



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΛΟΓΙΑΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑΣ & ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑΣ



ΦΡΑΓΚΕΣΚΟΣ ΚΕΚΚΟΥ
Πτυχιούχος Φυσικός

ΚΑΥΣΩΝΕΣ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ
ΚΑΥΣΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΣΤΡΕΣ ΚΑΙ ΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
«ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ, ΚΛΙΜΑΤΟΛΟΓΙΑ ΚΑΙ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ»

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ

2023





ΦΡΑΓΚΕΣΚΟΣ ΚΕΚΚΟΥ

Πτυχιούχος Φυσικός

ΚΑΥΣΩΝΕΣ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΧΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΚΑΥΣΩΝΑ ΜΕ
ΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΣΤΡΕΣΣ ΚΑΙ ΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ

Υποβλήθηκε στο Τμήμα Γεωλογίας στα πλαίσια του Προγράμματος Μεταπτυχιακών
Σπουδών 'Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον

Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης:

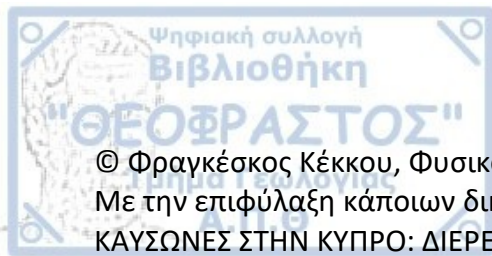
12/01/2024

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγήτρια: Χριστίνα Αναγνωστοπούλου

Αναπληρώτρια Καθηγήτρια: Κωνσταντία Τολίκα

Associate Research Scientist: Theo Economou



© Φραγκέσκος Κέκκου, Φυσικός, 2023

Με την επιφύλαξη κάποιων δικαιωμάτων

ΚΑΥΣΩΝΕΣ ΣΤΗΝ ΚΥΠΡΟ: ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΗΣ ΣΥΣΧΤΙΣΗΣ ΤΩΝ ΕΠΕΙΣΟΔΙΩΝ ΚΑΥΣΩΝΑ ΜΕ ΤΟ ΘΕΡΜΙΚΟ ΣΤΡΕΣΣ ΚΑΙ ΤΗ ΔΗΜΟΣΙΑ ΥΓΕΙΑ – *Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία*

Το έργο παρέχεται υπό τους όρους Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0.

© Fragkeskos Kekkou, Physicist, 2023

Some rights reserved.

HEAT WAVES IN CYPRUS: EXPLORING THE ASSOCIATION OF HEAT WAVES WITH HEAT STRESS AND PUBLIC HEALTH – *Master Thesis*

The work is provided under the terms of Creative Commons CC BY-NC-SA 4.0.

Citation:

Κέκκου Φ., 2023 – Καύσωνες στην Κύπρο: Διερεύνηση της συσχέτισης των επεισοδίων καύσωνα με το θερμικό στρες και τη δημόσια υγεία. Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Γεωλογίας Α.Π.Θ., 86 σελ.

Kekkou F, 2023. – Heat waves in Cyprus: Exploring the association of the heat waves with heat stress and public health. Master Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 86 pp.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευτεί ότι εκφράζουν τις επίσημες θέσεις του Α.Π.Θ.



Ευχαριστίες

Η παρούσα Διπλωματική Εργασία με θέμα: «Καύσωνες στην Κύπρο: Διερεύνηση της συσχέτισης των επεισοδίων καύσωνα με το θερμικό στρες και τη δημόσια υγεία», εκπονήθηκε στο πλαίσιο των μεταπτυχιακών μου σπουδών που διεξήχθησαν στο πρόγραμμα «Μετεωρολογία, Κλιματολογία και Ατμοσφαιρικό Περιβάλλον» του Τμήματος Γεωλογίας του Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης.

Πρωτίστως θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσα καθηγήτρια μου κα. Χριστίνα Αναγνωστοπούλου για την υποστήριξη, την εμπιστοσύνη και καθοδήγηση που μου πρόσφερε κατά την διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής μου εργασίας. Είμαι ευγνώμον για την ευκαιρία που μου δόθηκε να μελετήσω ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, στο οποίο η εμπειρία και οι πολύτιμες συμβουλές της προσέδωσαν σημαντική αξία στην ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας.

Ιδιαίτερες ευχαριστίες εκφράζω στους Theo Economidou και Γεωργία Λάζογλου, που στα πλαίσια πρακτικής άσκησης ως intern στο Cyprus Institute, μου πρόσφεραν απλόχερα μεγάλη βοήθεια, χρήσιμες γνώσεις και συμπαράσταση στην επεξεργασία και εξαγωγή των αποτελεσμάτων μου, καθώς και για την όλη τους στήριξη.

Παράλληλα ευχαριστίες οφείλω και στην κα. Κωνσταντία Τολίκα και τον Theo Economidou, οι οποίοι συνιστούν την τριμελή εξεταστική επιτροπή μου.

Επιπλέον ευχαριστίες εκφράζω και στη κα. Μαρία Αθανασιάδου από Μονάδα Παρακολούθησης Υγείας του Υπουργείου Υγείας και της Στατιστική Υπηρεσία της Κυπριακής Δημοκρατίας για τα δεδομένα υγείας και τις διευκρινήσεις που μου πρόσφεραν.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω από τα βάθη της καρδιάς μου την οικογένεια και τους φίλους μου, που με στήριξαν σε όλη αυτή την διαδρομή ολοκλήρωσης του μεταπτυχιακού προγράμματος.

