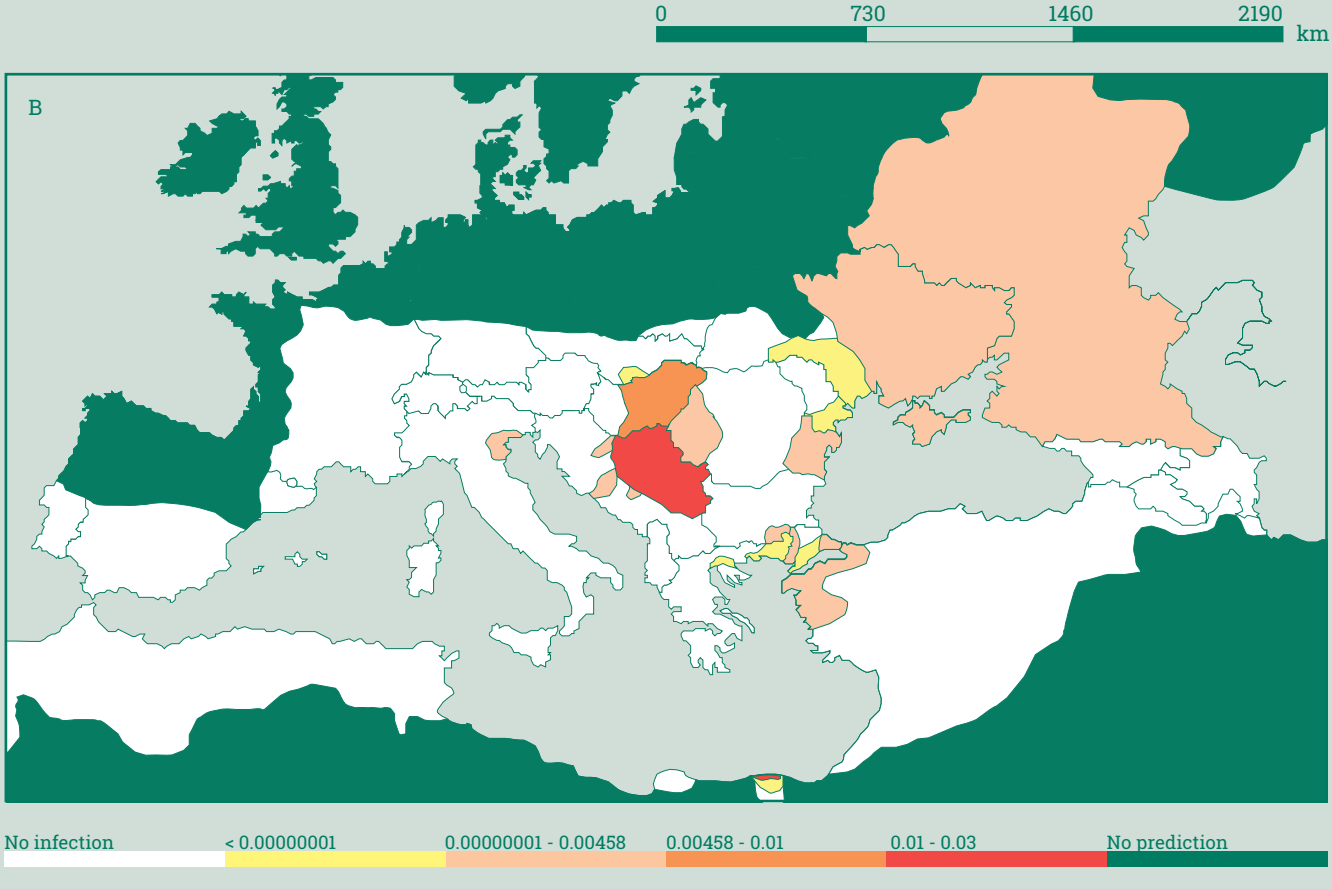


ΕΙΚΟΝΑ Β16
Χάρτης Περιοχών με πιθανά και επιβεβαιωμένα αυτόχθονα κρούσματα του ιού του Δυτικού Νείλου κατά το έτος 2014 στην Ευρώπη και σε γειτονικές χώρες. (Πηγή: Semenza et al, 2016)



ΕΙΚΟΝΑ Β17
Χάρτες εκτιμώμενης πιθανότητας για τη ύπαρξη αυτόχθονων κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου σε περιοχές της Ευρώπης και γειτονικών χωρών α) για το έτος 2025 β) για το έτος 2050 (Πηγή: Semenza et al, 2016)





ΕΙΚΟΝΑ Β18
Χάρτες εκτιμώμενων αυτόχθονων κρουσμάτων του ιού του Δυτικού Νείλου στον πληθυσμό των αιμοδότων (ανά 100000) σε περιοχές της Ευρώπης και γειτονικών χωρών α) για το έτος 2014 β) για το έτος 2025 (Πηγή: Semenza et al, 2016)

αυτές οι ακραίες τιμές θερμοκρασιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δείκτης για την λήψη μέτρων προκειμένου να αντιμετωπιστούν τυχόν ξεσπάσματα επιδημιών του ιού. Τα μέτρα αυτά μπορεί να περιλαμβάνουν την ενίσχυση της ιατρικής/εργαστηριακής υποδομής, την καταγραφή των περιοχών αναπαραγωγής των κουνουπιών αλλά και την εφαρμογή μέτρων για την μείωση του πληθυσμού τους.

Επιπροσθέτως, ειδική έμφαση δίνεται από τους Semenza et al, 2016 και στην πιθανή μετάδοση του ιού του Δυτικού Νείλου μέσω των μεταγγίσεων αίματος. Λόγω της αναμενόμενης εξάπλωσης των κρουσμάτων του ιού σε ευρύτερες περιοχές της Ευρώπης, μεγαλύτερος πληθυσμός πιθανών αιμοδοτών θα βρίσκεται εκτεθειμένος σε πιθανή μετάδοση του ιού, ιδιαίτερα αν η περίοδος δράσης των κουνουπιών διαβιβαστών διευρυνθεί. Η ασυμπτωματική φάση της μόλυνσης από τον ιό του Δυτικού Νείλου, αν και σχετικά σύντομη σε σχέση με εκείνη άλλων ασθένειών όπως η υπατήτιδα Β ή ο ιός HIV, αυξάνει την πιθανότητα μετάδοσης μέσω μεταγγίσεων, ενώ ο ιός έχει τη δυνατότητα να επιβιώνει μέσα στις φιάλες αίματος. Κατά συνέπεια οι Semenza et al, 2016 εκτίμησαν την πιθανότητα να είχαν μολυνθεί δωρητές αίματος στην Ευρώπη το 2014 αλλά και την πιθανότητα να μολυνθούν το 2025. Από την Εικόνα B18 προκύπτει ότι για το 2014 υψηλή πιθανότητα για μετάδοση του ιού μέσω μεταγγίσεων εντοπίστηκε στα Βόρεια Ιταλία, τα Βαλκάνια και σε χώρες της κεντρικής Ευρώπης που συνορεύουν με χώρες της Βαλκανικής χερσονήσου, ενώ όπως είναι φυσιολογικό η αναμενόμενη επέκταση του ιού στην Ευρώπη το 2025 οδηγεί και σε μια πιθανότητα ευρύτερης διάδοσης του ιού και μεταξύ των αιμοδοτών. Το πρόβλημα εντοπίζεται κυρίως σε χώρες υψηλού ενδιαφέροντος όπως η Σερβία και η Ουγγαρία. Στην Ελλάδα, η πιθανότητα για ύπαρξη μολυσμένων φιαλών αίματος το 2014 ήταν μεγαλύτερη στην Ηλεία, την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη, συγκριτικά με την Αττική, πιθανώς λόγω και των πιο σύγχρονων υποδομών υγείας της πρωτεύουσας, ενώ το 2025 ο κίνδυνος εμφανίζεται μειωμένος και εντοπίζεται μόνο σε περιοχές της Μακεδονίας και της Θράκης. Σε ότι αφορά την αντιμετώπιση του ενδεχόμενου κινδύνου μετάδοσης του ιού του Δυτικού Νείλου μέσω της δωρεάς αίματος, οι Semenza et al, 2016 συστήνουν την εφαρμογή στρατηγικών προσυμπτωματικού ελέγχου στους αιμοδότες των ευάλωτων στον ιό περιοχών, στην αναστολή κάποιων αιμοληψιών ή ακόμα και στην εισαγωγή φιαλών αίματος από ασφαλείς περιοχές για να εξασφαλιστεί επάρκεια και να καλυφθούν οι ανάγκες.

B.6.5.2 Ιός Chikungunya

Οι Fischer et al, 2013 χρησιμοποίησαν το περιφερειακό κλιματικό μοντέλο COSMO-CLM, προκειμένου να μελετήσουν την πιθανή διάδοση του ιού Chikungunya στην Ευρώπη για τις περιόδους 2011-2040, 2041-2070 και 2071-2100, σε δύο διαφορετικά κλιματικά σενάρια (SRES-A1B και SRES-B1). Όπως έχει προαναφερθεί, το πιο αναμενόμενο κλιματικό σενάριο SRES-A1B βασίζεται σε μια ισορροπημένη χρήση όλων των μορφών ενέργειας και κατά συνέπεια οδηγεί σε ενδιάμεσες εκπομπές CO_2 και αντίστοιχη άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη. Αντιθέτως, το πιο αισιόδοξο σενάριο SRES-B1 υποθέτει μια γρήγορη παγκόσμια οικονομική ανάπτυξη με έμφαση στις υπηρεσίες, εξασφαλίζοντας παγκόσμιες λύσεις με στόχο την οικονομική και περιβαλλοντική σταθερότητα αλλά και την κοινωνική συνοχή. Το κλιματικό σενάριο SRES-B1 ανταποκρίνεται στον φιλόδοξο στόχο της Ευρωπαϊκής Ένωσης για τη διατήρηση της ανθρωπογενούς προέλευσης άνοδο της θερμοκρασίας του πλανήτη, σε σχέση με την προβιομηχανική περίοδο, κάτω από τους δύο βαθμούς Kelvin.

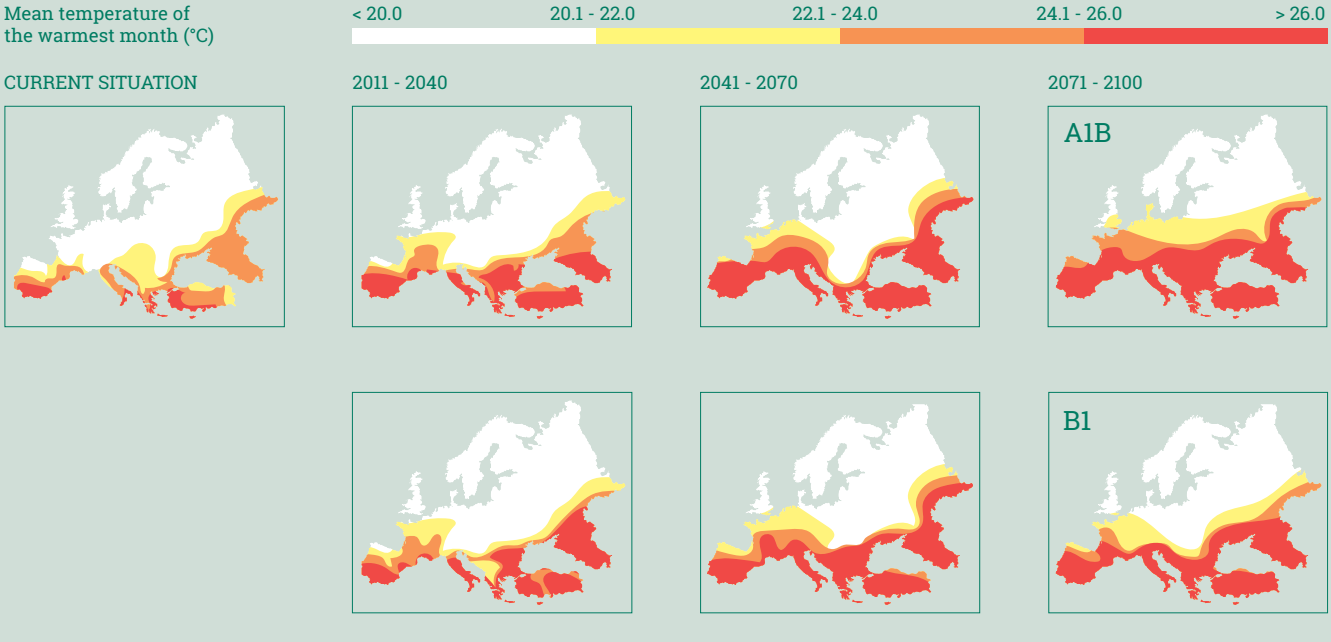
Η πιθανή ενδοετήσια διάρκεια της περιόδου μετάδοσης του ιού Chikungunya στην Ευρώπη, καθορίστηκε από τους Fischer et al, 2013 με βάση τους μήνες για τους οποίους καλύπτονται τα αναγκαία θερμοκρασιακά κριτήρια. Ως κατώτερο θερμοκρασιακό όριο χρησιμοποιήθηκε η θερμοκρασία των 20°C, η οποία είναι η ελάχιστη για την οποία έχει παρατηρηθεί μετάδοση του ιού παγκοσμίως (Tilston et al, 2009). Επίσης, για να μην υπάρξει υπερεκτίμηση του κινδύνου μετάδοσης του ιού Chikungunya, η παραπάνω ανάλυση συνδυάστηκε και με κριτήρια για την ύπαρξη του κουνουπιού Aedes albopictus, το οποίο αποτελεί τον κύριο φορέα και διαβιβαστή της νόσου.

Για τον καθορισμό των ευάλωτων περιοχών της Ευρώπης για ενδεχόμενη δράση του ιού Chikungunya, χρησιμοποιήθηκε η μέση θερμοκρασία του θερμότερου μήνα του έτους η οποία παρουσιάζεται στην Εικόνα B19. Είναι σαφές ότι στην παρούσα κλιματική κατάσταση το κριτήριο υπέρβασης των 20°C υπερκαλύπτεται μόνο σε χώρες της Νότιας Ευρώπης μεταξύ των οποίων και η Ελλάδα. Επίσης, με βάση και τα δύο κλιματικά σενάρια που εξετάζονται (SRES-A1B και SRES-B1), η άνοδος της θερμοκρασίας αναμένεται να επιφέρει την προς βορρά χωρική επέκταση των ορίων για πιθανή δράση του ιού Chikungunya στην Ευρώπη κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα. Είναι αξιοσημείωτο ότι μέχρι το έτος 2070 δεν παρατηρούνται ιδιαίτερες διαφορές στην εξέλιξη που θα έχει η μέση θερμοκρασία του θερμό-

τερου μήνα του έτους σε διάφορες περιοχές της Ευρώπης, ανάμεσα στα δύο κλιματικά σενάρια. Παρ' όλα αυτά, αν ισχύσει το δυσμενέστερο κλιματικό σενάριο SRES-A1B, κατά τα τελευταία 30 χρόνια του 21ου αιώνα αναμένεται σημαντική επέκταση της πιθανής ζώνης δράσης του ιού Chikungunya προς βορειότερες περιοχές της Ευρώπης. Στην Ελλάδα, η επερχόμενη κλιματική αλλαγή φαίνεται να οδηγεί στην υπερκάλυψη του θερμοκρασιακού κριτηρίου σε όλη τη χώρα, με βάση και τα δύο μελετώμενα σενάρια.

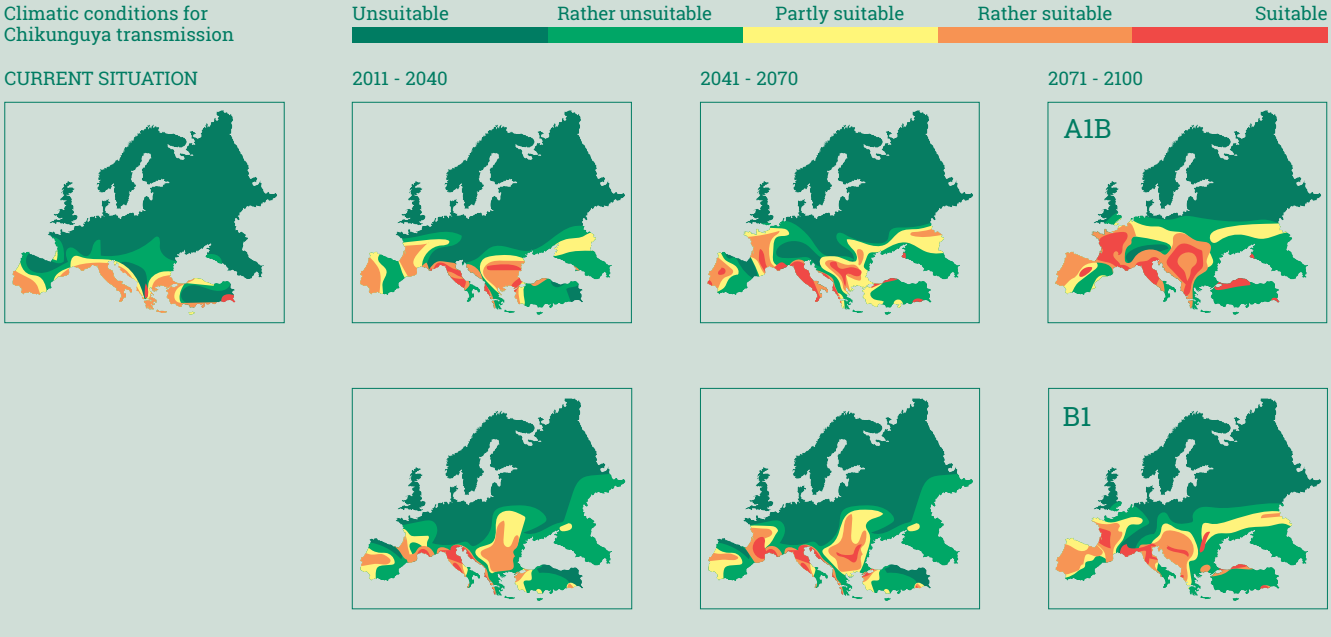
Για την εκτίμηση του πραγματικού κινδύνου ενδεχόμενης μετάδοσης του ιού Chikungunya σε περιοχές της Ευρώπης, η εκπλήρωση του θερμοκρασιακού κριτηρίου για τη δράση του ιού συνδυάστηκε με την ύπαρξη των κατάλληλων συνθηκών για την επιβίωση του κουνουπιού Aedes albopictus. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τον παραπάνω συνδυασμό παρουσιάζονται στην Εικόνα Β20 και σύμφωνα με αυτά, με βάση την παρούσα κλιματική κατάσταση, υψηλή επικινδυνότητα για μετάδοση του ιού Chikungunya υπάρχει μόνο σε χώρες της Νότιας Ευρώπης. Πρέπει εδώ να υπογραμμιστεί η υψηλή συμβατότητα για μετάδοση του ιού που εντοπίζεται σχεδόν στο σύνολο της Ελλάδας και ιδιαίτερα σε τμήματα της Θεσσαλίας, της Στερεάς Ελλάδας και της Δυτικής Ελλάδας, γεγονός που καταδεικνύει την ανάγκη επιφυλακής των αρμόδιων αρχών. Η επίδραση της κλιματικής αλλαγής, αναμένεται να επεκτείνει τον κίνδυνο για μετάδοση της νόσου Chikungunya σε βορειότερες περιοχές της Ευρώπης (Εικόνα Β20), εξέλιξη που θα είναι πολύ πιο ισχυρή στην περίπτωση του χειρότερου κλιματικού σεναρίου SRES-A1B. Σε ότι αφορά την Ελλάδα, σε συμφωνία και με τα αποτελέσματα της ανάλυσης των Proestos et al, 2015, τα οποία παρουσιάζονται συνοπτικά στον χάρτη της Εικόνας Β10, η μείωση της συμβατότητας του κουνουπιού Aedes albopictus αναμένεται να υποβαθμίσει την πιθανότητα για μετάδοση της νόσου Chikungunya. Εξαίρεση αποτελούν τα δυτικά παράλια της χώρας, όπως και τμήματα της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης, στα οποία ο κίνδυνος για διάδοση του ιού θα παραμείνει υψηλός κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα με βάση και τα δύο μελετώμενα κλιματικά σενάρια (Εικόνα Β20).

Στην παρούσα φάση, η κάλυψη του θερμοκρασιακού κριτηρίου για τη δράση του ιού Chikungunya στην Ευρώπη εξασφαλίζεται για του-

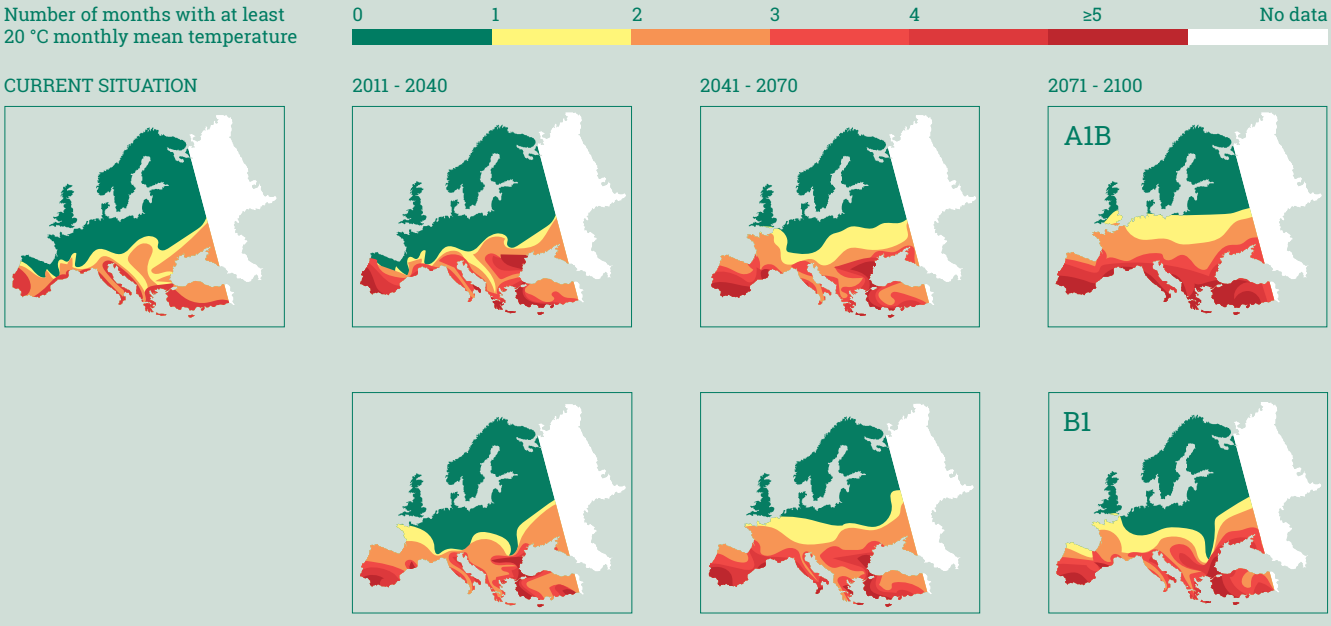


ΕΙΚΟΝΑ Β19
Χάρτες κάλυψης των θερμοκρασιακών απαιτήσεων για τη δράση του ιού Chikungunya στην Ευρώπη στο παρόν αλλά και με βάση τα κλιματικά σενάρια SRES-A1B και SRES-B1, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν από το περιφερειακό κλιματικό μοντέλο COSMO-CLM (Πηγή: Fischer et al, 2013)

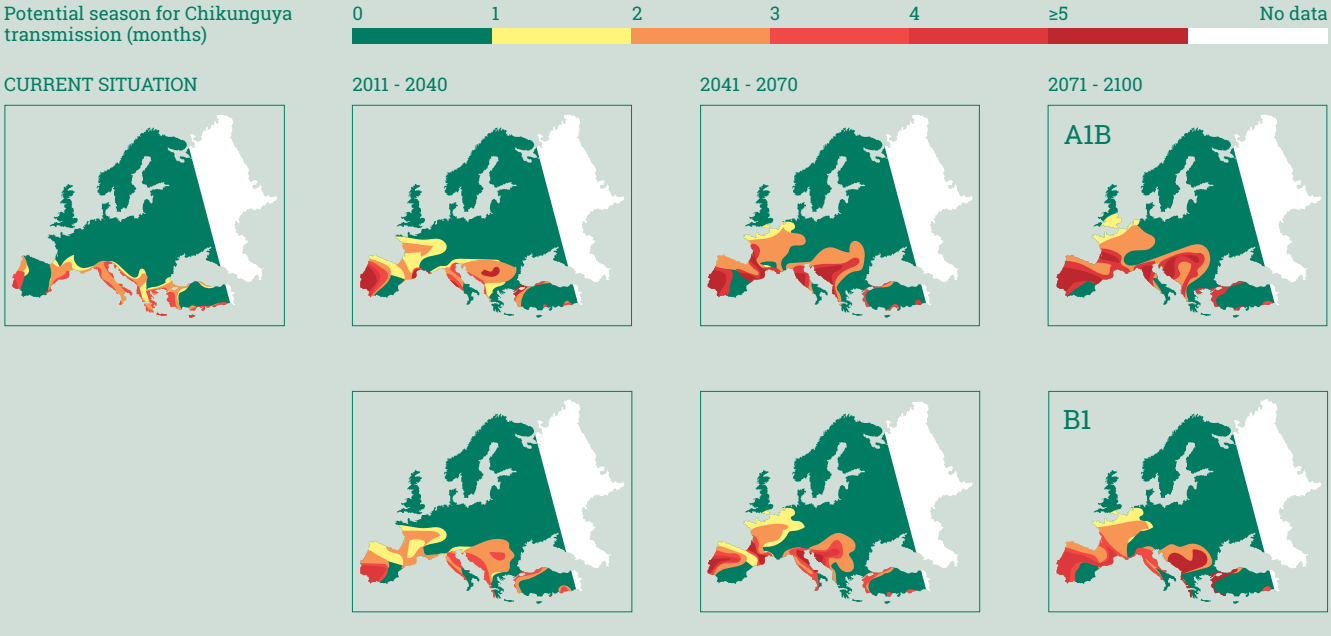
λάχιστον ένα μήνα ή και περισσότερο μόνο σε χώρες της Μεσογείου (Εικόνα Β21). Εντούτοις, με βάση και τα δύο κλιματικά σενάρια, αλλά κυρίως σύμφωνα με το δυσμενέστερο σενάριο SRES-A1B, μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα θα εξασφαλίζεται η κάλυψη του συγκεκριμένου κριτηρίου σε αρκετές χώρες της Βόρειας και κεντρικής Ευρώπης (π.χ. Γερμανία, Πολωνία κτλ). Επίσης, μέχρι το τέλος του αιώνα, σε πολλά τμήματα της Νότιας Ευρώπης θα υπερκαλύπτεται το θερμοκρασιακό κριτήριο για τουλάχιστον 5 μήνες, με βάση και τα δύο κλιματικά σενάρια (Εικόνα Β21). Στην Ελλάδα, το κριτήριο των 2°C αναμένεται σταδιακά να πληρείται για περισσότερους μήνες, ενώ η κατάσταση θα επιδεινωθεί πολύ περισσότερο αν επιβεβαιωθούν οι προβλέψεις του σεναρίου SRES-A1B. Ωστόσο, η άνοδος του πλήθους των μηνών με μέση θερμοκρασία άνω των 20°C, δεν αρκεί από μόνη της για να επιμηκύνει τη περίοδο πιθανής μετάδοσης της νόσου Chikungunya, καθώς πρέπει να συνδυάζεται και με την παρουσία των κουνουπιών του είδους Aedes albopictus. Υπό αυτήν την προϋπόθεση, με τις παρούσες κλιματικές συνθήκες αξιοσημείωτη περίοδος πιθανής μετάδοσης του ιού Chikungunya εντοπίζεται μόνο σε Μεσογειακές περιοχές, στις οποίες συγκαταλέγεται σχεδόν το σύνολο της Ελλάδας με έμφαση στα κεντρικά ηπειρωτικά τμήματα της χώρας (Εικόνα Β22). Εντούτοις, ανεξαρτήτως του κλιματικού σεναρίου που εξετάζεται, τα αποτελέσματα των Fischer et al, 2013 δείχνουν ότι η άνοδος της θερμοκρασίας στην Ευρώπη θα περιορίσει ή και θα εκμηδενίσει την περίοδο μετάδοσης του ιού σε περιοχές της Νότιας Ευρώπης, ενώ θα την επεκτείνει ή και θα την εγκαθιδρύσει σε βορειότερες περιοχές. Στην Ελλάδα, η χρονική διάρκεια της περιόδου πιθανής μετάδοσης του ιού αναμένεται να εκμηδενιστεί στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας, με εξαίρεση την Δυτική Ελλάδα, την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη, όπου αναμένεται ενίσχυση. Κατά συνέπεια, αυτές είναι οι περιοχές της χώρας στις οποίες θα πρέπει σταδιακά κατά τις επόμενες δεκαετίες να μετατοπιστεί το κύριο ενδιαφέρον, αναφορικά με την λήψη μέτρων σχετικών με την πρόληψη αλλά και την αντιμετώπιση μιας ενδεχόμενης επιδημίας του ιού Chikungunya, χωρίς βεβαίως να υποτιμηθεί η πιθανότητα ενός ξεσπάσματος της νόσου και σε άλλες περιοχές.



ΕΙΚΟΝΑ Β20
Χάρτες επικινδυνότητας για τη μετάδοση του ιού Chikungunya στην Ευρώπη στο παρόν αλλά και με βάση τα κλιματικά σενάρια SRES-A1B και SRES-B1 (Πηγή: Fischer et al, 2013)



ΕΙΚΟΝΑ Β21
Χάρτες της Ευρώπης που παρουσιάζουν το κατά τόπους πλήθος των μηνών στους οποίους καλύπτεται το κριτήριο για μέση θερμοκρασία άνω των 20°C, το οποίο είναι αναγκαίο για τη δράση του ιού Chikungunya, στο παρόν αλλά και με βάση τα κλιματικά σενάρια SRES-A1B και SRES-B1 (Πηγή: Fischer et al, 2013)



ΕΙΚΟΝΑ Β22
Χάρτες της Ευρώπης που παρουσιάζουν την κατά τόπους διάρκεια (σε μήνες) της περιόδου δυνατής μετάδοσης του ιού Chikungunya στο παρόν αλλά και με βάση τα κλιματικά σενάρια SRES-A1B και SRES-B1 (Πηγή: Fischer et al, 2013)

Β.6.5.3. Δάγγειος ιός

Ο πρωτεύον διαβιβαστής του Δάγγειου ιού παγκοσμίως είναι το κουνούπι Aedes aegypti που αυτή τη στιγμή έχει εξαφανιστεί από την Ευρώπη, με εξαίρεση την έξαρση που παρουσίασε το 2012 ο πληθυσμός του στην πορτογαλική νήσο Μαδέρα. Παρ' όλα αυτά, οι Thomas et al, 2011 προχώρησαν σε μια μελέτη της πιθανής εξέλιξης που μπορεί να έχει η διάδοση του Δάγγειου ιού στην Ευρώπη, λόγω της κλιματικής αλλαγής, χρησιμοποιώντας το περιφερειακό κλιματικό μοντέλο COSMO-CLM με υπόβαθρο τα προαναφερθέντα κλιματικά σενάρια SRES-A1B και SRES-B1, για τις περιόδους 2011-2040, 2041-2070 και 2071-2100. Κατά συνέπεια, όλα τα συμπεράσματα των Thomas et al, 2011 μπορεί να ισχύσουν μόνο υπό την προϋπόθεση της επανεμφάνισης/εγκαθίδρυσης του κουνουπιού Aedes aegypti στην Ευρώπη.

Οι Thomas et al, 2011, στήριξαν τις εκτιμήσεις τους στις θερμοκρασιακές απαιτήσεις που είναι αναγκαίες για να ολοκληρωθεί η εξωγενής περίοδος επώασης του ιού μέσα στα κουνούπια φορείς και ειδικότερα μέσα στο κουνούπι Aedes aegypti που αποτελεί τον κυριότερο διαβιβαστή της νόσου. Η εξωγενής περίοδος επώασης ορίζεται ως το χρονικό διάστημα που μεσολαβεί ανάμεσα στην πρόσληψη ενός ιού από ένα κουνούπι φορέα και στην στιγμή κατά την οποία το κουνούπι είναι ικανό να μεταδώσει τη νόσο σε κάποιον νέο ξενιστή όπως ο άνθρωπος. Η εξωγενής περίοδος επώασης περιλαμβάνει την αναπαραγωγή, την ωρίμανση αλλά και την εξάπλωση του ιού μέσα στο σώμα του κουνουπιού, μέχρι τελικά να φτάσει στους σιελογόνους αδένες του. Στη συνέχεια τα θηλυκά κουνούπια παραμένουν μεταδοτικά σε όλη τους τη ζωή. Η θερμοκρασία θεωρείται ο σημαντικότερος παράγοντας που επηρεάζει τη διάρκεια της εξωγενούς περιόδου επώασης και πιο συγκεκριμένα οι υψηλότερες θερμοκρασίες μειώνουν τη διάρκεια της και κατά συνέπεια καθιστούν μολυσματικά τα κουνούπια σε μικρότερο χρονικό διάστημα (Watts et al, 1987). Αντιθέτως, αν οι ελάχιστες αναγκαίες θερμοκρασίες για την ολοκλήρωση της εξωγενούς περιόδου επώασης δεν επιτυγχάνονται, τότε τα κουνούπια δεν μπορούν να καταστούν μολυσματικά και η πιθανότητα μετάδοσης του Δάγγειου ιού στους ανθρώπους αποκλείεται. Λόγω της κλιματικής αλλαγής, μέχρι το τέλος του 21ου αιώνα 5 έως 6 δισεκατομμύρια άνθρωποι σε όλο τον κόσμο αναμένεται ότι θα ζουν σε περιοχές όπου θα είναι πιθανή η μετάδοση του Δάγγειου ιού (Hales et al, 2002).

Τρία θερμοκρασιακά κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν από τους Thomas et al, 2011 ως απαραίτητα κατώφλια για την ολοκλήρωση της εξωγενούς περιόδου επώασης του Δάγγειου ιού μέσα στο σώμα των κουνουπιών του είδους Aedes aegypti:

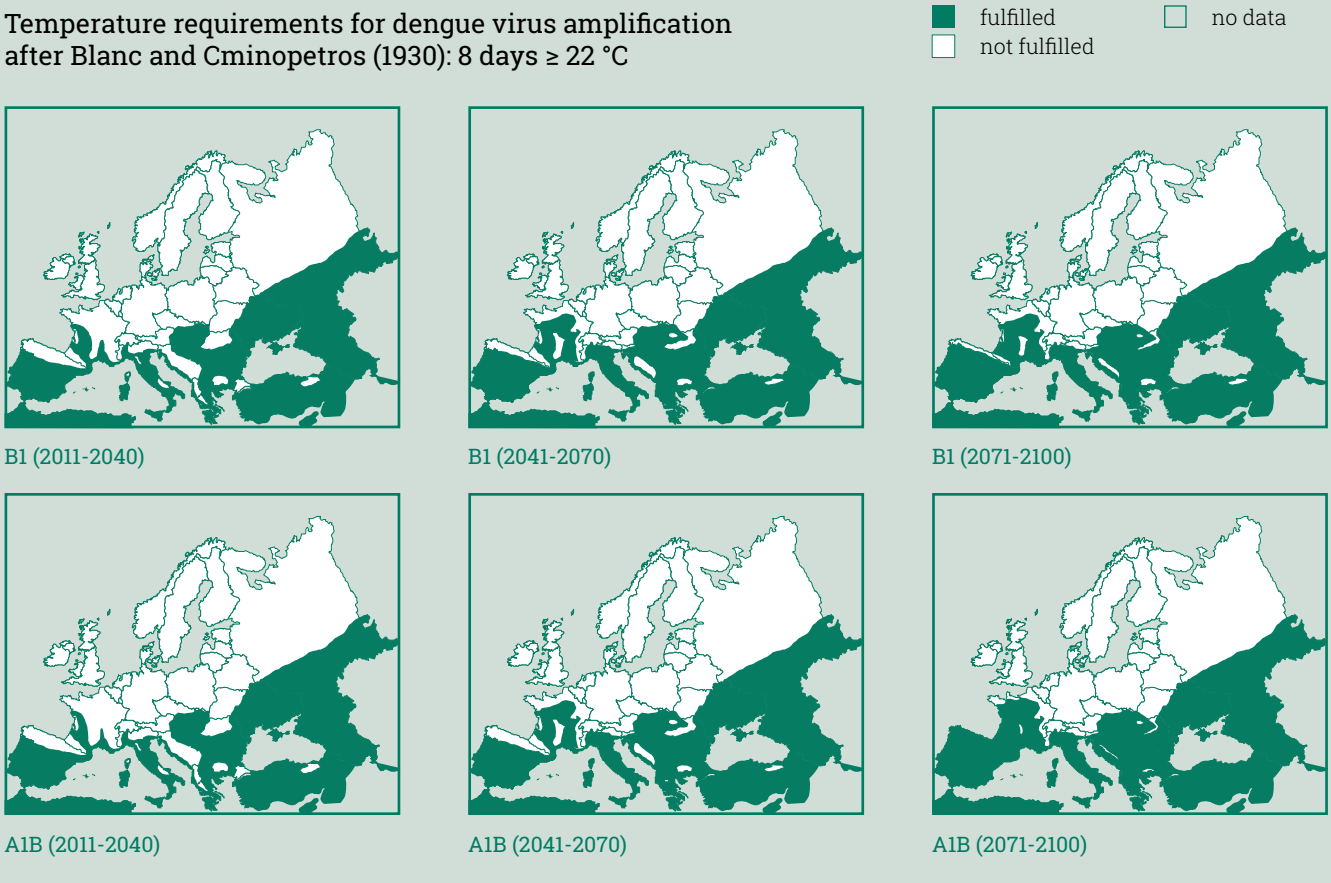
- Κριτήριο 1: Οκτώ συνεχόμενες μέρες με μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες τουλάχιστον 22°C (Blanc and Caminopetros, 1930)
- Κριτήριο 2: Δώδεκα συνεχόμενες μέρες με μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες τουλάχιστον 30°C (Watts et al, 1987)
- Κριτήριο 3: Επτά συνεχόμενες μέρες με μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες 32-35°C (Watts et al, 1987)

Με βάση το κριτήριο 1, μεγάλα τμήματα της Ευρώπης αναμένεται να έχουν μέσα στον 21ο αιώνα τις θερμοκρασιακές προϋποθέσεις για να υποστηρίξουν τη μετάδοση του Δάγγειου ιού (Εικόνα Β23). Το γεγονός αυτό επαληθεύεται στην περίπτωση και των δύο κλιματικών σεναρίων, αν και στο δυσμενέστερο σενάριο SRES-A1B, οι περιοχές της Ευρώπης στις οποίες το κριτήριο 1 θα ικανοποιείται είναι σαφώς μεγαλύτερες. Κατά την τριακονταετία 2011-2040, σχεδόν το σύνολο των Μεσογειακών περιοχών αναμένεται ότι θα πληρούν το κριτήριο 1, ενώ κατά την περίοδο 2041-2070 το τμήμα της Ευρώπης που θα ικανοποιεί το κριτήριο 1, σύμφωνα με το κλιματικό μοντέλο COSMO-CLM, θα επεκταθεί προς βορρά (Εικόνα Β23). Κατά συνέπεια στο μέσο του 20ου αιώνα τμήματα της κεντρικής Ευρώπης, όπως π.χ. οι Νότιες περιοχές της Γερμανίας, θα μπορούν να φιλοξενήσουν τη μετάδοση του Δάγγειου ιού. Κατά τα τέλη του αιώνα, ακόμη και τα πιο βόρεια τμήματα της Γαλλίας αλλά και τμήματα του Βελγίου φαίνεται ότι θα γίνουν κατάλληλα για τη μετάδοση του ιού. Στην Ελλάδα, το κριτήριο 1 φαίνεται ότι θα πληρείται καθ' όλη τη διάρκεια του 21ου αιώνα στο σύνολο της χώρας (Εικόνα Β23).

Με τη χρήση του κριτηρίου 2, οι περιοχές της Ευρώπης στις οποίες είναι δυνατή η εξάπλωση του Δάγγειου ιού περιορίζονται σημαντικά, σε σύγκριση με αυτές που συνεπάγεται η χρήση του κριτηρίου 1 (Εικόνα Β24). Κατά την τρέχουσα τριακονταετία 2011-2040, το κριτήριο 2 δείχνει ότι μόνο το Νοτιοδυτικό τμήμα της Ιβηρικής χερσονήσου, η Σικελία αλλά και η περιοχή της Θεσσαλίας στην Ελλάδα (εστιάζοντας ιδιαίτερα στο νομό Λάρισας), αποτελούν περιοχές που μπορούν να υποστηρίξουν θερμοκρασιακά τη μετάδοση του ιού. Η άνοδος της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του αιώνα, ειδικά με βάση το χειρότερο σενάριο εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου SRES-A1B, αναμένεται να επεκτείνουν σημαντικά τις περιοχές γύρω από τη Μεσόγειο θάλασσα που θα είναι κατάλληλες για τη διάδοση του Δάγγειου ιού, ενώ στην Ελλάδα η μετάδοση του ιού θα γίνει εφικτή εκτός από τη Θεσσαλία και στη Δυτική Ελλάδα, την Κεντρική Μακεδονία αλλά και την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη (Εικόνα Β24).

Οι θερμοκρασιακοί περιορισμοί που θέτει το κριτήριο 3 είναι πάρα πολύ αυστηροί και κατά συνέπεια κατά την τρέχουσα τριακονταετία 2011-2040, με βάση αυτό το κριτήριο, οι περιοχές της Ευρώπης που μπορούν να υποστηρίξουν μια ενδεχόμενη μετάδοση του Δάγγειου ιού σχεδόν εξαφανίζονται και οριοθετούνται μόνο σε πολύ θερμά τμήματα στα Νοτιοδυτικά της Ισπανίας (Εικόνα Β25). Εντούτοις, με βάση μόνο το χειρότερο κλιματικό σενάριο SRES-A1B, κατά το μέσον του αιώνα μικρές περιοχές στην Σικελία αλλά και την Θεσσαλία στην Ελλάδα (και πάλι με επίκεντρο το νομό Λάρισας), θα γίνουν κατάλληλες για τη διάδοση του ιού, ενώ νέες περιοχές στις οποίες θα ικανοποιείται το κριτήριο 3 είναι πιθανό να προστεθούν κατά το τέλος του αιώνα. Στις περιοχές αυτές συμπεριλαμβάνεται η κοιλάδα του Δούναβη στη Νότια Ρουμανία αλλά και η κεντρική Μακεδονία στην Ελλάδα (Εικόνα Β25).