Οι καύσωνες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες αποτελούν κοινό χαρακτηριστικό των χωρών που χαρακτηρίζονται από μεσογειακό κλίμα, όπως η Κύπρος. Ωστόσο, στο πλαίσιο της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής, η συχνότητα, η ένταση και η διάρκεια των καυσώνων στην ευρύτερη περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου έχουν αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες. Το γεγονός αυτό έχει δημιουργήσει πιο στρεσογόνες βιοκλιματικές συνθήκες, όπως καταδεικνύουν πολλές έρευνες. Ταυτόχρονα, οι μελλοντικές κλιματικές προβλέψεις δείχνουν ότι οι καύσωνες που παρατηρήθηκαν στις αρχές του 21^{ου} αιώνα και χαρακτηρίστηκαν ως ακραίοι θα γίνουν ο κανόνας τα επόμενα έτη. Στην παρούσα εργασία επιβεβαιώνεται η αύξηση της θερμοκρασίας στην Κύπρο την τελευταία 40ετία. Ως καύσωνες ορίζονται οι ημέρες που η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία ξεπερνούσε το 95^ο ποσοστημόριο, για την περίοδο 2000 – 2019. Βάσει του κριτηρίου αυτού πραγματοποιήθηκε κλιματολογική μελέτη των επεισοδίων καύσωνα στην περιοχή της Κύπρου, ενώ ταυτόχρονα μελετήθηκε το θερμικό στρες μέσω του βιοκλιματικού δείκτη UTCI. Ο δείκτης αυτός παρέχει μια ολοκληρωμένη εκτίμηση της ανθρώπινης θερμικής δυσφορίας που προκαλείται από το θερμικό περιβάλλον. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον σκοπό αυτό, ήταν δεδομένα θερμοκρασίας από τη βάση δεδομένων ERA5 – Land και δεδομένα βιοκλιματικού δείκτη UTCI από την αντίστοιχη βάση δεδομένων ERA5 – HEAT. Παράλληλα εκτιμήθηκε η συσχέτιση του UTCI με τα δεδομένα υγείας που αφορούν δεδομένα θνησιμότητας και νοσηλειών από οκτώ δημόσια νοσοκομεία της Κύπρου όπως προκύπτουν από τη Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου και την Υπηρεσία Δημόσιας Υγείας του Υπουργείου Υγείας αντίστοιχα. Τέλος χρησιμοποιώντας την στατιστική μεθοδολογία των GAMs (Generalized Additive Models) εκτιμήθηκε το ρίσκο θνησιμότητας και νοσηρότητας με βάση την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία και τον δείκτη UTCI για χρόνο υστέρησης 20 ημερών. Από τα αποτελέσματα φαίνεται ότι το ρίσκο θνησιμότητας και το ρίσκο νοσηρότητας, αυξάνεται στατιστικά σημαντικά στις χαμηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τις υψηλότερες θερμοκρασίες.



Abstract

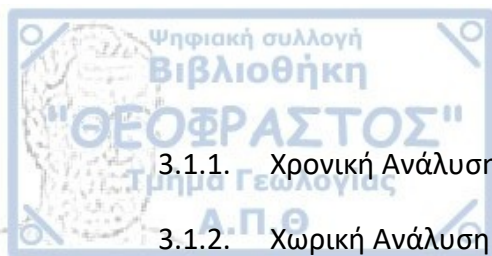
Heatwaves during the summer months are a common characteristic of countries with a Mediterranean climate, such as Cyprus and Greece. However, within the context of anthropogenic climate change, the frequency, intensity, and duration of heatwaves in the broader Eastern Mediterranean region have significantly increased in recent decades, particularly since 1990. This has resulted in more stressful bioclimatic conditions, as indicated by numerous studies. Concurrently, future climate predictions suggest that the heatwaves observed in the early 21st century, once considered extreme, will become the norm in the coming years.

This study confirms the rise in temperatures in Cyprus over the last 40 years. Heatwaves are defined as days where both maximum and minimum temperatures exceed the 95th percentile for the period 2000–2019. Using this criterion, a climatological analysis of heatwave events in the Cyprus region was conducted, while the thermal stress was studied through the Universal Thermal Climate Index (UTCI). This index provides a comprehensive assessment of human thermal discomfort caused by the thermal environment. The data utilized for this purpose included temperature data from the ERA5 – Land database and UTCI bioclimatic index data from the ERA5 – HEAT database. Additionally, the correlation of UTCI with health data, including mortality and hospitalizations from eight public hospitals in Cyprus, was examined based on statistics from the Cyprus Statistical Service and the Public Health Service of the Ministry of Health, respectively. Lastly by using the statistical methodology of Generalized Additive Models (GAMs), the risk of mortality and morbidity was estimated based on maximum and minimum temperatures and the UTCI index for a lag of 20 days. Results indicate a statistically significant increase in the risk of mortality and morbidity at lower temperatures compared to higher temperatures.



Περιεχόμενα

Ευχαριστίες:	V
Περίληψη	VI
Abstract	VII
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Καύσωνες - Ορισμός	1
1.2 Καύσωνες και υγεία	2
1.2.1 Οι πιο θανατηφόροι καύσωνες	2
1.2.2 Επίδραση στην υγεία	2
1.2.3 Παράμετροι ορισμού καυσώνων και σχέση με υγεία	5
1.3 Βιοκλιματικοί δείκτες	6
1.4 Κλιματική αλλαγή	9
1.4.1 Κλιματική αλλαγή - Καύσωνες	9
1.4.2 Κλιματική αλλαγή – Επιπτώσεις στην υγεία	10
1.5 Περιοχή Μελέτης	11
1.6 Στόχος της μελέτης	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	16
1.1 Δεδομένα	16
1.1.1 Δεδομένα Θερμοκρασιών	16
1.1.2 Δεδομένα UTCI – Universal Thermal Climate Index	17
1.1.3 Δεδομένα Υγείας	17
1.2 Καύσωνες – ακραία θερμές περίοδοι	19
1.3 Universal Thermal Climate Index	19
1.4 Συσχέτιση και Generalized Additive Models (GAMs)	22
1.4.1 Συσχέτιση	22
1.4.2 Generalized Additive Models (GAMs)	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	28
3.1 Κλιματολογία	28



3.1.1. Χρονική Ανάλυση.....	28
3.1.2. Χωρική Ανάλυση.....	33
3.2 Ακραία θερμές περίοδοι – Καύσωνες.....	34
3.2.1 Χωρική και χρονική ανάλυση	37
3.2.2 Συνεχόμενες ημέρες ακραίων θερμοκρασιών	40
3.3 Θερμικό στρες	43
3.3.1 Σχέση ακραίων θερμοκρασιών και θερμικού στρες	46
3.4 Συσχέτιση – GAMs.....	49
3.4.1 Συσχέτιση	49
3.4.2 GAMs.....	51
3.4.3 GAMs – Θνησιμότητα	52
3.4.4 GAMs - Νοσηρότητα	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	59
Βιβλιογραφία	I
Κατάλογος Σχημάτων.....	VIII
Κατάλογος Πινάκων	XI
Παράρτημα	I

1.1 Καύσωνες - Ορισμός

Ο καύσωνας είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει σημαντικά την καθημερινότητα των ανθρώπων, κυρίως κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Η φύση του φαινομένου του καύσωνα είναι τέτοια, που δύσκολα εντοπίζεται στη βιβλιογραφία ένας συγκεκριμένος ορισμός που να μπορεί να περιγράψει σε όλο το εύρος τα χαρακτηριστικά και τις επιπτώσεις του. Η χρήση διαφόρων μεθοδολογιών, διαφορετικών θερμοκρασιακών ορίων και διάρκειας ημερών οδηγεί σε διαφορετικούς τρόπους ορισμού του καύσωνα από περιοχή σε περιοχή, δυσχεραίνοντας έτσι τη σύγκριση των αποτελεσμάτων από διάφορες μελέτες. Έτσι η μελέτη των καυσώνων στην ερευνητική κοινότητα αποτελεί πρόκληση (Brooke Anderson and Bell 2011). Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Μετεωρολογικό Οργανισμό ο ορισμός «καύσωνας», χαρακτηρίζει μία χρονική περίοδο με ασυνήθιστα υψηλές θερμοκρασίες που διαφέρουν ανάλογα με την γεωγραφική περιοχή και μπορεί να διαρκέσουν από μερικές ημέρες μέχρι κάποιους μήνες (WMO, 2023). Παράλληλα κατά την διάρκεια του φαινομένου του καύσωνα, προκαλούνται αλλαγές στον τρόπο ζωής, στην λειτουργικότητα της κοινωνίας καθώς και αρνητικές επιπτώσεις στην υγεία του πληθυσμού που επηρεάζεται (Robinson 2001). Πέραν από την ανθρωποκεντρική προσέγγιση είναι σημαντικό να λαμβάνονται υπόψη και άλλες αρνητικές επιπτώσεις των καυσώνων, όπως για παράδειγμα στη ποιότητα του νερού, στη αυξημένη κατανάλωση ενέργειας, στη ρύπανση, την ξηρασία, τις πυρκαγιές, τον τουρισμό καθώς και άλλα κοινωνικά θέματα με τις οικονομικές ζημιές που επιφέρουν (Zuo et al. 2015). Συνεπώς, παρόλο που ο καύσωνας είναι ένα μετεωρολογικό φαινόμενο, δεν μπορεί να οριστεί και να αξιολογηθεί χωρίς αναφορά στις ανθρώπινες και τις κοινωνικές επιπτώσεις που προκαλεί (Robinson 2001).