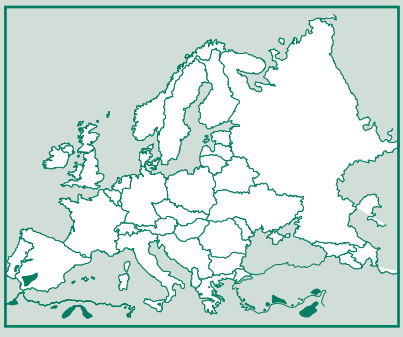
Σχετικά με τη συνολική ενδοετήσια διάρκεια των περιόδων κατά τις οποίες υπάρχουν οι προϋποθέσεις για να ολοκληρωθεί η εξωγενής περίοδος επώασης του Δάγγειου ιού μέσα στα κουνούπια Aedes aegypti, αυτή αναμένεται να αυξηθεί κατά τον 21ο αιώνα και ιδιαίτερα κατά το τέλος του, σε πολλές περιοχές της Ευρώπης (Thomas et al, 2011). Βεβαίως, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η επιστροφή του κουνουπιού φορέα Aedes aegypti στην ηπειρωτική Ευρώπη, που μέχρι σήμερα δεν έχει πραγματοποιηθεί, παρότι οι κατάλληλες συνθήκες για την βιωσιμότητα του υπάρχουν σε πολλά κυρίως παράκτια τμήματα της Νότιας Ευρώπης, μεταξύ των οποίων βρίσκονται και περιοχές της Ελλάδας (Εικόνα Β26). Για το λόγο αυτό, δεν συντρέχουν επί του παρόντος, σύμφωνα και με την εκτίμηση που περιέχεται στην ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/vector-borne-diseases-2/assessment), σοβαροί λόγοι ανησυχίας για ξέσπασμα μιας επιδημίας του Δάγγειου ιού στην ηπειρωτική Ευρώπη, καθώς έχουν τεθεί σε εφαρμογή και μέτρα για να αποτρέψουν την επανάκαμψη του κουνουπιού Aedes aegypti. Παρ' όλα αυτά, ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος αναγνωρίζει ότι μια άνοδος στην περίοδο δράσης του κουνουπιού Aedes albopictus στην Ευρώπη, λόγω της κλιματικής αλλαγής, μπορεί να οδηγήσει σε μικρή άνοδο της πιθανότητας για κάποια κρούσματα του Δάγγειου ιού, καθώς το Ασιατικό κουνούπι «τίγρης» αποτελεί δευτερεύοντα διαβιβαστή του ιού. Όπως επίσης αναφέρεται στην ιστοσελίδα του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος, είναι αναγκαίο να πραγματοποιηθούν μελέτες οι οποίες με τη χρήση μοντέλων θα εξετάσουν αν οι επερχόμενες κλιματικές αλλαγές και η συνεπακόλουθη άνοδος της θερμοκρασίας θα διευκολύνουν ή θα δυσχεράνουν μελλοντικά την συμβατότητα του κουνουπιού Aedes aegypti στην Ευρώπη.



ΕΙΚΟΝΑ Β23
Χάρτης πιθανής υπερκάλυψης του θερμοκρασιακού κριτηρίου 1 για την ολοκλήρωση της εξωγενούς περιόδου επώασης του Δάγγειου ιού μέσα στο σώμα των κουνουπιών του είδους Aedes aegypti (Πηγή: Thomas et al, 2011)

Temperature requirements for dengue virus amplification after Watts et al. (1987): 12 days ≥ 30 °C

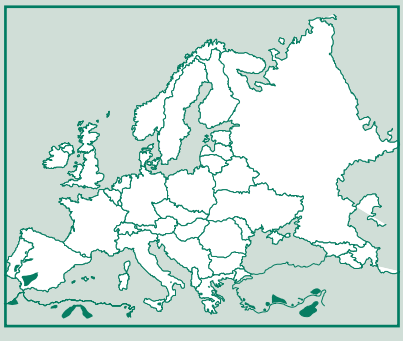
fulfilled
not fulfilled
no data



B1 (2011-2040)

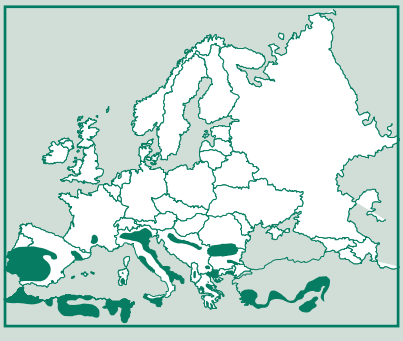
B1 (2041-2070)

B1 (2071-2100)



A1B (2011-2040)

A1B (2041-2070)

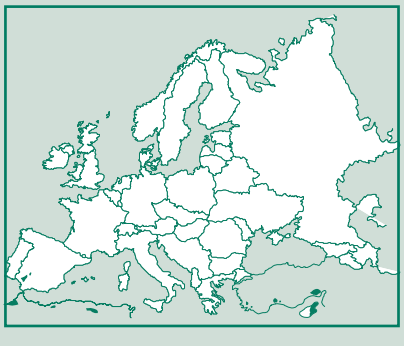


A1B (2071-2100)

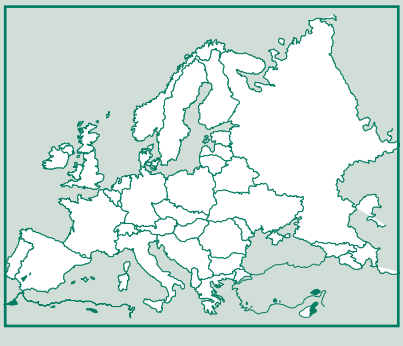
ΕΙΚΟΝΑ Β24
Χάρτης πιθανής υπερκάλυψης του θερμοκρασιακού κριτηρίου 2 για την ολοκλήρωση της εξωγενούς περιόδου επώασης του Δάγγειου ιού μέσα στο σώμα των κουνουπιών του είδους Aedes aegypti (Πηγή: Thomas et al, 2011)

Temperature requirements for dengue virus amplification after Watts et al. (1987): 7 days ≥ 32 - 35 °C

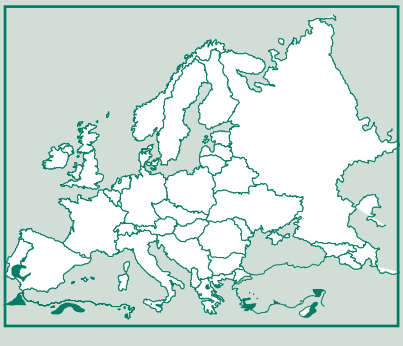
fulfilled
not fulfilled
no data



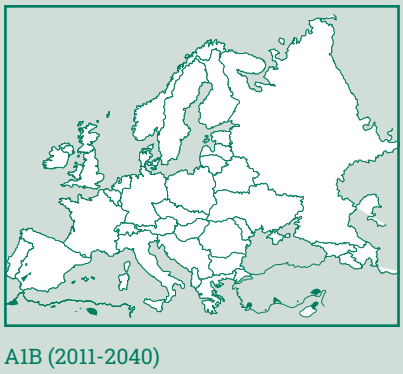
B1 (2011-2040)



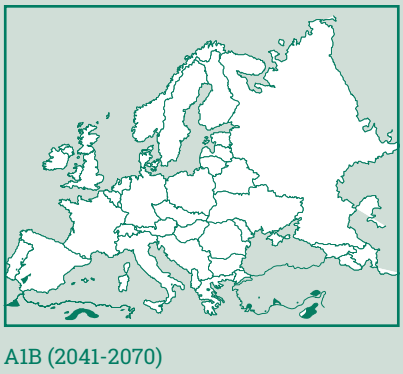
B1 (2041-2070)



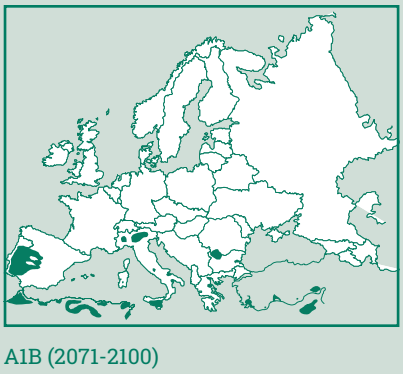
B1 (2071-2100)



A1B (2011-2040)

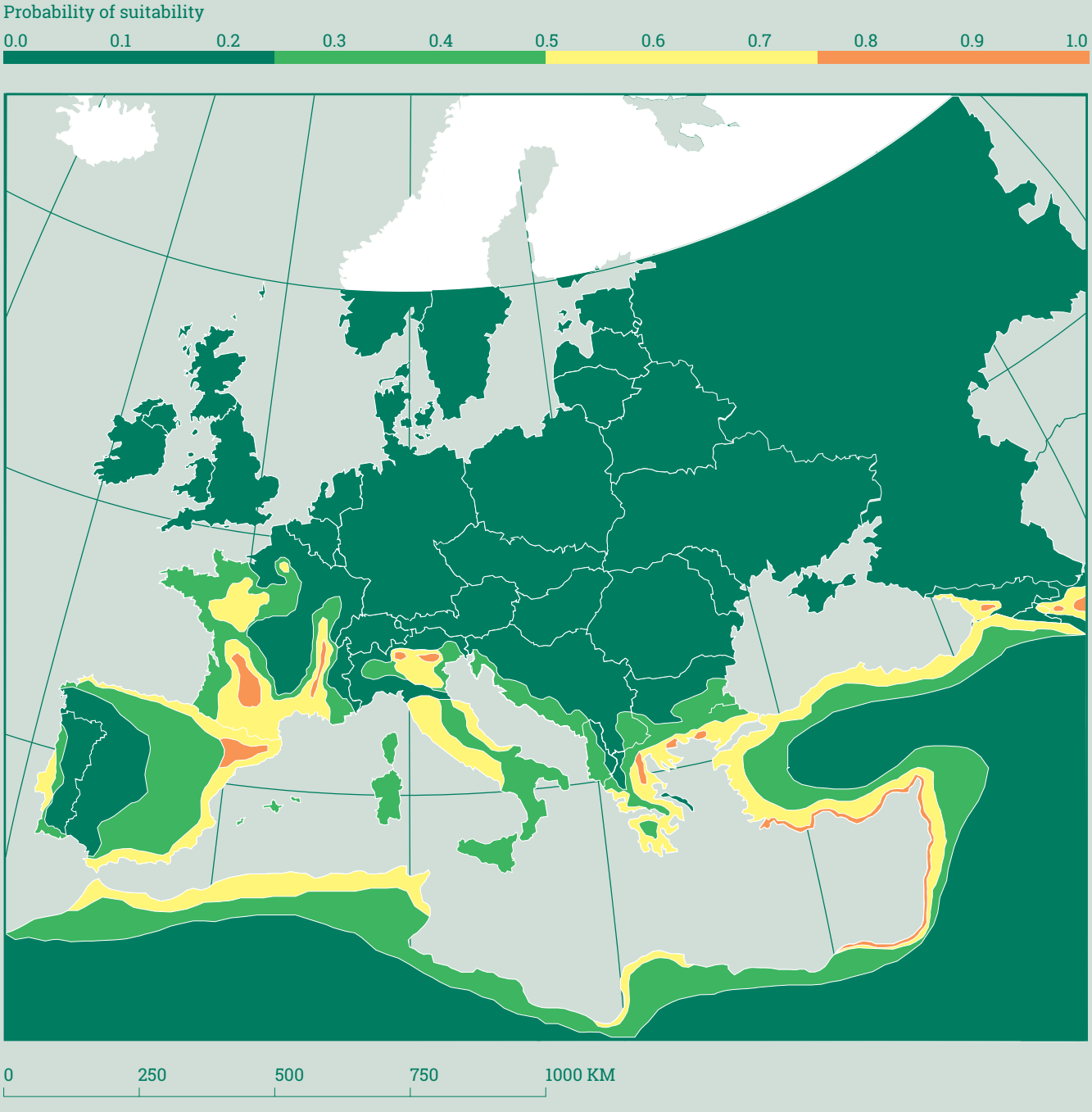


A1B (2041-2070)



A1B (2071-2100)

ΕΙΚΟΝΑ Β25
Χάρτης πιθανής υπερκάλυψης του θερμοκρασιακού κριτηρίου 3 για την ολοκλήρωση της εξωγενούς περιόδου επώασης του Δάγγειου ιού μέσα στο σώμα των κουνουπιών του είδους Aedes aegypti (Πηγή: Thomas et al, 2011)



ΕΙΚΟΝΑ Β26
Χάρτης κλιματικής συμβατότητας για το κουνούπι Aedes aegypti στην Ευρώπη (Πηγή: ECDC)

Β.6.5.4. Σύνοψη των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής στη μετάδοση ασθενειών από κουνούπια διαβιβαστές στην Ελλάδα

Μεταξύ των διαφόρων ειδών κουνουπιών του γένους Aedes, τα οποία δεν είναι ενδημικά στην Ευρώπη και χαρακτηρίζονται ως κουνούπια εισβολείς, εκείνο το οποίο αποτελεί απειλή για την Ελλάδα είναι το Aedes albopictus, ευρύτερα γνωστό και ως Ασιατικό κουνούπι τίγρης. Οι κλιματικές συνθήκες στην Ελλάδα ευνοούν το συγκεκριμένο είδος κουνουπιού και θεωρείται ότι η παρουσία του είναι πλέον σταθερή στη χώρα. Η κλιματική αλλαγή και η επερχόμενη άνοδος της θερμοκρασίας στην Ευρώπη αναμένεται να μετατοπίσουν τη ζώνη δράσης του κουνουπιού Aedes albopictus προς βορρά, μειώνοντας την συμβατότητα του στην Ελλάδα, παρ' όλα αυτά η προσαρμογή του στη χώρα θα παραμείνει σε μεγάλο βαθμό εφικτή, με έμφαση στη Δυτική αλλά και την κεντρική ηπειρωτική χώρα, την Πελοπόννησο και την Ανατολική Μακεδονία και τη Θράκη. Επίσης, τις επόμενες δεκαετίες, η δυνητική ενδοετήσια διάρκεια της περιόδου δράσης του κουνουπιού «τίγρης» στην Ελλάδα είναι πιθανό να επιμηκυνθεί λόγω της κλιματικής αλλαγής, με την ενίσχυση να βρίσκεται στα επίπεδα των 1 έως 2 εβδομάδων επιπρόσθετης παρουσίας.

Το Ασιατικό κουνούπι «τίγρης», αποτελεί τον κύριο διαβιβαστή του ιού Chikungunya. Στην Ελλάδα, ο συνδυασμός της ύπαρξης των αναγκαίων θερμοκρασιακών συνθηκών για την μετάδοση του ιού με την παρουσία του Aedes albopictus, επιφέρει σημαντική επικινδυνότητα για την πρόκληση αυτοχθόνων κρουσμάτων της νόσου. Η κλιματική αλλαγή, εκτιμάται ότι θα οδηγήσει στην εκπλήρωση των θερμοκρασιακών απαιτήσεων για μετάδοση της νόσου Chikungunya στο σύνολο της χώρας, παρ' όλα αυτά ο περιορισμός της συμβατότητας για τα κουνούπια διαβιβαστές φαίνεται ότι θα υποβαθμίσει την πιθανότητα για μετάδοση της νόσου. Ωστόσο, σχετικά με τον κίνδυνο διάδοσης του ιού Chikungunya, ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δοθεί στα Δυτικά παράκτια τμήματα της Ελλάδας, όπως και σε περιοχές της Ανατολικής Μακεδονίας και της Θράκης, όπου ο κίνδυνος μετάδοσης θα παραμείνει υψηλός κατά τον 21ο αιώνα, με βάση τα μελετώμενα κλιματικά σενάρια.

Τα κουνούπια του γένους Culex, τα οποία είναι ενδημικά στην Ελλάδα, αποτελούν τον κύριο διαβιβαστή του ιού του Δυτικού Νείλου. Χαρακτηριστική για τη χώρα μας είναι η επιδημία του ιού που ξέσπασε το 2010, με επίκεντρο την Κεντρική Μακεδονία όπου τα κουνούπια Culex αφθονούν. Η κλιματική αλλαγή αναμένεται να διαμορφώσει ιδανικές συνθήκες για την περεταίρω ανάπτυξη των κουνουπιών Culex στην Ελλάδα και για την αύξηση της μεταδοτικότητας τους σε ότι αφορά τον ιό του Δυτικού Νείλου. Οι περιοχές της χώρας που φαίνεται ότι θα έχουν τις επόμενες δεκαετίες την υψηλότερη πιθανότητα για να εμφανίσουν κρούσματα του ιού είναι η Μακεδονία, η Θράκη αλλά και τμήματα της κεντρικής ηπειρωτικής χώρας με έμφαση στο νομό Αιτωλοακαρνανίας.

Κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα, αναμένεται στην Ελλάδα να ισχύσει η επίτευξη των θερμοκρασιών εκείνων που είναι απαραίτητες για την ολοκλήρωση της εξωγενούς περιόδου επώασης του Δάγγειου ιού, μέσα στο σώμα των κουνουπιών του είδους Aedes aegypti, τα οποία αποτελούν τον πρωτεύοντα διαβιβαστή του. Βέβαια, ανάλογα με το θερμοκρασιακό κριτήριο αλλά και το κλιματολογικό σενάριο που επιλέγεται κατά περίπτωση, προκύπτουν σημαντικές διαφορές στην οριοθέτηση εκείνων των περιοχών που θα μπορούσαν να υποστηρίξουν μια ενδεχόμενη επιδημία του ιού. Σε κάθε περίπτωση, αναγκαία προϋπόθεση για την εμφάνιση ικανού αριθμού κρουσμάτων του Δάγγειου ιού στην Ελλάδα αποτελεί η επανεμφάνιση του κουνουπιού Aedes aegypti, καθώς το κουνούπι αυτό έχει εξαφανιστεί συνολικά από την ηπειρωτική Ευρώπη από το 1950. Μικρές πιθανότητες για μετάδοση του Δάγγειου ιού μπορεί να προκύψουν και μέσω του κουνουπιού Aedes albopictus, το οποίο αποτελεί δευτερεύοντα φορέα του ιού.

Β.6.6.
Μέτρα πρόληψης/αντιμετώπισης των κουνουπιών

Λόγω των ασθενειών που μεταφέρονται από τα κουνούπια φορείς και της πιθανής επέκτασης τους με βάση τα πιθανά σενάρια της κλιματικής αλλαγής, είναι κρίσιμο η πολιτεία αλλά και οι πολίτες αυτόνομα να λαμβάνουν τα κατάλληλα μέτρα προστασίας από τους κινδύνους που απορρέουν από τον συγκεκριμένο παράγοντα, όπως αυτά περιγράφονται από τους Mavrouli et al, 2015.

Α) Μέτρα πρόληψης σε επίπεδο τοπικών αρχών και πολιτείας

- Αποτελεσματική παρακολούθηση του πληθυσμού των διαφόρων ειδών κουνουπιών με εγκατάσταση ενός εκτενούς δικτύου παγίδων για τη συλλογή ακμαίων κουνουπιών κατά το διάστημα Απριλίου – Οκτωβρίου.
- Έλεγχος παγιδευμένων, νεκρών αλλά και ελεύθερων πουλιών για τυχόν μετάδοση του ιού του Δυτικού Νείλου.
- Καταγραφή των περιοχών με διαθέσιμα στάσιμα ύδατα (π.χ. έλη, ορυζώνες κλπ) καθώς μπορεί να απο τελέσουν σοβαρές εστίες παραγωγής κουνουπιών.
- Έγκαιρη χρήση εντομοκτόνων, ιδιαίτερα για την εξουδετέρωση των προνυμφών (προνυμφοκτονία).

Σε περίπτωση εξάπλωσης κάποιας επιδημίας (π.χ. του ιού του Δυτικού Νείλου), η εξουδετέρωση των ακμαίων κουνουπιών (ακμαιοκτονία) γίνεται με ψεκασμούς από το έδαφος ενώ οι εναέριοι ψεκασμοί συνίστανται μόνο σε ακραία περιστατικά και πάντα με την τήρηση αυστηρών κριτηρίων που έχουν σχέση με τις χρήσεις γης.

Β) Μέτρα πρόληψης σε ατομικό επίπεδο

- Η χρήση των εντομοαπωθητικών σκευασμάτων θα πρέπει να γίνεται στα ακάλυπτα μέρη του σώματος αλλά να μην έρχονται σε επαφή με αμυχές ή κοψίματα, με το στόμα, τα μάτια και τη μύτη.
- Τα κουνούπια έλκονται από τα σκούρα ρούχα τα οποία θερμαίνουν περισσότερο το ανθρώπινο σώμα, από τα ρούχα με έντονα χρώματα αλλά και από τον ανθρώπινο ιδρώτα. Για το λόγο αυτό συνίσταται η χρήση ανοιχτόχρωμων ρούχων καθώς και τα συχνά λουτρά καθαριότητας. Η χρήση κουνουπιέρας προτείνεται μόνο σε περιοχές με πολύ έντονη παρουσία κουνουπιών αλλά και σε περιπτώσεις που δεν ενδείκνυται η χρήση εντομοαπωθητικών σκευασμάτων όπως στις θηλάζουσες μητέρες και τα βρέφη.

Γ) Μέτρα πρόληψης στο οικιακό και περιοικιακό περιβάλλον (Εικόνα Β27)

- Θα πρέπει να αποφεύγεται η ύπαρξη φυσικών ή τεχνητών μικρών εστιών συσσώρευσης στάσιμου νερού οι οποίες μπορούν να αποτελέσουν ιδανικό τόπο για την εναπόθεση των αυγών των κουνουπιών. Μικρές λακκούβες στον κήπο ή το χλοοτάπητα θα πρέπει να γεμίζονται και να αποστραγγίζονται. Οι υδρορροές αλλά και τα λούκια απαγωγής των όμβριων υδάτων θα πρέπει να καθαρίζονται καλά έτσι ώστε να μην συγκρατούν νερό. Μικρές διαρροές στις βρύσες του κήπου, το αυτόματο πότισμα, ή άλλες υδραυλικές εγκαταστάσεις, θα πρέπει να επισκευάζονται. Παλιά ελαστικά, βαρέλια και γενικά κάθε τύπος δοχείου που μπορεί να συγκρατήσει νερό θα πρέπει να απομακρύνεται από τους εξωτερικούς χώρους των σπιτιών. Αν υπάρχουν διακοσμητικά στοιχεία όπως σιντριβάνια, μικρές τεχνητές λίμνες κτλ, θα πρέπει το νερό τους να καθαρίζεται/αντικαθίσταται σε τακτά χρονικά διαστήματα, για την απομάκρυνση της οργανικής ύλης των αυγών και των προνυμφών. Τέλος, παιδικά παιχνίδια με νερό θα πρέπει να γυρίζονται ανάποδα όταν δεν χρησιμοποιούνται έτσι ώστε να μην υπάρχει πιθανότητα να συλλέξουν βρόχινο νερό.
- Οι πισίνες, αποτελούν μεγάλες δεξαμενές νερού οι οποίες διαθέτουν συστήματα καθαρισμού και χλωρίωσης του νερού, με αποτέλεσμα να παρεμποδίζεται η ανάπτυξη των κουνουπιών. Παρ' όλα αυτά, τα καλύμματα τους μπορεί να συγκρατήσουν μικρές ποσότητες νερού οι οποίες θα πρέπει να απομακρύνονται άμεσα.
- Πολύ χρήσιμη είναι η χρήση προστατευτικών πλεγμάτων (σήτες) σε παράθυρα, τζάκια, αεραγωγούς και φεγγίτες, για να παρεμποδίζεται η είσοδος των κουνουπιών στο εσωτερικό των σπιτιών.
- Συνίσταται το πότισμα των φυτών και του γρασιδιού να γίνεται κατά τις πρωινές ώρες που τα κουνούπια τσιμπούν λιγότερο.
- Ο δροσερός αέρας των κλιματιστικών περιορίζει την δραστηριότητα των κουνουπιών ενώ και η χρήση ανεμιστήρων δυσχεραίνει την προσέγγιση τους.
- Η χρήση λαμπτήρων κίτρινου χρώματος δεν ευνοεί την προσέλκυση κουνουπιών.

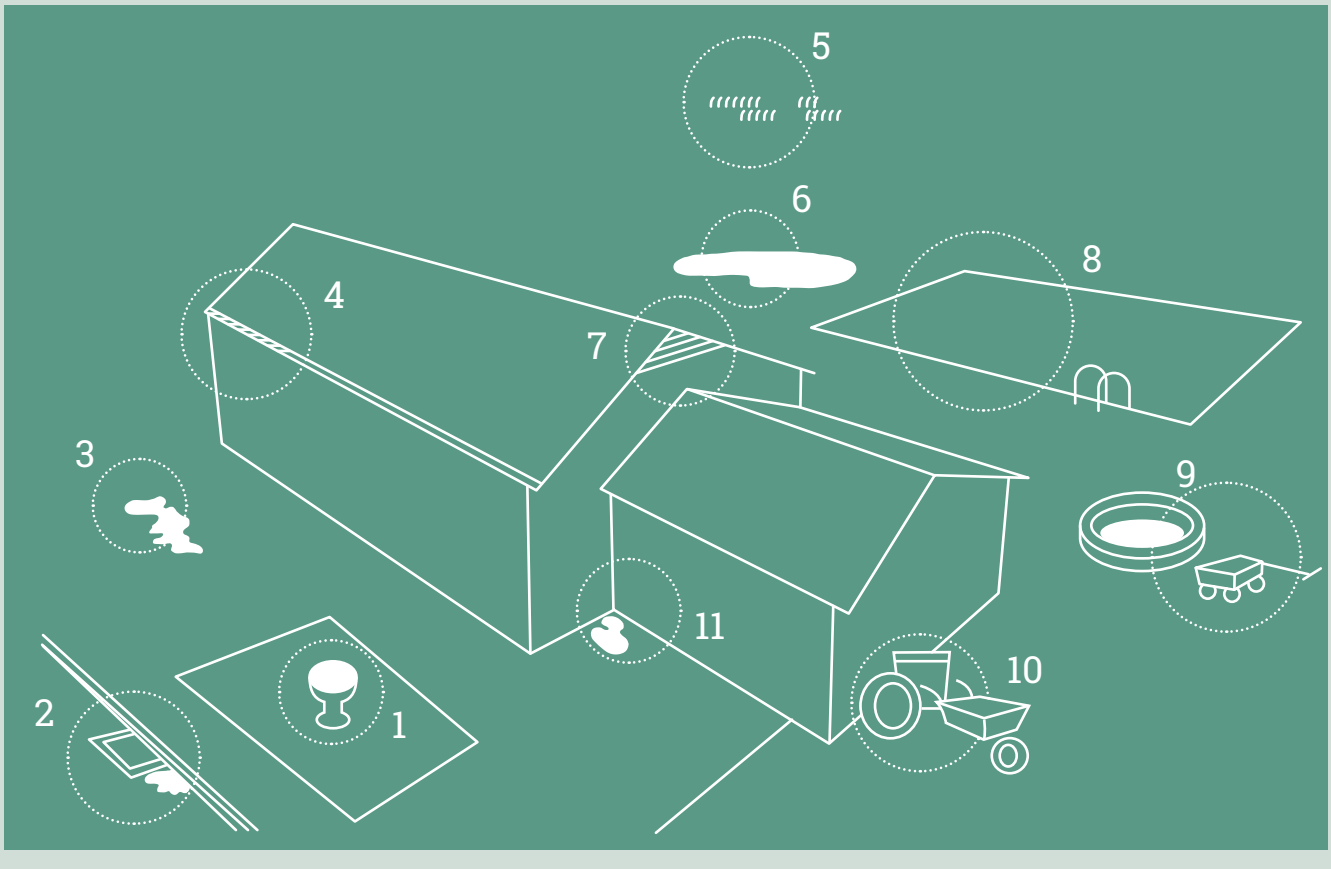
Σε σχέση με την θέληση των ελλήνων πολιτών να δαπανήσουν επιπλέον χρήματα προκειμένου να εφαρμοστούν κεντρικές πολιτικές για την αντιμετώπιση των κουνουπιών, οι Bithas et al, 2018 χρησιμοποιώντας ερωτηματολόγια στην πόλη της Αθήνας κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η διαθεσιμότητα υπάρχει.

Μάλιστα διαπιστώθηκε ότι οι ερωτούμενοι, παρότι δεν ήταν ενημερωμένοι για την πιθανή μετάδοση ιών όπως ο Δάγγειος ιός και ο ιός Chikungunya, κυρίως ενδιαφέρθηκαν για την προστασία της υγείας

τους από πιθανές επιπτώσεις παρά για τον περιορισμό της όχλησης από τα κουνούπια. Επίσης, οι Bithas et al, 2018, προχώρησαν σε μια εκτίμηση του οικονομικού αποτυπώματος που θα είχε η ενδεχόμενη εφαρμογή μέτρων πρόληψης με βάση τέσσερα διαφορετικά σενάρια:

- **Σενάριο 1:** Υψηλή πρόληψη για την αντιμετώπιση τόσο των ενδημικών ειδών κουνουπιών όσο και των ειδών εισβολέων με έμφαση στο Aedes albopictus.
- **Σενάριο 2:** Υψηλή πρόληψη για την αντιμετώπιση μόνο των ενδημικών ειδών κουνουπιών
- **Σενάριο 3:** Μέτρια πρόληψη για την αντιμετώπιση τόσο των ενδημικών ειδών κουνουπιών όσο και των ειδών εισβολέων με έμφαση στο Aedes albopictus.•
- **Σενάριο 4:** Μέτρια πρόληψη για την αντιμετώπιση μόνο των ενδημικών ειδών κουνουπιών

Τα οικονομικά/κοινωνικά οφέλη από την εφαρμογή του πιο φιλόδοξου Σεναρίου 1 στην Αθήνα αποτιμήθηκαν σε 47.3 εκατομμύρια ευρώ το χρόνο ενώ από την εφαρμογή του πιο μετριοπαθούς Σεναρίου 3 σε 32.3 εκατομμύρια ευρώ το χρόνο. Το ενδεχόμενο εφαρμογής των Σεναρίων 2 και 4, οδηγεί σε μειωμένο οικονομικό όφελος κατά 48% και κατά 65% έναντι των σεναρίων 1 και 3 αντίστοιχα, γεγονός που καταδεικνύει τη μεγάλη σημασία που έχει η αντιμετώπιση του κουνουπιού Aedes albopictus για την υγεία του πληθυσμού της Αθήνας. Η τωρινή δαπάνη για την εφαρμογή στρατηγικών αντιμετώπισης των κουνουπιών για την Αθήνα είναι κατά προσέγγιση περίπου 800000 ευρώ το χρόνο. Η εφαρμογή των επιπρόσθετων μέτρων θα αυξήσει φυσιολογικά αυτή τη δαπάνη, αλλά τα αναμενόμενα οφέλη αναμένεται με βεβαιότητα να υπερκαλύψουν κατά πολύ το επιπλέον κόστος (Bithas et al, 2018).



ΕΙΚΟΝΑ Β27
Τρόποι περιορισμού των κουνουπιών στο οικιακό και περιοικιακό περιβάλλον 1) Καθαρισμός συντριβανιών 2) Καθαρισμός σχαρών φρεατίων 3) Αποστράγγιση λακκουβών 4) Καθαρισμός υδρορροών 5 & 6) Καθαρισμός τεχνητών λιμνών ή άλλων διακοσμητικών κατασκευών 7) Χρήση προστατευτικών πλεγμάτων 8) Απομάκρυνση νερού από κάλυμμα πισίνας 9 & 10) Απομάκρυνση δοχείων, βαρελιών, παιχνιδιών, παλιών ελαστικών και γενικότερα αντικειμένων που μπορεί να συλλέξουν βρόχινο νερό 11) Επισκευή υδραυλικών εγκαταστάσεων με διαρροές. (Πηγή: Mavrouli et al, 2015)

Εκτίμηση των διαχρονικών μεταβολών και των προβολών στο μέλλον της θερμικής επιβάρυνσης στον πληθυσμό της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης

Β.7.1. Εισαγωγή

Το παρόν τμήμα της έκθεσης στοχεύει στην εκτίμηση και διερεύνηση των διαχρονικών μεταβολών στα επίπεδα (ένταση, χρόνος έκθεσης) της θερμικής επιβάρυνσης/θερμικής δυσφορίας του πληθυσμού στις ευάλωτες αστικές περιοχές της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, στις οποίες περιοχές διαβιεί ο μισός πληθυσμός της Ελλάδας. Μελετάται, επίσης, ο χρόνος εμφάνισης και η διάρκεια της θερμής επιβάρυνσης διαχρονικά, ενώ με τη χρήση κλιματικών μοντέλων με υποβάθμιση κλίμακας στις περιοχές μελέτης, πραγματοποιείται μελλοντική εκτίμηση των επιπέδων θερμικής δυσφορίας αλλά και του χρόνου έκθεσης του πληθυσμού σε συνθήκες θερμικού στρες.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν δυο απλοί και δυο προηγμένοι θερμικοί (βιοκλιματικοί) δείκτες, οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τη συνδυασμένη επίδραση ατμοσφαιρικών παραμέτρων (θερμοκρασία, υγρασία, ακτινοβολία, άνεμος) στη θερμική ισορροπία του ανθρώπινου οργανισμού. Η ανάλυση βασίστηκε σε υψηλής ποιότητας επίγεια μετεωρολογικά δεδομένα με ωριαίο χρονικό βήμα για την Αθήνα και τριωριαίο χρονικό βήμα για τη Θεσσαλονίκη για τις περιόδους 1960–2017 και 1970–2017, αντίστοιχα. Για τη μελλοντική εκτίμηση των επιπέδων θερμικής επιβάρυνσης χρησιμοποιήθηκαν 3-ωρα μετεωρολογικά δεδομένα, τα οποία προήλθαν από το Περιοχικό Κλιματικό Μοντέλο (Regional Climate Model) RCA4 του Σουηδικού Μετεωρολογικού και Υδρολογικού Ινστιτούτου (SMHI, Strandberg et al., 2014) το οποίο τροφοδοτήθηκε ως προς τις αρχικές και τις οριακές συνθήκες από το Παγκόσμιο Μοντέλο Μετεωρολογίας MPI-ESM-LR του Ινστιτούτου Max Planck (Popke et al., 2013).

Στα υποκεφάλαια που ακολουθούν παρουσιάζονται αρχικά τα δεδομένα των επίγειων παρατηρήσεων και των προσομοιώσεων, καθώς και η μεθοδολογία προσδιορισμού των δεικτών και των στατιστικών εργαλείων που εφαρμόζονται. Στη συνέχεια παρουσιάζονται πρώτα τα αποτελέσματα για την Αθήνα και στη συνέχεια τα αποτελέσματα για τη Θεσσαλονίκη, εστιάζοντας στην κατανομή της θερμής επιβάρυνσης ανά δεκαετία και στις διαχρονικές διακυμάνσεις και τάσεις τόσο του χρόνου έκθεσης υπό θερμή επιβάρυνση όσο και της περιόδου εμφάνισης. Τέλος, παρουσιάζονται οι εκτιμήσεις των επιπέδων θερμής επιβάρυνσης στο μέλλον και συγκρίνονται με τις αντίστοιχες στο παρόν κλίμα.

Δεδομένα – Μεθοδολογία

Β.7.2.1
Περιοχές μελέτης και μετεωρολογικά δεδομένα

Οι περιοχές μελέτης εντοπίζονται στα δυο μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Ελλάδας, την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη, όπου αμφότερες συγκεντρώνουν το μισό πληθυσμό της χώρας. Η περιοχή της Αθήνας και συγκεκριμένα το Λεκανοπέδιο Αθηνών οριοθετείται ημικυκλικά από τα όρη Αιγάλεω (Δ), Πάρνηθα (Β), Πεντέλη (ΒΑ) και Υμηττός (Α), ενώ στα νότια βρέχεται από το Σαρωνικό κόλπο. Το πολεοδομικό συγκρότημα της Αθήνας αποτελεί την πρώτη σε πληθυσμό και πιο πυκνοκατοικημένη περιοχή της Ελλάδας, με πληθυσμό 3,089,698 σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (HSA, 2011) και καλύπτει έκταση 412 km^2. Το κλίμα της Αθήνας χαρακτηρίζεται ως Csa σύμφωνα με τον επικαιροποιημένο παγκόσμιο χάρτη της κλιματικής ταξινόμησης κατά Köppen-Geiger, υποδηλώνοντας ένα εσωτερικό μεσογειακό κλίμα, ήπιο, με ξηρό και ζεστό καλοκαίρι (Peel et al., 2007). Κατά τη θερμή περίοδο του έτους η πόλη επηρεάζεται από ισχυρούς βορειο-βορειοανατολικούς ανέμους γνωστούς ως «Ετησίες», με συνέπεια να μειώνονται τόσο τα θερμοκρασιακά επίπεδα όσο και ο βαθμός της θερμής επιβάρυνσης. Η περιοχή της Θεσσαλονίκης βρίσκεται στο μυχό του Θερμαϊκού κόλπου με το όρος Χορτιάτη στα ανατολικά ενώ στα βορειοδυτικά απλώνεται η πεδιάδα της Θεσσαλονίκης. Το πολεοδομικό συγκρότημα της Θεσσαλονίκης είναι η δεύτερη πολυπληθέστερη περιοχή της Ελλάδας με πληθυσμό 788.952 σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (HSA, 2011).

Στην παρούσα τεχνική έκθεση χρησιμοποιήθηκαν τα ιστορικά κλιματικά αρχεία του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΝΟΑ). Ο μετεωρολογικός σταθμός του Αστεροσκοπείου Αθηνών (37°58΄Ν, 23°43΄Ε) βρίσκεται σε ένα λόφο (107 m) στο κέντρο της πόλης, παρέχοντας μακροχρόνιες μετεωρολογικές παρατηρήσεις αδιαλείπτως από τα τέλη του 19ου αιώνα στη σημερινή θέση. Ωστόσο, οι μετρήσεις της ηλιακής ακτινοβολίας είναι διαθέσιμες στον ίδιο χώρο από τα τέλη της δεκαετίας του 1950. Οι χρονοσειρές των μετεωρολογικών παραμέτρων της θερμοκρασίας του αέρα και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας έχουν ελεγχθεί τόσο για την ομοιογένεια τους όσο και για την ακρίβειά τους (Founda et al., 2009, Kazadzis et al., 2018). Με βάση τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι ωριαίες χρονοσειρές της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας για την περίοδο 1960–2017. Αναλύθηκαν συνολικά 508,440 δεδομένα ανά μετεωρολογική παράμετρο, με τις ελλείπουσες τιμές να αντιστοιχούν σε ποσοστό μικρότερο του 0.9%.

Για την περιοχή της Θεσσαλονίκης παραχωρήθηκαν από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Ε.Μ.Υ.) οι χρονοσειρές για το σταθμό της Μίκρας (40°31΄Ν, 22°58΄Ε) ο οποίος λειτουργεί στο αεροδρόμιο της πόλης σε υψόμετρο 2 m. Με βάση τη διαθεσιμότητα των δεδομένων, στην παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν οι 3-ωρες χρονοσειρές της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου και του κλάσματος της νέφωσης για την περίοδο 1970–2017. Στους μετεωρολογικούς σταθμούς της Ε.Μ.Υ. δεν πραγματοποιούνται μετρήσεις της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας και ως εκ τούτου χρησιμοποιήθηκαν οι χρονοσειρές του κλάσματος της νέφωσης. Αναλύθηκαν συνολικά 140,256 δεδομένα ανά μετεωρολογική παράμετρο, με τις ελλείπουσες τιμές να αντιστοιχούν σε ποσοστό μικρότερο του 2.1%.

Β.7.2.2
Δεδομένα για μελλοντικές εκτιμήσεις

Για τη μελλοντική εκτίμηση των επιπέδων θερμικής επιβάρυνσης χρησιμοποιήθηκαν 3-ωρα δεδομένα της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας από το πλησιέστερο σημείο του πλέγματος το οποίο εντοπίζεται στη στεριά σε σχέση με τη θέση των σταθμών υπό μελέτη. Τα μετεωρολογικά δεδομένα προήλθαν από το Περιοχικό Κλιματικό Μοντέλο (Regional Climate Model) RCA4 του Σουηδικού Μετεωρολογικού και Υδρολογικού Ινστιτούτου (SMHI, Strandberg et al., 2014) το οποίο τόσο για την περιοχή της Αθήνας όσο και για την περιοχή της Θεσσαλονίκης τροφοδοτήθηκε ως προς τις αρχικές και τις οριακές συνθήκες από το Παγκόσμιο Μοντέλο Μετεωρολογίας MPI-ESM-LR του Ινστιτούτου Max Planck (Popke et al., 2013). Η οριζόντια ανάλυση του μοντέλου RCA4 είναι 0.11° (~ 12 × 12 km) και οι προσομοιώσεις διεξήχθησαν στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος EURO-CORDEX (http://www.euro-cordex.net). Τα δεδομένα των προσομοιώσεων καλύπτουν τρεις περιόδους, την περίοδο ελέγχου (ή αναφοράς) 1971–2000, και τις μελλοντικές περιόδους 2031–2060 και 2071–2100. Τα δεδομένα της θερμοκρασίας του αέρα και της σχετικής υγρασίας με βάση τις μελλοντικές προσομοιώσεις προήλθαν ακολουθώντας τα μελλοντικά σενάρια εκπομπών RCP 4.5 ή/και RCP8.5. Αναφορικά με την επίδοση των μοντέλων σε σχέση με τις επίγειες παρατηρήσεις των σταθμών, η προκαταρκτική ανάλυση αποκάλυψε ένα συστηματικό σφάλμα τόσο για τη θερμοκρασία του αέρα όσο και για τη σχετική υγρασία στην Αθήνα. Ως εκ τούτου, επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί διόρθωση του συστηματικού σφάλματος (bias correction) στα δεδομένα εξόδου του μοντέλου εφαρμόζοντας τη μέθοδο που προτείνεται από τον Canon (2018), η οποία διατηρεί την εξάρτηση μεταξύ των δύο μεταβλητών.

Β.7.2.3
Δείκτες εκτίμησης της θερμικής επιβάρυνσης

Η επίδραση του θερμικού περιβάλλοντος στον άνθρωπο εκτιμήθηκε βάσει τεσσάρων θερμικών (ή βιοκλιματικών) δεικτών. Οι πρώτοι δύο είναι απλοί εμπειρικοί δείκτες δύο παραμέτρων, οι επονομαζόμενοι Heat Index (HI) και Humidex (HD). Οι συγκεκριμένοι δείκτες ενσωματώνουν στον υπολογισμό τους τις παραμέτρους της θερμοκρασίας του αέρα και της υγρασίας του αέρα και έχουν σχεδιαστεί αποκλειστικά για θερμές συνθήκες περιβάλλοντος. Ο δείκτης HI ορίζει μια φαινόμενη θερμοκρασία του πόσο ζέστη αισθάνεται ο άνθρωπος όταν οι προαναφερθείσες παράμετροι συνδυάζονται μεταξύ τους (NOAA, 2018a). Οι υπολογισμοί βασίζονται στην ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα (Rothfusz, 1990), η οποία βασίστηκε στους πρωτότυπους πίνακες δεδομένων της φαινόμενης θερμοκρασίας (Steadman, 1979). Ως εκ τούτου, ο HI εξάγεται με βάση την ακόλουθη εξίσωση, η οποία ισχύει για θερμοκρασίες αέρα άνω των 20 °C:

$$HI = -8.784695 + 1.61139411 \cdot T + 2.338549 \cdot RH - 0.14611605 \cdot T \cdot RH - 1.2308094 \cdot 10^{-2} \cdot T^2 - 1.6424828 \cdot 10^{-2} \cdot RH^2 + 2.211732 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 \cdot RH + 7.2546 \cdot 10^{-4} \cdot T \cdot RH^2 - 3.582 \cdot 10^{-6} \cdot T^2 \cdot RH^2$$

όπου T είναι η θερμοκρασία του αέρα (°C) και RH είναι η σχετική υγρασία (%). Ο Πίνακας Γ1 παρουσιάζει τα κατώφλια του δείκτη HI όσον αφορά το βαθμό κινδύνου από τη συνεχή έκθεση στην υπερβολική θερμότητα (NOAA, 2018a).

Ο δείκτης HD προτάθηκε πρώτη φορά από τους Masterson και Richardson (1979) της Υπηρεσίας Περιβάλλοντος του Καναδά. Οι παράμετροι της θερμοκρασίας του αέρα και της υγρασίας συνδυάζονται και το αποτέλεσμα αντανακλά την αντιληπτή θερμοκρασία (Environment Canada, 2018) σύμφωνα με την ακόλουθη εξίσωση, η οποία είναι έγκυρη για θερμοκρασίες αέρα άνω των 21 °C:

$$HD = T + (5/9) \cdot (e - 10)$$

όπου e είναι η τάση ατμών (hPa). Ο Πίνακας Γ2 παρουσιάζει τα κατώφλια του δείκτη HD όσον αφορά το βαθμό άνεσης (Environment Canada, 2018). Σύμφωνα με την οδηγία που έχει εκδώσει η Υπηρεσία Περιβάλλοντος του Καναδά, τιμές του δείκτη HD υψηλότερες από 40 θεωρούνται εξαιρετικά υψηλές και ο πληθυσμός θα πρέπει να περιορίζει όλες τις περιττές εξωτερικές δραστηριότητες (Environment Canada, 2018). Επιπλέον, όταν ο δείκτης HD διαμορφώνεται μεταξύ των τιμών 35 και 40 τότε ορισμένοι τύποι δραστηριότητας θα πρέπει επίσης να περιορίζονται. Αξίζει να επισημανθεί ότι η κλίμακα του δείκτη HD έχει βαθμονομηθεί για πληθυσμούς που ζουν σε εύκρατες περιοχές του Καναδά.