1.2 Καύσωνες και υγεία

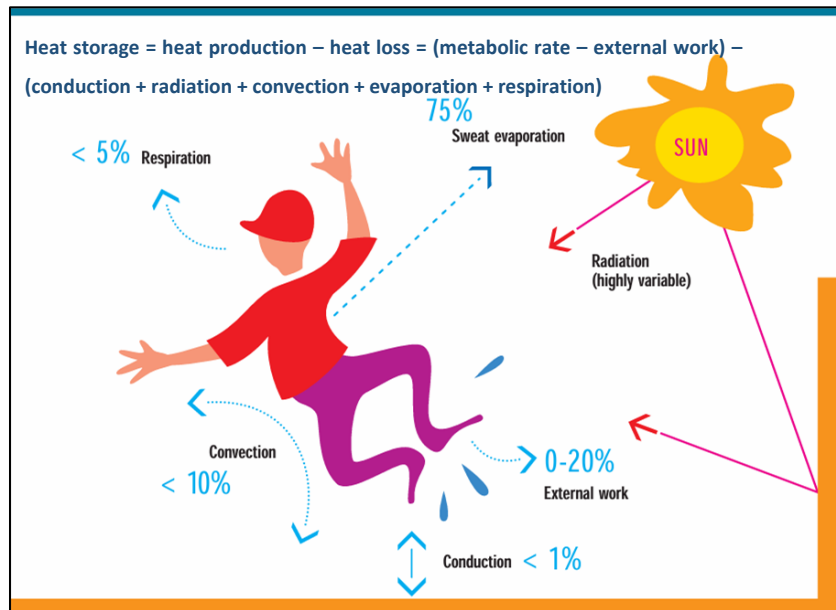
1.2.1 Οι πιο θανατηφόροι καύσωνες

Ένας από τους πιο γνωστούς καύσωνες αποτελεί η περίπτωση του καύσωνα στην Ευρώπη το 2003 που επηρέασε τις χώρες της κεντρικής Ευρώπης όπως είναι η Γαλλία, Αγγλία, Γερμανία, Ελβετία και Πορτογαλία. Πολλά ρεκόρ μέγιστης θερμοκρασίας καταρρίφθηκαν, ενώ σημειώθηκε ρεκόρ στους καταγεγραμμένους θανάτους που εκτιμήθηκαν γύρω στις 40,000. Περίπου 15,000 άνθρωποι έχασαν τη ζωή τους στη Γαλλία, 2000 στο Ηνωμένο Βασίλειο σύμφωνα με το MetOffice, 2,100 στην Πορτογαλία και 3,100 στην Ιταλία (Garcia-Herrera et al. 2010). Ένας από τους πιο θανατηφόρους καύσωνες στις Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής αποτελεί η περίπτωση του 1995, ο οποίος επηρέασε τις κεντροδυτικές πολιτείες και κυρίως το Σικάγο, στο οποίο καταμετρήθηκαν πάνω από 500 θάνατοι, λόγω των ακραία υψηλών τιμών αισθητής θερμοκρασίας (Karl and Knight 1997). Πρωτοφανής ήταν και ο καύσωνας που σημειώθηκε στην Ρωσία το 2010 στον οποίο οι υψηλές θερμοκρασίες σε συνδυασμό με τις ξηρές συνθήκες που επικρατούσαν προκάλεσαν πυρκαγιές και 55,000 θανάτους, εκ των οποίων οι 10,900 στην Μόσχα, ως αποτέλεσμα των υψηλών θερμοκρασιών και της κακής ποιότητας του αέρα (Sharoshnikov et al. 2015). Ο σοβαρότερος καύσωνας από άποψη επιπτώσεων στη θνησιμότητα που σημειώθηκε στην Ελλάδα, ήταν αυτός τον Ιούλιο του 1987, στον οποίο καταγράφηκαν στην Αθήνα 926 θάνατοι και 2960 εισαγωγές σχετικές με τον καύσωνα. Εκτιμάται ότι ο συνολικός αριθμός θανάτων ήταν γύρω στις 2000. Ένα χρόνο αργότερα το 1988 ακόμα ένας ισχυρός καύσωνας επηρέασε την Ελλάδα προκαλώντας 28 θανάτους και 250 εισαγωγές σχετιζόμενες με συμπτώματα θερμοπληξίας και θερμικής καταπόνησής (Katsouyianni K et al. 1988).

1.2.2 Επίδραση στην υγεία

Είναι γνωστό ότι τα σοβαρότερα επεισόδια καύσωνα με βάση τη βιβλιογραφία συνδέονται στις περισσότερες των περιπτώσεων με πολυάριθμες ανθρώπινες απώλειες (EEA, 2012). Ένας από τους λόγους στους οποίους οι ακραία υψηλές θερμοκρασίες

μπορούν να επιδράσουν αρνητικά στην ανθρώπινη υγεία είναι η μη ορθή ρύθμιση της θερμοκρασίας του σώματος. Ο εγκέφαλος είναι το κύριο όργανο που ρυθμίζει την θερμοκρασία εντός επιτρεπτών ορίων ($\sim 37^{\circ}\text{C}$) μέσω βασικών λειτουργιών του σώματος. Αυτό επιτυγχάνεται μέσω της εξισορρόπησης της παραγωγής και της απώλειας θερμότητας του οργανισμού. Εάν για οποιονδήποτε λόγο το σώμα δέχεται περισσότερη θερμότητα από αυτή που αποβάλλει, τότε οι μηχανισμοί που προσπαθούν να ρυθμίσουν την θερμοκρασία του σώματος είναι μέσω της παραγωγής ιδρώτα, για την απώλεια θερμότητας από το δέρμα καθώς και η σωστή ροή του αίματος για την μεταφορά της θερμότητας από τον πυρήνα του σώματος και των μυών στο δέρμα. Κατά την διάρκεια θερμών επεισοδίων και καύσωνα, οι μηχανισμοί αυτοί πρέπει να λειτουργούν σωστά (Korpe et al. 2004).



Σχήμα 1: Ρύθμιση θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος και εξίσωση ισοζυγίου θερμότητας (Korpe et al. 2004)

Οι συχνότερες επιπτώσεις των υψηλών θερμοκρασιών στην υγεία των ανθρώπων είναι τα δερματικά εξανθήματα, οι κράμπες, η θερμική κόπωση/εξάντληση, καθώς και η θερμοπληξία. Οι περισσότερες ασθένειες, εκτός από τις δερματικές, οφείλονται στη μη ορθή λειτουργία του θερμορυθμιστικού συστήματος. Όταν ο ανθρώπινος οργανισμός εκτίθεται σε συνθήκες θερμικού στρες, το θερμικό φορτίο αυξάνεται, αποτρέποντας τη

διατήρηση της ισορροπίας της θερμοκρασίας του σώματος. Αν η θερμοκρασία του σώματος αυξηθεί πάνω από 40,5°C, τότε μπορεί να προκαλέσει κατάρρευση της δομής των κυττάρων, πονοκέφαλο και ζαλάδα, που οδηγούν στην αύξηση του κινδύνου θνησιμότητας. Ακόμα και σε περίπτωση καύσωνα, αν οι μηχανισμοί θερμορύθμισης λειτουργούν κανονικά (π.χ. ιδρώτας), μπορούν και πάλι να δημιουργήσουν προβλήματα λόγω της έντονη εφίδρωση. Τότε αυξάνεται ο κίνδυνος αφυδάτωσης, που μπορεί να προκαλέσει προβλήματα του αναπνευστικού συστήματος, ταχυπαλμίες και κόπωση (Korpe et al. 2004; Met Office 2023; PreventionWeb 2023).

Οι παράγοντες που καθορίζουν τις ευάλωτες κατηγορίες ατόμων στις ασθένειες που σχετίζονται με τους καύσωνες είναι οι φυσιολογικοί και περιβαλλοντικοί. Φυσιολογικοί παράγοντες αναφέρονται στο φύλο, την ηλικία, άτομα που ανήκουν σε ευπαθείς ομάδες ή λαμβάνουν συγκεκριμένη φαρμακευτική αγωγή. Οι περιβαλλοντικοί παράγοντες αναφέρονται σε κατηγορίες ανθρώπων ανάλογα με τον ρουχισμό, την εργασία, τον εγκλιματισμό τους σε τέτοιες μετεωρολογικές συνθήκες, παχύσαρκα άτομα ή άτομα που δεν ασκούνται. Παράλληλα στις ευάλωτες ομάδες αυτής της κατηγορίας – ανήκουν άτομα τα οποία ζουν μόνα τους ή ζουν σε υποδομές χωρίς κλιματισμό. Με λίγα λόγια εισάγονται κοινωνικοοικονομικά κριτήρια (Korpe et al. 2004, Ebi et al. 2020a;).

Οι καύσωνες χαρακτηρίζονται ως «σιωπηλοί δολοφόνοι» μιας και οι επιπτώσεις τους στην υγεία των ανθρώπων δεν είναι άμεσες, ενώ στις πλείστες των περιπτώσεων επιδεινώνουν ήδη προϋπάρχουσες ασθένειες (Perkins 2015). Έτσι, ένα από τα σημαντικότερα προβλήματα αναφορικά με τις επιπτώσεις στην υγεία από τους καύσωνες, είναι η καταγραφή των σχετιζόμενων περιστατικών κυρίως στα στατιστικά θνησιμότητας σύμφωνα με τη Διεθνή Κατηγοριοποίηση Ασθενειών. Για παράδειγμα η θερμοπληξία συχνά μπερδεύεται με άλλες ασθένειες, σχετικές με την καρδιά (coronary) ή θρόμβωση εγκεφαλικής φλέβας (cerebral thrombosis) ιδίως εάν περάσουν ώρες μετά το σύμπτωμα/θάνατο, με αποτέλεσμα να υποεκτιμούνται (Korpe et al. 2004). Έτσι η εκτίμηση της θνησιμότητας από θερμικά αίτια, συνήθως γίνεται με τη χρήση περιγραφικών στατιστικών μεθόδων όπως το «excess mortality» (π.χ. Αθήνα 1987,

καταγεγραμμένοι θάνατοι 926, εκτιμώμενοι θάνατοι πέραν των 2000) (Katsouyianni K et al. 1988). Σε άλλες περιπτώσεις και με βάση τη βιβλιογραφία, προκύπτει να μελετηθεί η συσχέτιση καυσώνων με την θνησιμότητα μελετώνται οι κυριότερες και πιο πιθανές κατηγορίες που επηρεάζονται κυρίως σε συνθήκες καύσωνα, όπως είναι αυτές του καρδιαγγειακού – κυκλοφορικού και αναπνευστικού συστήματος (Cheng et al. 2019).