Εκτός από τους ανωτέρω απλούς δείκτες, χρησιμοποιήθηκαν επίσης δύο λογικοί (rational) θερμικοί δείκτες, ο Universal Thermal Climate Index (UTCI) και ο Physiologically Equivalent Temperature (PET). Οι συγκεκριμένοι δείκτες βασίζονται στο ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου και έχουν θερμοφυσιολογικό υπόβαθρο. Ένα πλεονέκτημα των παραπάνω δεικτών είναι ότι εκφράζονται ως ισοδύναμες θερμοκρασίες (°C), έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι περισσότερο κατανοητά από άλλες ειδικότητες, από τους φορείς λήψης αποφάσεων ακόμη και από τους πολίτες.

Συγκεκριμένα, ο δείκτης UTCI βασίζεται στο πιο εξελιγμένο μοντέλο πολλαπλών κόμβων της θερμορύθμισης (Fiala et al., 2012) το οποίο είναι συζευγμένο με ένα δυναμικό μοντέλο ενδυμασίας (Havenith et al. 2012). Έτσι, για κάθε συνδυασμό θερμοκρασίας αέρα, ταχύτητας ανέμου, ακτινοβολίας και υγρασίας, ο UTCI ορίζεται ως η ισοδύναμη θερμοκρασία αέρα στις συνθήκες αναφοράς όπου θα αποσπάσει την ίδια δυναμική απόκριση από το μοντέλο φυσιολογίας του ανθρώπου (Bröde et al., 2012, Jendritzky et al., 2012). Το μοντέλο UTCI θεωρεί ένα άτομο που περπατά με ταχύτητα 1.1 m·s-1 με το ρυθμό παραγωγής θερμότητας από το μεταβολισμό να διαμορφώνεται στα 135 W·m-2. Ο δείκτης αναπτύχθηκε ώστε να μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα κλίματα, τις εποχές και τις χωρικές κλίμακες. Ο Πίνακας Γ3 παρουσιάζει τα κατώφλια του UTCI όσον αφορά το βαθμό της θερμικής επιβάρυνσης.

Αντίθετα, ο δείκτης PET βασίζεται σε ένα κλασικό θερμοφυσιολογικό μοντέλο 2–κόμβων (Munich Energy-balance Model for Individuals, MEMI). Ο δείκτης PET αντανακλά την ισοδύναμη θερμοκρασία αέρα του περιβάλλοντος αναφοράς υπό του οποίου διατηρείται το ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου και οι θερμοκρασίες σώματος είναι ίσες με αυτές του περιβάλλοντος υπό εξέταση (Höppe, 1999). Δεδομένου ότι η αρχική κλίμακα του δείκτη PET αναπτύχθηκε για τη Δυτική και την Κεντρική Ευρώπη και λαμβάνοντας υπόψη ότι η περιοχή μελέτης έχει μεσογειακό κλίμα, στην παρούσα μελέτη επιλέχθηκε να χρησιμοποιηθεί η κλίμακα του PET η οποία είναι προσαρμοσμένη σε μεσογειακό κλίμα (Cohen et al., 2013). Ως εκ τούτου, ο Πίνακας Γ4 παρουσιάζει τα κατώφλια του δείκτη PET όσον αφορά το βαθμό της θερμικής αίσθησης και της θερμικής επιβάρυνσης για Μεσογειακό κλίμα (Cohen et al., 2013).

Οι εμπειρικοί δείκτες HI και HD δεν λαμβάνουν υπόψη τις παραμέτρους της ακτινοβολίας και της ταχύτητας του ανέμου, ενώ παραλείπουν επίσης παράγοντες που σχετίζονται με την εκούσια συμπεριφορά του ατόμου όπως ο μεταβολικός ρυθμός και η μόνωση της ενδυμασίας (Alfano et al., 2011). Επίσης, οι συγκεκριμένοι δείκτες δεν στηρίζονται στο ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ του ανθρώπινου σώματος και του θερμικού περιβάλλοντος (Alfano et al., 2011). Αντίθετα, οι δείκτες UTCI και PET έχοντας θερμοφυσιολογικό υπόβαθρο και εφαρμόζοντας την εξίσωση του ενεργειακού ισοζυγίου, περιγράφουν με πιο ολοκληρωμένο τρόπο το θερμικό περιβάλλον του ανθρώπου και θεωρούνται προηγμένοι δείκτες σε σύγκριση με τους δείκτες HI και HD (De Freitas and Grigorieva, 2015, 2017).

Στην παρούσα ανάλυση επιλέχθηκαν τέσσερις θερμικοί (ή βιοκλιματικοί) δείκτες από τους πιο δημοφιλείς στο πεδίο της ανθρώπινης βιομετεωρολογίας με σκοπό να αποτυπώσουν τη διαχρονική εξέλιξη του βιοκλίματος στον αστικό πληθυσμό τόσο στο παρόν όσο και στο μελλοντικό κλίμα. Οι επιλεγμένοι δείκτες έχουν υιοθετηθεί και χρησιμοποιούνται επιχειρησιακά από δημόσιες και τοπικές μετεωρολογικές υπηρεσίες παγκοσμίως, παρέχοντας προειδοποιήσεις σχετικά με τα επίπεδα θερμικής επιβάρυνσης στον πληθυσμό. Συγκεκριμένα, οι δείκτες HI και HD χρησιμοποιούνται σε επιχειρησιακή βάση από τις Εθνικές Μετεωρολογικές Υπηρεσίες των Η.Π.Α. και του Καναδά, αντίστοιχα. Ο δείκτης PET έχει υιοθετηθεί από τη Γερμανική Μετεωρολογική Υπηρεσία και ενσωματώνεται επίσης στη γερμανική κατευθυντήρια οδηγία για τον αστικό και περιφερειακό σχεδιασμό (VDI, 1998). Πρόσφατα, ο δείκτης PET υιοθετήθηκε από τη μετεωρολογική υπηρεσία του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (NOA) για την παροχή προγνώσεων της θερμικής επιβάρυνσης και της θερμικής αίσθησης στον πληθυσμό. Ο δείκτης UTCI ως ο πιο σύγχρονος από όλους προέρχεται από τη σύζευξη ενός μοντέλου θερμοφυσιολογίας με ένα μοντέλο ενδυμασίας τα οποία αμφότερα βρίσκονται στην αιχμή της τεχνολογίας (Jendritzky et al., 2012).

Οι προσομοιώσεις του δείκτη UTCI πραγματοποιήθηκαν υιοθετώντας μια υπορουτίνα Fortran από τον επίσημο ιστότοπο του ερευνητικού προγράμματος στα πλαίσια του οποίου αναπτύχθηκε ο δείκτης (COST Action 730, http://www.utci.org). Οι προσομοιώσεις του δείκτη PET πραγματοποιήθηκαν με το μοντέλο ακτινοβολίας RayMan (Matzarakis et al., 2007, Matzarakis et al., 2010) το οποίο ενσωματώνει το θερμοφυσιολογικό μοντέλο 2–κόμβων MEMI (Höppe 1999). Οι μετεωρολογικές παράμετροι οι οποίες επηρεάζουν το ενεργειακό ισοζύγιο του ανθρώπου και αποτελούν τα δεδομένα εισόδου στα μοντέλα υπολογισμού των δεικτών UTCI και PET είναι η θερμοκρασία του αέρα, η υγρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου και η μέση ακτινοβόλος θερμοκρασία (mean radiant temperature). Το μοντέλο UTCI απαιτεί η μέτρηση της ταχύτητα του ανέμου να είναι στα 10 μέτρα, ενώ το μοντέλο MEMI απαιτεί η μέτρηση να πραγματοποιείται στο μέσο όρο ύψους του κέντρου βάρους ενός όρθιου ατόμου (1.1 m). Δεδομένου ότι το ύψος μέτρησης της ταχύτητας του ανέμου τόσο στο σταθμό του Αστεροσκοπείου Αθη-

HI (°C)	Ταξινόμηση	Γενικές επιπτώσεις σε ομάδες υψηλού κινδύνου	Classification	General affect on people in high risk groups
≥ 54	Εξαιρετικά ζεστό – Εξαιρετικός κίνδυνος	Θερμοπληξία/ηλίαση πολύ πιθανή με συνεχή έκθεση	Extremely hot – Extreme danger	Heat/Sunstroke highly likely with continued exposure
41 – 54	Πάρα πολύ ζεστό – Κίνδυνος	Ηλίαση, θερμικές κράμπες και εξάντληση πιθανή, πιθανή θερμοπληξία με παρατεταμένη έκθεση και / ή φυσική δραστηριότητα	Very hot – Danger	Sunstroke, heat cramps and exhaustion likely, possible heatstroke with prolonged exposure and/or activity
32 – 41	Πολύ ζεστό – Εξαιρετική προσοχή	Ηλίαση, θερμικές κράμπες ή θερμική εξάντληση πιθανή με παρατεταμένη έκθεση και / ή φυσική δραστηριότητα	Hot – Extreme caution	Sunstroke, heat cramps, or heat exhaustion possible with prolonged exposure and/or physical activity
27 – 32	Πολύ θερμό – Προσοχή	Πιθανή κόπωση με παρατεταμένη έκθεση και / ή φυσική δραστηριότητα	Very warm – Caution	Fatigue possible with prolonged exposure and/or physical activity

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ1
Κατώφλια του δείκτη HI όσον αφορά το βαθμό κινδύνου από τη συνεχή έκθεση στην υπερβολική θερμότητα (NOAA, 2018a).

HD	Βαθμός άνεσης	Degree of comfort
> 45	Κίνδυνος – πιθανή θερμοπληξία	Dangerous – heat stroke possible
40 – 45	Μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης	Great discomfort – avoid exertion
30 – 39	Μερική δυσφορία	Some discomfort
20 – 29	Μικρή δυσφορία	Little discomfort

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ2
Κατώφλια του βαθμού άνεσης σύμφωνα με το δείκτη HD (Environment Canada, 2018).

UTCI (°C)	Κατηγορία επιβάρυνσης	Stress category
> 46	Ακραία θερμή επιβάρυνση	Extreme heat stress
38 – 46	Πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση	Very strong heat stress
32 – 38	Ισχυρή θερμή επιβάρυνση	Strong heat stress
26 – 32	Μέτρια θερμή επιβάρυνση	Moderate heat stress
9 – 26	Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση	No thermal stress
9 – 0	Ήπια ψυχρή επιβάρυνση	Slight cold stress
0 – -13	Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση	Moderate cold stress
-13 – -27	Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση	Strong cold stress
-27 – -40	Πολύ ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση	Very strong cold stress
< -40	Ακραία ψυχρή επιβάρυνση	Extreme cold stress

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ3
Κατώφλια θερμικής επιβάρυνσης σύμφωνα με το δείκτη UTCI (Bröde et al. 2012).

νών όσο και στο σταθμό της Ε.Μ.Υ. στη Θεσσαλονίκη είναι στα 10 μέτρα, εφαρμόστηκε ο λογαριθμικός νόμος κατανομής του ανέμου για να υπολογιστεί η ταχύτητα του ανέμου στα 1.1 m, προκειμένου να υπολογιστεί ο δείκτης PET.

Η μέση ακτινοβόλος θερμοκρασία προσομοιώθηκε με το μοντέλο ακτινοβολίας RayMan (Matzarakis et al. 2007, Matzarakis et al. 2010), χρησιμοποιώντας ως δεδομένα εισόδου τις μετεωρολογικές παραμέτρους της θερμοκρασίας του αέρα, της σχετικής υγρασίας, της ταχύτητας του ανέμου (1.1 m) και της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας για το σταθμό του Αστεροσκοπείου Αθηνών. Στην περίπτωση του σταθμού στη Θεσσαλονίκη λόγω της μη διαθεσιμότητας της παραμέτρου της ολικής ηλιακής ακτινοβολίας χρησιμοποιήθηκε αντ' αυτής η παράμετρος του κλάσματος της νέφωσης για την προσομοίωση της μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας. Επιπλέον, οι μη μετεωρολογικές παράμετροι όπως η ημέρα του έτους, η τοπική ώρα, η ζώνη ώρας, το γεωγραφικό μήκος, το γεωγραφικό πλάτος, το υψόμετρο και η λευκαύγεια (albedo), για τον κάθε σταθμό αντίστοιχα, εισήχθησαν στο μοντέλο ακτινοβολίας RayMan για τον υπολογισμό της μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας.

Με βάση τα παραπάνω δημιουργήθηκαν ωριαίες χρονοσειρές για όλους τους θερμικούς δείκτες για την περίοδο 1960–2017 για το σταθμό της Αθήνας. Αντίστοιχα, για το σταθμό της Θεσσαλονίκης δημιουργήθηκαν 3-ωρες χρονοσειρές για όλους τους θερμικούς δείκτες για την περίοδο 1970–2017.

Η αθροιστική συνάρτηση κατανομής (Cumulative Distribution Function, CDF) προσδιορίστηκε εφαρμόζοντας έναν αριθμό «βημάτων» στο φάσμα τιμών του κάθε δείκτη και υπολογίζοντας την αντίστοιχη συχνότητα. Η ανάλυση γραμμικής παλινδρόμησης υιοθετήθηκε για την εκτίμηση των γραμμικών τάσεων, ενώ η μη παραμετρική στατιστική μέθοδος Mann-Kendall εφαρμόστηκε για να εκτιμηθεί το επίπεδο σημαντικότητας των τάσεων καθώς και το έτος έναρξης όταν οι τάσεις ήταν στατιστικά σημαντικές (διάστημα εμπιστοσύνης 95%). Ο χρόνος εμφάνισης της πρώτης και της τελευταίας θερμής επιβάρυνσης υπολογίστηκε μετρώντας τον αριθμό ημερών από την 1η Ιανουαρίου μέχρι την εμφάνιση της ανά έτος. Η «εποχή θερμής επιβάρυνσης» (heat stress season) ορίστηκε το χρονικό διάστημα (αριθμός ημερών) μεταξύ των ημερομηνιών της πρώτης και της τελευταίας εμφάνισης θερμής επιβάρυνσης. Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι η «εποχή θερμής επιβάρυνσης» αποτυπώνει το χρονικό εύρος εμφάνισης της επιβάρυνσης και δεν υποδηλώνει ότι ο πληθυσμός υφίσταται αποκλειστικά και μόνο θερμή επιβάρυνση το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.

Στη συγκεκριμένη μελέτη, οι όροι «κίνδυνος» ή «έκθεση» χρησιμοποιούνται σε ένα ελεύθερο πλαίσιο και όχι στο πλαίσιο των αυστηρών ορισμών τους. Ως εκ τούτου, ο όρος θερμικός κίνδυνος αναφέρεται στην αυξημένη θερμή επιβάρυνση που υφίσταται ο αστικός πληθυσμός όταν εκτίθεται σε ένα δυσμενές θερμικά περιβάλλον, όπως υποδεικνύεται από τις κλίμακες των επιλεγμένων δεικτών.

PET (°C)	ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΙΣΘΗΣΗ / ΒΑΘΜΟΣ ΘΕΡΜΟΦΥΣΙΟΛΟΓΙΚΗΣ ΕΠΙΒΑΡΥΝΣΗΣ	Thermal sensation / Physiological stress level
> 40	Πάρα πολύ ζεστό / Ακραία θερμή επιβάρυνση	Very hot / Extreme heat stress
34 – 40	Πολύ ζεστό / Ισχυρή θερμή επιβάρυνση	Hot / Strong heat stress
28 – 34	Θερμό / Μέτρια θερμή επιβάρυνση	Warm / Moderate/heat stress
26 – 28	Ήπια θερμό / Ήπια θερμή επιβάρυνση	Slightly warm / Slight heat stress
19 – 26	Άνεση / Δεν υπάρχει θερμική επιβάρυνση	Comfortable / No stress
15 – 19	Ήπια δροσερό / Ήπια ψυχρή επιβάρυνση	Slightly cool / Slight cold stress
12 – 15	Δροσερό / Μέτρια ψυχρή επιβάρυνση	Cool / Moderate cold stress
8 – 12	Κρύο / Ισχυρή ψυχρή επιβάρυνση	Cold / Strong cold stress
< 8	Πολύ κρύο / Ακραία ψυχρή επιβάρυνση	Very cold / Extreme cold stress

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ4
Κατώφλια θερμικής αίσθησης και θερμικής επιβάρυνσης σύμφωνα με το δείκτη PET για Μεσογειακό κλίμα (Cohen et al., 2013).

Αποτελέσματα στην περιοχή της Αθήνας

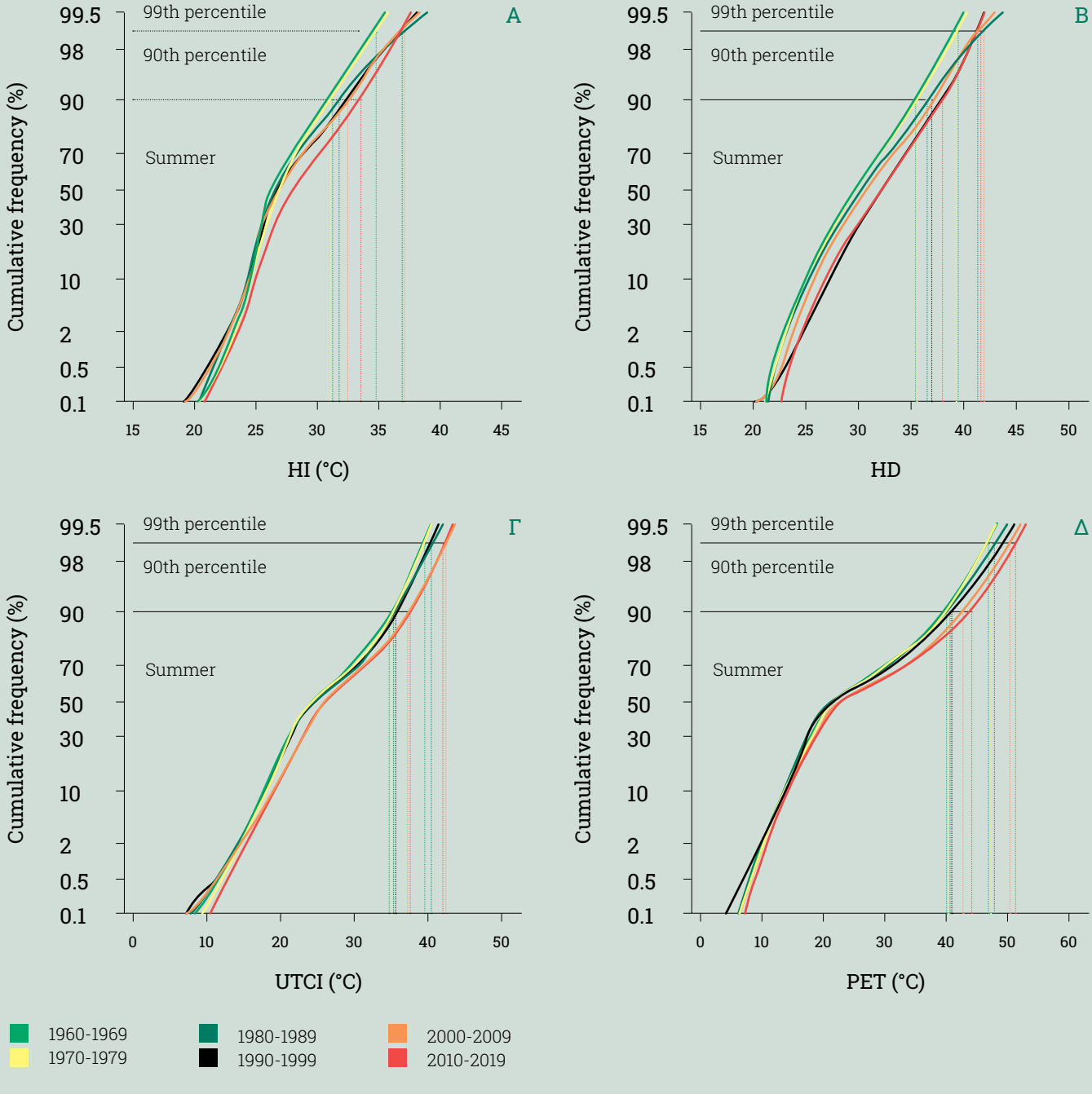
Β.8.1. Ενδο-δεκαετή και πολύ-δεκαετή κατανομή της θερμής επιβάρυνσης στην Αθήνα

Προκειμένου να εκτιμηθούν πιθανές μεταβολές στην κατανομή της θερμής επιβάρυνσης μεταξύ των δεκαετιών, παράχθησαν οι καμπύλες της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής (CDFs) των επιλεγμένων δεικτών για το καλοκαίρι (Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος) για την περίοδο μελέτης (Εικόνα Γ1). Μια οπτική επιθεώρηση των αποτελεσμάτων αποκαλύπτει προοδευτικές μετατοπίσεις των κατανομών προς υψηλότερες τιμές από τη δεκαετία του 1960. Τις τελευταίες δύο δεκαετίες, συγκεκριμένα, οι καμπύλες κατανομής έχουν σαφώς μετατοπιστεί προς υψηλότερες τιμές από τις αντίστοιχες καμπύλες των προηγούμενων δεκαετιών και ιδιαίτερα από εκείνες των δεκαετιών του 1960 και του 1970. Οι συγκεκριμένες μετατοπίσεις παρατηρούνται σε όλο το φάσμα της κατανομής, αλλά είναι περισσότερο εμφανής στα ανώτερα επίπεδα των εκατοστημορίων (percentiles). Οι παρατηρούμενες μετατοπίσεις αποκαλύπτουν έναν αυξανόμενο κίνδυνο θερμικού στρες από τη δεκαετία του 1960, ο οποίος μεγιστοποιείται τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι τις δεκαετίες του 1960 και του 1970, το 95ο εκατοστημόριο του UTCI είναι 36.7 °C, υποδηλώνοντας «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (very strong heat stress), ενώ τις δεκαετίες του 2000 και του 2010 το αντίστοιχο εκατοστημόριο αυξήθηκε κατά 2.3 °C και 2.4 °C, αντίστοιχα, υποδεικνύοντας «ακραία θερμή επιβάρυνση» (extreme heat stress) (Εικόνα Γ1γ). Η μετατόπιση των καμπυλών κατανομής τις δεκαετίες του 1980 και του 1990 προς υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με τη δεκαετία του 1960 είναι περισσότερο εμφανής πέραν του 70ου εκατοστημορίου για τους απλούς δείκτες (Εικόνα Γ1α, β) και πέραν του 97ου εκατοστημορίου για τους λογικούς δείκτες (Εικόνα Γ1γ, δ).

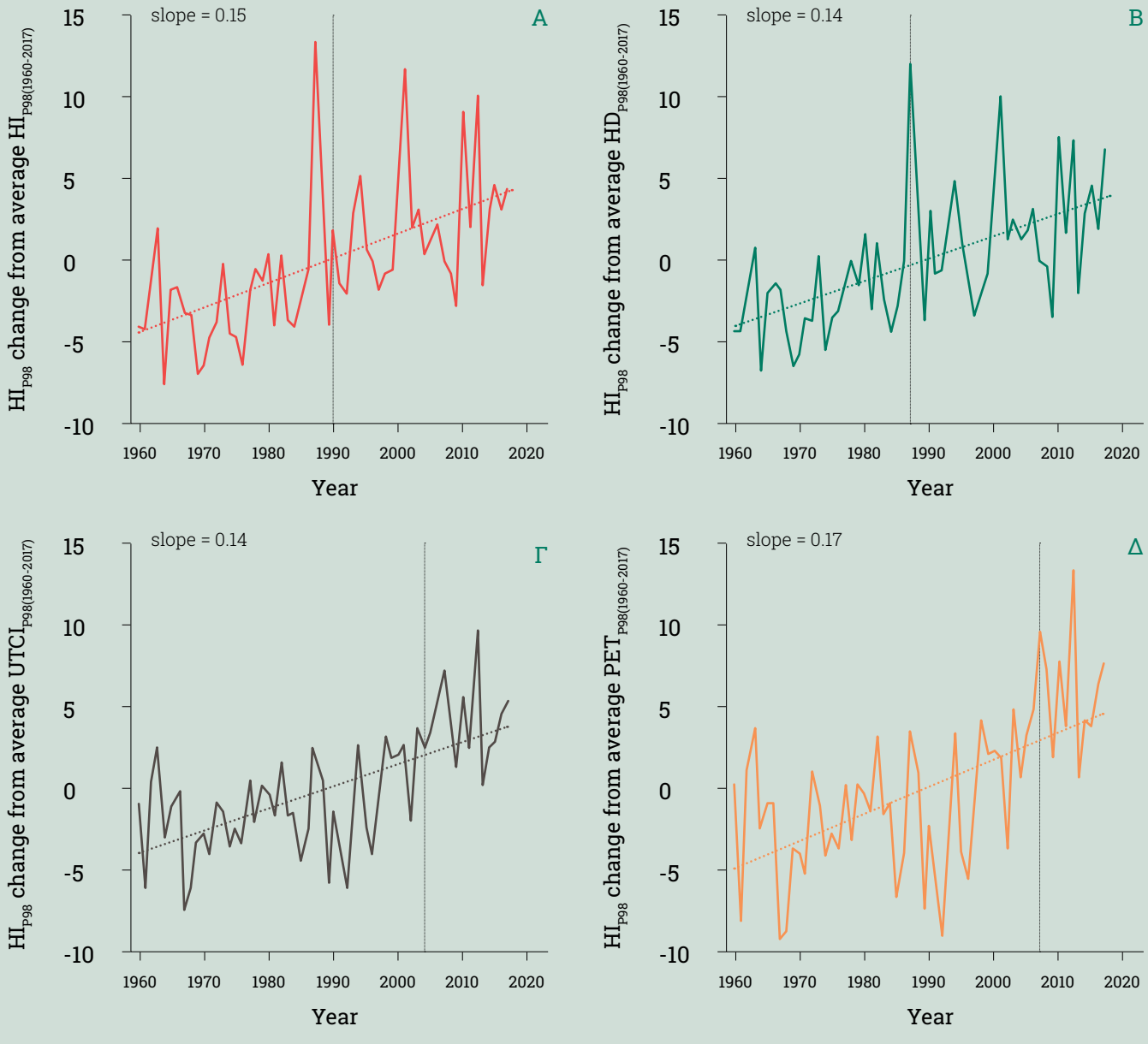
Η Εικόνα Γ2 παρουσιάζει τη διακύμανση ανά έτος του 98ου εκατοστημορίου των δεικτών, εκφρασμένη ως η διαφορά από τη μέση τιμή του αντίστοιχου εκατοστημορίου για όλη την περίοδο (1960–2017). Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν μια σημαντική αυξητική τάση των μεταβολών για όλους του δείκτες. Συγκεκριμένα, μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980 παρατηρούνται αρνητικές μεταβολές για τους απλούς δείκτες, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο θερμικός κίνδυνος για τον πληθυσμό είναι μικρότερος από τη συνεχιζόμενη έκθεση του σε υπερβολικά υψηλές θερμοκρασίες συγκριτικά με τις μέσες συνθήκες ολόκληρης της περιόδου (Εικόνα Γ2α, β). Τη συγκεκριμένη περίοδο η μεταβολή διαμορφώνεται έως και στο -7%, με τη μέση μεταβολή να είναι -3.0% και -2.7% για τον HI και τον HD, αντίστοιχα. Από τη δεκαετία του 1980 και ύστερα, η μεταβολή αποκτά θετικό πρόσημο φτάνοντας έως και το +10% σε συγκεκριμένα έτη, με τη μέση μεταβολή να διαμορφώνεται στα +2.5% και +2.2% για τον HI και τον HD, αντίστοιχα.

Στην περίπτωση των λογικών δεικτών, ωστόσο, η περίοδος με αρνητικές μεταβολές παρατηρείται έως και τα τέλη της δεκαετίας του 1990 (Εικόνα Γ2γ, δ). Την περίοδο πριν από τα τέλη της δεκαετίας του 1990, η μεταβολή διαμορφώνεται έως και στο -7% για τον UTCI και έως το -9% για τον PET, από τις μέσες συνθήκες «ακραίας θερμής επιβάρυνσης» ολόκληρης της περιόδου. Αντιθέτως, οι συνθήκες «ακραίας θερμής επιβάρυνσης» έχουν αυξηθεί έως και +10% και έως +13,5% για τον UTCI και τον PET, αντίστοιχα, τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Η στατιστική μέθοδος Mann-Kendall υποδεικνύει ότι η αυξητική τάση της ποσοστιαίας μεταβολής της «ακραίας θερμής επιβάρυνσης» από τη μέση κατάσταση ολόκληρης της περιόδου είναι στατιστικά σημαντική για όλους τους δείκτες. Ωστόσο, η αυξητική τάση καθίσταται στατιστικά σημαντική νωρίτερα για τους απλούς δείκτες, περίπου στα τέλη της δεκαετίας του 1980, σε σύγκριση με τους λογικούς δείκτες όπου αυτό συμβαίνει, περίπου στα μέσα της δεκαετίας του 2000.

Οι Εικόνες Γ3α, β απεικονίζουν τις καμπύλες της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής (CDFs) των απλών δεικτών (HI και HD) το καλοκαίρι για δυο υποπεριόδους (1960–1989 και 1990–2017) μαζί με τη διαφορά τους. Όσον αφορά τους λογικούς δείκτες, επιλέχθηκαν οι υποπεριόδοι 1960–1999 και 2000–2017 για την ίδια ανάλυση (Εικόνες Γ3γ, δ), σύμφωνα με τα ευρήματα που παρατηρήθηκαν στις Εικόνες Γ1γ, δ. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των κατανομών των υπό εξέταση υποπεριόδων σε ένα ευρύ φάσμα τιμών των εκατοστημορίων. Στο εύρος τιμών μεταξύ 24 °C και 35 °C, ο δείκτης HI διαφέρει κατά τουλάχιστον 2 εκατοστιαίες μονάδες μεταξύ των δύο υποπεριόδων και η διαφορά φτάνει έως και τις 14.6 ποσοστιαίες μονάδες (Εικόνα Γ3α). Στα ανώτερα εκατοστημόρια (P90, P95, P99) παρατηρούνται υψηλότερες τιμές του δείκτη HI κατά τουλάχιστον 1.4 °C την περίοδο 1990–2017 σε σύγκριση με την περίοδο 1960–1989. Σύμφωνα με τα κατώφλια του δείκτη HI, το 90ο εκατοστημόριο τις περιόδου 1960–1989 αντιστοιχεί στην κατηγορία «Πολύ θερμό – Προσοχή», ενώ τις τελευταίες τρεις δεκαετίες αντιστοιχεί στην κατηγορία «Πολύ ζεστό – Εξαιρετική προσοχή», γεγονός που υποδεικνύει αύξηση του θερμικού κινδύνου για τον πληθυσμό της Αθήνας κατά μια βαθμίδα στην κλίμακα του δείκτη.



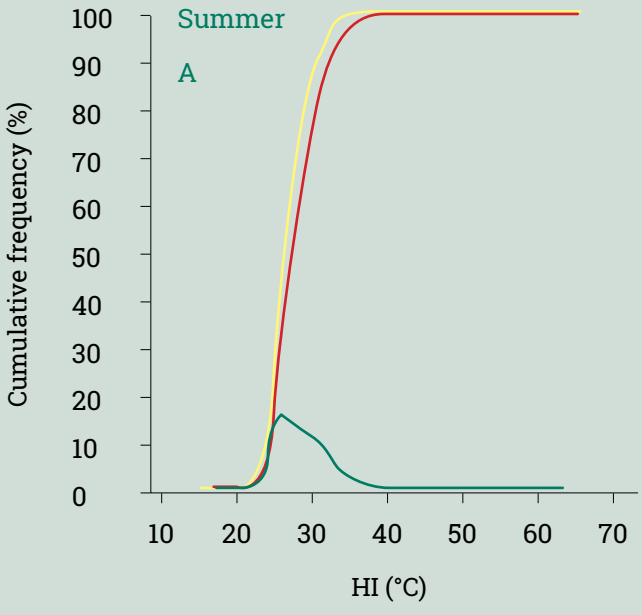
ΕΙΚΟΝΑ Γ1
Αθροιστική συχνότητα κατανομής (CDF) των δεικτών α) HI, β) HD, γ) UTCI και δ) PET ανά δεκαετία το καλοκαίρι για την περίοδο 1960–2017 στην Αθήνα.



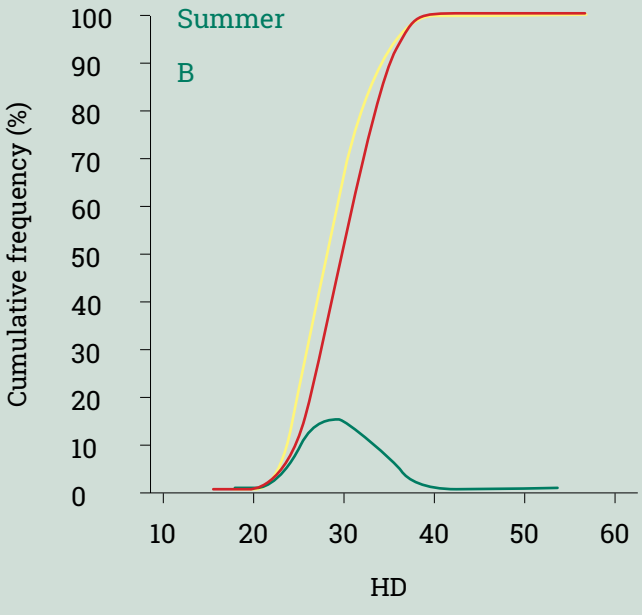
ΕΙΚΟΝΑ Γ2
Ποσοστιαία μεταβολή του 98ου εκατοστημορίου από τη μέση τιμή της περιόδου μελέτης (1960–2017) στην Αθήνα για τους δείκτες α) HI, β) HD, γ) UTCI και δ) PET. Η μαύρη διακεκομμένη γραμμή υποδεικνύει το έτος κατά το οποίο η χρονοσειρά γίνεται στατιστικά σημαντική. Η γραμμή τάσης και η κλίση απεικονίζονται επίσης.

Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρούνται επίσης για το δείκτη HD, με μια σημαντική μετατόπιση της κατανομής την περίοδο 1990–2017 προς υψηλότερες τιμές του δείκτη σε σύγκριση με την περίοδο 1960–1989 (Εικόνα Γ3β). Οι τιμές HD διαφέρουν κατά τουλάχιστον 2 ποσοστιαίες μονάδες στην περιοχή τιμών του δείκτη μεταξύ 24 και 40, ενώ η μέγιστη διαφορά διαμορφώνεται στις 14.6 ποσοστιαίες μονάδες, και παρατηρείται στο σημείο κλίμακας 31.

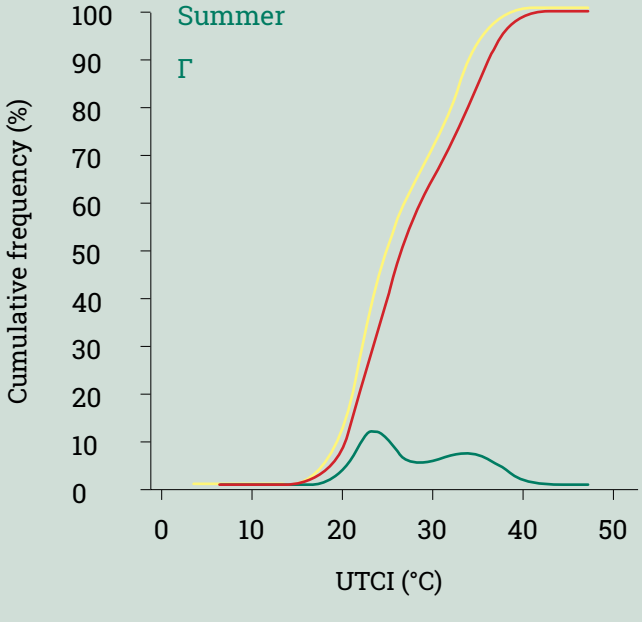
Στην περίπτωση των λογικών δεικτών, παρατηρούνται σημαντικές διαφορές σε όλο το φάσμα των εκατοστημορίων μεταξύ των περιόδων 1960–1999 και 2000–2017. Συγκεκριμένα, στο εύρος τιμών του UTCI μεταξύ 17 °C και 40 °C παρατηρούνται διαφορές τουλάχιστον 2 ποσοστιαίων μονάδων, ενώ η διαφορά στις δύο παρατηρούμενες κορυφές είναι της τάξεως των 10 και 6 ποσοστιαίων μονάδων, περίπου στους 23 °C και 34 °C, αντίστοιχα (Εικόνα Γ3γ). Στα ανώτερα εκατοστημόρια (P90, P95, P99), οι τιμές UTCI είναι σταθερά υψηλότερες τουλάχιστον κατά 2 °C τις τελευταίες δύο δεκαετίες σε σύγκριση με την προηγούμενη περίοδο. Οι παρατηρούμενες αλλαγές στο 95ο εκατοστημόριο αποκαλύπτουν αύξηση στο βαθμό καταπόνησης από «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» την περίοδο 1960–1999 σε «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» την περίοδο 2000–2017. Ομοίως, οι τιμές PET μεταξύ 14 °C και 49 °C διαφέρουν τουλάχιστον κατά 2 ποσοστιαίες μονάδες μεταξύ των εξεταζόμενων υποπεριόδων, με τη μέγιστη διαφορά να φτάνει έως και τις 6 ποσοστιαίες μονάδες (Εικόνα Γ3δ). Σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο υποπεριόδων παρατηρούνται στα ανώτερα εκατοστημόρια (P90, P95, P99) του δείκτη PET, με τις διαφορές να είναι μεγαλύτερες των 3 °C.



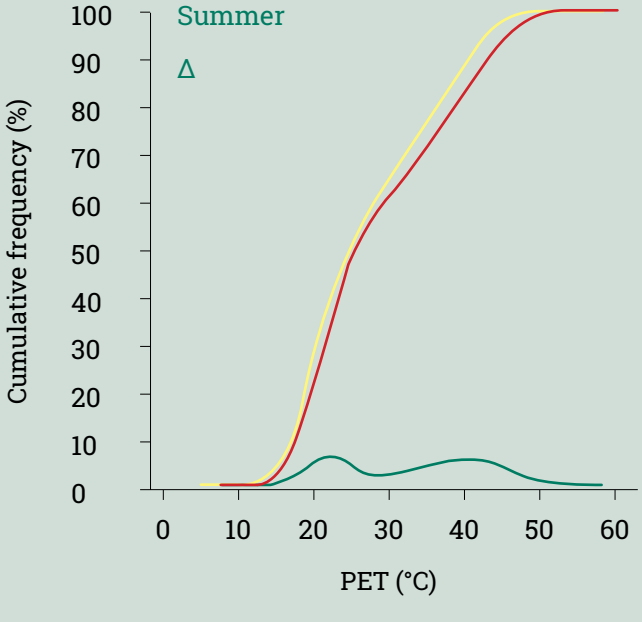
	P(90)	P(95)	P(99)
1960-1989	31.2	32.6	35.5
1990-2017	33.1	34.4	36.9



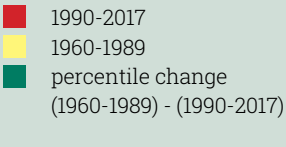
	P(90)	P(95)	P(99)
1960-1989	35.8	37.3	40.2
1990-2017	37.6	39	41.1



	P(90)	P(95)	P(99)
1960-1989	31.2	32.6	35.5
1990-2017	33.1	34.4	36.9



	P(90)	P(95)	P(99)
1960-1989	40.8	43.6	48.2
1990-2017	43.6	46.9	51.8



ΕΙΚΟΝΑ Γ3
Αθροιστική συχνότητα κατανομής (CDF) των δεικτών α) HI, β) HD κατά τις δύο υποπεριόδους 1960–1989 και 1990–2017 το καλοκαίρι και των δεικτών γ) UTCI, δ) PET κατά τις δύο υποπεριόδους 1960–1999 και 2000–2017 το καλοκαίρι στην Αθήνα. Η εκατοστιαία μεταβολή (percentile change) μεταξύ των υπό εξέταση υποπεριόδων απεικονίζεται επίσης.