1.2.3 Παράμετροι ορισμού καυσώνων και σχέση με υγεία

Στο παρελθόν, ακόμα και σήμερα το πιο σύνηθες κριτήριο για να καθοριστεί μια ημέρα ως «ημέρα καύσωνα» ήταν η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία, π.χ στην Αθήνα όταν η μέγιστη θερμοκρασία ήταν μεγαλύτερη ή ίση των 37°C ή στην Λάρισα των 38°C (Metaxas D.A and Kallos G 1980). Στην Κύπρο εκδίδεται κίτρινη, πορτοκαλί και κόκκινη προειδοποίηση για εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες ανάλογα με τον γεωγραφικό διαχωρισμό, λαμβάνοντας υπόψιν μόνο την μέγιστη και την ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία. Για παράδειγμα στο εσωτερικό της Κύπρου κίτρινη προειδοποίηση εκδίδεται όταν η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία ανήκουν στο εύρος $40^{\circ}C \leq T_{max} \leq 42^{\circ}C$ και $26^{\circ}C \leq T_{min} \leq 28^{\circ}C$ αντίστοιχα. Πορτοκαλί προειδοποίηση όταν $42^{\circ}C \leq T_{max} \leq 44^{\circ}C$ και $28^{\circ}C \leq T_{min} \leq 30^{\circ}C$ ενώ για κόκκινη προειδοποίηση $T_{max} > 44^{\circ}C$ και $T_{min} > 30^{\circ}C$ (Τμήμα Μετεωρολογίας Κύπρου, 2023).

Πολλές μελέτες πραγματοποιήθηκαν για να διευκρινιστεί ποια μετεωρολογική παράμετρος του καύσωνα, συμβάλει με το δυσμενέστερο τρόπο στην ανθρώπινη υγεία. Ορισμένες μελέτες υποστηρίζουν ότι λαμβάνοντας υπόψη μόνο την μέγιστη θερμοκρασία εμφανίζεται καλύτερη σύνδεση με τη θνησιμότητα και την νοσηρότητα. Αυτό υποστηρίζεται από το γεγονός ότι η μεγαλύτερη έκθεση και οι δραστηριότητες των ανθρώπων γίνονται κατά την διάρκεια της ημέρας που σημειώνονται οι μέγιστες θερμοκρασίες (Xu and Tong 2017a; Basagaña et al. 2011; Nitschke et al. 2011). Άλλες μελέτες που πραγματοποιήθηκαν σε Αυστραλία, Κύπρο, Θεσσαλονίκη, Αμερική κτλ., υποστηρίζουν ότι η μέση ημερήσια θερμοκρασία περιγράφει καλύτερα την θερμική καταπόνηση των ανθρώπων αφού λαμβάνεται υπόψιν και η ελάχιστη θερμοκρασία κατά

τις βραδινές ώρες (Xu and Tong 2017b; Anderson and Bell 2011; Pyrgou and Santamouris 2020; Pantavou et al. 2021a). Σημαντικές είναι οι επιπτώσεις ιδίως στις κεντρικές πόλεις σε αντίθεση με τις επαρχίες, που αναπτύσσεται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Δηλαδή το φαινόμενο όπου το αστικό κέντρο μιας πόλης εμφανίζει υψηλότερες θερμοκρασίες σε σχέση με την περιφέρεια. Ειδικότερα, ο ανθρώπινος οργανισμός εξαντλείται κατά την διάρκεια της ημέρας λόγω υψηλών θερμοκρασιών, αλλά κατά τις βραδινές ώρες βρίσκει την ευκαιρία να αποφορτιστεί. Παρ' όλ' αυτά, στις αστικές περιοχές, οι υψηλές νυχτερινές θερμοκρασίες, όχι μόνο δεν επιτρέπουν να αποφορτίζεται αλλά προσθέτει περισσότερο θερμικό στρες στον οργανισμό, αφού δεν του επιτρέπει να ξεκουραστεί. Σύμφωνα με τους Laaidi et al. 2012 οι ηλικιωμένοι βρίσκονται σε μεγαλύτερο ρίσκο σε τέτοιες περιπτώσεις, κυρίως όταν λαμβάνονται υπόψιν καύσωνες που ορίζονται μόνο με τις χαμηλές ημερήσιες θερμοκρασίες συγκριτικά με τις μέσες θερμοκρασίες.

1.3 Βιοκλιματικοί δείκτες

Όπως αναφέρθηκε, παρά το γεγονός ότι ο καύσωνας αποτελεί μετεωρολογικό φαινόμενο, πέραν από τις μετεωρολογικές παραμέτρους, στον ορισμό του πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και οι επιπτώσεις του, κυρίως στην υγεία. Επομένως, η ανάλυση και η αξιολόγηση των καυσώνων θα πρέπει να γίνεται συνδυαστικά με πιο σύνθετο τρόπο, χρησιμοποιώντας δηλαδή βιοκλιματικούς δείκτες, προκειμένου να παρέχεται μια πιο θερμοφυσιολογικά ουσιαστική ερμηνεία που να είναι πραγματικά χρήσιμη στην κοινωνία. Πράγματι τις τελευταίες δεκαετίες υπάρχει πρόοδος στην μελέτη των καυσώνων χρησιμοποιώντας βιοκλιματικούς δείκτες για ορισμό του καύσωνα με βάση την θερμική άνεση και όχι μόνο τη θερμοκρασία.