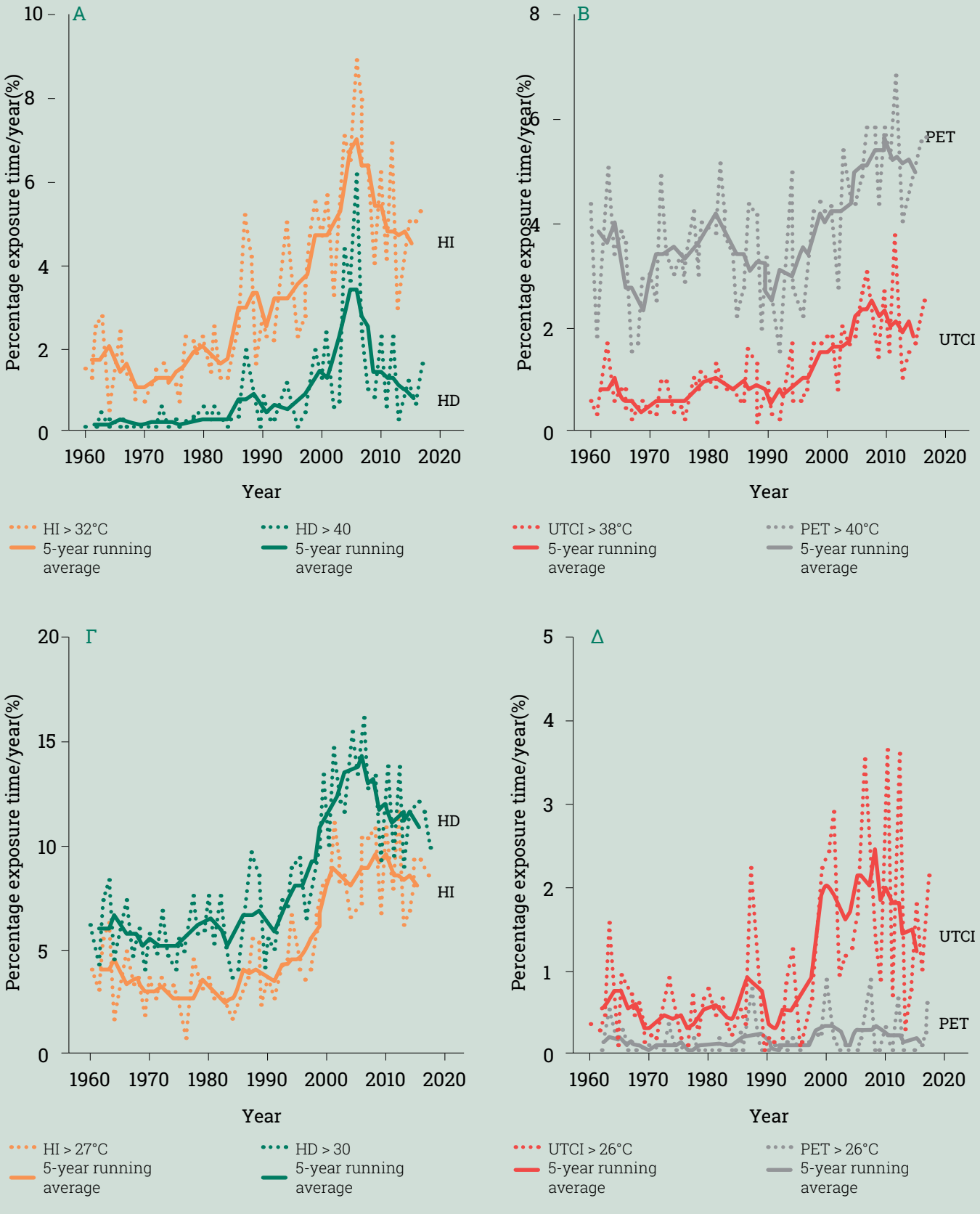
Β.8.2. Διαχρονικές διακυμάνσεις και τάσεις του χρόνου έκθεσης υπό θερμή επιβάρυνση στην Αθήνα

Η Εικόνα Γ4 παρουσιάζει το χρόνο έκθεσης (σε %) ανά έτος υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης, όπως αυτές αντικατοπτρίζονται από τις υπερβάσεις συγκεκριμένων κατωφλίων των ανώτερων κατηγοριών των δεικτών. Η ανάλυση δεν περιορίστηκε εποχιακά και ως εκ τούτου τα αποτελέσματα βασίζονται σε πιθανές ωριαίες υπερβάσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1980, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C) και «μεγάλη δυσφορία - αποφυγή άσκησης» (HD > 40) είναι ως επί το πλείστον μικρότερος από 2% και 0.6% ετησίως, αντίστοιχα (Εικόνα Γ4α). Στη συνέχεια παρατηρείται μια σημαντική ανοδική τάση του χρόνου έκθεσης υπό αυτές τις συνθήκες, με ένα μέγιστο να διαμορφώνεται στα μέσα της δεκαετίας του 2000 το οποίο ακολουθείται από μια μείωση μέχρι σήμερα. Συγκεκριμένα, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C) διαμορφώνεται στο 1.4% το 1960, αυξανόμενος στο 8.8% το 2006 (σχετική αύξηση κατά 529%) και στο 5.3% το 2017 (σχετική αύξηση κατά 279%). Τα υψηλά ποσοστά του χρόνου έκθεσης τα έτη 2007 και 2012 αντικατοπτρίζουν τη μεγάλη συχνότητα εμφάνισης επεισοδίων καύσωνα (Founda and Giannakopoulos, 2009, Theoharatos et al., 2010, Founda and Santamouris, 2017, Katavoutas and Founda, 2019). Επίσης, το υψηλό ποσοστό το έτος 2006 σχετίζεται με τα υψηλά ποσοστά υγρασίας που παρατηρήθηκαν στα τέλη της άνοιξης και στις αρχές του φθινοπώρου. Ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI> 32 °C) και «μεγάλη δυσφορία - αποφυγή άσκησης» (HD> 40) παρουσιάζει στατιστικά σημαντική αυξητική τάση, η οποία διαμορφώνεται στο 0.9%/δεκαετία και στο 0.4%/δεκαετία την περίοδο 1960–2017, αντίστοιχα (Πίνακας Γ5). Με βάση τον απόλυτο αριθμό του χρόνου έκθεσης που εκφράζεται ως ο αριθμός ωρών που υπερβαίνει τα κατώφλια των δεικτών που αναλύονται, ο ρυθμός αύξησης είναι περίπου 79 ώρες/δεκαετία για HI > 32 °C και 31 ώρες/δεκαετία για HD > 40.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του δείκτη UTCI, ο χρόνος έκθεσης ανά έτος υπό «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» δεν υπερβαίνει το 1% μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990 (Εικόνα Γ4β). Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα υποδεικνύουν μια σταδιακή και συνεχή ανοδική τάση. Ως εκ τούτου, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες «πολύ ισχυρής θερμής επιβάρυνσης» (UTCI > 38 °C) διαμορφώνεται στο 0.7% το 1960, αυξανόμενος στο 1.7% το 2001 (σχετική αύξηση κατά 143%) και στο 2.4% το 2017 (σχετική αύξηση κατά 243%). Η ανάλυση τάσεων Mann-Kendall αποκαλύπτει μια στατιστικά σημαντική αυξητική

Όλες οι ώρες του 24ωρου	Τάση του χρόνου έκθεσης ανά έτος (κλίση ± τυπικό σφάλμα)	p-value	Έτος
HI > 32 °C	+0.09 ± 0.010	3.57E-10	1993
HD > 40	+0.04 ± 0.008	1.05E-08	1987
UTCI > 38 °C	+0.03 ± 0.005	2.49E-07	2001
PET > 40 °C	+0.04 ± 0.008	8.23E-05	2008
Νυχτερινές ώρες			
HI > 27 °C	+0.12 ± 0.015	9.67E-08	2001
HD > 30	+0.15 ± 0.018	7.67E-09	1998
UTCI > 26 °C	+0.03 ± 0.006	1.97E-04	2005
PET > 26 °C	+0.003 ± 0.002	5.20E-01	–

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ5
Τάση του χρόνου έκθεσης (%) ανά έτος υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης όπως αντικατοπτρίζονται από τις υπερβάσεις συγκεκριμένων κατωφλίων, τόσο για όλες τις ώρες της ημέρας όσο και για τη νύχτα κατά την περίοδο 1960–2017. Οι τιμές p-value της μεθόδου Mann-Kendall (η έντονη γραφή υποδηλώνει στατιστικά σημαντική τάση στο διάστημα εμπιστοσύνης 95%) και το έτος όπου η τάση των χρονοσειρών γίνεται στατιστικά σημαντική παρουσιάζονται επίσης.



ΕΙΚΟΝΑ Γ4
Χρόνος έκθεσης (%) του πληθυσμού υπό συνθήκες α) HI > 32 °C και HD > 40, β) UTCI > 38 °C και PET > 40 °C για όλες τις ώρες της ημέρας και γ) HI > 27°C και HD > 30 , δ) UTCI > 26 °C και PET > 26 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας για την περίοδο 1960–2017 στην Αθήνα.
Οι έντονες καμπύλες υποδεικνύουν τον 5-ετή κινούμενο μέσο.

τάση στο χρόνο έκθεσης υπό αυτές τις συνθήκες με ρυθμό 0.3%/δεκαετία την περίοδο 1960–2017 (Πίνακας Γ5). Με βάση τα απολυτά δεδομένα, ο ρυθμός αύξησης διαμορφώνεται στις 27 ώρες/δεκαετία. Ο χρόνος έκθεσης βάσει του PET παρουσιάζει μεγαλύτερες διακυμάνσεις ανά έτος, ενώ μια δεκαετή μεταβλητότητα είναι ιδιαίτερα εμφανής πριν από τη δεκαετία του 1990 (Εικόνα Γ4β). Για όλη την περίοδο μελέτης παρατηρείται στατιστικά σημαντική αύξηση της τάξης του 0.4%/δεκαετία (32 ώρες/δεκαετία) στο χρόνο έκθεσης υπό συνθήκες «ακραίας θερμής επιβάρυνσης» (PET > 40 °C) (Πίνακας Γ5).

Είναι ιδιαίτερα σημαντικό να αναλυθεί ο πιθανός χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης κατά τη διάρκεια της νύχτας (Εικόνες Γ4γ, δ). Η επίδραση των υψηλών θερμοκρασιών στον πληθυσμό κατά τη διάρκεια της νύχτας έχει αποδειχτεί ιδιαίτερα επιβαρυντική σε σύγκριση με τις υψηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας (Tan et al., 2010, Gabriel and Endlicher, 2011). Το συνολικό μοτίβο του χρόνου έκθεσης κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι παρόμοιο με εκείνο που περιλαμβάνει όλες τις ώρες του 24ωρου για όλους τους δείκτες με εξαίρεση τον PET (Εικόνες Γ4γ, δ). Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980 για τους απλούς δείκτες και μέχρι τα μέσα της δεκαετίας του 1990 για το UTCI, ο χρόνος έκθεσης υπό τις εξεταζόμενες συνθήκες θερμής επιβάρυνσης είναι μικρότερος σε σύγκριση με το χρόνο έκθεσης των επόμενων δεκαετιών (Εικόνα Γ4γ, δ).

Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα βρίσκεται σε συμφωνία με την ανάλυση τάσεων Mann-Kendall, βάσει της οποίας ο χρόνος έκθεσης ανά έτος παρουσιάζει στατιστικά σημαντική αύξηση κατά τη διάρκεια της νύχτας την περίοδο 1960-2017 σε όλους τους δείκτες, με εξαίρεση τον PET (Πίνακας Γ5). Συγκεκριμένα, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες τουλάχιστον «πολύ θερμό – προσοχή» (HI > 27 °C), «μερική δυσφορία» (HD > 30) και «μέτρια θερμή επιβάρυνση» (UTCI > 26 °C) έχει αυξηθεί κατά 1.2%/δεκαετία, 1.5%/δεκαετία και 0.3%/δεκαετία, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια της νύχτας. Με βάση τα απόλυτα δεδομένα, ο αριθμός ωρών που υπερβαίνουν τα αντίστοιχα κατώφλια αυξάνεται κατά 55 ώρες/δεκαετία, 66 ώρες/δεκαετία και 13 ώρες/δεκαετία, αντίστοιχα. Αν και η συχνότητα του χρόνου έκθεσης υπό τουλάχιστον «ήπια θερμή επιβάρυνση» (PET > 26 °C) έχει αυξηθεί τα τελευταία χρόνια κατά τη διάρκεια της νύχτας, δεν προκύπτει ακόμη στατιστικά σημαντική αυξητική τάση με βάση τη μέθοδο Mann-Kendall (Πίνακας Γ5). Η σχετικά χαμηλή συχνότητα εμφάνισης με βάση τον PET πιθανόν να συνδέεται με τους περιορισμούς του δείκτη να ποσοτικοποιήσει τις επιπτώσεις της υγρασίας (που εμφανίζει υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια της νύχτας), η οποία αναγνωρίζεται ως μια σημαντική αδυναμία του PET (Chen and Matzarakis, 2018). Ο συνδυασμός της μικρής ευαισθησίας του PET στην υγρασία του αέρα (Provençal et al., 2016) και της απουσίας ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι πιθανώς η αιτία των σχετικά μειωμένων τιμών του PET κατά τη διάρκεια αυτής της χρονικής περιόδου του 24ωρου.

Β.8.3. Διακυμάνσεις και τάσεις της περιόδου εμφάνισης συνθηκών θερμής επιβάρυνσης στην Αθήνα

Στην Εικόνα Γ5 παρουσιάζεται η πρώτη ημέρα και η τελευταία ημέρα εντός του έτους όπου σημειώνονται υπερβάσεις συγκεκριμένων κατωφλίων των ανώτερων κατηγοριών των υπό εξέταση δεικτών κατά την περίοδο 1960–2017. Η εξέταση των αποτελεσμάτων με βάση τους δείκτες HI και HD δείχνει ότι οι χρονοσειρές της πρώτης και της τελευταίας ημέρας υπό συνθήκες τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C) και με «μεγάλη δυσφορία - αποφυγή άσκησης» (HD > 40) αποκλίνουν με την πάροδο των ετών, ως αποτέλεσμα των αντίστοιχων αρνητικών και θετικών γραμμικών τάσεων (Εικόνα Γ5α, β). Το αποτέλεσμα αυτό συνεπάγεται αφενός ότι η ημερομηνία της πρώτης εμφάνισης συνθηκών «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» μετατοπίζεται νωρίτερα μέσα στο έτος κατά 3 ημέρες/δεκαετία και αφετέρου ότι η ημερομηνία της τελευταίας εμφάνισης συνθηκών «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» μετατοπίζεται αργότερα κατά 2.6 ημέρες/δεκαετία (Πίνακας Γ6). Οι αντίστοιχες μετατοπίσεις για το δείκτη HD είναι πιο έντονες και οι κλίσεις των γραμμών τάσης είναι πιο απότομες από εκείνες του HI. Συνεπώς, η πρώτη εμφάνιση της «μεγάλης δυσφορίας – αποφυγή άσκησης» μετατοπίζεται νωρίτερα κατά 5.8 ημέρες/δεκαετία, ενώ η τελευταία εμφάνιση μετατοπίζεται αργότερα κατά 5.5 ημέρες/δεκαετία κατά τη διάρκεια των ετών. Οι χρονοσειρές των ημερομηνιών της πρώτης και της τελευταίας εμφάνισης των υπό εξέταση συνθηκών θερμής επιβάρυνσης παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική τάση μείωσης και αύξησης, αντίστοιχα (Πίνακας Γ6). Στην περίπτωση του HD, για παράδειγμα, τα παραπάνω αποτελέσματα αποκαλύπτουν ότι η πρώτη εμφάνιση «μεγάλης δυσφορίας – αποφυγή άσκησης» στις αρχές της δεκαετίας του 1960 εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του Ιουλίου, ενώ τα τελευταία χρόνια αυτό συμβαίνει κατά τη διάρκεια του Ιουνίου και σε ορισμένες περιπτώσεις ακόμη και στα τέλη Μαΐου. Παράλληλα, η τελευταία εμφάνιση «μεγάλης δυσφορίας – αποφυγή άσκησης» στις αρχές της δεκαετίας του 1960 παρατηρείται κυρίως τον Αύγουστο και σίγουρα όχι αργότερα από τις αρχές Σεπτεμβρίου, ενώ τα τελευταία χρόνια αυτό παρατηρείται και μετά τα μέσα Σεπτεμβρίου.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα βάσει του UTCI αποκαλύπτουν ότι οι μετατοπίσεις νωρίτερα μέσα στο έτος της πρώτης εμφάνισης με «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI > 38 °C) είναι πιο εμφανής από τις μετατοπίσεις αργότερα της τελευταίας εμφάνισης (Εικόνα Γ5γ). Ως εκ τούτου, η πτωτική τάση της χρονοσειράς είναι στατιστικά σημαντική, υποδεικνύοντας ότι το πρώτο επεισόδιο με «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» μετατοπίζεται νωρίτερα κατά 2.9 ημέρες/δεκαετία (Πίνακας Γ6). Αν και υπάρχει μια ελαφρώς αυξητική τάση της τελευταίας ημέρας εμφάνισης με «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» κατά 1.4 ημέρες/δεκαετία, η τάση αυτή δεν είναι στατιστικά σημαντική (Πίνακας Γ6).

Αντίθετα, τα αποτελέσματα του PET αποκαλύπτουν ένα ανεστραμμένο πεπλατυσμένο μοτίβο σχήματος U για την πρώτη ημέρα εμφάνισης συν-

	Τάση της πρώτης/τελευταίας ημέρας εμφάνισης (κλίση ± τυπικό σφάλμα)	p-value (πρώτης/τελευταίας)	Έτος (πρώτης/τελευταίας)
HI > 32 °C	−0.30 (± 0.096) / +0.26 (± 0.080)	**9.43E-04 / 1.14E-02**	2000 / 2006
HD > 40	−0.58 (± 0.125) / +0.55 (± 0.130)	**1.42E-05 / 2.27E-03**	1982 / 2004
UTCI > 38 °C	−0.29 (± 0.124) / +0.14 (± 0.112)	**5.37E-03** / 3.72E-01	2009 / –
PET1960–1990 > 40 °C	+1.08 (± 0.421) / −0.58 (± 0.276)	6.61E-02 / 5.18E-02	– / –
PET1991–2017 > 40 °C	−1.30 (± 0.337) / +0.54 (± 0.282)	**2.64E-04** / 1.39E-01	2009 / –
	Τάση της διάρκειας της περιόδου (κλίση ± τυπικό σφάλμα)	**p-value**	**Έτος**
HI > 32 °C	+0.56 ± 0.130	**1.77E-04**	1999
HD > 40	+1.13 ± 0.196	**9.41E-07**	1987
UTCI > 38 °C	+0.43 ± 0.177	5.42E-02	–
PET1960–1990 > 40 °C	−1.66 ± 0.555	**1.03E-02**	1988
PET1991–2017 > 40 °C	+1.83 ± 0.471	**1.43E-03**	2013

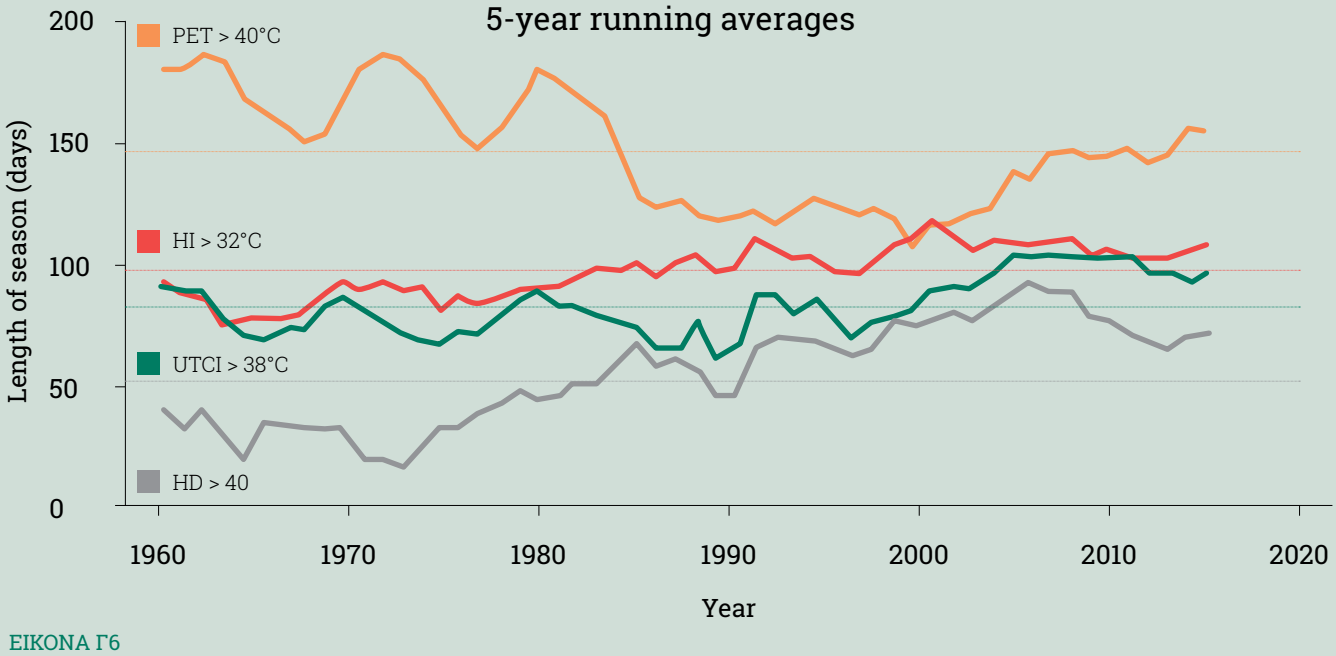
ΠΙΝΑΚΑΣ Γ6
Τάση της πρώτης και της τελευταίας ημέρας εμφάνισης καθώς και της διάρκειας της περιόδου για συγκεκριμένες υπερβάσεις κατωφλίων της θερμής επιβάρυνσης κατά την περίοδο 1960–2017. Οι τιμές p-value της μεθόδου Mann-Kendall (η έντονη γραφή υποδηλώνει στατιστικά σημαντική τάση στο διάστημα εμπιστοσύνης 95%) και το έτος όπου η τάση των χρονοσειρών γίνεται στατιστικά σημαντική παρουσιάζονται επίσης.

θηκών με «ακραία θερμή επιβάρυνση» (PET > 40 °C) και ένα πεπλατυσμένο μοτίβο σχήματος U για την τελευταία ημέρα εμφάνισης των ίδιων συνθηκών (Εικόνα Γ5δ). Τα αποτελέσματα που αντιστοιχούν στις περιόδους πριν και μετά το 1990 αποκαλύπτουν αντίθετη τάση. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990, η πρώτη ημέρα με «ακραία θερμή επιβάρυνση» μετατοπίζεται αργότερα μέσα στο έτος ενώ η τελευταία ημέρα με «ακραία θερμή επιβάρυνση» μετατοπίζεται νωρίτερα. Καμία από αυτές τις τάσεις δεν είναι στατιστικά σημαντική (Πίνακας Γ6). Στη συνέχεια, οι τάσεις αντιστρέφονται ακολουθώντας το γενικό μοτίβο που παρατηρείται στους υπόλοιπους δείκτες. Ως εκ τούτου, η πρώτη εμφάνιση «ακραίας θερμής επιβάρυνσης» μετατοπίζεται νωρίτερα κατά 1.3 ημέρες/δεκαετία, ενώ η τελευταία εμφάνιση «ακραίας θερμής επιβάρυνσης» μετατοπίζεται αργότερα, αλλά η αντίστοιχη αυξητική τάση δεν είναι στατιστικά σημαντική (Πίνακας Γ6).

ΕΙΚΟΝΑ Γ5
Ημερομηνίες (Julian Day) της πρώτης και τελευταίας εμφάνισης όπου α) HI > 32 °C, β) HD > 40, γ) UTCI > 38 °C και δ) PET > 40 °C μέσα σε ένα ημερολογιακό έτος για την περίοδο 1960–2017 στην Αθήνα. Η ημερομηνία εκφρασμένη ως Julian Day είναι μια ημέρα του έτους που κυμαίνεται μεταξύ του 1 (1η Ιανουάριου) και του 365 (ή 366 εάν είναι δίσεκτο) (31η Δεκεμβρίου). Οι γραμμές τάσης απεικονίζονται επίσης.

Η μετατόπιση νωρίτερα της πρώτης εμφάνισης μέσα στο έτος καθώς και η μετατόπιση αργότερα της τελευταίας εμφάνισης μέσα στο έτος συνθηκών θερμής επιβάρυνσης οδηγεί σε μια προοδευτική επέκταση της «εποχής θερμής επιβάρυνσης» (heat stress season) με την πάροδο των ετών την περίοδο 1960–2017. Η Εικόνα Γ6 παρουσιάζει τη διάρκεια της «εποχής θερμής επιβάρυνσης» (heat stress season) για όλους τους δείκτες κατά τη διάρκεια της περιόδου μελέτης. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική επιμήκυνση της εποχής υπό συνθήκες με «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C) και με «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης» (HD > 40) κατά 5.6 ημέρες/δεκαετία και κατά 11.3 ημέρες/δεκαετία, η οποία άρχισε το 1999 και το 1987, αντίστοιχα (Πίνακας Γ6). Τα αντίστοιχα αποτελέσματα βάσει του UTCI αποκαλύπτουν μια επιμήκυνση της εποχής με «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI> 38 °C) κατά 4.3 ημέρες/δεκαετία από τη δεκαετία του 1960, όμως η διαμορφούμενη αυξητική τάση δεν είναι ακόμη στατιστικά σημαντική. Η παρατηρούμενη επιμήκυνση της εποχής βάσει του UTCI οφείλεται κυρίως στη μετατόπιση νωρίτερα της πρώτης εμφάνισης με «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» παρά στη μετατόπιση αργότερα της τελευταίας εμφάνισης, ενώ η επιμήκυνση της εποχής είναι ιδιαίτερα εμφανής μετά το 2000.

Αντίθετα, τα αποτελέσματα βάσει του PET αποκαλύπτουν ένα πεπλατυσμένο μοτίβο σχήματος U για την εποχή με «ακραία θερμή επιβάρυνση», με πτωτική τάση μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990 και με αυξητική τάση την αμέσως επόμενη περίοδο (Εικόνα Γ6). Τα αποτελέσματα της μεθόδου Mann-Kendall υποδεικνύουν ότι και οι δυο τάσεις πριν και μετά το 1990 είναι στατιστικά σημαντικές (Πίνακας Γ6). Είναι εμφανές ότι το μοτίβο της εποχής με «ακραία θερμή επιβάρυνση» βάσει του PET διαφοροποιείται συγκριτικά με το μοτίβο των άλλων δεικτών. Εξετάζοντας τα πρωτογενή δεδομένα από τα οποία προέκυψαν τα συγκεκριμένα αποτελέσματα αποκαλύπτεται ότι ο δείκτης PET μπορεί να λάβει υψηλές τιμές ακόμη και κατά τις μεσημεριανές ώρες του Απριλίου όταν η ημέρα είναι ανέφελη και επικρατούν χαμηλές ταχύτητες ανέμου, συνθήκες οι οποίες ευνοούν τη διαμόρφωση υψηλών τιμών μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας. Άλλες μελέτες έχουν επίσης αναφέρει ότι ο δείκτης PET παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις και λαμβάνει υψηλές τιμές, με αποτέλεσμα να εντοπίζει συχνότερα συνθήκες που οδηγούν σε θερμή επιβάρυνση (Blazejczyk et al., 2012, Provençal et al., 2016). Αναφέρεται επίσης ότι ο PET παρουσιάζει ισχυρή ευαισθησία στην παράμετρο της μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας σε σύγκριση με άλλους δείκτες (Provençal et al., 2016). Η διακύμανση της χρονικής διάρκειας της εποχής με «ακραία θερμή επιβάρυνση» βάσει του PET προκύπτει από τις αντίστοιχες μετατοπίσεις μέσα στο έτος της πρώτης και της τελευταίας εμφάνισης με «ακραία θερμή επιβάρυνση» (Εικόνα Γ5δ). Ως εκ τούτου, η κύμανση της χρονικής διάρκειας της εποχής με «ακραία θερμή επιβάρυνση» για τον PET συνδέεται ενδεχομένως με τις αντίστοιχες παρατηρούμενες διακυμάνσεις της ηλιακής ακτινοβολίας στο σταθμό του Αστεροσκοπείου στην Αθήνα (NOA) τόσο στις αρχές του καλοκαιριού και της άνοιξης όσο και στα τέλη του καλοκαιριού και του φθινοπώρου (Kazadzis et al., 2018).



ΕΙΚΟΝΑ Γ6

5-ετης κινούμενος μέσος της περιόδου υπέρβασης των ορίων θερμής επιβάρυνσης των δεικτών HI, HD, UTCI και PET για την περίοδο 1960–2017 στην Αθήνα. Η διάρκεια της «εποχής» αναφέρεται στον αριθμό ημερών μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας εμφάνισης όπου παρατηρούνται οι εν λόγω υπερβάσεις σε ένα ημερολογιακό έτος. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν τους αντίστοιχους μέσους όρους σε κάθε κατώφλι κατά την περίοδο 1960–2017.

Β.8.4. Εκτίμηση των επιπέδων θερμής επιβάρυνσης στο μέλλον για την Αθήνα

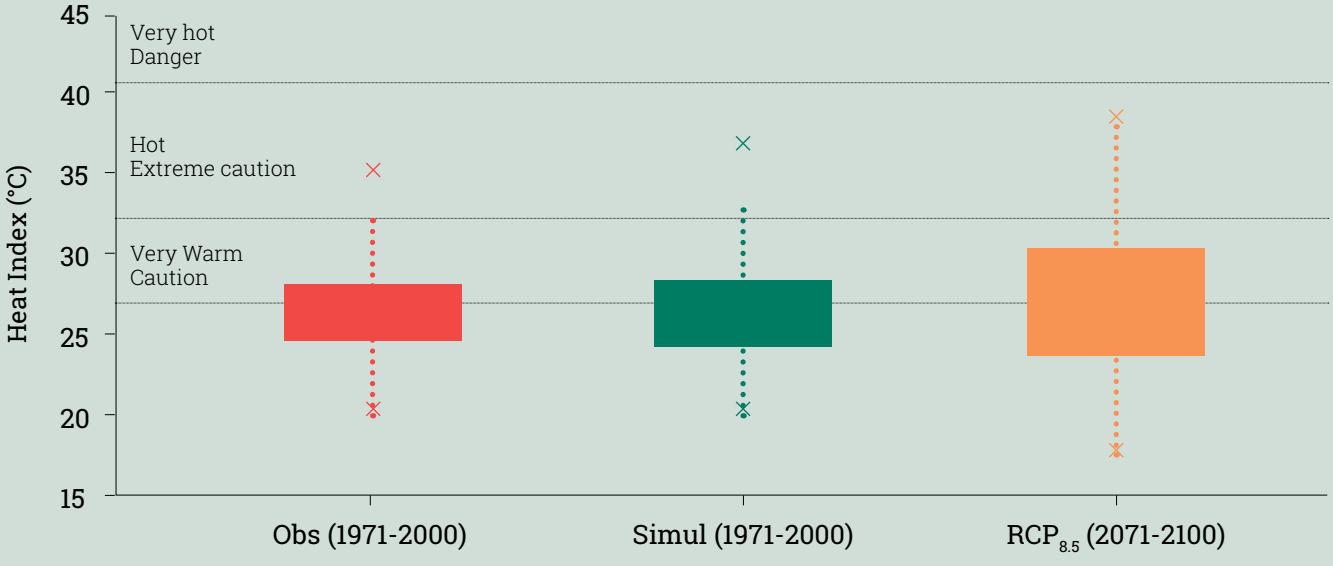
Είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντικό να αναλυθούν τα επίπεδα της θερμικής επιβάρυνσης που πρόκειται να διαμορφωθούν στο μέλλον. Η εκτίμηση της επιβάρυνσης για τον πληθυσμό της Αθήνας στηρίχθηκε αποκλειστικά στους απλούς δείκτες HI και HD. Η συγκεκριμένη επιλογή ελήφθη ώστε να αποφευχθούν πιθανές στρεβλώσεις από την εφαρμογή των λογικών δεικτών (UTCI, PET) λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας που υπεισέρχεται στην εκτίμηση των παραμέτρων της ταχύτητας του ανέμου και της ακτινοβολίας στο μέλλον, ιδιαίτερα όταν το χρονικό βήμα είναι μικρό (3-ωριαίο), μεταβλητών οι οποίες χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στα μοντέλα για τον υπολογισμό του UTCI και του PET.

Η Εικόνα Γ7 παρουσιάζει με τη μορφή θηκογράμματος τα επίπεδα τιμών του δείκτη HI την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HI στο απώτερο μέλλον (2071–2100) βάσει προσομοιώσεων υπό το μελλοντικό σενάριο εκπομπών RCP8.5 στην Αθήνα. Μια οπτική επιθεώρηση της Εικόνας Γ7 αποκαλύπτει συμφωνία αποτελεσμάτων για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) μεταξύ των επίγειων παρατηρήσεων και των προσομοιώσεων. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η διαφορά της μέσης τιμής του HI μεταξύ προσομοιώσεων και παρατηρήσεων είναι της τάξης των 0.16 °C και η διαφορά της διαμέσου είναι της τάξης των 0.12 °C για την περίοδο αναφοράς (1971–2000). Η μέση και η διάμεσος τιμή του HI την περίοδο 2071–2100 είναι κατά 0.77 °C και 0.98 °C, αντίστοιχα, μεγαλύτερη σε σύγκριση με την περίοδο 1971–2000 βάσει των παρατηρήσεων. Η παρατηρούμενη αύξηση στη μέση τιμή του HI την περίοδο 2071–2100 οδηγεί σε υπέρβαση του κατώτερου κατωφλίου στη κλίμακα του δείκτη με αποτέλεσμα ο βαθμός κινδύνου από τη συνεχή έκθεση να διαμορφώνεται στην κατηγορία «πολύ θερμό – προσοχή» (Very warm – Caution). Παρότι η διαφορά στο 1ο τεταρτημόριο τιμών του HI την περίοδο 2071–2100 δεν είναι σημαντική σε σύγκριση με την περίοδο 1971–2000, η παρατηρούμενη διαφορά στο 3ο τεταρτημόριο είναι σημαντική και διαμορφώνεται στους 1.75 °C.

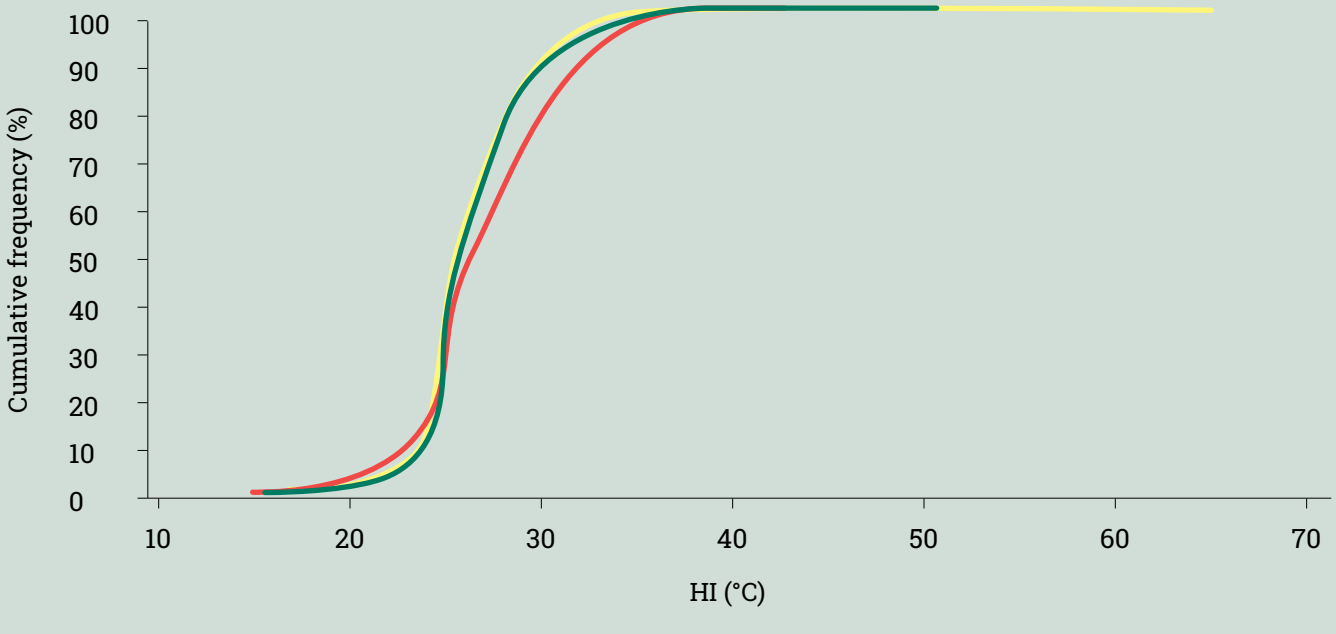
Τα προηγούμενα αποτελέσματα είναι περισσότερο εμφανή στην Εικόνα Γ8, η οποία απεικονίζει τις καμπύλες της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής (CDFs) του δείκτη HI για το παρόν (1971–2000) και το μέλλον (2071–2100). Μια οπτική επιθεώρηση των αποτελεσμάτων αποκαλύπτει ότι η κατανομή του HI για τη μελλοντική περίοδο 2071–2100 έχει μετατοπιστεί προς υψηλότερες τιμές από τις αντίστοιχες κατανομές της περιόδου 1971–2000. Η μετατόπιση προς υψηλότερες τιμές είναι ιδιαίτερα εμφανής μετά το 40ο εκατοστημόριο (percentile) της κατανομής και μεγιστοποιείται στα ανώτερα επίπεδα των εκατοστημόριων. Συγκεκριμένα, στο 90ο, 95ο και 99ο εκατοστημόριο (P90, P95, P99) παρατηρούνται υψηλότερες τιμές του δείκτη HI κατά τουλάχιστον 1.9 oC την περίοδο 2071–2100 σε σύγκριση με την περίοδο 1971–2000. Σύμφωνα με τα κατώφλια του δείκτη HI, το 90ο εκατοστημόριο τις περιόδου 1971–2000 αντιστοιχεί στην κατηγορία «πολύ θερμό – προσοχή», ενώ στη μελλοντική περίοδο 2071–2100 αντιστοιχεί στην κατηγορία «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή», γεγονός που υποδεικνύει αύξηση του θερμικού κινδύνου στο μέλλον για τον πληθυσμό της Αθήνας κατά μια βαθμίδα στην κλίμακα του δείκτη στο συγκεκριμένο εκατοστημόριο. Θα πρέπει επίσης να επισημανθεί ότι στα πολύ χαμηλά εκατοστημόρια και συγκεκριμένα κάτω από το 10ο εκατοστημόριο παρατηρείται αντιστροφή των αποτελεσμάτων, με την κατανομή του HI για τη μελλοντική περίοδο 2071–2100 να μετατοπίζεται προς χαμηλότερες τιμές από τις αντίστοιχες κατανομές της περιόδου 1971–2000.

Η Εικόνα Γ8 αποκαλύπτει επίσης ότι η συχνότητα των περιπτώσεων με HI > 27 °C, η οποία υποδεικνύει τουλάχιστον «πολύ θερμό – προσοχή», διαμορφώνεται στο 44.9% την περίοδο 2071–2100, ενώ η αντίστοιχη συχνότητα την περίοδο 1971–2000 διαμορφώνεται στο 30.2%, υποδεικνύοντας μια διαφορά της τάξης του 14.7% και μια σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών κατά 48.7% στο μέλλον. Επιπλέον, η συχνότητα των περιπτώσεων με HI > 32 °C, η οποία υποδεικνύει τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή», προσδιορίζεται στο 4.8% την περίοδο 1971–2000 και αυξάνεται στο 10.7% την περίοδο 2071–2100, οδηγώντας σε μια σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών κατά 122.9% στο μέλλον (2071–2100).

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δείκτη HD (Εικόνες Γ9, Γ10) βρίσκονται σε συμφωνία με τα προηγούμενα αποτελέσματα του HI, παρόλα αυτά υπάρχουν ορισμένες μικρές διαφορές τόσο ποιοτικές, όσο και ποσοτικές. Η επίδοση του μοντέλου κρίνεται ικανοποιητική, με τη διαφορά της μέσης τιμής του HD μεταξύ των προσομοιώσεων και των επίγειων παρατηρήσεων να διαμορφώνεται στις 0.25 μονάδες στην κλίμακα του δείκτη και η διαφορά της διαμέσου να διαμορφώνεται στις 0.19 μονάδες για την περίοδο αναφοράς (1971–2000). Η μέση και η διάμεσος τιμή του HD την περίοδο 2071–2100 είναι κατά 1.85 μονάδες και 2.29 μονάδες, αντίστοιχα, μεγαλύτερη σε σύγκριση με

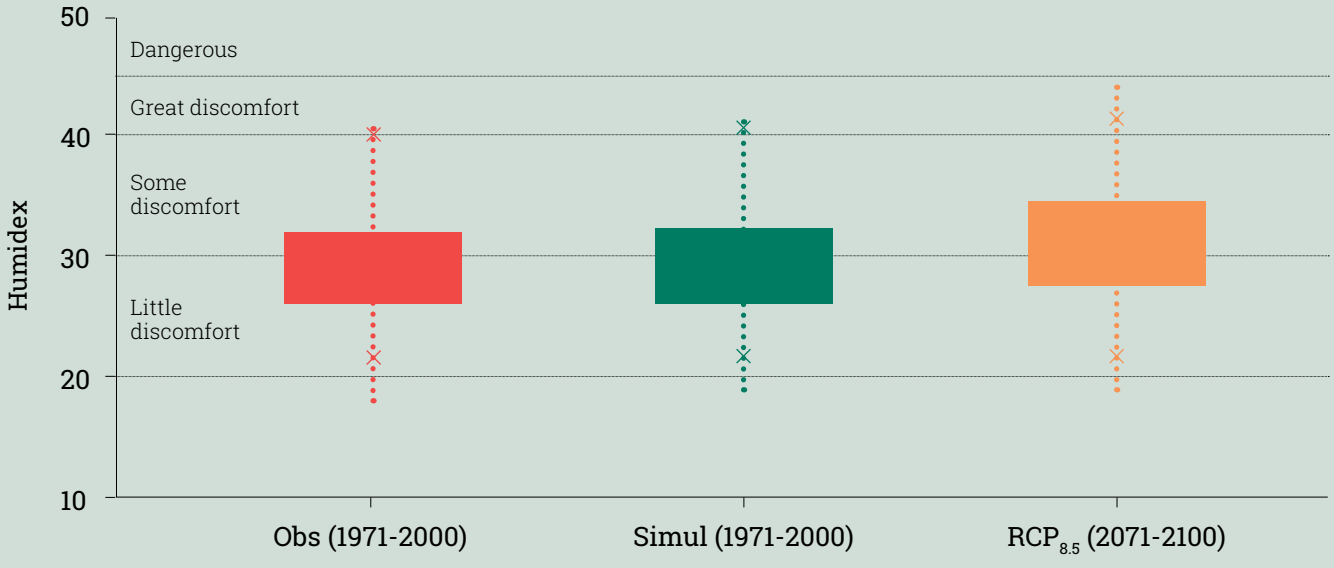


ΕΙΚΟΝΑ Γ7
Θηκόγραμμα του HI (Heat Index) για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HI στο απώτερο μέλλον (2071–2100) βάσει προσομοιώσεων υπό το μελλοντικό σενάριο εκπομπών RCP8.5 στην Αθήνα.

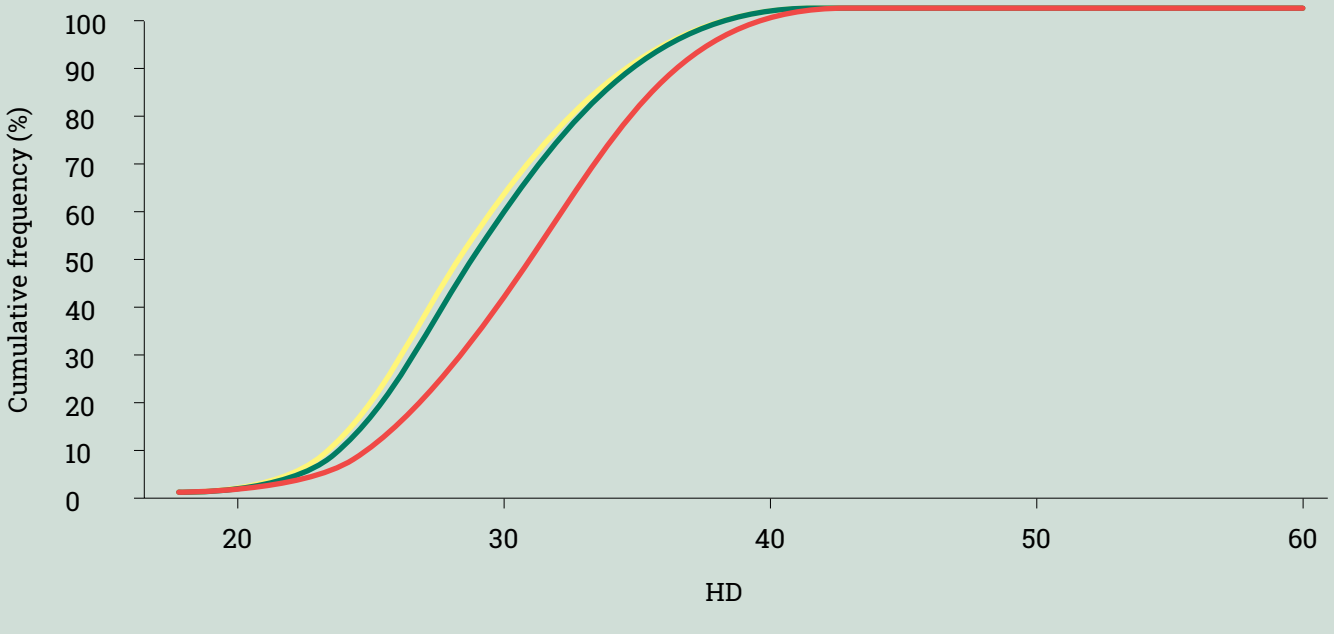


	P(90)	P(95)	P(99)
Observations (1971-2000)	30.4	32	35
Simulations (1971-2000)	30.7	32.4	35.7
RCP8.5 (2071-2100)	32.3	33.9	36.9

ΕΙΚΟΝΑ Γ8
Αθροιστική συχνότητα κατανομής (CDF) του HI (Heat Index) για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HI στο απώτερο μέλλον (2071–2100) βάσει προσομοιώσεων υπό το μελλοντικό σενάριο εκπομπών RCP8.5 στην Αθήνα.



ΕΙΚΟΝΑ Γ9
Θηκόγραμμα του Humidex (HD) για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HD στο απώτερο μέλλον (2071–2100) βάσει προσομοιώσεων υπό το μελλοντικό σενάριο εκπομπών RCP8.5 στην Αθήνα.