Ως θερμική άνεση ορίζεται η κατάσταση του ανθρώπινου μυαλού στην οποία εκφράζει ικανοποίηση με το θερμικό περιβάλλον (Epstein and Moran 2006a). Η δυσκολία στην ανάπτυξη ενός αξιόπιστου και παγκόσμιου βιοκλιματικού δείκτη έγκειται στο γεγονός ότι η θερμική άνεση με βάση τον ορισμό αποτελεί υποκειμενική αίσθηση. Για

τον λόγο αυτό τον τελευταίο αιώνα έχουν αναπτυχθεί περισσότεροι από 100 βιοκλιματικοί δείκτες και μοντέλα (Błazejczyk et al. 2013) προκυμμένου να κατανοηθεί και να εκτιμηθεί η διαδικασία ανταλλαγής θερμότητας του ανθρώπινου σώματος με το θερμικό περιβάλλον. Οι βιοκλιματικοί δείκτες κατατάσσονται σε μια κλίμακα από απλούς έως και πολύ σύνθετους ενώ παράλληλα χωρίζονται σε τρεις κύριες κατηγορίες ανάλογα με τον τρόπο υπολογισμού τους (Epstein and Moran 2006b). Δηλαδή:

- «Λογικοί δείκτες» (Rational Indices)
 - Η πρώτη κατηγορία αναφέρεται στους «λογικούς δείκτες» οι οποίοι βασίζονται σε υπολογισμούς που σχετίζονται με την εξίσωση θερμικής ισορροπίας του σώματος π.χ. Δείκτης θερμικού στρες – Heat Stress Index (HSI).
- «Εμπειρικοί δείκτες» (Empirical Indices)
 - Βασίζονται σε αντικειμενικά και υποκειμενικά κριτήρια π.χ. Δείκτης φυσιολογικής καταπόνησης - Physiological Strain Index (PSI)
- «Άμεσοι δείκτες» (Direct Indices)
 - Βασίζονται σε άμεσες μετρήσεις των περιβαλλοντικών μεταβλητών π.χ. Δείκτης αισθητής θερμοκρασίας – Apparent Temperature (AT).

Η ομάδα των λογικών δεικτών θεωρείται η πιο αξιόπιστη και ολοκληρωμένη καθώς οι δείκτες της κατηγορίας αυτής περιλαμβάνουν όλες τις μεταβλητές (κλιματικές και μη) για την επίλυση της εξίσωσης του ισοζυγίου θερμότητας. Παρ' όλ' αυτά, απαιτούνται πληροφορίες τις οποίες δεν είναι εύκολο ο χρήστης να γνωρίζει κατά την στιγμή του υπολογισμού (π.χ. θερμοκρασία δέρματος, καρδιακοί παλμοί). Έτσι, σημαντικές παράμετροι που απαιτούνται, θεωρούνται σταθερές μεταβλητές για πιο εύκολο υπολογισμό. Επομένως, οι κατηγορίες τόσο των λογικών όσο και των εμπειρικών δεικτών θερμικού στρες είναι οι πιο σύνθετοι και δύσκολοι στην εφαρμογή τους. Αντιθέτως η τρίτη ομάδα, των άμεσων δεικτών, χαρακτηρίζεται ως η πιο φιλική και πιο εφαρμόσιμη προσέγγιση (Epstein and Moran 2006b; Błazejczyk et al. 2012a)

Οι πιο γνωστοί, απλοί και κοινώς χρησιμοποιούμενοι δείκτες παρουσιάζονται στον Πίνακα 1. Μεταξύ άλλων ο Excess Heat Factor (EHF) παρουσιάζει ενδιαφέρον αφού

λαμβάνει υπόψιν την θερμοκρασία τριών ημερών, πρωτοεφαρμόστηκε στην Αυστραλία (Nairn and Fawcett 2014) και μελετήθηκε για πρώτη φορά στην Ελλάδα από την (Tolika 2019). Οι πλέον πιο σύνθετοι βιοκλιματικοί δείκτες είναι αυτοί που πέραν των μετεωρολογικών παραμέτρων, χρησιμοποιούν επιπλέον δείκτες οι οποίοι προκύπτουν από μοντέλα του θερμικού ισοζυγίου του ανθρώπινου σώματος, λαμβάνοντας υπόψιν όλους τους μηχανισμούς ανταλλαγής θερμότητας (π.χ. μοντέλα ρουχισμού). Τέτοια παραδείγματα είναι η Standard Effective Temperature (SET*), Physiological Equivalent Temperature (PET) και ο Universal Thermal Climate Index (UTCI) (Epstein and Moran 2006b; Blazejczyk et al. 2012a).

Πίνακας 1: Λίστα με απλούς βιοκλιματικούς δείκτες και τις παραμέτρους υπολογισμού

ΒΙΟΚΛΙΜΑΤΙΚΟΙ ΔΕΙΚΤΕΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ	ΑΝΑΦΟΡΑ / ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ
HEAT INDEX (HI)	- Θερμοκρασία αέρα (°C) - Σχετική υγρασία (%)	R. G. Steadman 1979
HUMIDEX	- Θερμοκρασία αέρα (°C) - Σχετική πίεση υδρατμών (hPa) - Θερμοκρασία σημείου δρόσου	Masterton et al. 1979
EFFECTIVE TEMPERATURE / NORMAL EFFECTIVE TEMPERATURE (NET)	- Θερμοκρασία αέρα (°C) - Σχετική υγρασία (%) - Ταχύτητα ανέμου 1,5m (m/s)	Houghton et al. 1923 Missenard FA 1933
WET-BULB-GLOBE- TEMPERATURE (WBGT)	- Θερμοκρασία αέρα (°C) - Σχετική υγρασία (%)	Yaglou and Minard 1957 Vernon and Warner 1932
APPARENT TEMPERATURE	- Θερμοκρασία αέρα (°C) - Σχετική υγρασία (%) ή και Ηλιακή ακτινοβολία	Robert G. Steadman 1984