	P(90)	P(95)	P(99)
Observations (1971-2000)	35.2	36.8	39.9
Simulations (1971-2000)	35.5	37.4	40.63
RCP8.5 (2071-2100)	37	38.5	41.06

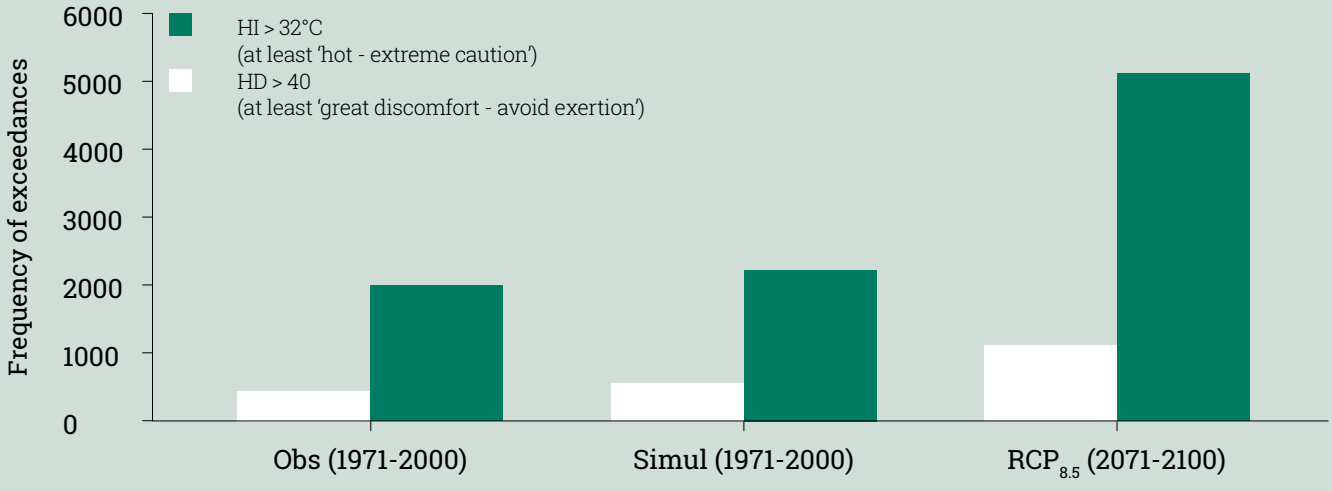
ΕΙΚΟΝΑ Γ10
Αθροιστική συχνότητα κατανομής (CDF) του HD (Humidex) για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HD στο απώτερο μέλλον (2071–2100) βάσει προσομοιώσεων υπό το μελλοντικό σενάριο εκπομπών RCP8.5 στην Αθήνα.

την περίοδο 1971–2000 βάσει των παρατηρήσεων. Η παρατηρούμενη αύξηση τόσο στη μέση τιμή όσο και στη διάμεσο τιμή στο μέλλον οδηγεί σε αύξηση του βαθμού δυσφορίας από «μικρή» την περίοδο 1971–2000 σε «μερική» την περίοδο 2071–2100.

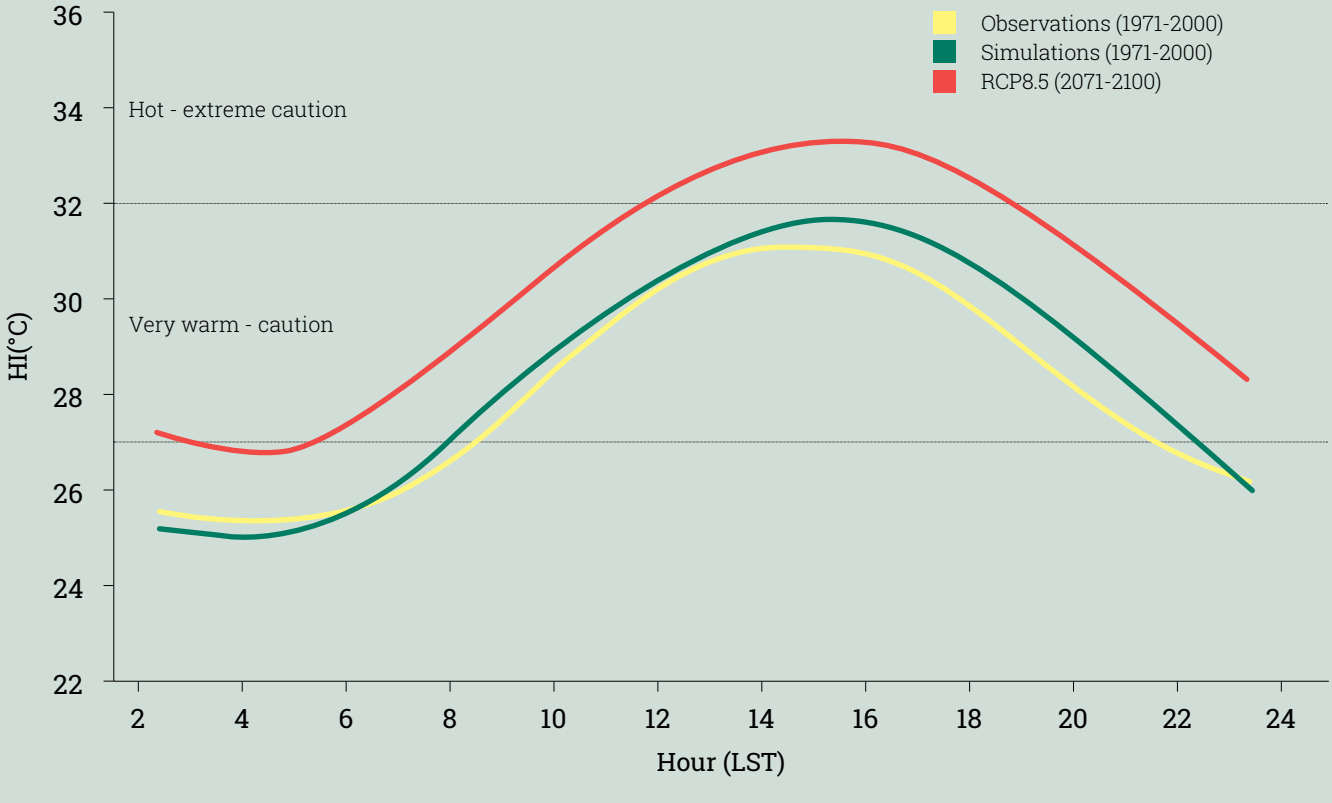
Η κατανομή του HD για τη μελλοντική περίοδο 2071–2100 μετατοπίζεται προς υψηλότερες τιμές από τις αντίστοιχες κατανομές της περιόδου 1971–2000 σε όλο το φάσμα της κατανομής (Εικόνα Γ10), σε αντίθεση με ότι παρατηρήσαμε στο δείκτη HI όπου οι δυο κατανομές τέμνονται στα χαμηλά εκατοστημόρια (Εικόνα Γ8). Η συχνότητα των περιπτώσεων με HD > 30, η οποία υποδεικνύει τουλάχιστον «μερική δυσφορία», διαμορφώνεται στο 58.5% την περίοδο 2071–2100, ενώ η αντίστοιχη συχνότητα την περίοδο 1971–2000 είναι σαφώς μικρότερη και διαμορφώνεται στο 39.6%, αποκαλύπτοντας μια διαφορά της τάξης του 18.9% και μια σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών κατά 47.9% στο μέλλον. Επιπλέον, η συχνότητα των περιπτώσεων με HD > 40, η οποία υποδεικνύει τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης», προσδιορίζεται στο 0.9% την περίοδο 1971–2000 και αυξάνεται στο 2.0% την περίοδο 2071–2100, οδηγώντας σε μια σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών κατά 122.2% στο μέλλον (2071–2100). Το 99ο εκατοστημόριο του HD την περίοδο 1971–2000 αντιστοιχεί στην κατηγορία «μερική δυσφορία», ενώ στη μελλοντική περίοδο 2071–2100 αντιστοιχεί στην κατηγορία «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης», γεγονός που υποδεικνύει αύξηση του θερμικού κινδύνου στο μέλλον για τον πληθυσμό της Αθήνας κατά μια βαθμίδα στην κλίμακα του δείκτη στο συγκεκριμένο εκατοστημόριο.

Η Εικόνα Γ11 απεικονίζει τον απόλυτο αριθμό υπερβάσεων βάσει των 3-ωρων τιμών της τριαντακονταετίας αναφοράς (1971–2000) και της μελλοντικής τριαντακονταετίας (2071–2100) όταν HI > 32 oC (τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή») και HD > 40 (τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης»). Οι υπερβάσεις την περίοδο 1971–2000 βάσει των επίγειων παρατηρήσεων διαμορφώνονται στις 382 περιπτώσεις όπου ο πληθυσμός της Αθήνας υπόκειται σε «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης» (HD > 40) και στις 1947 περιπτώσεις υπό συνθήκες με «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C). Οι αντίστοιχες υπερβάσεις στο μέλλον (2071–2100) αναμένεται να αυξηθούν σημαντικά και να διαμορφωθούν στις 1037 περιπτώσεις για τον HD και στις 5144 για τον HI, οδηγώντας σε αύξηση κατά 171% και κατά 164%, αντίστοιχα. Εάν αναγάγουμε τις ανωτέρω υπερβάσεις ώστε να εκφράζουν το χρόνο έκθεσης σε μια τριαντακονταετία βάσει των 3-ωρων μετρήσεων από όπου εξήχθησαν καταλήγουμε ότι, ο χρόνος έκθεσης διαμορφώνεται στο 1.2% για HD > 40 και στο 5.9% για HI > 32 °C στο μέλλον (2071–2100). Εάν ληφθεί υπόψη ότι οι συγκεκριμένοι δείκτες έχουν σχεδιαστεί για θερμές συνθήκες περιβάλλοντος και υπολογίζονται για θερμοκρασίες αέρα υψηλότερες των ~20 °C, τότε καθίσταται εμφανές ότι τα ανωτέρω ποσοστά έκθεσης αποτελούν σημαντικό ποσοστό της θέρμης περιόδου ανά έτος.

Τέλος, στην Εικόνα Γ12 παρουσιάζεται για το μήνα Ιούλιο η μέση ημερήσια διακύμανση των επιπέδων θερμικής επιβάρυνσης όπως αντανακλάται στο δείκτη HI για την τριαντακονταετία αναφοράς (1971–2000) και για τη μελλοντική τριαντακονταετία (2071–2100). Ο πληθυσμός της Αθήνας την περίοδο 2071–2100 το μήνα Ιούλιο θα υπόκειται σε συνθήκες «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» μεταξύ 11:00 και 18:00 τοπική ώρα πρότυπο (local standard time, LST). Αντιθέτως, τέτοιες συνθήκες δεν παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του εικοσιτετραώρου την περίοδο 1971–2000. Τις υπόλοιπες ώρες του εικοσιτετραώρου οι συνθήκες κατατάσσονται στην κατηγορία «πολύ θερμό – προσοχή» την περίοδο 2071–2100, με εξαίρεση το χρονικό διάστημα από 03:00 έως 06:00 όπου οριακά οι τιμές δεν εντάσσονται στη συγκεκριμένη κατηγορία. Επίσης, η μέγιστη τιμή του δείκτη τις μεσημβρινές ώρες είναι κατά 2.0 μονάδες της κλίμακας του δείκτη υψηλότερη την περίοδο 2071–2100 σε σύγκριση με την περίοδο 1971–2000, ενώ η διαφορά μεγιστοποιείται τις απογευματινές ώρες (20:00 LST) και διαμορφώνεται στις 3.3 μονάδες. Ακόμη και κατά τις πρώτες πρωινές ώρες όπου παρατηρούνται οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη, η διαφορά είναι κατά 1.3 μονάδες υψηλότερη την περίοδο 2071–2100 συγκριτικά με την περίοδο 1971–2000.



ΕΙΚΟΝΑ Γ11
Συχνότητα υπερβάσεων (απόλυτος αριθμός 3-ωρων) όταν HI > 32 oC (τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή») και HD > 40 (τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης») για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και για το απώτερο μέλλον (2071–2100) βάσει προσομοιώσεων υπό το μελλοντικό σενάριο εκπομπών RCP8.5 στην Αθήνα.



ΕΙΚΟΝΑ Γ12
Μέση ημερήσια διακύμανση του δείκτη HI (Heat Index) το μήνα Ιούλιο για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HI στο απώτερο μέλλον (2071–2100) βάσει προσομοιώσεων υπό το μελλοντικό σενάριο εκπομπών RCP8.5 στην Αθήνα.

Β.8.5. Συζήτηση και συμπεράσματα για την Αθήνα

Η παρούσα ανάλυση αποκαλύπτει μια σημαντική αύξηση των συνθηκών θερμής επιβάρυνσης για τον πληθυσμό στο αστικό περιβάλλον της Αθήνας (Ελλάδα) τα τελευταία 58 χρόνια (1960–2017). Για την εκτίμηση των επιπέδων της θερμικής επιβάρυνσης, σε ωριαία βάση, χρησιμοποιήθηκαν δύο προηγμένοι θερμικοί (ή βιοκλιματικοί) δείκτες (UTCI, PET) και δύο απλοί δείκτες (HI, HD). Τα αποτελέσματα της μελέτης υποδεικνύουν μια αισθητή και σταθερή μετατόπιση της κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης σε υψηλότερα επίπεδα τιμών τις τελευταίες δεκαετίες σε σύγκριση με τις προηγούμενες δεκαετίες για όλους τους θερμικούς δείκτες. Η παρατηρούμενη μετατόπιση είναι εμφανής σε όλο το φάσμα τιμών της κατανομής και δεν περιορίζεται μόνο στο άνω άκρο της. Το συγκεκριμένο εύρημα αποκαλύπτει ότι ο αστικός πληθυσμός της Αθήνας φαίνεται να υφίσταται ένα σημαντικό αλλά ταυτόχρονα αυξανόμενο ποσοστό θερμής επιβάρυνσης με την πάροδο των ετών από τη δεκαετία του 1960. Το θερμικό περιβάλλον στην Αθήνα έχει αλλάξει με την πάροδο των δεκαετιών λόγω της αστικοποίησης και του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Founda, 2011, Santamouris, 2015) παράλληλα με την παγκόσμια και περιφερειακή αύξηση της θερμοκρασίας (IPCC, 2014, EEA, 2017). Σύμφωνα με την Εθνική Υπηρεσία Ωκεανών και Ατμόσφαιρας των ΗΠΑ (NOAA, 2018b), τα δέκα πιο θερμά έτη σε παγκόσμια κλίμακα παρατηρούνται μετά το 1998, ενώ για την περιοχή των Αθηνών παρατηρούνται μετά το 1999. Το συγκεκριμένο γεγονός φαίνεται να αντανακλάται στις παρατηρούμενες μετατοπίσεις της κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης προς υψηλότερες τιμές ανά δεκαετία. Επίσης, τα αποτελέσματα της μελέτης βρίσκονται σε συμφωνία με την παρατηρούμενη αύξηση της θερμής επιβάρυνσης τόσο σε παγκόσμια κλίμακα (Knutson και Ploshay 2016) όσο και στην περιοχή της Αθήνας κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού τις μεσημβρινές ώρες (Bartzokas et al., 2013, Katavoutas et al., 2015).

Στα πλαίσια της αυξανόμενης επιβάρυνσης των τοπικών κοινωνιών λόγω της κλιματικής αλλαγής, ο χρόνος έκθεσης του πληθυσμού ανά έτος υπό συνθήκες «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI), «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης» (HD), «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI) και «ακραία θερμή επιβάρυνση» (PET) παρουσιάζει στατιστικά σημαντική αυξητική τάση με ρυθμό 0.9 %/δεκαετία, 0.4 %/δεκαετία, 0.3 %/δεκαετία και 0.4 %/δεκαετία την περίοδο 1960–2017, αντίστοιχα. Ακόμη και κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης υποδεικνύει στατιστικά σημαντική αυξητική τάση για τρεις από τους τέσσερις δείκτες, δηλαδή τον HI, HD και UTCI, την περίοδο 1960–2017. Το συγκεκριμένο εύρημα υποδηλώνει ότι ακόμα και κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών, όπου το ανθρώπινο σώμα προσπαθεί να ηρεμήσει και να επανέλθει, ο πληθυσμός της Αθήνας εκτίθεται σε υψηλότερα ποσοστά θερμής επιβάρυνσης τις τελευταίες δεκαετίες σε σύγκριση με τις δεκαετίες του 1960 και του 1970. Επιπλέον, ο ρυθμός αύξησης του χρόνου έκθεσης σε συνθήκες θερμής επιβάρυνσης τις νυχτερινές ώρες είναι υψηλότερος σε σύγκριση με τον αντίστοιχο ρυθμό αύξησης που προκύπτει από όλες τις ώρες του 24ωρου για τους απλούς δείκτες. Παρά την παρατηρούμενη στατιστικά σημαντική αυξητική τάση στο χρόνο έκθεσης υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης για όλη την περίοδο μελέτης (1960–2017), τα τελευταία έτη παρατηρείται μια κάμψη στα επίπεδα τιμών. Η μείωση αυτή είναι ιδιαίτερα εμφανής στους απλούς δείκτες (HI, HD) και σχετίζεται τόσο με την πτωτική τάση στη συχνότητα εμφάνισης υψηλών θερμοκρασιών κατά την τελευταία δεκαετία (για παράδειγμα εκτιμήθηκε ότι ο αριθμός των περιπτώσεων με θερμοκρασία αέρα υψηλότερη από 30 °C μειώθηκε σε ποσοστό 130 ωρών/δεκαετία μετά το 2007) όσο και με την πτωτική τάση στη συχνότητα εμφάνισης υψηλών τιμών σχετικής υγρασίας, παράμετροι οι οποίες αμφότερες επηρεάζουν τους δείκτες HI και HD.

Τα αποτελέσματα της ανάλυσης αναδεικνύουν επίσης ότι παρότι ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης παρουσιάζει αυξητική τάση για όλους τους δείκτες, η τάση για τους απλούς δείκτες (HI, HD) καθίσταται στατιστικά σημαντική περίπου μια δεκαετία νωρίτερα σε σύγκριση με τους λογικούς δείκτες (UTCI, PET) (Πίνακας Γ5). Αυτό οφείλεται πιθανότατα στο γεγονός ότι οι δείκτες HI και HD προκύπτουν από τη συνδυασμένη επίδραση της θερμοκρασίας και της υγρασίας του αέρα και ως εκ τούτου οδηγούνται κυρίως από τις τάσεις της θερμοκρασίας του αέρα. Ενδεικτικά αναφέρουμε ότι η θερμοκρασία του αέρα το 2010 έχει αυξηθεί κατά 1.9 °C και η σχετική υγρασία έχει μειωθεί κατά 1.4% σε σύγκριση με τη δεκαετία του 1960. Όσον αφορά το δείκτη HI, η αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα κατά 1.9 °C έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση του HI κατά περίπου 1.6 °C όταν η σχετική υγρασία διατηρείται σταθερή (~ 46%). Αντιθέτως, η μείωση της σχετικής υγρασίας κατά 1.4% έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση του HI κατά 0.08 °C όταν η θερμοκρασία του αέρα διατηρείται σταθερή (~ 27 °C). Συνεπώς, η θερμοκρασία του αέρα έχει μεγαλύτερη επίδραση στο δείκτη HI από ότι η σχετική υγρασία και επομένως, η τάση της θερμοκρασίας του αέρα επηρεάζει σε μεγαλύτερο βαθμό το δείκτη συγκριτικά με

την τάση της υγρασίας. Αντιθέτως, οι λογικοί δείκτες UTCI και PET δε λαμβάνουν υπόψη μόνο την λανθάνουσα θερμότητα της θερμικής επιβάρυνσης, αλλά η ολοκληρωμένη θεώρηση τους εμπλέκει περισσότερες από δύο μετεωρολογικές παραμέτρους οι οποίες δρουν σε συνέργεια και μπορούν είτε να επιταχύνουν είτε να επιβραδύνουν την τάση των δεικτών.

Η μελέτη εξέτασε επίσης πιθανές τάσεις στο χρόνο εμφάνισης συνθηκών θερμής επιβάρυνσης και κατά συνέπεια πιθανή επιμήκυνση της περιόδου έκθεσης υπό αυτές τις συνθήκες. Η πρώτη εμφάνιση συνθηκών θερμής επιβάρυνσης φαίνεται να μετατοπίζεται νωρίτερα μέσα στο έτος με την πάροδο των ετών την περίοδο 1960–2017. Επίσης, η τελευταία εμφάνιση συνθηκών θερμής επιβάρυνσης φαίνεται να μετατοπίζεται αργότερα την ίδια περίοδο. Συνεπώς, παρατηρείται μια προοδευτική επιμήκυνση της εποχής υπό συνθήκες με «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI), «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης» (HD) και «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI) με ρυθμό 5.6 ημέρες/δεκαετία, 11.3 ημέρες/δεκαετία και 4.3 ημέρες/δεκαετία, αντίστοιχα. Τα αντίστοιχα αποτελέσματα βάσει του δείκτη PET υποδεικνύουν μια στατιστικά σημαντική επιμήκυνση της εποχής με «ακραία θερμή επιβάρυνση» κατά 18.3 ημέρες/δεκαετία, η οποία όμως παρατηρείται μόνο μετά το 1990, ακολουθώντας το γενικό μοτίβο των υπόλοιπων δεικτών. Οι παρατηρούμενες διαφορές στην επιμήκυνση της «εποχής θερμής επιβάρυνσης» (heat stress season) μεταξύ των δεικτών πιθανότατα σχετίζονται τόσο με τη διαφορετική θεώρηση του κάθε δείκτη όσο και με τις διαφορετικές ατμοσφαιρικές μεταβλητές που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς του κάθε δείκτη. Συγκεκριμένα, οι διαφορές αυτές πιθανότατα αντανακλούν τη διαφορετική ευαισθησία του κάθε δείκτη στις εμπλεκόμενες ατμοσφαιρικές παραμέτρους, όπως για παράδειγμα στη διαφορετική απόκριση των δεικτών στις μεταβολές της θερμοκρασίας του αέρα, της υγρασίας, της ακτινοβολίας ή της ταχύτητας του ανέμου (Provençal et al., 2016).

Ο σαφής καθορισμός του χρόνου εμφάνισης συνθηκών θερμής επιβάρυνσης μέσα στα έτος για μια μακρά περίοδο (1960–2017) είναι μείζονος σημασίας μιας και παρέχει επαρκείς πληροφορίες για την έγκαιρη προετοιμασία των τοπικών αρχών αλλά και της πολιτείας για τον μετριασμό των επιπτώσεων του θερμικού κινδύνου στον πληθυσμό. Επιπλέον, η επιμήκυνση της περιόδου υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης έχει ως αποτέλεσμα την πρόσθετη κατανάλωση ενέργειας ώστε να ικανοποιηθούν οι απαιτήσεις ψύξης στο δομημένο περιβάλλον. Η παρατηρούμενη επιμήκυνση της περιόδου θερμικού στρες με βάση τους δείκτες HI, HD και UTCI είναι σε συμφωνία με τη συνεχιζόμενη παγκόσμια και περιφερειακή αύξηση της θερμοκρασίας (IPCC, 2014, EAA, 2017) καθώς και με την επιμήκυνση της περιόδου δυσφορίας την περίοδο του καλοκαιριού τις μεσημβρινές ώρες στην Αθήνα (Bartzokas et al., 2013).

Τέλος, η μελέτη εξέτασε τις θερμικές συνθήκες και τα επίπεδα δυσφορίας του πληθυσμού στο μελλοντικό κλίμα και συγκεκριμένα την περίοδο 2071–2100 υπό το μελλοντικό σενάριο εκπομπών RCP8.5 στην Αθήνα. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν μια μετατόπιση της κατανομής των δεικτών την περίοδο 2071–2100 προς υψηλότερες τιμές σε σύγκριση με την αντίστοιχη κατανομή της περιόδου αναφοράς (1971–2000). Η μετατόπιση προς υψηλότερες τιμές στο μέλλον είναι ιδιαίτερα εμφανής μετά το 40ο εκατοστημόριο της κατανομής με βάση το δείκτη HI, ενώ παρατηρείται σε όλο το φάσμα της κατανομής με βάση το δείκτη HD. Την περίοδο 2071–2100 αναμένεται αύξηση των συνθήκων με τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης» και «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» κατά 171% και κατά 164%, αντίστοιχα, σε σύγκριση με την περίοδο 1971–2000. Η διαφορά του δείκτη HI στα ανώτερα εκατοστημόρια της κατανομής είναι κατά ~1.9 °C υψηλότερη την περίοδο 2071-2100 από ότι την περίοδο 1971–2000. Αντίστοιχα, για το δείκτη HD, η διαφορά είναι από 1.2 έως 1.8 μονάδες υψηλότερη την περίοδο 2071-2100 συγκριτικά με την περίοδο 1971–2000.

Αποτελέσματα στην περιοχή της Θεσσαλονίκης

Β.9.1. Ενδο-δεκαετή και πολύ-δεκαετή κατανομή της θερμής επιβάρυνσης στη Θεσσαλονίκη

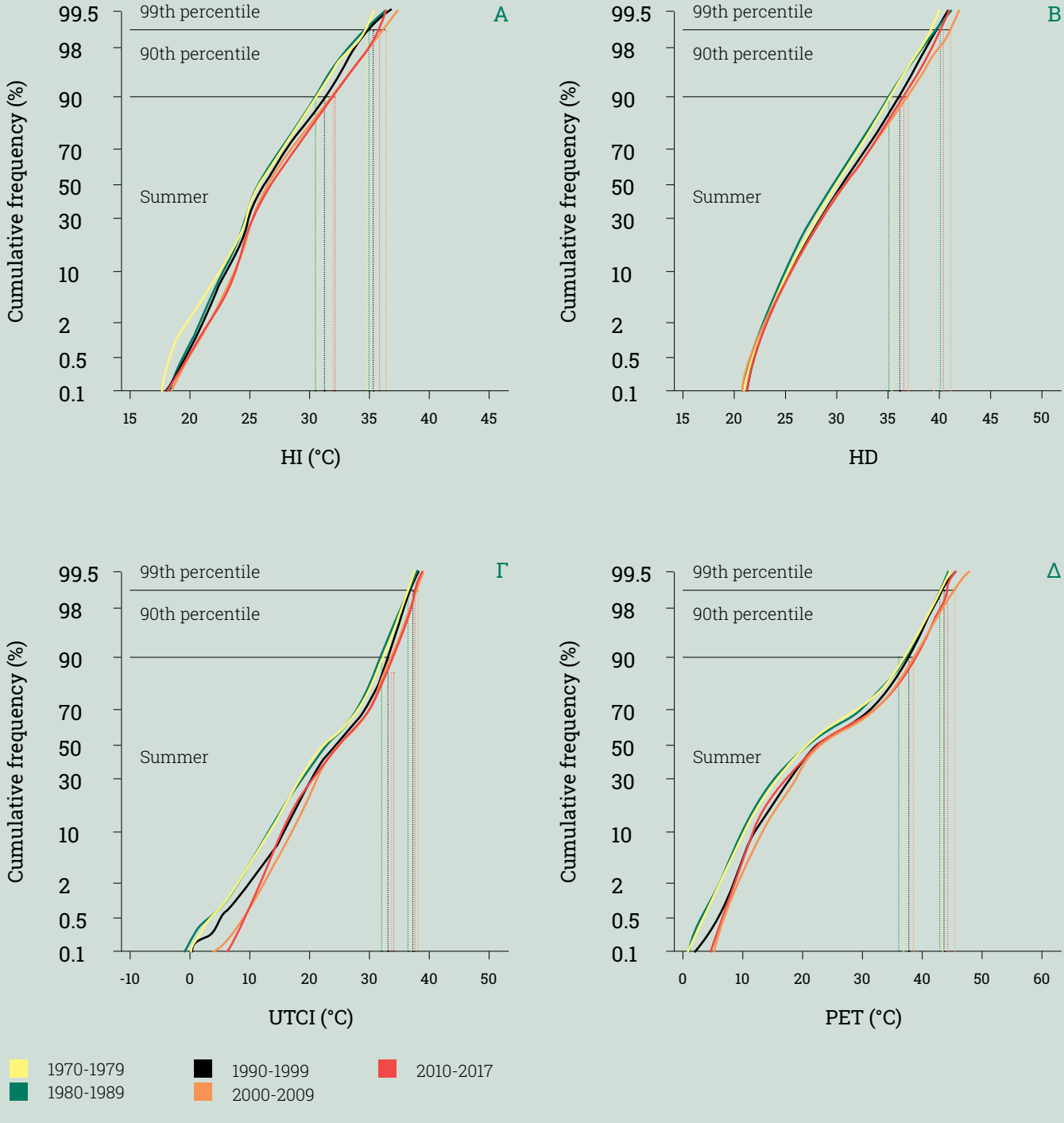
Η Εικόνα Γ13 παρουσιάζει τις καμπύλες της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής (CDFs) των υπό εξέταση δεικτών για την καλοκαιρινή περίοδο (Ιούνιος, Ιούλιος και Αύγουστος) ανά δεκαετία για την περίοδο 1970–2017. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν προοδευτικές μετατοπίσεις των κατανομών προς υψηλότερες τιμές από τη δεκαετία του 1970, οι οποίες παρατηρούνται σχεδόν σε όλο το φάσμα της κατανομής και μεγιστοποιούνται τις δύο τελευταίες δεκαετίες. Οι προοδευτικές μετατοπίσεις προς υψηλότερες τιμές ανά δεκαετία βρίσκονται σε συμφωνία με τις αντίστοιχες μετατοπίσεις που παρατηρήθηκαν στην Αθήνα (Εικόνα Γ1), παρότι παρατηρούνται ποσοτικές διάφορες. Επίσης, στους προηγμένους δείκτες (UTCI, PET), η μετατόπιση των καμπυλών κατανομής προς υψηλότερες τιμές είναι ιδιαίτερα εμφανής και στα κατώτερα επίπεδα των εκατοστημορίων (percentiles).

Η Εικόνα Γ14 παρουσιάζει τη διακύμανση ανά έτος του 98ου εκατοστημορίου των δεικτών, εκφρασμένη ως η διαφορά από τη μέση τιμή του αντίστοιχου εκατοστημορίου για όλη την περίοδο (1970–2017). Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν μια στατιστικά σημαντική αυξητική τάση των μεταβολών για όλους του δείκτες. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990 παρατηρούνται κυρίως αρνητικές μεταβολές για τους δείκτες, γεγονός που υποδηλώνει ότι ο θερμικός κίνδυνος για τον πληθυσμό είναι μικρότερος από τη συνεχιζόμενη έκθεση του σε ένα δυσμενές θερμικά περιβάλλον συγκριτικά με τις μέσες συνθήκες ολόκληρης της περιόδου. Ωστόσο, οι αρνητικές μεταβολές τις πρώτες τρεις δεκαετίες βαίνουν συνεχώς μειούμενες και από τα τέλη της δεκαετίας του 1990 και ύστερα, η μεταβολή αποκτά κυρίως θετικό πρόσημο φτάνοντας έως και το +9% σε συγκεκριμένα έτη.

Η Εικόνα Γ15 απεικονίζει τις καμπύλες της αθροιστικής συνάρτησης κατανομής (CDFs) των δεικτών το καλοκαίρι για δυο υποπεριόδους (1970–1999 και 2000–2017) μαζί με τη διαφορά τους. Τα αποτελέσματα αποκαλύπτουν σημαντικές διαφορές μεταξύ των κατανομών των υπό εξέταση υποπεριόδων σε ένα ευρύ φάσμα τιμών των εκατοστημορίων. Στο εύρος τιμών μεταξύ 21 °C και 34 °C, ο δείκτης HI διαφέρει κατά τουλάχιστον 2 εκατοστιαίες μονάδες μεταξύ των δύο υποπεριόδων και η διαφορά φτάνει έως και τις 8.6 ποσοστιαίες μονάδες (Εικόνα Γ15α). Στα ανώτερα εκατοστημόρια (P90, P95, P99), οι τιμές του δείκτη HI είναι υψηλότερες κατά τουλάχιστον 1.2 °C την περίοδο 2000–2017 σε σύγκριση με την περίοδο 1970–1999. Η διαφορά της τιμής του δείκτη HI στο 90ο εκατοστημόριο (P90) μεταξύ των δυο υποπεριόδων αποκαλύπτει αύξηση του θερμικού κινδύνου κατά μια βαθμίδα στην κλίμακα του δείκτη, από «πολύ θερμό – προσοχή» την περίοδο 1970–1999 σε «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» την περίοδο 2000–2017.

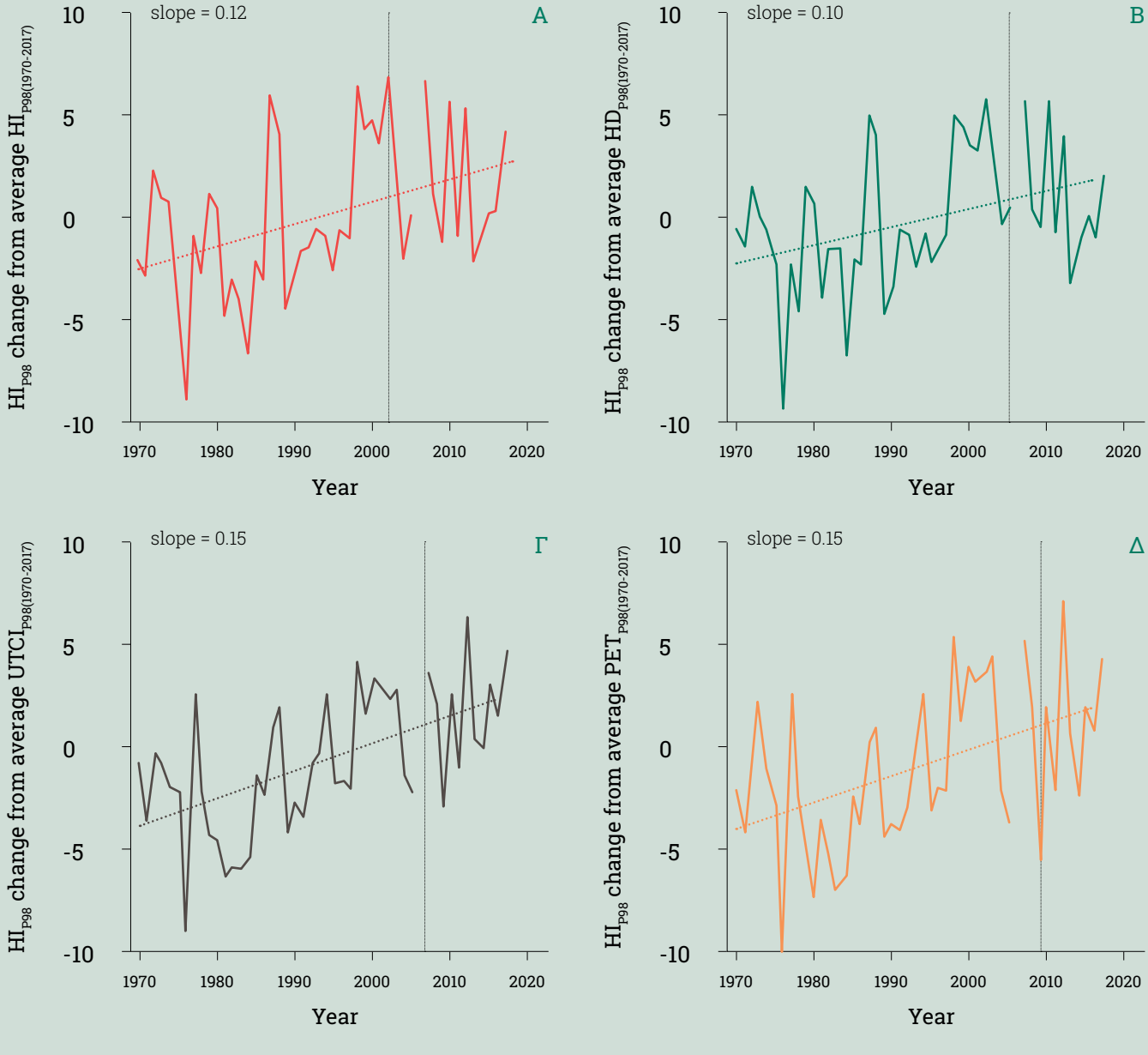
Η Εικόνα Γ15α αποκαλύπτει επίσης ότι η συχνότητα των περιπτώσεων με HI > 27 °C, η οποία υποδεικνύει τουλάχιστον «πολύ θερμό – προσοχή», διαμορφώνεται στο 38.4% την περίοδο 1970–1999, ενώ η αντίστοιχη συχνότητα την περίοδο 2000–2017 διαμορφώνεται στο 46.7%, υποδεικνύοντας μια διαφορά της τάξης του 8.3% και μια σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών κατά 21.6% τις δυο τελευταίες δεκαετίες. Επιπλέον, η συχνότητα των περιπτώσεων με HI > 32 °C, η οποία υποδεικνύει τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή», προσδιορίζεται στο 5.6% την περίοδο 1970–1999 και αυξάνεται στο 10.1% την περίοδο 2000–2017, οδηγώντας σε μια σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών κατά 79.8% την περίοδο 2000–2017.

Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρούνται επίσης για το δείκτη HD, με μια σημαντική μετατόπιση της κατανομής την περίοδο 2000–2017 προς υψηλότερες τιμές του δείκτη σε σύγκριση με την περίοδο 1970–1999 (Εικόνα Γ15β). Οι τιμές του HD μεταξύ των δυο υποπεριόδων διαφέρουν κατά τουλάχιστον 2 ποσοστιαίες μονάδες στην περιοχή τιμών του δείκτη από 26 έως 39, με τη διαφορά να φτάνει έως και τις 8.2 ποσοστιαίες μονάδες στο σημείο κλίμακας 31.8. Η συχνότητα των περιπτώσεων με «μερική δυσφορία» (HD > 30) διαμορφώνεται στο 58.2% την περίοδο 2000–2017, σημειώνοντας αύξηση κατά 12.8% σε σύγκριση με την αντίστοιχη συχνότητα (51.6%) της περιόδου 1970–1999. Τα αποτελέσματα με βάση τους προηγμένους δείκτες (UTCI, PET) αποκαλύπτουν σημαντική μετατόπιση της κατανομής των δεικτών την περίοδο 2000–2017 προς υψηλότερες τιμές, σε όλο το φάσμα των εκατοστημορίων, σε σύγκριση με την κατανομή της περιόδου 1970–1999 (Εικόνες Γ15γ, δ). Συγκεκριμένα, στο εύρος τιμών του UTCI μεταξύ 10 °C και 36 °C παρατηρούνται διαφορές τουλάχιστον 2 ποσοστιαίων μονάδων, ενώ η διαφορά στις δύο παρατηρούμενες κορυφές είναι της

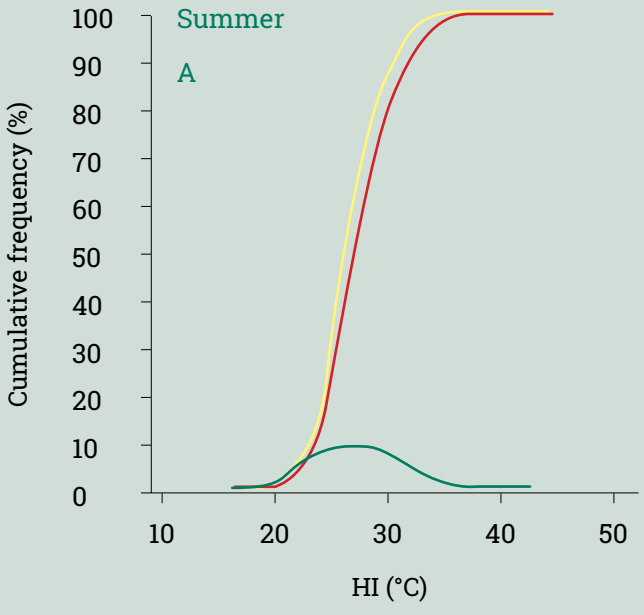


ΕΙΚΟΝΑ Γ13
Αθροιστική συχνότητα κατανομής (CDF) των δεικτών α) HI, β) HD, γ) UTCI και δ) PET ανά δεκαετία το καλοκαίρι για την περίοδο 1970–2017 στη Θεσσαλονίκη.

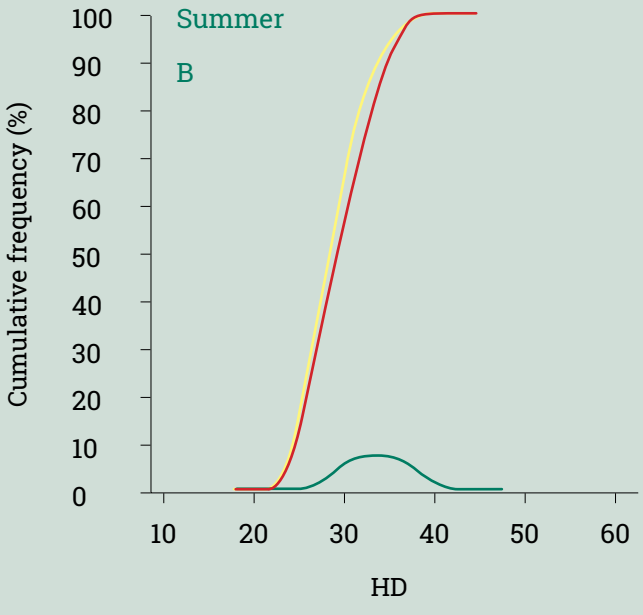
τάξεως των 9 και 8 ποσοστιαίων μονάδων, περίπου στους 18.4 °C και 30.5 °C, αντίστοιχα (Εικόνα Γ15γ). Στα ανώτερα εκατοστημόρια (P90, P95, P99), οι τιμές του δείκτη UTCI είναι σταθερά υψηλότερες κατά τουλάχιστον 1.2 °C τις τελευταίες δύο δεκαετίες σε σύγκριση με την προηγούμενη περίοδο. Ενδεικτικά, αναφέρουμε την περίπτωση του 99ου εκατοστημορίου (P99), στο οποίο παρατηρείται αύξηση του βαθμού καταπόνησης κατά μια βαθμίδα στην κλίμακα του δείκτη, από «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» την περίοδο 1970–1999 σε «πολύ ισχυρή θερμή επιβάρυνση» την περίοδο 2000–2017. Επιπλέον, η συχνότητα των περιπτώσεων με «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI > 32 °C) διαμορφώνεται στο 19.2% την περίοδο 2000–2017, έχοντας σημειώσει αύξηση κατά 61.3% σε σύγκριση με την αντίστοιχη συχνότητα (11.9%) της περιόδου 1970–1999. Ομοίως, οι τιμές PET μεταξύ 7.2 °C και 41.6 °C διαφέρουν κατά τουλάχιστον 2 ποσοστιαίες μονάδες μεταξύ των εξεταζόμενων υποπεριόδων, με τη μέγιστη διαφορά να φτάνει έως και τις 6 ποσοστιαίες μονάδες (Εικόνα Γ15δ). Σημαντικές διαφορές μεταξύ των δύο υποπεριόδων παρατηρούνται στα ανώτερα εκατοστημόρια (P90, P95, P99) του δείκτη PET, με τις διαφορές να είναι μεγαλύτερες του 1.5 °C.



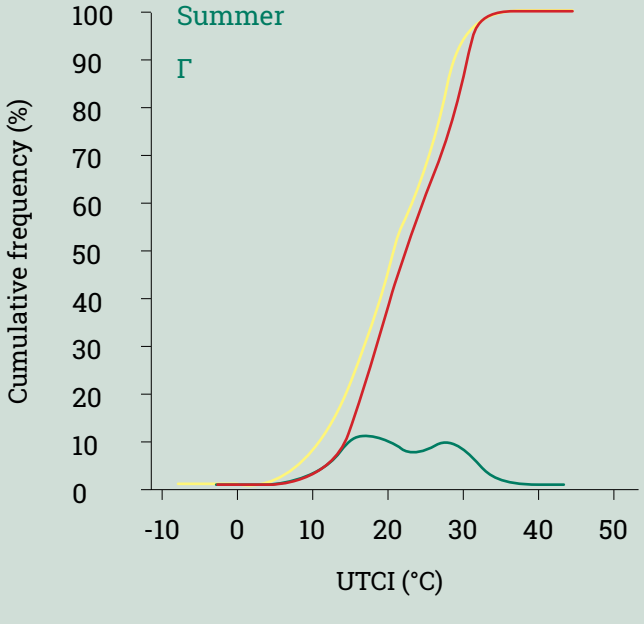
ΕΙΚΟΝΑ Γ14
Ποσοστιαία μεταβολή του 98ου εκατοστημορίου από τη μέση τιμή της περιόδου μελέτης (1970–2017) στη Θεσσαλονίκη για τους δείκτες α) HI, β) HD, γ) UTCI και δ) PET. Η γραμμή τάσης και η κλίση απεικονίζονται επίσης.



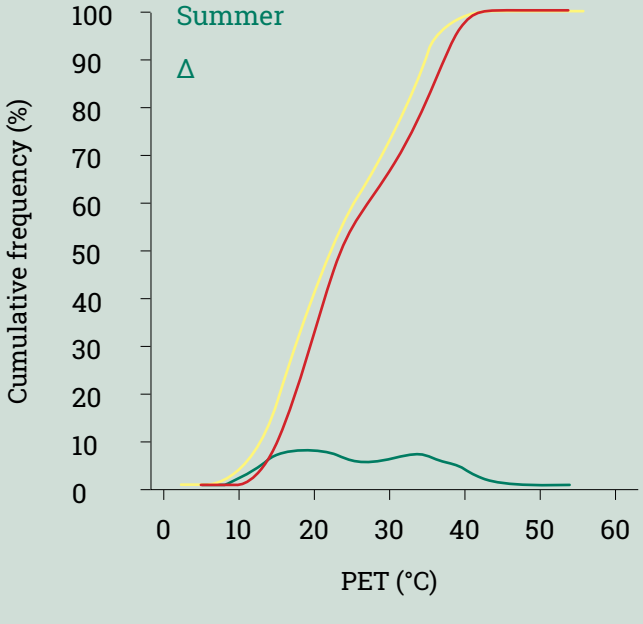
	P(90)	P(95)	P(99)
1970-1999	30.9	32.3	35.1
2000-2017	32.1	33.7	36.3



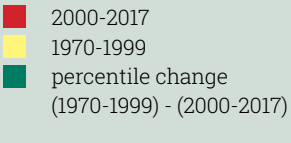
	P(90)	P(95)	P(99)
1970-1999	35.8	37.2	40
2000-2017	37	38.5	41



	P(90)	P(95)	P(99)
1970-1999	32.5	34.1	36.9
2000-2017	33.9	35.5	38.1



	P(90)	P(95)	P(99)
1970-1999	37.1	39.4	43.5
2000-2017	38.7	41.1	45



ΕΙΚΟΝΑ Γ15
Αθροιστική συχνότητα κατανομής (CDF) των δεικτών α) HI, β) HD, γ) UTCI και δ) PET κατά τις δύο υποπεριόδους 1970–1999 και 2000–2017 το καλοκαίρι στη Θεσσαλονίκη. Η εκατοστιαία μεταβολή (percentile change) μεταξύ των υπό εξέταση υποπεριόδων απεικονίζεται επίσης.

Β.9.2. Διαχρονικές διακυμάνσεις και τάσεις του χρόνου έκθεσης υπό θερμή επιβάρυνση στη Θεσσαλονίκη

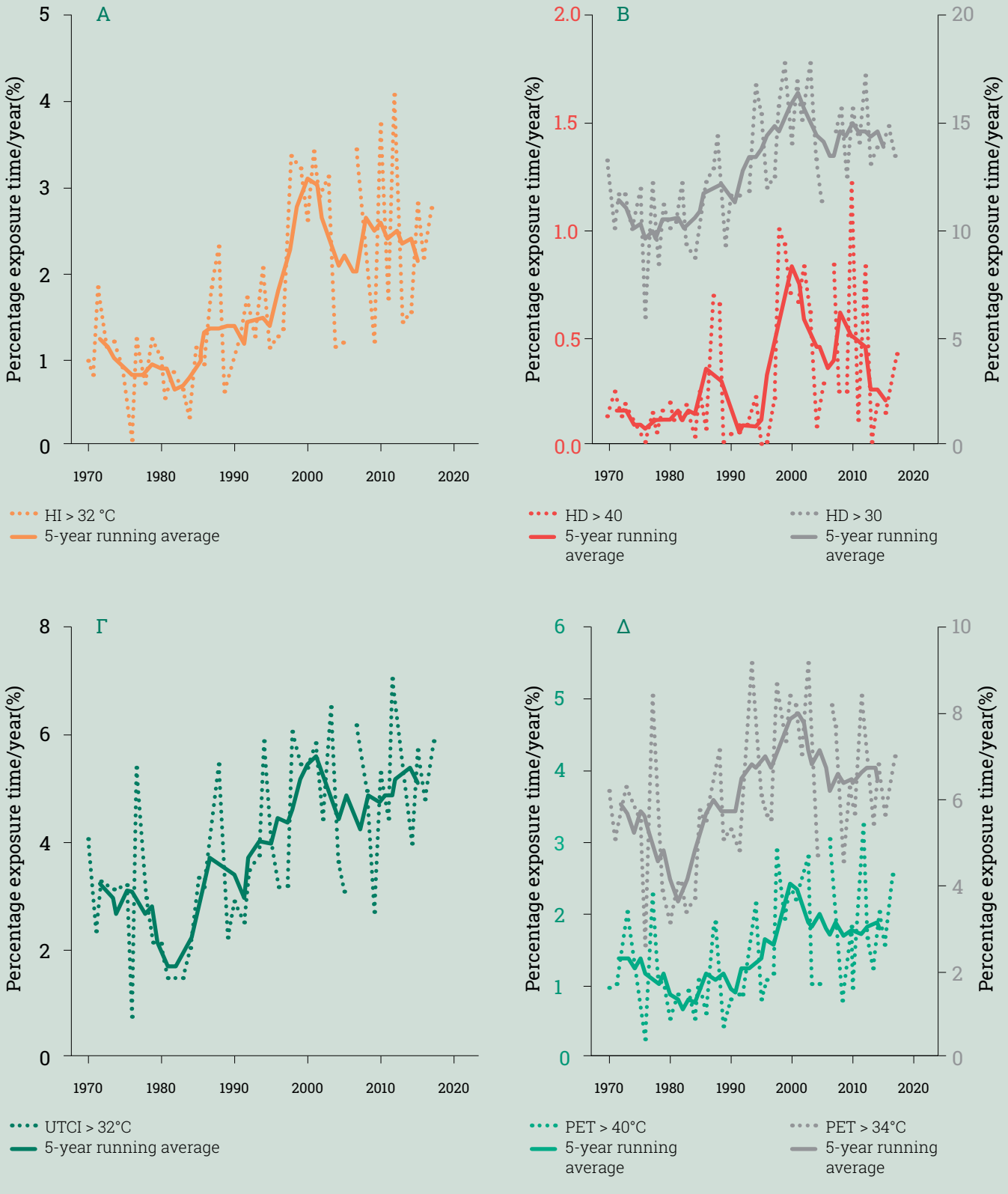
Η Εικόνα Γ16 παρουσιάζει το χρόνο έκθεσης (σε %) ανά έτος υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης, όπως αυτές αντικατοπτρίζονται από τις υπερβάσεις συγκεκριμένων κατωφλίων των ανώτερων κατηγοριών των δεικτών. Τα αποτελέσματα βασίζονται σε πιθανές 3-ωριαίες υπερβάσεις καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1990, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C) είναι ως επί το πλείστον μικρότερος από 2.0% ετησίως (Εικόνα Γ16α). Στη συνέχεια παρατηρείται μια σημαντική ανοδική τάση του χρόνου έκθεσης υπό αυτές τις συνθήκες. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C) διαμορφώνεται στο 1.0% το 1970, αυξανόμενος στο 3.4% το 2001 (σχετική αύξηση κατά 240%) και στο 2.7% το 2017 (σχετική αύξηση κατά 170%). Ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C) παρουσιάζει στατιστικά σημαντική αυξητική τάση, με το ρυθμό αύξησης να διαμορφώνεται στο 0.4%/δεκαετία την περίοδο 1970–2017 (Πίνακας Γ7).

Παρόμοια αποτελέσματα παρατηρούνται από την εφαρμογή του δείκτη HD (Εικόνα Γ16β). Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες τουλάχιστον «μερικής δυσφορίας» (HD > 30) και «μεγάλης δυσφορίας – αποφυγή άσκησης» (HD > 40) διαμορφώνεται κυρίως σε επίπεδα χαμηλότερα των 12.0% και 0.2% ετησίως, αντίστοιχα. Τις επόμενες δυο δεκαετίες παρατηρείται μια σταδιακή αύξηση του χρόνου έκθεσης υπό τις συγκεκριμένες συνθήκες. Ο ρυθμός αύξησης για όλη την περίοδο μελέτης (1970–2017) διαμορφώνεται στο 1.1%/δεκαετία για HD > 30 (στατιστικά σημαντική) και στο 0.08%/δεκαετία για HD > 40 (μη στατιστικά σημαντική) (Πίνακας Γ7).

Τα αποτελέσματα βάσει του δείκτη UTCI αποκαλύπτουν ότι ο χρόνος έκθεσης ανά έτος υπό τουλάχιστον «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI > 32 °C) δεν υπερβαίνει το 4% μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 1990 (Εικόνα Γ16γ), ενώ μια σταδιακή αύξηση παρατηρείται τα επόμενα έτη. Συγκεκριμένα, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες τουλάχιστον «ισχυρής θερμής επιβάρυνσης» διαμορφώνεται στο 4.0% το 1970, αυξανόμενος στο 5.8% το 2001 (σχετική αύξηση κατά 45%) και στο 5.9% το 2017 (σχετική αύξηση κατά 48%). Η ανάλυση τάσεων Mann-Kendall αποκαλύπτει μια στατιστικά σημαντική αυξητική τάση στο χρόνο έκθεσης υπό αυτές τις συνθήκες με ρυθμό 0.7%/δεκαετία την περίοδο 1970–2017 (Πίνακας Γ7). Ομοίως, ο χρόνος έκθεσης βάσει του PET αποκαλύπτει στατιστικά σημαντική αύξηση τόσο υπό συνθήκες τουλάχιστον «ισχυρής θερμής επιβάρυνσης» (PET > 34 °C) όσο και υπό συνθήκες «ακραίας θερμής επιβάρυνσης» (PET > 40 °C), της τάξης του 0.5%/δεκαετία και 0.2%/δεκαετία (Πίνακας Γ7), αντίστοιχα, παρότι ο χρόνος έκθεσης παρουσιάζει μεγάλες διακυμάνσεις ανά έτος (Εικόνα Γ16δ).

Η Εικόνα Γ17 παρουσιάζει το χρόνο έκθεσης υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης κατά τη διάρκεια της νύχτας, μιας και οι επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου διαστήματος της ημέρας έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα επιβαρυντικές για τον ανθρώπινο οργανισμό (Tan et al., 2010, Gabriel and Endlicher, 2011). Το συνολικό μοτίβο του χρόνου έκθεσης κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι παρόμοιο με εκείνο που περιλαμβάνει όλα τα τρίωρα του 24ωρου για όλους τους δείκτες με εξαίρεση τον PET. Έως τις αρχές της δεκαετίας του 1990, ο χρόνος έκθεσης τόσο για τους απλούς δείκτες όσο και για τον UTCI υπό τις εξεταζόμενες συνθήκες θερμής επιβάρυνσης διαμορφώνεται σε χαμηλότερα επίπεδα σε σύγκριση με το χρόνο έκθεσης των επόμενων δεκαετιών (Εικόνα Γ17). Συγκεκριμένα, ο χρόνος έκθεσης υπό συνθήκες τουλάχιστον «πολύ θερμό – προσοχή» (HI > 27 °C), «μερική δυσφορία» (HD > 30) και «μέτρια θερμή επιβάρυνση» (UTCI > 26 °C) έχει αυξηθεί κατά 0.6%/δεκαετία, 1.0%/δεκαετία και 0.07%/δεκαετία, αντίστοιχα, κατά τη διάρκεια της νύχτας την περίοδο 1970-2017 (Πίνακας Γ7). Η ανάλυση τάσεων Mann-Kendall αποκαλύπτει ότι η παρατηρούμενη αύξηση στο χρόνο έκθεσης υπό τις εξεταζόμενες συνθήκες θερμής επιβάρυνσης κατά τη διάρκεια της νύχτας είναι στατιστικά σημαντική μόνο για τους απλούς δείκτες HI και HD.

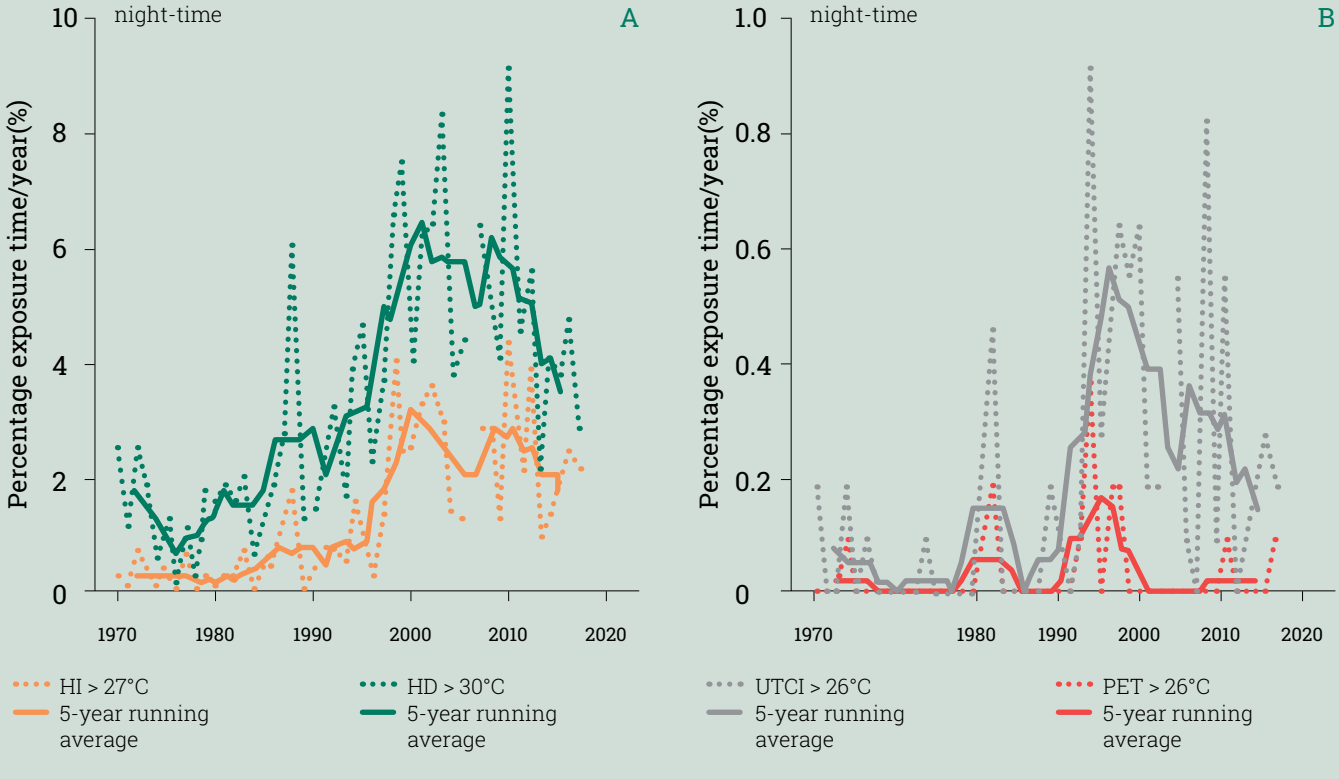
Τα χαμηλά επίπεδα τιμών που προκύπτουν βάσει του PET (Εικόνα Γ17β) πιθανόν να σχετίζονται με τη χαμηλή ευαισθησία του δείκτη στην υγρασία του αέρα και στην αδυναμία του να ποσοτικοποιήσει την επίδραση της υγρασίας (που εμφανίζει υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια της νύχτας) (Chen and Matzarakis, 2018, Provençal et al., 2016). Το συγκεκριμένο εύρημα παρατηρήθηκε και στα αποτελέσματα της Αθήνας.



ΕΙΚΟΝΑ Γ16
Χρόνος έκθεσης (%) του πληθυσμού υπό συνθήκες α) HI > 32°C, β) HD > 40 και HD > 30, γ) UTCI > 32 °C και δ) PET > 40°C και PET > 34 °C για όλα τα 3-ωρα του 24ώρου για την περίοδο 1970–2017 στη Θεσσαλονίκη. Οι έντονες καμπύλες υποδεικνύουν τον 5-ετή κινούμενο μέσο.

Όλες οι ώρες της ημέρας	Τάση του χρόνου έκθεσης ανά έτος (κλίση ± τυπικό σφάλμα)	p-value	Έτος
HI > 32 °C	+0.044 ± 0.008	**6.33E-06**	1998
HD > 40	+0.008 ± 0.003	9.47E-02	-
HD > 30	+0.114 ± 0.022	**1.04E-05**	1997
UTCI > 32 °C	+0.067 ± 0.013	**6.84E-05**	2000
PET > 40 °C	+0.024 ± 0.007	**5.26E-03**	2006
PET > 34 °C	+0.048 ± 0.016	**9.45E-03**	2000
Νυχτερινές ώρες			
HI > 27 °C	+0.061 ± 0.009	**2.31E-07**	1998
HD > 30	+0.101 ± 0.018	**1.02E-06**	1995
UTCI > 26 °C	+0.007 ± 0.002	3.94E-01	-
PET > 26 °C	+0.0006 ± 0.0008	-	-

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ7
Τάση του χρόνου έκθεσης (%) ανά έτος υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης όπως αντικατοπτρίζονται από τις υπερβάσεις συγκεκριμένων κατωφλίων, τόσο για όλες τις ώρες της ημέρας όσο και για τη νύχτα κατά την περίοδο 1970–2017. Οι τιμές p-value της μεθόδου Mann-Kendall (η έντονη γραφή υποδηλώνει στατιστικά σημαντική τάση στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) και το έτος όπου η τάση των χρονοσειρών γίνεται στατιστικά σημαντική παρουσιάζονται επίσης.



ΕΙΚΟΝΑ Γ17
Χρόνος έκθεσης (%) του πληθυσμού υπό συνθήκες α) HI > 27 °C και HD > 30 και β) UTCI > 26 °C και PET > 26 °C για όλα τα 3-ωρα των νυχτερινών ωρών για την περίοδο 1970–2017 στη Θεσσαλονίκη. Οι έντονες καμπύλες υποδεικνύουν τον 5-ετή κινούμενο μέσο.

Β.9.3. Διακυμάνσεις και τάσεις της περιόδου εμφάνισης συνθηκών θερμής επιβάρυνσης στη Θεσσαλονίκη

Στην Εικόνα Γ18 παρουσιάζεται η πρώτη ημέρα και η τελευταία ημέρα εντός του ημερολογιακού έτους όπου παρατηρούνται υπερβάσεις συγκεκριμένων κατωφλίων των ανώτερων κατηγοριών των υπό εξέταση δεικτών κατά την περίοδο 1970–2017. Μια οπτική επιθεώρηση των αποτελεσμάτων βάσει των δεικτών HI και HD αποκαλύπτει ότι οι χρονοσειρές της πρώτης και της τελευταίας ημέρας υπό συνθήκες τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C) και με «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης» (HD > 40) αποκλίνουν με την πάροδο των ετών, ως αποτέλεσμα των αντίστοιχων αρνητικών και θετικών γραμμικών τάσεων (Εικόνα Γ18α, β). Το αποτέλεσμα αυτό συνεπάγεται αφενός ότι η ημερομηνία της πρώτης εμφάνισης συνθηκών «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» μετατοπίζεται νωρίτερα μέσα στο έτος κατά 1.2 ημέρες/δεκαετία και αφετέρου ότι η ημερομηνία της τελευταίας εμφάνισης συνθηκών «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» μετατοπίζεται αργότερα κατά 3.3 ημέρες/δεκαετία (Πίνακας Γ8). Παρόλα αυτά η μέθοδος Mann-Kendall αποκαλύπτει ότι οι παρατηρούμενες μετατοπίσεις στο δείκτη HI τόσο ως προς την πρώτη ημέρα όσο και ως προς την τελευταία ημέρα εμφάνισης δεν είναι στατιστικά σημαντικές (Πίνακας Γ8). Οι αντίστοιχες μετατοπίσεις για το δείκτη HD είναι πιο έντονες και οι κλίσεις των γραμμών τάσης είναι πιο απότομες από εκείνες του HI. Συνεπώς, η πρώτη εμφάνιση της «μεγάλης δυσφορίας – αποφυγή άσκησης» μετατοπίζεται νωρίτερα κατά 5.1 ημέρες/δεκαετία, ενώ η τελευταία εμφάνιση μετατοπίζεται αργότερα κατά 4.3 ημέρες/δεκαετία με την πάροδο των ετών. Στα αποτελέσματα του HD δεν εφαρμόστηκε η μέθοδος Mann-Kendall εξαιτίας της ύπαρξης αρκετών κενών στις χρονοσειρές λόγω μη υπέρβασης του υπό εξέταση κατωφλίου.

Τα αντίστοιχα αποτελέσματα βάσει του UTCI αποκαλύπτουν ότι οι μετατοπίσεις νωρίτερα μέσα στο έτος της πρώτης εμφάνισης με «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI > 32 °C) είναι μεγαλύτερες από τις μετατοπίσεις αργότερα της τελευταίας εμφάνισης (Εικόνα Γ18γ). Συγκεκριμένα, το πρώτο επεισόδιο με «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» μετατοπίζεται νωρίτερα κατά 1.8 ημέρες/δεκαετία, ενώ το τελευταίο επεισόδιο μετατοπίζεται αργότερα κατά 0.4 ημέρες/δεκαετία (Πίνακας Γ8). Η παρατηρούμενη πτωτική τάση της χρονοσειράς της πρώτης ημέρας εμφάνισης και η παρατηρούμενη αυξητική τάση της χρονοσειράς της τελευταίας ημέρας εμφάνισης με «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI > 32 °C) δεν είναι στατιστικά σημαντικές βάσει της μεθόδου Mann-Kendall (Πίνακας Γ8).

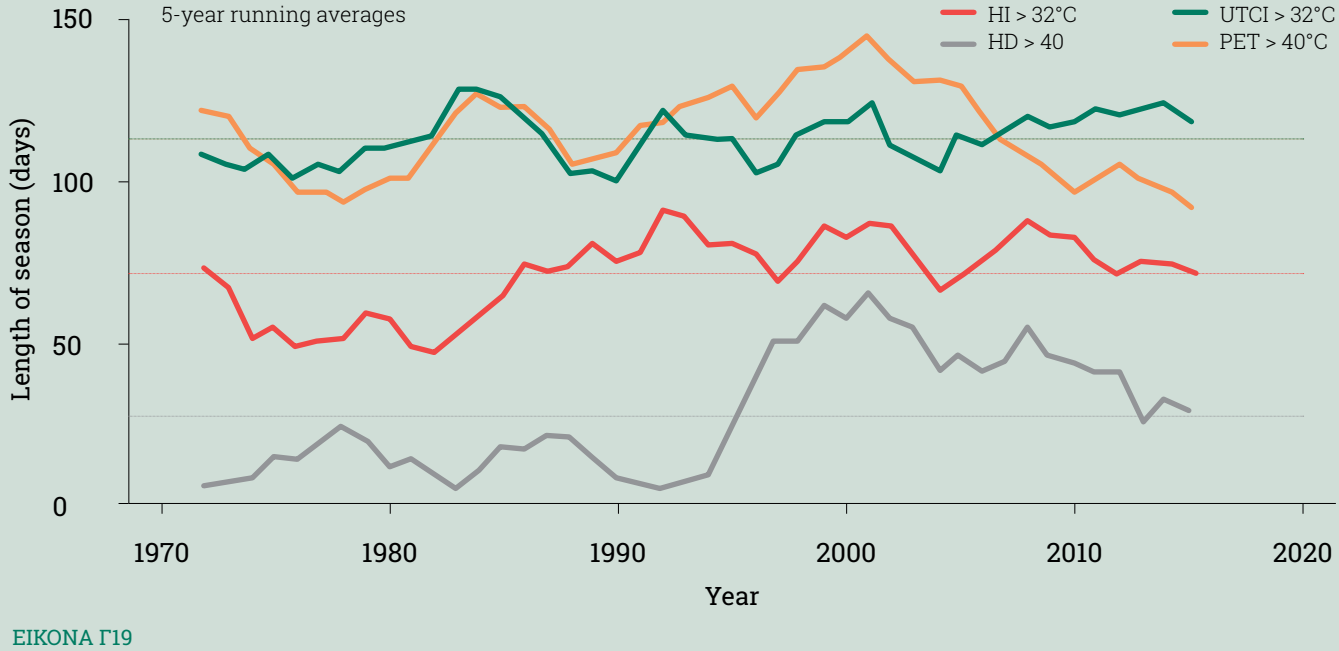
Όλες οι ώρες του 24ωρου	Τάση της πρώτης/τελευταίας ημέρας εμφάνισης (κλίση ± τυπικό σφάλμα)	p-value (πρώτης/τελευταίας)	Έτος (πρώτης/τελευταίας)
HI > 32 °C	−0.123 (± 0.134) / +0.339 (± 0.162)	3.74E-01/1.40E-01	–/–
HD > 40	−0.511 (± 0.189) / +0.430 (± 0.194)	*/*	*/*
UTCI > 32 °C	−0.179 (± 0.155) / +0.041 (± 0.117)	7.26E-02/7.49E-01	–/–
PET > 40 °C	+0.135 (± 0.219) / +0.004 (± 0.182)	5.94E-01/9.43E-01	–/–
	Τάση της διάρκειας της περιόδου (κλίση ± τυπικό σφάλμα)	p-value	Έτος
HI > 32 °C	+0.461 ± 0.227	1.71E-01	–
HD > 40	+0.940 ± 0.257	*/*	*
UTCI > 32 °C	+0.221 ± 0.218	3.03E-01	–
PET > 40 °C	−0.132 ± 0.263	6.70E-01	–

ΠΙΝΑΚΑΣ Γ8
Τάση της πρώτης και της τελευταίας ημέρας εμφάνισης καθώς και της διάρκειας της περιόδου για συγκεκριμένες υπερβάσεις κατωφλίων της θερμής επιβάρυνσης κατά την περίοδο 1970–2017. Οι τιμές p-value της μεθόδου Mann-Kendall (η έντονη γραφή υποδηλώνει στατιστικά σημαντική τάση στο επίπεδο εμπιστοσύνης 95%) και το έτος όπου η τάση των χρονοσειρών γίνεται στατιστικά σημαντική παρουσιάζονται επίσης. Το σύμβολο * υποδηλώνει ότι η μέθοδος Mann-Kendall δεν εφαρμόστηκε επειδή υπήρχαν αρκετά κενά στη χρονοσειρά λόγω μη υπέρβασης των υπό εξέταση κατωφλίων.

Αντιθέτως, τα αποτελέσματα βάσει του PET δεν αποκαλύπτουν ένα σαφές μοτίβο για την πρώτη και για την τελευταία ημέρα εμφάνισης συνθηκών με «ακραία θερμή επιβάρυνση» (PET > 40 °C) (Εικόνα Γ18δ). Συγκεκριμένα, οι χρονοσειρές της πρώτης και της τελευταίας ημέρας εμφάνισης όπου παρατηρείται υπέρβαση του υπό εξέταση κατωφλίου εμφανίζουν ελαφρώς αυξητική τάση την περίοδο 1970–2017, ενώ οι παρατηρούμενες τάσεις δεν είναι στατιστικά σημαντικές (Πίνακας Γ8). Η ελαφρώς αυξητική τάση της χρονοσειράς αναφορικά με την πρώτη ημέρα εμφάνισης συνθηκών με «ακραία θερμή επιβάρυνση» (PET > 40 °C) είναι αντίθετη συγκριτικά με τις αντίστοιχες αρνητικές τάσεις των άλλων δεικτών. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα πιθανόν σχετίζεται με την ισχυρή ευαισθησία του δείκτη στην παράμετρο της μέσης ακτινοβόλου θερμοκρασίας, με αποτέλεσμα να εμφανίζει μεγάλες διακυμάνσεις και να εντοπίζει συχνότερα συνθήκες που οδηγούν σε θερμή επιβάρυνση (Blazejczyk et al., 2012, Provençal et al., 2016).

ΕΙΚΟΝΑ Γ18
Ημερομηνίες (Julian Day) της πρώτης και τελευταίας εμφάνισης όπου α) HI > 32 °C, β) HD > 40, γ) UTCI > 32 °C και δ) PET > 40 °C μέσα σε ένα ημερολογιακό έτος για την περίοδο 1970–2017 στη Θεσσαλονίκη. Η ημερομηνία εκφρασμένη ως Julian Day είναι μια ημέρα του έτους που κυμαίνεται μεταξύ του 1 (1η Ιανουάριου) και του 365 (ή 366 εάν είναι δίσεκτο) (31η Δεκεμβρίου). Οι γραμμές τάσης απεικονίζονται επίσης.

Η παρατηρούμενη μετατόπιση νωρίτερα της πρώτης εμφάνισης μέσα στο έτος καθώς και η μετατόπιση αργότερα της τελευταίας εμφάνισης μέσα στο έτος συνθηκών θερμής επιβάρυνσης βάσει των δεικτών HI, HD και UTCI, οδηγεί σε μια προοδευτική επέκταση της «εποχής θερμής επιβάρυνσης» (heat stress season) με την πάροδο των ετών την περίοδο 1970–2017. Η Εικόνα Γ19 παρουσιάζει τη διάρκεια της «εποχής θερμής επιβάρυνσης» (heat stress season) για τους υπό εξέταση δείκτες για την περίοδο μελέτης. Τα αποτελέσματα υποδεικνύουν επιμήκυνση της εποχής υπό συνθήκες με «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C), με «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης» (HD > 40) και με «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI > 32 °C) με ρυθμό 4.6 ημέρες/δεκαετία, 9.4 ημέρες/δεκαετία και 2.2 ημέρες/δεκαετία, αντίστοιχα (Πίνακας Γ8). Όμως η παρατηρούμενη επιμήκυνση με βάση τους δείκτες HI και UTCI δεν είναι ακόμη στατιστικά σημαντική, ενώ στην περίπτωση του HD δεν εφαρμόστηκε η μέθοδος Mann-Kendall εξαιτίας της ύπαρξης αρκετών κενών στις χρονοσειρές της πρώτης και της τελευταίας ημέρας εμφάνισης, λόγω μη υπέρβασης του υπό εξέταση κατωφλίου, με αποτέλεσμα την αδυναμία υπολογισμού της «εποχής θερμής επιβάρυνσης» στα αντίστοιχα έτη. Η χρονοσειρά της εποχής με «ακραία θερμή επιβάρυνση» (PET > 40 °C) παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις ανά περιόδους (Εικόνα Γ19), ενώ συνολικά για την περίοδο μελέτης (1970–2017) η χρονοσειρά εμφανίζει πτωτική τάση, μη στατιστικά σημαντική (Πίνακας Γ8).



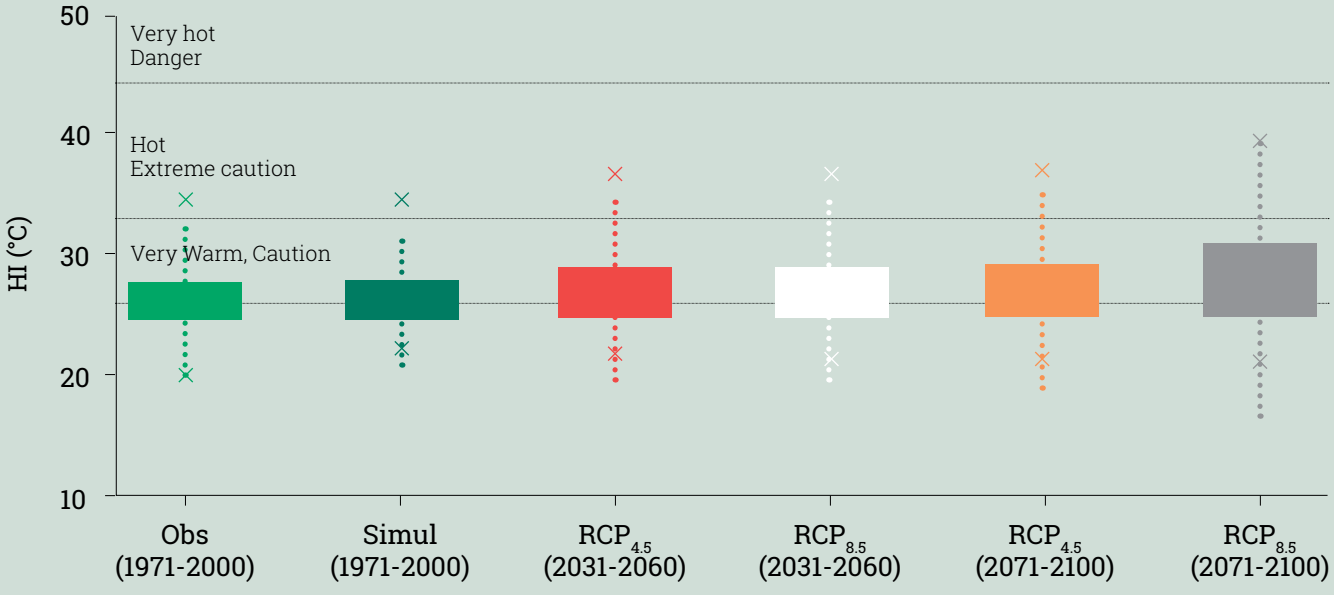
ΕΙΚΟΝΑ Γ19
5-ετης κινούμενος μέσος της περιόδου υπέρβασης των ορίων θερμής επιβάρυνσης των δεικτών HI, HD, UTCI και PET για την περίοδο 1970–2017 στη Θεσσαλονίκη. Η διάρκεια της «εποχής» αναφέρεται στον αριθμό ημερών μεταξύ της πρώτης και της τελευταίας εμφάνισης όπου παρατηρούνται οι εν λόγω υπερβάσεις σε ένα ημερολογιακό έτος. Οι διακεκομμένες γραμμές υποδεικνύουν τους αντίστοιχους μέσους όρους σε κάθε κατώφλι κατά την περίοδο 1970–2017.

Β.9.4.
Διακυμάνσεις και τάσεις της περιόδου εμφάνισης συνθηκών θερμής επιβάρυνσης στη Θεσσαλονίκη

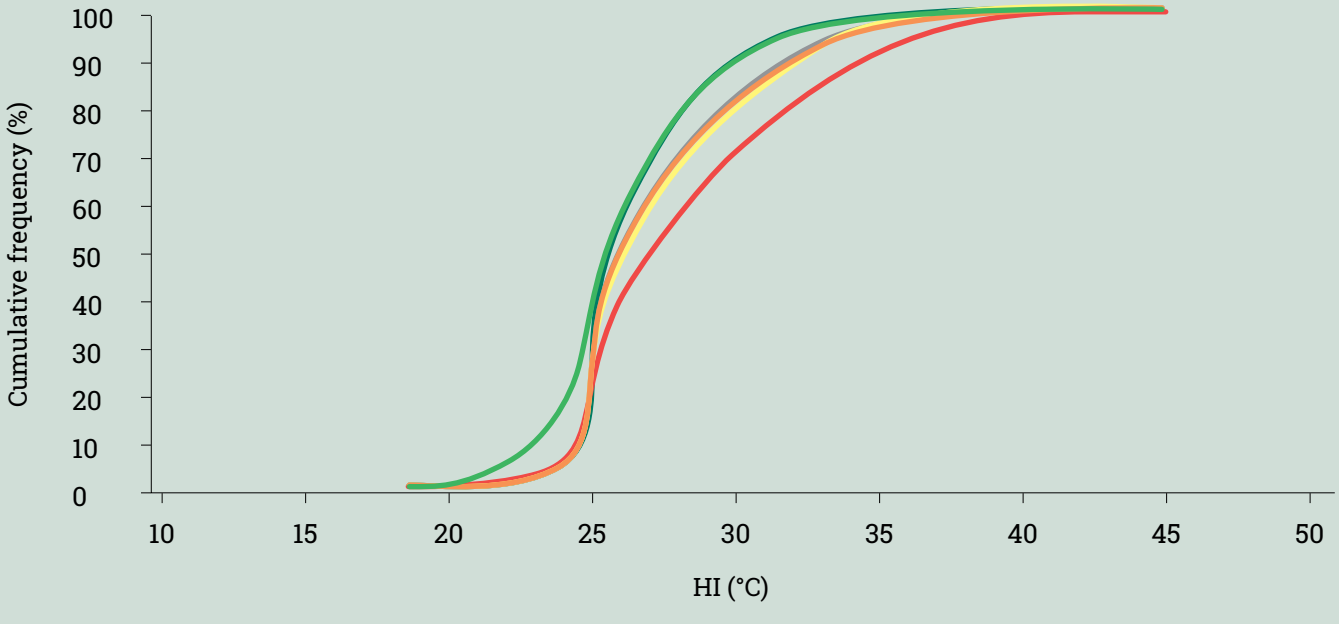
Η Εικόνα Γ20 παρουσιάζει με τη μορφή θηκογράμματος τα επίπεδα τιμών του δείκτη HI την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HI στο εγγύς (2031–2060) και στο απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό τα μελλοντικά σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5 στη Θεσσαλονίκη. Μια οπτική επιθεώρηση των αποτελεσμάτων αποκαλύπτει αύξηση των τιμών του δείκτη στο μέλλον ανάλογα με το σενάριο και την περίοδο, με αποτέλεσμα μεγαλύτερος αριθμός περιπτώσεων να κατατάσσεται στις ανώτερες κατηγορίες της κλίμακας του δείκτη. Η μέση τιμή του HI την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τόσο τις παρατηρήσεις όσο και τις προσομοιώσεις δεν υπερβαίνει το κατώφλι των 27 °C («πολύ θερμό – προσοχή»), ενώ στο μέλλον αναμένεται υπέρβαση του συγκεκριμένου κατωφλίου τόσο για το σενάριο εκπομπών RCP4.5 όσο και για το RCP8.5. Συγκεκριμένα, η μέση τιμή στο μέλλον σε σχέση με την αντίστοιχη τιμή της περιόδου αναφοράς βάσει των παρατηρήσεων αναμένεται να αυξηθεί κατά 4.1% την περίοδο 2031–2060 υπό το σενάριο RCP4.5, κατά 4.4% την περίοδο 2031–2060 υπό το σενάριο RCP8.5, κατά 4.7% την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP4.5 και κατά 8.3% την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP8.5.

Η αύξηση στα επίπεδα τιμών του δείκτη HI στο μέλλον παρατηρείται σε όλο το εύρος των καμπυλών κατανομής, αλλά μεγιστοποιείται στα ανώτερα επίπεδα των εκατοστημορίων (percentiles) (Εικόνα Γ21). Όπως είναι αναμενόμενο η καμπύλη κατανομής για το απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το σενάριο εκπομπών RCP8.5 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη μετατόπιση προς υψηλότερες τιμές του δείκτη συγκριτικά με την περίοδο αναφοράς (1971–2000). Ενδεικτικά αναφέρεται ότι στο 90ο εκατοστημόριο (P90) παρατηρούνται υψηλότερες τιμές του δείκτη HI κατά τουλάχιστον 1.7 °C στο εγγύς μέλλον (2031–2060) και κατά τουλάχιστον 2.1 °C στο απώτερο μέλλον (2071–2100) ανεξάρτητα από το ακολουθούμενο σενάριο συγκριτικά με την περίοδο αναφοράς (1971–2000) βάσει των παρατηρήσεων. Σύμφωνα με τα κατώφλια του δείκτη HI, το 90ο εκατοστημόριο της περιόδου 1971–2000 αντιστοιχεί στην κατηγορία «πολύ θερμό – προσοχή», ενώ στις μελλοντικές περιόδους 2031–2060 υπό το κλιματικό σενάριο RCP8.5 και 2071–2100 υπό τα κλιματικά σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 αντιστοιχεί στην κατηγορία «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή», γεγονός που υποδεικνύει αύξηση του θερμικού κινδύνου στο μέλλον για τον πληθυσμό της Θεσσαλονίκης κατά μια βαθμίδα στην κλίμακα του δείκτη στο συγκεκριμένο εκατοστημόριο. Το γεγονός ότι οι καμπύλες κατανομής του δείκτη μετατοπίζονται προς υψηλότερες τιμές στο μέλλον ακόμη και στα χαμηλά εκατοστημόρια (< P30), υποδεικνύει ότι οι θερμικές συνθήκες στο μέλλον κατά τη διάρκεια της νύχτας θα διαφοροποιηθούν από τη σημερινή κατάσταση. Παρότι η παρατηρούμενη αύξηση των τιμών του HI στα χαμηλά εκατοστημόρια δεν υπερβαίνει το κατώφλι των 27 °C («πολύ θερμό – προσοχή»), ο ανθρώπινος οργανισμός πιθανόν να υφίσταται πίεση στην προσπάθεια του να ηρεμήσει και να επανέλθει από το θερμικό στρες της ημέρας σε ένα περιβάλλον πιο επιβαρυντικό από ότι είναι σήμερα.

Η Εικόνα Γ21 αποκαλύπτει επίσης ότι η συχνότητα των περιπτώσεων με HI > 32 °C, η οποία υποδεικνύει τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή», προσδιορίζεται στο 4.0% την περίοδο 1971–2000 και αυξάνεται στο 9.1% την περίοδο 2031–2060 υπό το σενάριο RCP4.5, στο 10.1% την περίοδο 2031–2060 υπό το σενάριο RCP8.5, στο 10.5% την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP4.5 και στο 18.5% την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP8.5, οδηγώντας σε μια σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών (HI > 32 °C) κατά 127.5%, 152.5%, 162.5% και 362.5%, αντίστοιχα, στο μέλλον.



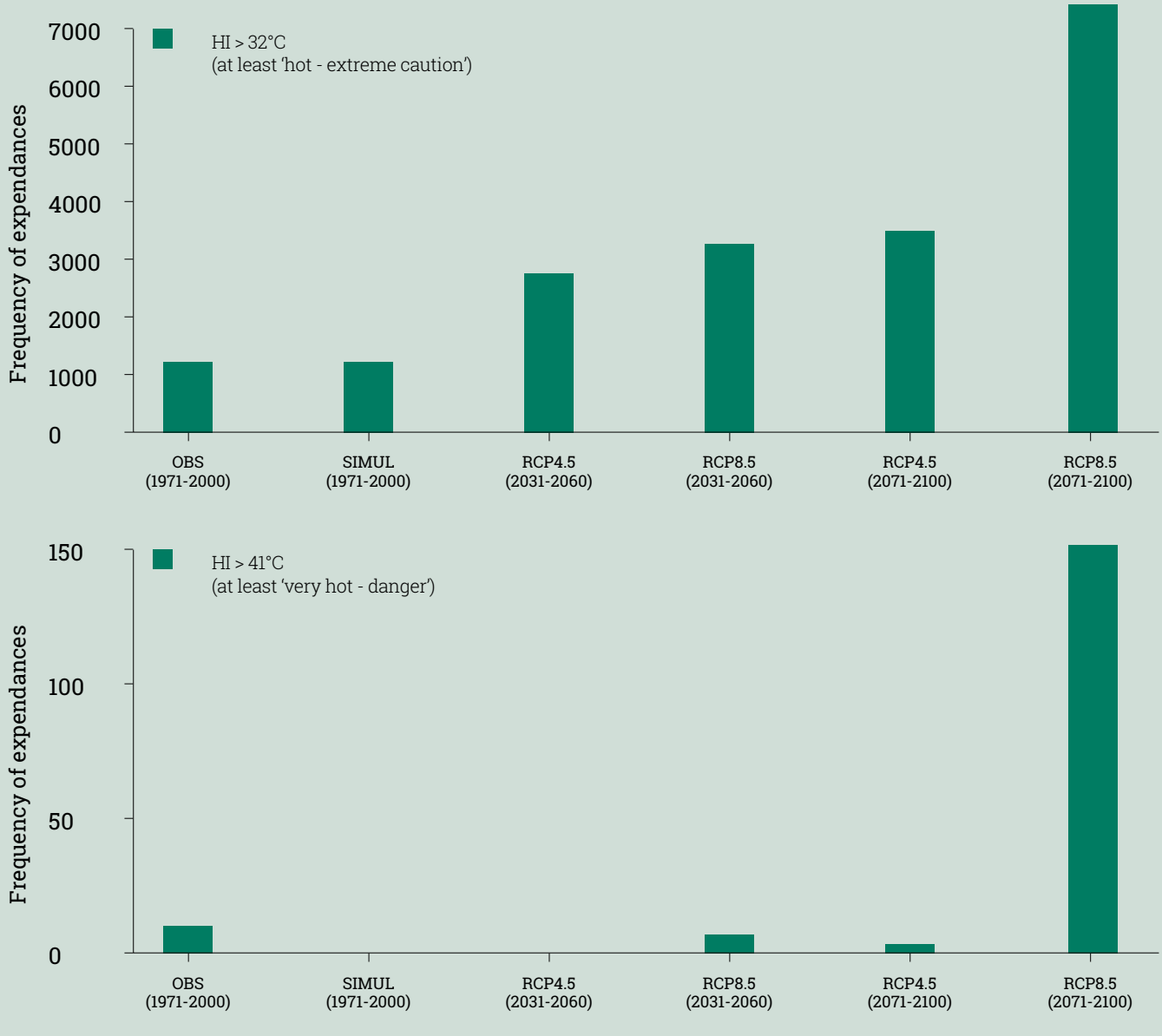
ΕΙΚΟΝΑ Γ20
Θηκόγραμμα του HI (Heat Index) για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HI στο εγγύς (2031–2060) και απώτερο (2071–2100) μέλλον βάσει προσομοιώσεων υπό τα μελλοντικά σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5 στη Θεσσαλονίκη.



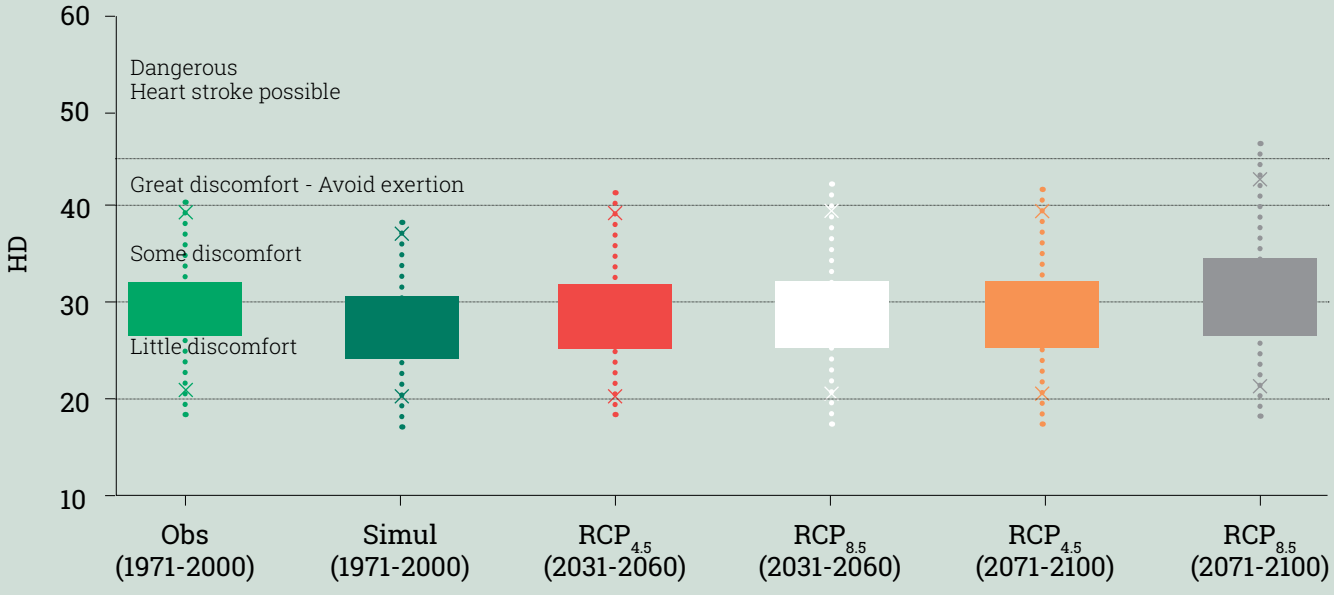
	P(90)	P(95)	P(99)
Obs (1971-2000)	30.1	31.6	34.6
Simul (1971-2000)	30.3	31.9	34.5
RCP4.5 (2031-2060)	31.8	33.6	36.6
RCP8.5 (2031-2060)	32.1	33.8	36.8
RCP4.5 (2071-2100)	32.2	34	36.8
RCP8.5 (2071-2100)	34.5	34.5	39.7

ΕΙΚΟΝΑ Γ21
Αθροιστική συχνότητα κατανομής (CDF) του HI (Heat Index) για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HI στο εγγύς (2031–2060) και απώτερο (2071–2100) μέλλον βάσει προσομοιώσεων υπό τα μελλοντικά σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5 στη Θεσσαλονίκη.

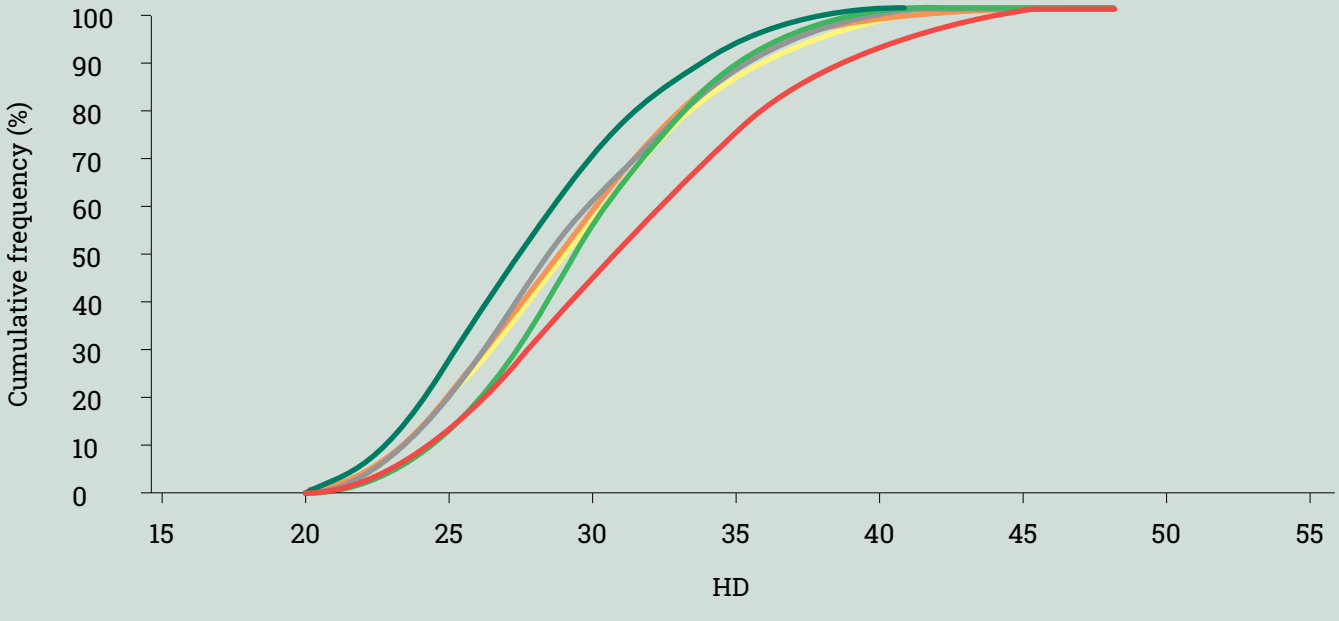
Η Εικόνα Γ22 παρουσιάζει τον απόλυτο αριθμό υπερβάσεων με βάση τις 3-ωρες τιμές της περιόδου αναφοράς (1971–2000) και των μελλοντικών περιόδων (2031–2060, 2071–2100) υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 για τα κατώφλια HI > 32 °C (τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή») και HI > 41 °C (τουλάχιστον «πάρα πολύ ζεστό – κίνδυνος»). Οι υπερβάσεις την περίοδο 1971–2000 βάσει των επίγειων παρατηρήσεων διαμορφώνονται στις 6 περιπτώσεις, όπου ο πληθυσμός της Αθήνας υπόκειται σε «πάρα πολύ ζεστό – κίνδυνος» (HI > 41 °C) και στις 1148 περιπτώσεις υπό συνθήκες με «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C). Στο μέλλον ο αντίστοιχος αριθμός υπερβάσεων αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά. Συγκεκριμένα, για το κατώφλι των 32 °C, οι υπερβάσεις αναμένεται να διαμορφωθούν στις 2933 περιπτώσεις την περίοδο 2031–2060 υπό το σενάριο RCP4.5, στις 3373 την περίοδο 2031–2060 υπό το σενάριο RCP8.5, στις 3490 την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP4.5 και στις 7380 περιπτώσεις την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP8.5. Οι παρατηρούμενες υπερβάσεις στο μέλλον οδηγούν σε σχετική αύξηση κατά 155.5% (2031–2060, RCP4.5), 193.8% (2031–2060, RCP8.5), 204.0% (2071–2100, RCP4.5) και 542.9% (2071–2100, RCP8.5) σε σχέση με τις υπερβάσεις της περιόδου αναφοράς (1971–2000). Ο αριθμός υπερβάσεων του ανώτερου κατωφλίου (41 oC) στο εγγύς μέλλον (2031–2060) και υπό το σενάριο RCP4.5 είναι περιορισμένος, όμως στο απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το σενάριο RCP8.5 αναμένεται δραματική αύξηση (155 περιπτώσεις, σχετική αύξηση 2483.3%).



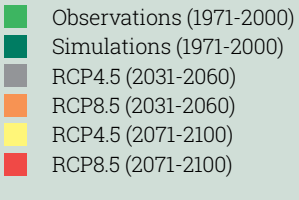
ΕΙΚΟΝΑ Γ22
Συχνότητα υπερβάσεων (απόλυτος αριθμός 3-ωρων) όταν HI > 32 °C (τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή») και HI > 41 °C (τουλάχιστον «πάρα πολύ ζεστό – κίνδυνος») για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HI στο εγγύς (2031–2060) και απώτερο (2071–2100) μέλλον βάσει προσομοιώσεων υπό τα μελλοντικά σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5 στη Θεσσαλονίκη.



ΕΙΚΟΝΑ Γ23
Θηκόγραμμα του HD (Humidex) για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HD στο εγγύς (2031–2060) και απώτερο (2071–2100) μέλλον βάσει προσομοιώσεων υπό τα μελλοντικά σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5 στη Θεσσαλονίκη.



	P(90)	P(95)	P(99)
Obs (1971-2000)	35.1	36.5	39.6
Simul (1971-2000)	33.2	34.7	37.1
RCP4.5 (2031-2060)	35.1	36.7	39.5
RCP8.5 (2031-2060)	35.5	37.2	39.9
RCP4.5 (2071-2100)	35.5	37.1	398
RCP8.5 (2071-2100)	38.2	40.2	43



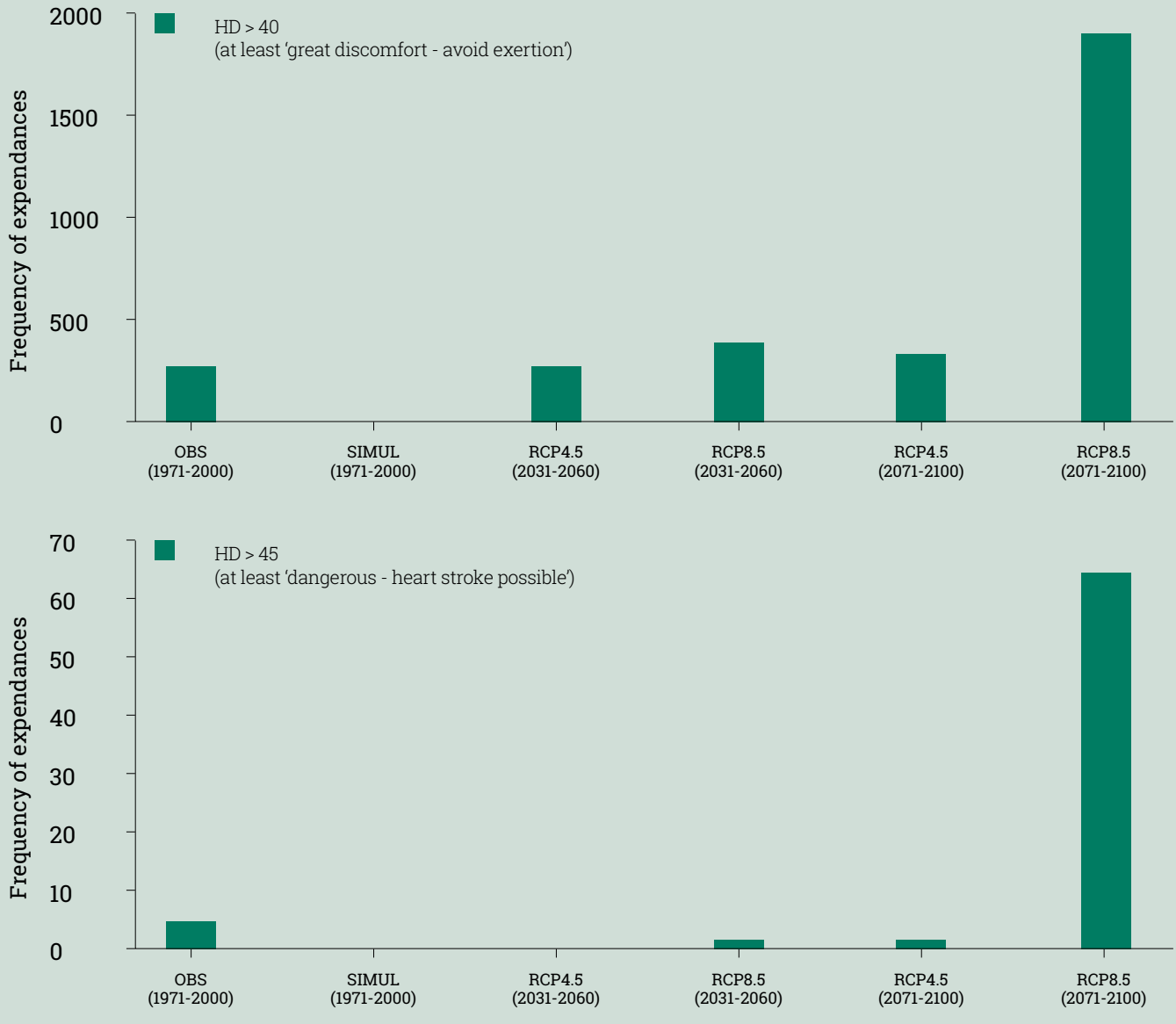
ΕΙΚΟΝΑ Γ24
Αθροιστική συχνότητα κατανομής (CDF) του HI (Heat Index) για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HI στο εγγύς (2031–2060) και απώτερο (2071–2100) μέλλον βάσει προσομοιώσεων υπό τα μελλοντικά σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5 στη Θεσσαλονίκη.

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δείκτη HD (Εικόνες Γ23, Γ24) παρουσιάζουν ορισμένες διαφορές σε σύγκριση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του HI. Ο δείκτης HD δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές στο εγγύς μέλλον (2031–2060) και για τα δυο σενάρια, αλλά και στο απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το σενάριο RCP4.5 όταν η σύγκριση πραγματοποιείται με τα επίπεδα τιμών του δείκτη που προκύπτουν από τις επίγειες παρατηρήσεις της περιόδου αναφοράς (1971–2000). Παρόλα αυτά παρατηρείται σημαντική αύξηση της μέσης και της διαμέσου τιμής του HD στο απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το σενάριο RCP8.5, η οποία υποδεικνύει αύξηση του βαθμού δυσφορίας από «μικρή» την περίοδο 1971–2000 σε «μερική» την περίοδο 2071–2100.

Η κατανομή του HD για το απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το σενάριο RCP8.5 μετατοπίζεται σημαντικά προς υψηλότερες τιμές σε σχέση με την κατανομή της περιόδου 1971–2000, ενώ η μετατόπιση παρατηρείται σε μεγάλο εύρος των εκατοστημορίων (Εικόνα Γ24). Αντιθέτως, η παρατηρούμενη μετατόπιση των καμπυλών κατανομής για το εγγύς μέλλον (2031–2060) αλλά και για το απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το σενάριο RCP4.5 είναι μικρή. Η συχνότητα των περιπτώσεων με HD > 30, η οποία υποδεικνύει τουλάχιστον «μερική δυσφορία», διαμορφώνεται στο 53% την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP8.5, ενώ η αντίστοιχη συχνότητα την περίοδο 1971–2000 (από παρατηρήσεις) είναι σαφώς μικρότερη και διαμορφώνεται στο 41.8%, αποκαλύπτοντας μια διαφορά της τάξης του 11.2% και μια σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών κατά 26.8% στο μέλλον. Επιπλέον, η συχνότητα των περιπτώσεων με HD > 40, η οποία υποδεικνύει τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης», προσδιορίζεται στο 0.7% την περίοδο 1971–2000 (από παρατηρήσεις) και αυξάνεται στο 5.2% την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP8.5, οδηγώντας σε μια σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών κατά 642.9% στο απώτερο μέλλον (2071–2100).

Το 95ο και 99ο εκατοστημόριο του δείκτη HD την περίοδο 1971–2000 αντιστοιχεί στην κατηγορία «μερική δυσφορία», ενώ στη μελλοντική περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP8.5 αντιστοιχεί στην κατηγορία «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης», γεγονός που υποδεικνύει αύξηση του θερμικού κινδύνου στο μέλλον για τον πληθυσμό της Θεσσαλονίκης κατά μια βαθμίδα στην κλίμακα του δείκτη στα ανώτερα εκατοστημόρια (Εικόνα Γ24).

Η Εικόνα Γ25 παρουσιάζει τον απόλυτο αριθμό υπερβάσεων με βάση τις 3-ωρες τιμές της περιόδου αναφοράς (1971–2000) και των μελλοντικών περιόδων (2031–2060, 2071–2100) υπό τα σενάρια RCP4.5 και RCP8.5 για τα κατώφλια HD > 40 (τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης») και HD > 45 (τουλάχιστον «κίνδυνος – πιθανή θερμοπληξία»). Ο αριθμός των υπερβάσεων για HD > 40 στο εγγύς μέλλον (2031–2060) υπό το σενάριο RCP4.5 διαμορφώνεται σε αντίστοιχα επίπεδα με την περίοδο αναφοράς (1971-2000) βάσει των παρατηρήσεων. Αντιθέτως, για το ίδιο κατώφλι, οι υπερβάσεις αναμένεται να διαμορφωθούν στις 276 περιπτώσεις την περίοδο 2031–2060 υπό το σενάριο RCP8.5, στις 248 την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP4.5 και στις 1937 περιπτώσεις την περίοδο 2071–2100 υπό το σενάριο RCP8.5 σε σχέση με τον αριθμό υπερβάσεων (192 περιπτώσεις) της περιόδου αναφοράς (1971–2000). Οι παρατηρούμενες υπερβάσεις οδηγούν σε σχετική αύξηση κατά 43.8% (2031–2060, RCP8.5), 29.2% (2071–2100, RCP4.5) και 908.9% (2071–2100, RCP8.5) στο μέλλον σε σχέση με τις υπερβάσεις της περιόδου αναφοράς (1971–2000). Ο αριθμός υπερβάσεων του ανώτερου κατωφλίου (HD > 45) τόσο στο εγγύς μέλλον (2031–2060) όσο και υπό το σενάριο RCP4.5 είναι περιορισμένος, όμως στο απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το σενάριο RCP8.5 αναμένεται τουλάχιστον δεκαπλασιασμός των υπερβάσεων (66 περιπτώσεις, σχετική αύξηση 1000%) σε σχέση με τις υπερβάσεις (6 περιπτώσεις) της περιόδου αναφοράς (1971–2000).



ΕΙΚΟΝΑ Γ25
Συχνότητα υπερβάσεων (απόλυτος αριθμός 3-ωρων) όταν HD > 40 (τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης») και HD > 45 (τουλάχιστον «κίνδυνος – πιθανή θερμοπληξία») για την περίοδο αναφοράς (1971–2000) με βάση τα δεδομένα επίγειων παρατηρήσεων και προσομοιώσεων καθώς και προβολή του HD στο εγγύς (2031–2060) και απώτερο (2071–2100) μέλλον βάσει προσομοιώσεων υπό τα μελλοντικά σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5 στη Θεσσαλονίκη.

Β.9.5.
Συζήτηση και συμπεράσματα για τη Θεσσαλονίκη

Τα αποτελέσματα για την περιοχή της Θεσσαλονίκης αποκαλύπτουν μια σταδιακή αύξηση των επιπέδων θερμής επιβάρυνσης τα τελευταία 48 χρόνια (1970–2017), όπως ακριβώς παρατηρήθηκε και για την περίπτωση της Αθήνας. Η κατανομή των επιπέδων θερμικής επιβάρυνσης εκτιμήθηκε με την εφαρμογή δύο προηγμένων θερμικών (ή βιοκλιματικών) δεικτών (UTCI, PET) και δύο απλών δεικτών (HI, HD), ως προς τη θεώρηση τους. Η μετατόπιση της κατανομής των δεικτών προς υψηλότερες τιμές τις τελευταίες δεκαετίες παρατηρείται σε όλο το εύρος τιμών της κατανομής και δεν περιορίζεται μόνο στο άνω άκρο της.

Την περίοδο 1970–2017, ο χρόνος έκθεσης του πληθυσμού υπό συνθήκες τουλάχιστον «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI), «μερική δυσφορία» (HD), «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI) και «ακραία θερμή επιβάρυνση» (PET) παρουσιάζει στατιστικά σημαντική αυξητική τάση με ρυθμό 0.4 %/δεκαετία, 1.1 %/δεκαετία, 0.7 %/δεκαετία και 0.2 %/δεκαετία, αντίστοιχα. Κατά τη διάρκεια των νυχτερινών ωρών, ωστόσο, μόνο οι απλοί δείκτες υποδεικνύουν στατιστικά σημαντική αυξητική τάση στο χρόνο έκθεσης υπό συνθήκες θερμής επιβάρυνσης. Επιπλέον, τα ιδιαίτερα χαμηλά επίπεδα τιμών που προκύπτουν βάσει του PET πιθανόν αντανακλούν τόσο τη χαμηλή ευαισθησία του δείκτη στην υγρασία του αέρα όσο και την αδυναμία του να ποσοτικοποιήσει την επίδραση της υγρασίας (Chen and Matzarakis, 2018, Provençal et al., 2016), η οποία κατά τη διάρκεια της νύχτας εμφανίζει συνήθως υψηλότερες τιμές. Το συγκεκριμένο αποτέλεσμα παρατηρήθηκε και στην ανάλυση για την Αθήνα.

Παρότι οι τρεις από τους τέσσερις δείκτες αποκαλύπτουν αφενός ότι η πρώτη εμφάνιση συνθηκών θερμής επιβάρυνσης μετατοπίζεται ελαφρώς νωρίτερα μέσα στο έτος και αφετέρου ότι η τελευταία εμφάνιση συνθηκών θερμής επιβάρυνσης μετατοπίζεται ελαφρώς αργότερα μέσα στο έτος την περίοδο 1970–2017, οι παρατηρούμενες μετατοπίσεις δεν καθιστούν στατιστικά σημαντικές τις αντίστοιχες χρονοσειρές. Συνεπώς, η διαμορφούμενη επιμήκυνση της «εποχής θερμής επιβάρυνσης» (heat stress season) για τη Θεσσαλονίκη δεν είναι στατιστικά σημαντική. Παρόλα αυτά ο ρυθμός επιμήκυνσης της εποχής υπό συνθήκες με «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C), με «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης» (HD > 40) και με «ισχυρή θερμή επιβάρυνση» (UTCI > 32 °C) διαμορφώνεται σε 4.6 ημέρες/δεκαετία, 9.4 ημέρες/δεκαετία και 2.2 ημέρες/δεκαετία, αντίστοιχα. Οι παρατηρούμενες διαφορές στην επιμήκυνση της «εποχής θερμής επιβάρυνσης» (heat stress season) μεταξύ των δεικτών πιθανότατα σχετίζονται τόσο με τη διαφορετική θεώρηση του κάθε δείκτη όσο και με τις διαφορετικές ατμοσφαιρικές μεταβλητές που υπεισέρχονται στους υπολογισμούς του κάθε δείκτη (Provençal et al., 2016).

Τέλος, η ανάλυση επικεντρώθηκε στα επίπεδα δυσφορίας τα οποία αναμένεται να διαμορφωθούν στο εγγύς (2031–2060) και απώτερο (2071–2100) μέλλον υπό τα σενάρια εκπομπών RCP4.5 και RCP8.5 στη Θεσσαλονίκη. Η εκτίμηση της επιβάρυνσης στο μέλλον για τον πληθυσμό της Θεσσαλονίκης στηρίχθηκε αποκλειστικά στους απλούς δείκτες HI και HD. Η συγκεκριμένη επιλογή ελήφθη ώστε να αποφευχθούν πιθανές στρεβλώσεις από την εφαρμογή των λογικών δεικτών (UTCI, PET) λόγω της μεγάλης αβεβαιότητας που υπεισέρχεται στην εκτίμηση των παραμέτρων της ταχύτητας του ανέμου και της ακτινοβολίας στο μέλλον, ιδιαίτερα όταν το χρονικό βήμα είναι μικρό (3-ωριαίο), μεταβλητών οι οποίες χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στα μοντέλα για τον υπολογισμό του UTCI και του PET.

Τα αποτελέσματα βάσει του HI αποκαλύπτουν αύξηση των τιμών του δείκτη στο μέλλον ανάλογα με το σενάριο και την περίοδο, με αποτέλεσμα μεγαλύτερος αριθμός περιπτώσεων να κατατάσσεται στις ανώτερες κατηγορίες της κλίμακας του δείκτη. Στα ανώτερα εκατοστημόρια της κατανομής παρατηρούνται υψηλότερες τιμές του δείκτη HI κατά τουλάχιστον 1.7 °C στο εγγύς μέλλον (2031–2060) και κατά τουλάχιστον 2.1 °C στο απώτερο μέλλον (2071–2100) ανεξάρτητα από το ακολουθούμενο σενάριο συγκριτικά με την περίοδο αναφοράς (1971–2000). Οι υπερβάσεις του κατωφλίου «πολύ ζεστό – εξαιρετική προσοχή» (HI > 32 °C) στο μέλλον αναμένεται να οδηγήσουν σε σχετική αύξηση των συγκεκριμένων συνθηκών κατά 155.5% (2031–2060, RCP4.5), 193.8% (2031–2060, RCP8.5), 204.0% (2071–2100, RCP4.5) και 542.9% (2071–2100, RCP8.5) σε σχέση με τις αντίστοιχες υπερβάσεις της περιόδου αναφοράς (1971–2000).

Τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του δείκτη HD στο μέλλον παρουσιάζουν ορισμένες διαφορές σε σύγκριση με τα αντίστοιχα αποτελέσματα του HI. Ο δείκτης HD δεν παρουσιάζει ιδιαίτερα υψηλές τιμές στο εγγύς μέλλον (2031–2060) και για τα δυο σενάρια, αλλά και στο απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το σενάριο RCP4.5 όταν η σύγκριση πραγματοποιείται με τα επίπεδα τιμών του δείκτη που προκύπτουν από τις επίγειες παρατηρήσεις της περιόδου αναφοράς (1971–2000). Παρόλα αυτά στο απώτερο μέλλον (2071–2100) υπό το σενάριο RCP8.5 οι θερμικές συνθήκες στη Θεσσαλονίκη αναμένεται να επιδεινωθούν σημαντικά, οδηγώντας σε μια σχετική αύξηση των συνθηκών με τουλάχιστον «μεγάλη δυσφορία – αποφυγή άσκησης» κατά 642.9% σε σύγκριση με την περίοδο αναφοράς (1971–2000).

Β.10.
Συμπεράσματα

Στο παρόν κεφάλαιο της έκθεσης επιδιώχθηκε η διερεύνηση και αποτύπωση του θερμικού κινδύνου για τους πληθυσμούς της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, μελετώντας αφενός τις διαχρονικές μεταβολές για μια μακρά χρονική περίοδο και αφετέρου τις αντίστοιχες προβολές στο μελλοντικό κλίμα. Τα αποτελέσματα της ανάλυσης που προηγήθηκε υπογραμμίζουν τον αυξανόμενο θερμικό κίνδυνο τόσο στο παρόν όσο και στο μελλοντικό κλίμα στα πλαίσια της παγκόσμιας και περιφερειακής αύξησης της θερμοκρασίας. Τα συγκεκριμένα ευρήματα μπορούν να λειτουργήσουν ως επιστημονικό εργαλείο για τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων, παρέχοντας επαρκείς πληροφορίες για την έγκαιρη προετοιμασία των κατάλληλων δράσεων για τη διαχείριση και τον μετριασμό των επιπτώσεων του θερμικού κινδύνου στον πληθυσμό. Παράλληλα, η ανιχνευθείσα αύξηση της έκθεσης υπό θερμή επιβάρυνση υπογραμμίζει την επιτακτική ανάγκη για την ανάπτυξη τεχνικών μετριασμού ώστε να εξισορροπηθεί το θερμικό ισοζύγιο στις πόλεις και παράλληλα να βελτιωθούν οι συνθήκες θερμικής άνεσης ιδιαίτερα στο αστικό περιβάλλον.

Βιβλιογραφία

Εισαγωγή

Blitvich, B.J., (2008). "Transmission dynamics and changing epidemiology of West Nile virus.», Animal health research reviews / Conference of Research Workers in Animal Diseases, vol. 9, no. 1, pp. 71-86.

Centers for Disease Control and Prevention (CDC) (2010). The Interagency Working Group on Climate Change and Health (IWGCCH), "A Human Health Perspective on Climate Change: A report outlining the research needs on the human health effects on climate change, Environmental Health Perspectives, National Institute of Environmental Health Sciences"https://www.niehs.nih.gov/health/materials/a_human_health_perspective_on_climate_change_full_report_508.pdf

Conops, (2015). "Η παρουσία του Aedes albopictus (Ασιατικό κουνούπι τίγρης) στην Ελλάδα",LIFE CONOPS: Ανάπτυξη και επίδειξη διαχειριστικών σχεδίων έναντι των ενισχυόμενων από την κλιματική αλλαγή χωροκατακτητικών κουνουπιών στη Νότια Ευρώπη.https://www.conops.gr/parousia-aedes-ellada1/

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (Ε.Ε.), (2009). «Προϊόντα και υπηρεσίες οικοσυστήματος»
https://ec.europa.eu/environment/pubs/pdf/factsheets/Eco-systems%20goods%20and%20Services/Ecosystem_EL.pdf

EEA (2019). The European environment —state and outlook 2020 (SOER 2020), https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020

EEA (2019). Environmental noise, https://www.eea.europa.eu/airs/2018/environment-and-health/environmental-noise

EEAReport No 3/2019 (2019), European Bathing Water Quality in 2018, https://www.eea.europa.eu/publications/european-bathing-water-quality-in-2018

EEA (2017). Ατμοσφαιρική ρύπανση, https://www.eea.europa.eu/el/themes/air/intro

EEA Report No 32/2016 (2016). European water policies and human health, https://www.eea.europa.eu/publications/public-health-and-environmental-protection

EEA (2016). Σχετικά με το θόρυβο https://www.eea.europa.eu/el/themes/noise/about-noise

EEA Report No 22/2018 (2018). Unequal exposure and unequal impacts: social vulnerability to air pollution, noise and extreme temperatures in Europe, https://www.eea.europa.eu/publications/soer-2020

EEA (2014), Progress in management of contaminated sites, https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/progress-in-management-of-contaminated-sites-3/assessment

EFSA (2019). https://www.efsa.europa.eu/en/press/news/190626

European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), (2015). http://ecdc.europa.eu/en/healthtopics/vectors/mosquitoes/Pages/aedes-albopictus.aspx

European Lung Foundation (ELF). "Ατμοσφαιρική ρύπανση και πνεύμονες", https://www.europeanlung.org/assets/files/el/publications/outdoor-pollution-el.pdf

FAO (2016). Soil contamination, http://www.fao.org/3/a-i6475e.pdf

FAO (2018). Soil pollution: a hidden reality, http://www.fao.org/3/I9183EN/i9183en.pdf

Hernández-Triana, L.M., Jeffries, C.L., Mansfield, K.L., Carnell, G., Fooks, A.R. & Johnson, N., (2014). "Emergence of West Nile virus lineage 2 in Europe: A review on the introduction and spread of a mosquito-borne disease", Frontiers in Public Health, vol. 2, no. DEC.

Intergovernmental Panel on Climate Change, (IPCC), "Climate Change", https://www.ipcc-data.org/guidelines/pages/glossary/glossary_c.html

JRC PESETA II Project, (2014). "Climate Impacts in Europe, The JRC PESETA II Project"
reqno_jrc87011_final report ready_final3.pdf

Kala Senathirajah and Thava Palanisami (2019). How Much Microplastics Are We Ingesting?: Estimation of the Mass of Microplastics Ingested., The University of Newcastle, Australia

Kokkotis, A., Tsaknis, J. & Protopapa, E., (2014). "Climate changes and mosquitoes", EpitheoreseKlinikesFarmakologias kai Farmakokinetikes, vol. 32, no. 2, pp. 65-72.

Mehtab Haseena, Muhammad Faheem Malik, Asma Javed, Sidra Arshad, Nayab Asif, Sharon Zulfiqar and Jaweria Hanif, (2017). Water pollution and human health, Environ Risk Assess Remediat, Volume 1 Issue 3

OECD (2016). The Economic Consequences of Outdoor Air Pollution, https://www.oecd.org/environment/indicators-modelling-outlooks/Policy-Highlights-Economic-consequences-of-outdoor-air-pollution-web.pdf

Paraskevi Begou, Pavlos Kassomenos, Apostolos Kelessis, (2020). Effects of road traffic noise on the prevalence of cardiovascular diseases: The case of Thessaloniki, Greece, Science of The Total Environment, Volume 703, 134477

Quebec University, (2019).Health problems associated with bathing waters, https://www.quebec.ca/en/health/health-issues/a-z/health-problems-associated-with-bathing-waters/

Theoharatos, G., Pantavou, K., Mavrakis, A., Spanou, A., Katavoutas, G., Efstathiou, P., Mpekas, P. & Asimakopoulos, D., (2010). "Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects", Environ. Res., vol. 110, pp. 152-161.

WHO (2019). Drinking water, https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water

WHO (2019). Water, sanitation, hygiene and health, https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/330100/WHO-CED-PHE-WSH-19.149-eng.pdf

WHO (2018). Climate change and health, https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-and-health

WHO (2016). Ambient (outdoor) air pollution, https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health
WHO (2016). Waste and human health: evidence and needs, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/317226/Waste-

human-health-Evidence-needs-mtg-report.pdf

WHO (2013). Contaminated sites and health, http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0003/186240/e96843e.pdf?ua=1

WHO Regional Office for Europe (2011). Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe, https://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888.pdf?ua=1

WHO (2005). WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide, WHO_SDE_PHE_OEH_06.02_eng.pdf

WHO, Regional Office for Europe.Environment and health, http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health

WWF Ελλάς (2009). "Το αύριο της Ελλάδας: επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην Ελλάδα κατά το άμεσο μέλλον", https://www.wwf.gr/images/pdfs/wwf-to_avrio_tis_elladas.pdf

Γκογκόση Π., (2014). «Οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στην υγεία», Τεύχος 7, Π.Ε.ΕΚ.Π.Ε.

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ), COM(2017) 151 final, (2017). Σχετικά με την εφαρμογή της οδηγίας για τον περιβαλλοντικό θόρυβο σύμφωνα με το άρθρο 11 της οδηγίας 2002/49/ΕΚ, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0151&from=EN

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ),Ηχορρύπανση στην ΕΕ,https://ec.europa.eu/environment/basics/health-wellbeing/noise/index_el.htm

ΕυρωπαϊκήΕπιτροπή (ΕΕ), (2012) ΕργοLife Project LIFE07 ENV/GR/00278-Soil Sustainability (So.S), http://www.lifesos.eu/images/stories/pdf/deliverables/22_03.pdf

Εθνικό Κέντρο Περιβάλλοντος & Αειφόρου Ανάπτυξης (ΕΚΠΑΑ), (2018). Ελλάδα - Έκθεση Κατάστασης Περιβάλλοντος

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ),(2014). Έργο LIFE 11 ENV/ES/000584 "AIRUSE" «Ανάπτυξη και αξιολόγηση μέτρων ελέγχου της ατμοσφαιρικής ρύπανσης στη Ν. Ευρώπη».

Ευρωπαϊκή Επιτροπή (ΕΕ), Δράση για το Κλίμα, Επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής,https://ec.europa.eu/clima/change/consequences_el

Ευρωπαϊκό Ελεγκτικό Συνέδριο (ΕΕΣ), (2018). Ειδική έκθεση αριθ. 23/2018: Ατμοσφαιρική ρύπανση: Η προστασία της υγείας μας παραμένει ανεπαρκής. https://www.eca.europa.eu/Lists/ECADocuments/SR18_23/SR_AIR_QUALITY_EL.pdf

ΥΠΕΝ (2019), Ετήσια έκθεση ποιότητας της ατμόσφαιρας 2018, http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=490&language=el-GR

ΥΠΕΝ(2018), Ποιότητα των υδάτων κολύμβησης στην Ελλάδα, http://www.ypeka.gr/LinkClick.aspx?fileticket=2i76mQwOEf8%3d&tabid=253&language=el-GR

Έκθεση Κατάστασης Περιβάλλοντος 2018, ΕΚΠΑΑ, https://ekpaa.ypeka.gr/wp-content/uploads/2019/10/181019_Book-YPEKA_LOW.pdf

Διαχείριση Υδατικών Πόρων 2019 – Επικαιροποίηση ΕΚΠ 2019, ΕΚΠΑΑ https://ekpaa.ypeka.gr/perivallontikes-thematikes/diaxeirish-ydatikwn-porwn/dedomena-ekthesewn-katastasis-ydata/

Επιδράσεις στην υγεία από την ατμοσφαιρική ρύπανση στην Ελλάδα

Cyrys J, Eeftens M, Heinrich J, Ampe C, Armengaud A, Beelen R, Bellander T, Beregszaszi T, Birk M, Cesaroni G, Cirach M, deHoogh K, DeNazelle A, deVocht F, Declercq C, Dedele A, Dimakopoulou K, Eriksen K, Galassi C, Grazuleviciene R, Grivas G, Gruzieva O, Gustafsson AH, Hoffmann B, Iakovides M, Ineichen A, Kramer U, Lanki T, Lozano P, Madsen C, Meliefste K, Modig L, Molter A, Mosler G, Nieuwenhuijsen M, Nonnemacher M, Oldenwening M, Peters A, Pontet S, Probst-Hensch N, Quass U, Raaschou-Nielsen O, Ranzi A, Sugiri D, Stephanou EG, Taimisto P, Tsai M-Y, Vaskövi E, Villani S, Wang M, Brunekreef B and Hoek G. Variation of NO2 and NOx concentrations between and within 36 European study areas: Results from the ESCAPE study. Atmos. Environ 2012;62:374–90.

Eeftens M, Tsai M-Y, Ampe C, Anwander B, Beelen R, Bellander T, Cesaroni G, Cirach M, Cyrys J, de Hoogh K, De Nazelle A, de Vocht F, Declercq C, Dedele A, Eriksen K, Galassi C, Grazuleviciene R, Grivas G, Heinrich J, Hoffmann B, Iakovides M, Ineichen A, Katsouyanni K, Korek M, Kramer U, Kuhlbusch T, Lanki T, Madsen C, Meliefste K, Molter A, Mosler G, Nieuwenhuijsen M, Oldenwening M, Pennanen A, Probst-Hensch N, Quass U, Raaschou-Nielsen O, Ranzi A, Stephanou E, Sugiri D, Udvardy O, Vaskovi E, Weinmayr G, Brunekreef B and Hoek G. Spatial variation of PM2.5. PM10. PM2.5 absorbance and PMcoarse concentrations between and within 20 European study areas and the relationship with NO2; Results of the ESCAPE project. Atmos Environ 2012; 62:303–17

EC, 2008. European Commission. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of the Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. http://data.europa.eu/eli/dir/2008/50/2015-09-18. Τελευταία πρόσβαση: 23 Σεπτεμβρίου 2019

EEA, 2019. European Environmental Agency. Air quality in Europe — 2019 report ISSN 1977-8449. Τελευταία πρόσβαση: 23 Νοεμβρίου 2019.

Ferlay J, Ervik M, Lam F, Colombet M, Mery L, Piñeros M, Znaor A, Soerjomataram I, Bray F (2018). Global Cancer Observatory: Cancer Today. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer. https://gco.iarc.fr/today. Πρόσβαση: 23 Σεπτεμβρίου 2019

Katsouyanni K, Samet JM, Anderson HR, Atkinson R, Le Tertre A, Medina S, Samoli E, Touloumi G, Burnett RT, Krewski D, Ramsay T, Dominici F, Peng RD, Schwartz J, Zanobetti A; HEI Health Review Committee. 2009. Air pollution and health: a European and North American approach (APHENA). Res Rep Health Eff Inst.; 142:5-90.

Lelieveld J, Klingmüller K, Pozzer A, Pöschl U, Fnais M, Daiber A, Münzel T. 2019. Cardiovascular disease burden from ambient air pollution in Europe reassessed using novel hazard ratio functions. Europ Heart J 40 (20): 1590–1596.

Mitsakou C, Dimitroulopoulou S, Heaviside C, Katsouyanni K, Samoli E, Rodopoulou S, Costa C, Almendra R, Santana P, Dell'Olmo MM, Borrell C, Corman D, Zengarini N, Deboosere P, Franke C, Schweikart J, Lustigova M, Spyrou C, de Hoogh K, Fecht D, Gulliver J, Vardoulakis S. 2019. Environmental public health risks in European metropolitan areas within the EURO-HEALTHY project. Sci Total Environ; 658: 1630-9.

OECD 2019. Organisation for Economic Co-operation and Development. http://www.oecd.org. Τελευταία πρόσβαση: 10 Οκτωβρίου 2019

Peng RD, Samoli E, Pham L, Dominici F, Touloumi G, Ramsay T, Burnett RT, Krewski D, Le Tertre A, Cohen A, Atkinson RW, Anderson HR, Katsouyanni K, Samet JM. 2013. Acute effects of ambient ozone on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. Air Qual Atmos Health; 6(2):445-453.

Progiou A, Ziomas I. 2015. Predicting annual average particulate concentration in urban areas. Sci Total Environ; 532: 353-9

Raaschou-Nielsen O, Andersen ZJ, Beelen R, Samoli E, Stafoggia M, Weinmayr G, Hoffmann B, Fischer P, Nieuwenhuijsen MJ, Brunekreef B, Xun WW, Katsouyanni K, Dimakopoulou K, Sommar J, Forsberg B, Modig L, Oudin A, Oftedal B, Schwarze PE, Nafstad P, De Faire U, Pedersen NL, Ostenson CG, Fratiglioni L, Penell J, Korek M, Pershagen G, Eriksen KT, Sørensen M, Tjønneland A, Ellermann T, Eeftens M, Peeters PH, Meliefste K, Wang M, Bueno-de-Mesquita B, Key TJ, de Hoogh K, Concin H, Nagel G, Vilier A, Grioni S, Krogh V, Tsai MY, Ricceri F, Sacerdote C, Galassi C, Migliore E, Ranzi A, Cesaroni G, Badaloni C, Forastiere F, Tamayo I, Amiano P, Dorronsoro M, Trichopoulou A, Bamia C, Vineis P, Hoek G. 2013.Air pollution and lung cancer incidence in 17 European cohorts: prospective analyses from the European Study of Cohorts for Air Pollution Effects (ESCAPE). Lancet Oncol.;14(9):813-22.

Samoli E, Peng R, Ramsay T, Pipikou M, Touloumi G, Dominici F, Burnett R, Cohen A, Krewski D, Samet J, Katsouyanni K. Acute effects of ambient particulate matter on mortality in Europe and North America: results from the APHENA study. Environ Health Perspect. 2008;116:1480-6

Samoli E, Stafoggia M, Rodopoulou S, Ostro B, Declercq C, Alessandrini E, Díaz J, Karanasiou A, Kelessis AG, Le Tertre A, Pandolfi P, Randi G, Scarinzi C, Zauli-Sajani S, Katsouyanni K, Forastiere F; MED-PARTICLES Study Group. 2013.Associations between fine and coarse particles and mortality in Mediterranean cities: results from the MED-PARTICLES project. Environ Health Perspect.;121(8):932-8.
Stafoggia M, Samoli E, Alessandrini E, Cadum E, Ostro B, Berti G, Faustini A, Jacquemin B, Linares C, Pascal M, Randi G, Ranzi A, Stivanello E, Forastiere F; MED-PARTICLES Study Group. 2013. Short-term associations between fine and coarse particulate matter and hospitalizations in Southern Europe: results from the MED-PARTICLES project. Environ Health Perspect.;121(9):1026-33.

WHO (2013a) . Health risks of air pollution in Europe – HRAPIE project. Recommendations for concentration–response functions for cost–benefit analysis of particulate matter. ozone and nitrogen dioxide. WHO Regional Office for Europe.http://www.euro.who.int/en/health-topics/environment-and-health/air-quality/publications/2013/health-risks-of-air-pollution-in-europe-hrapie-project-recommendations-for-concentrationresponse-functions-for-costbenefit-analysis-of-particulate-matter.-ozone-and-nitrogen-dioxide.Τελευταία πρόσβαση: 23 Σεπτεμβρίου 2019

WHO (2013b). Review of evidence on health aspects of air pollution—REVIHAAP project: technical report. WHO Regional Office for Europe. http://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0004/193108/REVIHAAP-Final-technical-report.pdf. Τελευταία πρόσβαση: 23 Σεπτεμβρίου 2019

WHO 2000. World Health Organization. Regional Office for Europe. Air quality guidelines for Europe. 2nd ed. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

WHO 2002. World Health Organization. Regional Office for Europe. Health impact assessment of air pollution in the eight major Italian cities. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

WHO 2006. World Health Organization. Regional Office for Europe. Air quality guidelines global update 2005: particulate matter. ozone. nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.

ΕΛΣΤΑΤ. Ελληνική Στατιστική Αρχή https://www.statistics.gr/ . Τελευταία πρόσβαση: 23 Σεπτεμβρίου 2019.

ΥΠΕΚΑ 2019. Ετήσια έκθεση ποιότητας της ατμόσφαιρας 2018. Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας.Τελευταία πρόσβαση: 23 Σεπτεμβρίου 2019.

ΥΠΕΚΑ. Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας http://www.ypeka.gr/. Τελευταία πρόσβαση 23 Σεπτεμβρίου 2019 .

Κλιματική αλλαγή και υγεία

Asseng, S., Ewert, F., Martre, P., Rötter, R.P., Lobell, D.B., Cammarano, D., Kimball, B.A., Ottman, M.J., Wall, G.W., White, J.W., Reynolds, M.P., Alderman, P.D., Prasad, P.V.V., Aggarwal, P.K., Anothai, J., Basso, B., Biernath, C., Challinor, A.J., De Sanctis, G., Doltra, J., Fereres, E., Garcia-Vila, M., Gayler, S., Hoogenboom, G., Hunt, L.A., Izaurralde, R.C., Jabloun, M., Jones, C.D., Kersebaum, K.C., Koehler, A.-., Müller, C., Naresh Kumar, S., Nendel, C., O'leary, G., Olesen, J.E., Palosuo, T., Priesack, E., Eyshi Rezaei, E., Ruane, A.C., Semenov, M.A., Shcherbak, I., Stöckle, C., Stratonovitch, P., Streck, T., Supit, I., Tao, F., Thorburn, P.J., Waha, K., Wang, E., Wallach, D., Wolf, J., Zhao, Z. & Zhu, Y. 2015, «Rising temperatures reduce global wheat production», Nature Climate Change, vol. 5, no. 2, pp. 143-147.

Donnelly, C., Greuell, W., Andersson, J., Gerten, D., Pisacane, G., Roudier, P. & Ludwig, F. 2017, «Impacts of climate change on European hydrology at 1.5, 2 and 3 degrees mean global warming above preindustrial level», Climatic Change, vol. 143, no. 1-2, pp. 13-26.

Greve, P., Gudmundsson, L. & Seneviratne, S.I. 2018, «Regional scaling of annual mean precipitation and water availability with global temperature change», Earth System Dynamics, vol. 9, no. 1, pp. 227-240.

Gudmundsson, L. & Seneviratne, S.I. 2016, «Anthropogenic climate change affects meteorological drought risk in Europe», Environmental Research Letters, vol. 11, no. 4.

Gudmundsson, L., Seneviratne, S.I. & Zhang, X. 2017, «Anthropogenic climate change detected in European renewable freshwater resources», Nature Climate Change, vol. 7, no. 11, pp. 813-816.

IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, and T. Waterfield (eds.)]. In Press.
Jacob, D., Kotova, L., Teichmann, C., Sobolowski, S.P., Vautard, R., Donnelly, C., Koutroulis, A.G., Grillakis, M.G., Tsanis, I.K., Damm, A., Sakalli, A. & van Vliet, M.T.H. 2018, «Climate Impacts in Europe Under +1.5°C Global Warming», Earth's Future, vol. 6, no. 2, pp. 264-285.

Jaggard, K.W., Qi, A. & Semenov, M.A. 2007, «The impact of climate change on sugarbeet yield in the UK: 1976-2004», Journal of Agricultural Science, vol. 145, no. 4, pp. 367-375.

Jiao, M., G. Zhou, and Z. Chen (eds.), 2014: Blue book of agriculture for addressing climate change: Assessment report of climatic change impacts on agriculture in China (No.1) (in Chinese). Social Sciences Academic Press, Beijing, China.

Kim, H.-., Ko, J., Kang, S. & Tenhunen, J. 2013, «Impacts of climate change on paddy rice yield in a temperate climate», Global Change Biology, vol. 19, no. 2, pp. 548-562.

Kjellström, E., Nikulin, G., Strandberg, G., Bøssing Christensen, O., Jacob, D., Keuler, K., Lenderink, G., Van Meijgaard, E., Schär, C., Somot, S., Lund Sørland, S., Teichmann, C. & Vautard, R. 2018, «European climate change at global mean temperature increases of 1.5 and 2 °C above pre-industrial conditions as simulated by the EURO-CORDEX regional climate models», Earth System Dynamics, vol. 9, no. 2, pp. 459-478.

Lehner, F., Coats, S., Stocker, T.F., Pendergrass, A.G., Sanderson, B.M., Raible, C.C. & Smerdon, J.E. 2017, «Projected drought risk in 1.5°C and 2°C warmer climates», Geophysical Research Letters, vol. 44, no. 14, pp. 7419-7428.

Lobell, D.B., Schlenker, W. & Costa-Roberts, J. 2011, «Climate trends and global crop production since 1980», Science, vol. 333, no. 6042, pp. 616-620.

Moriondo, M., Jones, G.V., Bois, B., Dibari, C., Ferrise, R., Trombi, G. & Bindi, M. 2013a, «Projected shifts of wine regions in response to climate change», Climatic Change, vol. 119, no. 3-4, pp. 825-839.

Moriondo, M., Trombi, G., Ferrise, R., Brandani, G., Dibari, C., Ammann, C.M., Lippi, M.M. & Bindi, M. 2013b, «Olive trees as bio-indicators of climate evolution in the Mediterranean Basin», Global Ecology and Biogeography, vol. 22, no. 7, pp. 818-833.

Mysiak, J., Surminski, S., Thieken, A., Mechler, R. & Aerts, J. 2016, «Brief communication: Sendai framework for disaster risk reduction - Success or warning sign for Paris?», Natural Hazards and Earth System Sciences, vol. 16, no. 10, pp. 2189-2193.

Schleussner, C.-., Lissner, T.K., Fischer, E.M., Wohland, J., Perrette, M., Golly, A., Rogelj, J., Childers, K., Schewe, J., Frieler, K., Mengel, M., Hare, W. & Schaeffer, M. 2016, «Differential climate impacts for policy-relevant limits to global warming: The case of 1.5 °c and 2 °c», Earth System Dynamics, vol. 7, no. 2, pp. 327-351.

Sun, S., X.-G. Yang, J. Zhao, and F. Chen, 2015: «The possible effects of global warming on cropping systems in China XI The variation of potential light-temperature suitable cultivation zone of winter wheat in China under climate change», Scientia Agricultura Sinica, vol. 48, no. 10, pp. 1926–1941.

Tobin, I., Greuell, W., Jerez, S., Ludwig, F., Vautard, R., Van Vliet, M.T.H. & Breón, F.-. 2018, «Vulnerabilities and resilience of European power generation to 1.5 °c, 2 °c and 3 °c warming», Environmental Research Letters, vol. 13, no. 4.

van Bruggen, A.H.C., J.W. Jones, J.M.C. Fernandes, K. Garrett, and K.J. Boote, 2015: Crop Diseases and Climate Change in the AgMIP Framework. In: Handbook of Climate Change and Agroecosystems [Rosenzweig, C. and D. Hillel (eds.)]. ICP Series on Climate Change Impacts, Adaptation, and Mitigation Volume 3, Imperial College Press, London, UK, pp. 297–330,

Vautard, R., Gobiet, A., Sobolowski, S., Kjellström, E., Stegehuis, A., Watkiss, P., Mendlik, T., Landgren, O., Nikulin, G., Teichmann, C. & Jacob, D. 2014, «The European climate under a 2 °c global warming», Environmental Research Letters, vol. 9, no. 3.

Wartenburger, R., Hirschi, M., Donat, M.G., Greve, P., Pitman, A.J. & Seneviratne, S.I. 2017, «Changes in regional climate extremes as a function of global mean temperature: An interactive plotting framework», Geoscientific Model Development, vol. 10, no. 9, pp. 3609-3634.

Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D.B., Huang, Y., Huang, M., Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J.-., Elliott, J., Ewert, F., Janssens, I.A., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., Peng, S., Peñuelas, J., Ruane, A.C., Wallach, D., Wang, T., Wu, D., Liu, Z., Zhu, Y., Zhu, Z. & Asseng, S. 2017, «Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates», Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, vol. 114, no. 35, pp. 9326-9331.

ACGIH 2004, "TLVs and BELs. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices", ACGIH Signature Publications, Cincinnati, pp. 168-176.

Analitis, A., Michelozzi, P., D'Ippoliti, D., de'Donato, F., Menne, B., Matthies, F., ... & Lefranc, A. 2014, "Effects of heat waves on mortality: effect modification

and confounding by air pollutants", Epidemiology, vol. 25, pp. 15-22.

ASHRAE-55 2013, "Thermal environmental conditions for human occupancy", American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers, Atlanta, USA.

Baccini, M., Biggeri, A., Accetta, G., Kosatsky, T., Katsouyanni, K., Analitis, A., ... & Forsberg, B. 2008, "Heat effects on mortality in 15 European cities", Epidemiology, vol. 19, pp. 711-719.

Bartzokas, A., Lolis, C.J., Kassomenos, P.A. & McGregor, G.R. 2013, "Climatic characteristics of summer human thermal discomfort in Athens and its connection to atmospheric circulation", Nat. Hazards Earth. Syst. Sci., vol. 13, pp. 3271–3279.

Belding, H.S. & Hatch, T.F. 1955, "Index for evaluating heat stress in terms of resulting physiological strain", Heat Pip. Air Cond., vol. 27, pp. 129-136.

Błażejczyk, K. 1994, "New climatological-and-physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales". In: Błażejczyk K., Krawczyk B. (Eds), Bioclimatic research of the human heat balance, Zestyty IGiPZ PAN, pp. 27-58.

Błażejczyk, K., 2001, "Assessment of recreational potential of bioclimate based on the human heat balance". In: Matzarakis A., de Freitas C.R. (Eds), Proceedings of the first International Workshop on climate, tourism and recreation, International Society of Biometeorology, Commission on Climate Tourism and Recreation, pp. 133-152.

Błażejczyk, K., 2005, "New Indices to Assess Thermal Risk Outdoors". In: Holmér I., Kuklane K., Gao Ch. (Eds), Environmental Ergonomics XI, Proceedings of the 11th International Conference, pp. 222-225.

Błażejczyk, K., 2006: MENEX_2005-the revised version of Man-Environment Heat Exchange Model. http:www.igipz.pan.pl/geoekoklimat/blaz/menex

Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B., Havenith, G. 2012, "Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)", Int. J. Biometeorol., vol. 56, pp. 481–494.

Brown, R., & Gillespie, T. 1986, "Estimating outdoor thermal comfort using a cylindrical radiation thermo-meter and an energy budget model", Int. J. Biometeorol., vol. 30, pp. 43-52.

Casanueva, A., Burgstall, A., Kotlarski, S., Messeri, A., Morabito, M., Flouris, A.D., Nybo, L., Spirig, C. & Schwierz, C., 2019, "Overview of existing heat-health warning systems in Europe". International Journal of Environmental Research and Public Health, vol. 16, no. 2657.

de'Donato, F., Leone, M., Scortichini, M., De Sario, M., Katsouyanni, K., Lanki, T., ... & Pascal, M. 2015, "Changes in the effect of heat on mortality in the last 20 years in nine European cities. Results from the PHASE project". International journal of environmental research and public health, vol. 12, pp. 15567-15583.

De Freitas, C.R., Grigorieva, E.A. 2015, "A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices", Int. J. Biometeorol., vol. 59, pp. 109-120.

De Freitas, C.R., Grigorieva, E.A. 2017, "A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices", Int. J. Biometeorol., vol. 61, pp. 487-512.

D'Ippoliti, D., Michelozzi, P., Marino, C., De'Donato, F., Menne, B., Katsouyanni, K., ... & Atkinson, R. 2010, "The impact of heat waves on mortality in 9 European cities: results from the EuroHEAT project", Environmental Health, vol. 9, no. 37.

EEA, 2019, "Number of extreme heat waves in future climates under two different climate forcing scenarios", European Environment Agency, https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/number-of-extreme-heat-waves-1

Epstein, Y. & Moran, D.S. 2006, "Thermal comfort and the heat stress indices". Ind. Health, vol. 44, pp. 388-398.

Fanger, P.O. 1972, "Thermal comfort". McGraw Hill, New York, pp. 244.

Fiala, D., Lomas, K.J. & Stohrer, M. 2001, "Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions", Int. J. Biometeorol., vol. 45, pp. 143-159.

Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., Jendritzky, G. 2012, "UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation". Int. J. Biometeorol. vol. 56, pp. 429–441.

Founda, D., Varotsos, K. V., Pierros, F. & Giannakopoulos, C. 2019, "Observed and projected shifts in hot extremes' season in the Eastern Mediterranean", Global and Planetary Change, vol. 175, pp. 190-200.

Fountoulakis, K. N., Savopoulos, C., Zannis, P., Apostolopoulou, M., Fountoukidis, I., Kakaletsis, N., ... & Pompili, M. 2016, Climate change but not unemployment explains the changing suicidality in Thessaloniki Greece (2000–2012)", Journal of Affective Disorders, vol. 193, pp. 331-338.

Gagge, A.P., Stolwijk, J.A.J. & Nishi, Y. 1971, "An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response", ASHRAE Trans., vol. 77, pp. 247-257.

Gagge, A.P., Fobelets, A.P. & Berglund, L.G. 1986, "A standard predictive index of human response to the thermal environment", ASHRAE Trans., vol. 92, pp. 709-731.

Giannakopoulos, C., Kostopoulou, E., Varotsos, K.V., Tziotziou, K. & Plitharas, A., 2011, "An integrated assessment of climate change impacts for Greece in the near future", Regional Environmental Change, vol. 11, pp. 829-843.

Höppe, P.R. 1984 "Die Energiebilanz des Menschen", Wiss. Mitt. Meteorol. Inst. Univ. München, vol. 49, no. 201.

Höppe, P.R. 1993, "Heat balance modelling", Experientia, vol. 49, pp. 741-746.

Höppe, P., 1999, "The physiological equivalent temperature-a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment", Int. J. Biometeorol., vol. 43, pp. 71-75.

Huizenga, C., Hui, Z. & Arens, E. 2001, "A model of human physiology and comfort for assessing complex thermal environments", Build. Environ., vol. 36, pp. 691-699.

Jendritzky, G., Sönning, W. & Swantes, H.J. 1979, "Ein objektives Bewertungsverfahren zur Beschreibung des thermischen Milieus in der Stadt- und Landschaftsplanung (Klima-Michel-Modell)", Beiträge der Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 28. Hermann Schroedel, Hannover.

Jendritzky, G., Menz, G., Schmidt-Kessen, W. & Schirmer, H. 1990, "Methodik zur räumlichen Bewertung der thermischen Komponente im Bioklima des Menschen", Akademie für Raumforschung und Landesplanung, Hannover.

Jendritzky, G., deDear, R. & Havenith, G. 2012, "UTCI—why another thermal index?", Int. J. Biometeorol., vol. 56, pp. 421–428.

Katavoutas, G. & Founda, D. 2019, "Intensification of thermal risk in Mediterranean climates: evidence from the comparison of rational and simple indices", Int. J. Biometeorol., vol. 63, pp. 1251-1264.

Katavoutas, G., Founda, D., Varotsos, K.V. & Giannakopoulos, C. 2019, "Observed and projected trends in urban thermal risk at a large Mediterranean city based on bioclimatic indices - A case study for Athens (Greece)". In: Geophysical Research Abstracts of the European Geosciences Union (EGU), Vienna, 7-12 April 2019, Austria, vol. 21, EGU2019-13899.

Katsouyanni, K., Trichopoulos, D., Zavitsanos, X., & Touloumi, G. 1988, "The 1987 Athens heatwave", The Lancet, vol. 332, no. 573.

Katsouyanni, K., Pantazopoulou, A., Touloumi, G., Tselepidaki, I., Moustris, K., Asimakopoulos, D., ... & Trichopoulos, D. 1993, "Evidence for interaction between air pollution and high temperature in the causation of excess mortality". Archives of Environmental Health: An International Journal, vol. 48, pp. 235-242.

Kenny, N.A., Warland, J.S., Brown, R.D. & Gillespie, T.J. 2009a, "Part A: Assessing the performance of the COMFA outdoor thermal comfort model on subjects performing physical activity", Int. J. Biometeorol., vol. 53, pp. 415–428.

Kenny, N.A., Warland, J.S., Brown, R.D. & Gillespie, T.J. 2009b, "Part B: Revisions to the COMFA outdoor thermal comfort model for application to subjects performing physical activity", Int. J. Biometeorol., vol. 53, pp. 429–441.

Keramitsoglou, I., Sismanidis, P., Analitis, A., Butler, T., Founda, D.,

Giannakopoulos, C., Giannatou, E., Karali, A., Katsouyanni, K., Kendrovski, V. & Lemesios, G., 2017, "Urban thermal risk reduction: Developing and implementing spatially explicit services for resilient cities", Sustainable Cities and Society, vol. 34, pp. 56-68.

Kouis, P., Kakkoura, M., Ziogas, K., Paschalidou, A. K., & Papatheodorou, S. I. 2019, "The effect of ambient air temperature on cardiovascular and respiratory mortality in Thessaloniki, Greece", Science of the Total Environment, vol. 647, pp. 1351-1358.

Kovats, R.S. & Kristie, L.E. 2006, "Heatwaves and public health in Europe", European Journal of Public Health, vol. 16, pp. 592-599.

Knez, I., Thorsson, S., Eliasson, I. & Lindberg, F. 2009, "Psychological mechanisms in outdoor place and weather assessment: towards a conceptual model", Int. J. Biometeorol., vol. 53, pp. 101-111.

Lam, C.K.C., Gallant, A.J., Tapper, N.J. 2018, "Perceptions of thermal comfort in heatwave and non-heatwave conditions in Melbourne, Australia", Urban Clim., vol. 23, pp. 204-218.

Masterton, J.M. & Richardson, F.A. 1979, "Humidex - A method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity", Atmospheric Environment Service of Canada, CLI 1-79, pp. 1-45.

Matzarakis, A., Endler, C., & Nastos, P. T. 2014, "Quantification of climate-tourism potential for Athens, Greece—recent and future climate simulations", Global NEST Journal, vol. 16, pp. 43-51.

Mayer, E. 1993, "Objective criteria for thermal comfort", Build. Environ., vol. 28, pp. 399-403.

Mayer, H. & Höppe, P. 1987, "Thermal comfort of man in different urban environments", Theor. Appl. Climatol., vol. 38, pp. 43-49.

McGregor, G.R., Vanos, J.K. 2018, "Heat: a primer for public health researchers", Public Health, vol. 161, pp. 138–146.

Michelozzi, P., Kirchmayer, U., Katsouyanni, K., et al. 2007, "Assessment and prevention of acute health effects of weather conditions in Europe, the PHEWE project: background, objectives, design", Environ Health., vol. 6, no. 12.

Nastos, P.T., & Matzarakis, A. 2006, Weather impacts on respiratory infections in Athens, Greece", International Journal of Biometeorology, vol. 50, pp. 358-369.

Nastos, P.T., & Matzarakis, A. 2012, "The effect of air temperature and human thermal indices on mortality in Athens, Greece", Theoretical and Applied Climatology, vol. 108, pp. 591-599.

Nastos, P.T., & Matzarakis, A. 2019, "Present and Future Climate—Tourism Conditions in Milos Island, Greece", Atmosphere, vol. 10, no. 145.

Nastos, P.T., Giaouzaki, K.N., Kampanis, N.A., & Matzarakis, A. 2013, "Acute coronary syndromes related to bio-climate in a Mediterranean area. The case of Ierapetra, Crete Island, Greece", International Journal of Environmental Health Research, vol. 23, pp. 76-90.

Nastos, P.T., Kapsomenakis, I., Giannakopoulos, C., Matzarakis, A., & Zerefos, C.S. 2014, "Present and future projections of human-bioclimatic conditions over Peloponnese, based on regional climate model simulations", In E-Book of Proceedings, 12th International Conference of Meteorology, Climatology and Physics of the Atmosphere, Heraklion, Greece, pp. 28-31.

Nikolopoulou, M. 2011, "1. Abstract 2. Introduction 3. Approaches to outdoor thermal comfort 3.1. The physiological approach 3.2. Field studies 4. Thermal sensation and comfort 4.1. Neutral temperatures", Frontiers in Bioscience, vol. 3, pp. 1552-1568.

Nikolopoulou, M. & Steemers, K. 2003, "Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces", Energ. Buildings, vol. 35, pp. 95-101.

Nikolopoulou, M. & Lykoudis, S. 2006, "Thermal comfort in outdoor urban spaces: analysis across different European countries", Building and Environment, vol. 41, pp. 1455-1470.

Pantavou, K., Theoharatos, G., Nikolopoulos, G., Katavoutas, G. & Asimakopoulos, D. 2008, "Evaluation of thermal discomfort in Athens territory and its effect on the daily number of recorded patients at hospitals' emergency rooms". International Journal of Biometeorology, vol. 52, pp. 773-778.

Pantavou, K., Theoharatos, G., Mavrakis, A. & Santamouris, M. 2011, "Evaluating thermal comfort conditions and health responses during an extremely hot summer in Athens", Build. Environ., vol. 46, pp. 339-344.

Paravantis, J., Santamouris, M., Cartalis, C., Efthymiou, C., & Kontoulis, N. 2017, "Mortality associated with high ambient temperatures, heatwaves, and the urban heat island in Athens, Greece", Sustainability, vol. 9, no. 606.

Pickup, J. & de Dear, R. 2000, "An outdoor thermal comfort index (OUT_SET*)-Part I-the model and its assumptions". In: de Dear R.J., Kalma J.D., Oke T.R., Auliciems A. (Eds), Biometeorology and urban climatology at the turn of the millennium, WCASP-50, WMO/TD No. 1026, pp. 279-283.

Scortichini, M., de'Donato, F., De Sario, M., Leone, M., Åström, C., Ballester, F., ... & Lanki, T. 2018, "The inter-annual variability of heat-related mortality in nine European cities (1990–2010)", Environmental Health, vol. 17, no. 66.

Stolwijk, J.A.J., 1971, "A mathematical model of physiological temperature regulation in man", NASA contractor report CR-1855. NASA, Washington DC.

Theoharatos, G., Pantavou, K., Mavrakis, A., Spanou, A., Katavoutas, G., Efstathiou, P., Mpekas, P. & Asimakopoulos, D. 2010, "Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects", Environ. Res., vol. 110, pp. 152-161.

Thom, E.C., 1959, "The discomfort Index", Weatherwise, vol. 12, pp. 57-60.

Wenger, C.B., 2002, "Human adaptation to hot environments". In: Pandolf K.B., Burr R.E., Wenger C.B., Pozos R.S. (Eds), Textbook of military medicine: Medical aspects of harsh environments, Department of the Army, Office of the Surgeon General, Borden Institute, vol. 1, pp. 51-86.

Yaglou, C.P. 1927, "Temperature, humidity and air movement in industries. The Effective Temperature Index", J. Ind. Hyg., vol. 9, no. 297.

Yaglou, C.P. & Minard, D. 1957, "Control of heat causualties at military training center", Am. Med. Ass. Arch. Ind. Health, vol. 16, pp. 302-316.

Yousef, M.K., 1987, "Effects of climatic stresses on thermoregulatory processes in man", Experientia, vol. 43, pp. 14-19.

Zoumakis, M., Kassomenos, P., Zoumakis, N., Papadakis, N., Vosniakos, F., ... & Kozyraki, T. 2011, "Human Discomfort due to environmental conditions in Urban Thessaloniki, Greece. Part V. Adaptation to the local climate (preliminary results)", Journal of Environmental Protection and Ecology, vol. 12, pp. 921-929.

Zoumakis, M., Papadakis, N., Benos, A., Zoumakis, N., Efstathiou, G., Staliopoulou, M., et al. 2012, "Mortality and bioclimatic discomfort in the municipality of Thessaloniki, Greece". Protection and restoration of the environment XI Conference, pp. 1771–1784.

Zoumakis, M., Papadakis, N., Benos, A., Zoumakis, N., Prevezanos, M., Vosniakos, F., et al. 2013, "Heat-related mortality in the municipality of Thessaloniki during the period from 1945 to 2012". J. Environ. Prot. Ecol., vol. 14, pp. 1140–1147.

Ματζαράκης, Α., Νάστος, Π., Ζερεφός, Χ. & Καψωμενάκης, Ι. 2014, "Τουριστική κλιματολογία", Εντός: "Ελληνικός τουρισμός και κλιματική αλλαγή: Πολιτικές προσαρμογής και νέα στρατηγική ανάπτυξης", Τεχνική Έκθεση, Τράπεζα της Ελλάδος, σελ. 71-88.

Bezirtzoglou, C., Dekas, K. & Charvalos, E. 2011, «Climate changes, environment and infection: Facts, scenarios and growing awareness from the public health community within Europe», Anaerobe, vol. 17, no. 6, pp. 337-340.

Bithas, K., Latinopoulos, D., Kolimenakis, A. & Richardson, C. 2018, «Social Benefits From Controlling Invasive Asian Tiger and Native Mosquitoes: A Stated Preference Study in Athens, Greece», Ecological Economics, vol. 145, pp. 46-56.

Blanc, G. & Caminopetros, J. 1930, «Recherches experimentales sur la dengue», Annales de l' Institut Pasteur, vol. 44, pp. 367–437.

Blitvich, B.J. 2008, «Transmission dynamics and changing epidemiology of West Nile virus.», Animal health research reviews / Conference of Research Workers in Animal Diseases, vol. 9, no. 1, pp. 71-86.

Bouzid, M., Colón-González, F.J., Lung, T., Lake, I.R. & Hunter, P.R. 2014, «Climate change and the emergence of vector-borne diseases in Europe: Case study of dengue fever», BMC Public Health, vol. 14, no. 1.

Caminade, C., Medlock, J.M., Ducheyne, E., McIntyre, K.M., Leach, S., Baylis, M. & Morse, A.P. 2012, «Suitability of European climate for the Asian tiger mosquito Aedes albopictus: Recent trends and future scenarios», Journal of the Royal Society Interface, vol. 9, no. 75, pp. 2708-2717.

Conte, A., Candeloro, L., Ippoliti, C., Monaco, F., De Massis, F., Bruno, R., Di Sabatino, D., Danzetta, M.L., Benjelloun, A., Belkadi, B., El Harrak, M., Declich, S., Rizzo, C., Hammami, S., Ben Hassine, T., Calistri, P. & Savini, G. 2015, «Spatio-temporal identification of areas suitable for west nile disease in the mediterranean basin and Central Europe», PLoS ONE, vol. 10, no. 12.

Cunze, S., Koch, L.K., Kochmann, J. & Klimpel, S. 2016, «Aedes albopictus and Aedes japonicus - two invasive mosquito species with different temperature niches in Europe», Parasites and Vectors, vol. 9, no. 1, pp. 1-12.

Danis, K., Baka, A., Lenglet, A., van Bortel, W., Terzaki, I., Tseroni, M., Detsis, M., Papanikolaou, E., Balaska, A., Gewehr, S., Dougas, G., Sideroglou, T., Economopoulou, A., Vakalis, N., Tsiodras, S., Bonovas, S. & Kremastinou, J. 2011, «Autochthonous plasmodium vivax malaria in Greece, 2011», Eurosurveillance, vol. 16, no. 42, pp. 1.

European Centre for Disease Prevention and Control and European Food Safety Authority. Mosquito maps [internet]. Stockholm: ECDC; 2019. Available from: https://ecdc.europa.eu/en/disease-vectors/surveillance-and-disease-data/mosquito-maps

Failloux, A.-., Bouattour, A., Faraj, C., Gunay, F., Haddad, N., Harrat, Z., Jancheska, E., Kanani, K., Kenawy, M.A., Kota, M., Pajovic, I., Paronyan, L., Petric, D., Sarih, M., Sawalha, S., Shaibi, T., Sherifi, K., Sulesco, T., Velo, E., Gaayeb, L., Victoir, K. & Robert, V. 2017, «Surveillance of Arthropod-Borne Viruses and Their Vectors in the Mediterranean and Black Sea Regions Within the MediLabSecure Network», Current Tropical Medicine Reports, vol. 4, no. 1, pp. 27-39.

Fischer, D., Thomas, S.M., Suk, J.E., Sudre, B., Hess, A., Tjaden, N.B., Beierkuhnlein, C. & Semenza, J.C. 2013, «Climate change effects on chikungunya transmission in europe: Geospatial analysis of vector's climatic suitability and virus' temperature requirements», International Journal of Health Geographics, vol. 12.

Hales, S., De Wet, N., Maindonald, J. & Woodward, A. 2002, «Potential effect of population and climate changes on global distribution of dengue fever: An empirical model», Lancet, vol. 360, no. 9336, pp. 830-834.

Hernández-Triana, L.M., Jeffries, C.L., Mansfield, K.L., Carnell, G., Fooks, A.R. & Johnson, N. 2014, «Emergence of West Nile virus lineage 2 in Europe: A review on the introduction and spread of a mosquito-borne disease», Frontiers in Public Health, vol. 2, no. DEC.

Kay, B.H. & Farrow, R.A. 2000, «Mosquito (Diptera: Culicidae) dispersal: Implications for the epidemiology of Japanese and Murray Valley encephalitis viruses in Australia», Journal of medical entomology, vol. 37, no. 6, pp. 797-801.

Kokkotis, A., Tsaknis, J. & Protopapa, E. 2014, «Climate changes and mosquitoes», EpitheoreseKlinikesFarmakologias kai Farmakokinetikes, vol. 32, no. 2, pp. 65-72.

Mavrouli, M., Vrioni, G., Vlahakis, A., Kapsimali, V., Mavroulis, S., Antypas, A. & Tsakris, A. 2015, «West Nile virus: Biology, transmission, clinical manifestations, diagnosis, therapeutic approaches, climatic correlates and prevention», Acta Microbiologica Hellenica, vol. 60, no. 1, pp. 7-34.

Papa, A. 2013, «West Nile virus infections in humans-Focus on Greece», Journal of Clinical Virology, vol. 58, no. 2, pp. 351-353.

Paz, S. 2015, «Climate change impacts on West Nile virus transmission in a global context», Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, vol. 370, no. 1665, pp. 1-11.

Paz, S. & Semenza, J.C. 2013, «Environmental drivers of West Nile fever epidemiology in Europe and Western Asia--a review.», International journal of environmental research and public health, vol. 10, no. 8, pp. 3543-3562.

Paz, S., Malkinson, D., Green, M.S., Tsioni, G., Papa, A., Danis, K., Sirbu, A., Ceianu, C., Katalin, K., Ferenczi, E., Zeller, H. & Semenza, J.C. 2013, «Permissive Summer Temperatures of the 2010 European West Nile Fever Upsurge», PLoS ONE, vol. 8, no. 2.

Proestos, Y., Christophides, G.K., Ergüler, K., Tanarhte, M., Waldock, J. & Lelieveld, J. 2015, «Present and future projections of habitat suitability of the Asian tiger mosquito, a vector of viral pathogens, from global climate simulation», Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, vol. 370, no. 1665, pp. 1-16.

Reisen, W.K., Fang, Y. & Martinez, V.M. 2006, «Effects of temperature on the transmission of West Nile virus by Culex tarsalis (Diptera: Culicidae)», Journal of medical entomology, vol. 43, no. 2, pp. 309-317.

Reisen, W., Lothrop, H., Chiles, R., Madon, M., Cossen, C., Woods, L., Husted, S., Kramer, V. & Edman, J. 2004, «West Nile virus in California», Emerging Infectious Diseases, vol. 10, no. 8, pp. 1369-1378.

Rezza, G., Nicoletti, L., Angelini, R., Romi, R., Finarelli, A., Panning, M., Cordioli, P., Fortuna, C., Boros, S., Magurano, F., Silvi, G., Angelini, P., Dottori, M., Ciufolini, M., Majori, G. & Cassone, A. 2007, «Infection with chikungunya virus in Italy: an outbreak in a temperate region», Lancet, vol. 370, no. 9602, pp. 1840-1846.

Sellers, R.F. & Maarouf, A.R. 1990, «Trajectory analysis of winds and eastern equine encephalitis in USA, 1980–5», Epidemiology and infection, vol. 104, no. 2, pp. 329-343.

Semenza, J.C., Tran, A., Espinosa, L., Sudre, B., Domanovic, D. & Paz, S. 2016, «Climate change projections of West Nile virus infections in Europe: Implications for blood safety practices», Environmental Health: A Global Access Science Source, vol. 15.

Stilianakis, N.I., Syrris, V., Petroliagkis, T., Pärt, P., Gewehr, S., Kalaitzopoulou, S., Mourelatos, S., Baka, A., Pervanidou, D., Vontas, J. & Hadjichristodoulou, C. 2016, «Identification of climatic factors affecting the epidemiology of human west nile virus infections in northern Greece», PLoS ONE, vol. 11, no. 9.

Thomas, S.M., Fischer, D., Fleischmann, S., Bittner, T. & Beierkuhnlein, C. 2011, «Risk assessment of dengue virus amplification in Europe based on spatio-temporal high resolution climate change projections», Erdkunde, vol. 65, no. 2, pp. 137-150.

Tilston, N., Skelly, C. & Weinstein, P. 2009, «Pan-European Chikungunya surveillance: Designing risk stratified surveillance zones», International Journal of Health Geographics, vol. 8, pp. 61.

Trájer, A.J. 2017, «Meteorological conditions associated with west nile fever incidences in mediterranean and continental climates in Europe», Idojaras, vol. 121, no. 3, pp. 303-328.

Waldock, J., Chandra, N.L., Lelieveld, J., Proestos, Y., Michael, E., Christophides, G. & Parham, P.E. 2013, «The role of environmental variables on Aedes albopictus biology and chikungunya epidemiology», Pathogens and Global Health, vol. 107, no. 5, pp. 224-241.

Watts, D.M., Burke, D.S., Harrison, B.A., Whitmire, R.E. & Nisalak, A. 1987, «Effect of temperature on the vector efficiency of Aedes aegypti for dengue 2 virus», American Journal of Tropical Medicine and Hygiene, vol. 36, no. 1, pp. 143-152.

Zeller, H., Marrama, L., Sudre, B., Van Bortel, W. & Warns-Petit, E. 2013, «Mosquito-borne disease surveillance by the European Centre for Disease Prevention and Control», Clinical Microbiology and Infection, vol. 19, no. 8, pp. 693-698.

Alfano, F.R.D.A., Palella, B.I. & Riccio, G. 2011, "Thermal environment assessment reliability using temperature—humidity indices", Ind. Health, vol. 49, pp. 95-106.

Bartzokas, A., Lolis, C.J., Kassomenos, P.A. & McGregor, G.R. 2013, "Climatic characteristics of summer human thermal discomfort in Athens and its connection to atmospheric circulation", Nat. Hazards Earth Syst. Sci., vol. 13, pp. 3271-3279.

Blazejczyk, K., Epstein, Y., Jendritzky, G., Staiger, H. & Tinz, B. 2012, "Comparison of UTCI to selected thermal indices", Int. J. Biometeorol., vol. 56, pp. 515-535.

Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Tinz, B. & Havenith, G. 2012, "Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI)", Int. J. Biometeorol., vol. 56, pp. 481-494.

Cannon, A.J. 2018, "Multivariate quantile mapping bias correction: an N-dimensional probability density function transform for climate model simulations of multiple variables", Climate Dynamics, vol. 50, pp. 31-49.

Chen, Y.C. & Matzarakis, A. 2018, "Modified physiologically equivalent

temperature—Basics and applications for western European climate", Theor. Appl. Climatol., vol. 132, pp. 1275-1289.

Cohen, P., Potchter, O. & Matzarakis, A. 2013, "Human thermal perception of Coastal Mediterranean outdoor urban environments", Appl. Geography, vol. 37, pp. 1-10.

De Freitas, C.R. & Grigorieva, E.A. 2015, "A comprehensive catalogue and classification of human thermal climate indices", Int. J. Biometeorol., vol. 59, pp. 109-120.

De Freitas, C.R. & Grigorieva, E.A. 2017, "A comparison and appraisal of a comprehensive range of human thermal climate indices", Int. J. Biometeorol., vol. 61, pp. 487-512.

EEA 2017, "Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016: An indicator-based report", EEA Report No 1/2017, European Environment Agency, Copenhagen.

Environment Canada, 2018, "Spring and summer weather hazards", https://www.canada.ca/en/environment-climate-change/services/seasonal-weather-hazards/spring-summer.html#humidex. Accessed 9 April 2018.

Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B. & Jendritzky, G. 2012, "UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation", Int. J. Biometeorol., vol. 56, pp. 429-441.

Founda, D. 2011, "Evolution of the air temperature in Athens and evidence of climatic change: a review", Advances Build. Energy Res., vol. 5, pp. 7-41.

Founda, D. & Giannakopoulos, C. 2009, "The exceptionally hot summer of 2007 in Athens, Greece—a typical summer in the future climate?", Glob. Planet. Change, vol. 67 pp. 227-236.

Founda, D. & Santamouris, M. 2017, "Synergies between urban heat island and heat waves in Athens (Greece), during an extremely hot summer (2012)", Scientific Rep., vol. 7, no. 10973.

Founda, D., Kambezidis, H.D., Petrakis, M., Zanis, P. & Zerefos, C. 2009, "A correction of the recent air-temperature record at the historical meteorological station of the National Observatory of Athens (NOA) due to instrument change", Theor. Appl. Climatol., vol. 97, pp. 385-389.

Gabriel, K.M.A. & Endlicher, W.R. 2011, "Urban and rural mortality rates during heat waves in Berlin and Brandenburg, Germany", Environ. Pollut., vol. 159, pp. 2044-2050.

Havenith, G., Fiala, D., Błażejczyk, K., Richards, M., Bröde, P., Holmér, I., Rintamaki, H., Benshabat, Y. & Jendritzky, G. 2012, "The UTCI-clothing model", Int. J. Biometeorol., vol. 56, pp. 461-470.

Höppe, P. 1999, "The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment", Int. J. Biometeorol., vol. 43, pp. 71-75.

HSA, 2011, "Population and Housing Census of 2011", Hellenic Statistical Authority. http://www.statistics.gr/en/2011-census-pop-hous. Accessed 11 September 2019.

IPCC, 2014, "Climate Change 2014: Synthesis Report", Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri RK, Meyer LA (eds.)]. IPCC, Geneva.

Jendritzky, G., deDear, R. & Havenith, G. 2012, "UTCI-why another thermal index?" Int. J. Biometeorol., vol. 56, pp. 421-428.

Katavoutas, G., & Founda, D. 2019, "Response of urban heat stress to heat waves in Athens (1960–2017)", Atmosphere, vol. 10, no. 483.

Katavoutas, G., Georgiou, G.K. & Asimakopoulos, D.N. 2015, "Studying the urban thermal environment under a human-biometeorological point of view: the case of a large coastal metropolitan city, Athens", Atmos. Res., vol. 152, pp. 82-92.

Kazadzis, S., Founda, D., Psiloglou, B.E., Kambezidis, H., Mihalopoulos, N., Sanchez-Lorenzo, A., Meleti, C., Raptis, P.I., Pierros, F. & Nabat, P. 2018, "Long-term series and trends in surface solar radiation in Athens, Greece", Atmos. Chem. Phys., vol. 18, pp. 2395-2411.

Knutson, T.R. & Ploshay, J.J. 2016, "Detection of anthropogenic influence on a summertime heat stress index", Clim. Change, vol. 138, pp. 25-39.

Masterson, J., Richardson, F.A. 1979, "Humidex, a method of quantifying human discomfort due to excessive heat and humidity", Environment Canada, Downsview, Ontario.

Matzarakis, A., Rutz, F. & Mayer, H. 2007, "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments—application of the RayMan model", Int. J. Biometeorol., vol. 51, pp. 323-334.

Matzarakis, A., Rutz, F. & Mayer, H. 2010, "Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: basics of the RayMan model", Int. J. Biometeorol., vol. 54, pp. 131-139.

NOAA, 2018a, "Summer weather safety and survival: The Heat Index", https://www.weather.gov/oun/safety-summer-heatindex. Accessed 3 April 2018.

NOAA, 2018b, National Centers for Environmental information, Climate at a Glance: Global Time Series. https://www.ncdc.noaa.gov/cag/. Accessed 7 November 2018.

Peel, M.C., Finlayson, B.L. & McMahon, T.A. 2007, "Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification", Hydrol. Earth Syst. Sci., vol. 11, pp. 1633-1644.

Popke, D., Stevens, B. & Voigt, A. 2013, "Climate and climate change in a radiative-convective equilibrium version of ECHAM6", Journal of Advances in Modeling Earth Systems, vol. 5, pp. 1-14.

Provençal, S., Bergeron, O., Leduc, R. & Barrette, N. 2016, "Thermal comfort in Quebec City, Canada: sensitivity analysis of the UTCI and other popular thermal comfort indices in a mid-latitude continental city", Int. J. Biometeorol., vol. 60, pp. 591-603.

Rothfusz, L.P. 1990 "The heat index equation", NWS Southern Region Technical Attachment, SR/SSD 90-23, Fort Worth, Texas.

Santamouris, M. 2015, "Regulating the damaged thermostat of the cities-Status, impacts and mitigation challenges", Energy Build., vol. 91, pp. 43-56.

Steadman, R.G. 1979 "The assessment of sultriness. Part I: A temperature-humidity index based on human physiology and clothing science", J. Appl. Meteorol., vol. 18, pp. 861-873.

Strandberg, G., Bärring, A., Hansson, U., Jansson, C., Jones, C. & Kjellström, E. 2014, "CORDEX scenarios for Europe from the Rossby Centre regional climate model RCA4", Reports Meteorology and Climatology, No 116, SMHI, Norrköping, Sverige.

Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A.J., Li, F. & Chen, H. 2010, "The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai", Int. J. Biometeorol., vol. 54, pp. 75-84.

Theoharatos, G., Pantavou, K., Mavrakis, A., Spanou, A., Katavoutas, G., Efstathiou, P., Mpekas, P. & Asimakopoulos, D. 2010, "Heat waves observed in 2007 in Athens, Greece: synoptic conditions, bioclimatological assessment, air quality levels and health effects", Environ. Res., vol. 110, pp. 152-161.
VDI, 1998, "VDI 3787, Part I: environmental meteorology, methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for the urban and regional planning at regional level", Part I: Climate. Beuth, Berlin.

ΕΚΠΑΑ

ΕΘΝΙΚΟ ΚΕΝΤΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ
& ΑΕΙΦΟΡΟΥ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ekpaa.ypeka.gr