1.4 Κλιματική αλλαγή

Μία από τις μεγαλύτερες και πιο σύνθετες προκλήσεις που αντιμετωπίζει η παγκόσμια κοινότητα είναι η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή, της οποίας επιπτώσεις βιώνουμε και αντιλαμβανόμαστε όλο και πιο πολύ με την πάροδο των χρόνων. Ακραία υψηλές θερμοκρασίες, παρατεταμένοι καύσωνες και ξηρασίες, αυξανόμενοι και πιο ισχυροί τροπικοί κυκλώνες, πλημμύρες και πυρκαγιές αποτελούν μερικά από τα αποτελέσματα της μεταβολής του κλίματος (IPCC 2021; Ebi et al. 2020b). Η παγκόσμια θέρμανση ενώ συνεχίζεται με γοργούς ρυθμούς δεν μπορεί να χαρακτηριστεί ως ομογενής, ενώ σύμφωνα με πολλές έρευνες η περιοχή της Μεσογείου χαρακτηρίζεται ως «hot spot» της κλιματικής αλλαγής, μιας και ο ρυθμός αύξησης της θερμοκρασίας γίνεται με εντονότερο τρόπο συγκριτικά με την παγκόσμια κλίμακα (Giorgi 2006; Diffenbaugh and Giorgi 2012; Lionello and Scarascia 2018).

1.4.1 Κλιματική αλλαγή - Καύσωνες

Έρευνες δείχνουν ότι οι περιοχές που πλήγηκαν από τους σοβαρότερους καύσωνες μέχρι τώρα (π.χ. Σικάγο 1995, Ευρώπη 2003) θα αποτελούν κανονικότητα κατά το δεύτερο μισό του 21ου αιώνα. Θα γίνουν πιο έντονοι, με αυξημένη συχνότητα και με πολύ μεγαλύτερη διάρκεια (Meehl and Tebaldi 2004). Με τις πιο πρόσφατες αποτιμήσεις της παρούσας κατάστασης αναφορικά με την παγκόσμια θέρμανση, διαπιστώθηκε ότι άλλαξαν οι εκτιμήσεις στους χρόνους επαναφοράς ακραίων καυσώνων (όπως π.χ. Ευρώπη 2003). Συγκεκριμένα εκτιμήσεις που έδειχναν χρόνο επαναφοράς μερικές χιλιάδες χρόνια, σε μόλις μια δεκαετία μειώθηκαν σε χρόνο επαναφοράς μιας εκατονταετίας (Christidis et al. 2015). Παγκόσμια κλιματικά μοντέλα με τη χρήση κλιματικών σεναρίων αναμένουν περεταίρω αύξηση της θερμοκρασίας στην περιοχή της Μεσογείου με έμφαση στην περιοχή της Ανατολικής Μεσογείου και της Μέσης Ανατολής (East Mediterranean and Middle East – EMME)(Lionello and Scarascia 2018; Cos et al. 2022; Zittis et al. 2022). Συγκεκριμένα στην περιοχή της EMME, η μέση θερμοκρασία πάνω από την ξηρά, με βάση κλιματικά μοντέλα θα αυξηθεί 1 – 3°C στο εγγύς μέλλον

(2010 – 2039), 3 – 5°C στα μέσα του 21^{ου} αιώνα (2040 – 2069) και 3,5 – 7°C στο τέλος του αιώνα (2070 – 2099) συγκριτικά με την ιστορική περίοδο αναφοράς (1961 – 1990). Τα ακραία κλιματικά φαινόμενα που σχετίζονται με το θερμικό στρες, μελετήθηκαν μέσω της χρήσης δεικτών όπως ο Hot Day Index (Θερμές ημέρες με μέγιστη θερμοκρασία $T_{max} > 35^{\circ}\text{C}$) και δείχνουν ότι οι θερμές ημέρες θα αυξηθούν κατά 0-15 ημέρες σε μεγάλα υψόμετρα, 20 – 40 ημέρες στην ευρύτερη περιοχή της ΕΜΜΕ ενώ για περιοχές όπως ο Λεβάντες και οι ακτές της Βόρειας Αφρικής δείχνουν αύξηση θερμών ημερών που ξεπερνούν τους δύο μήνες ανά έτος. Σημαντικές είναι και οι εκτιμήσεις που αφορούν τις νυχτερινές συνθήκες και τις ελάχιστες θερμοκρασίες, οι οποίες υπολογίστηκαν μέσω του δείκτη Tropical Nights ($TN > 25^{\circ}\text{C}$). Εκτιμάται ότι οι θερμές νύχτες θα αυξηθούν σε όλη την περιοχή της ΕΜΜΕ κατά 0 – 20 ημέρες ετησίως, με την αύξηση να φτάνει μέχρι τους 3 – 4 μήνες στον Αραβικό Κόλπο. Στην περιοχή των Βαλκανίων, του Αιγαίου και της Κύπρου, οι θερμές νύχτες εκτιμώνται ότι θα αυξηθούν μέχρι και δύο μήνες. Το ενδιαφέρον φαίνεται στο γεγονός ότι οι αυξήσεις αυτές δεν αντιστοιχούν απαραίτητα στους καλοκαιρινούς μήνες (Lelieveld et al. 2012).

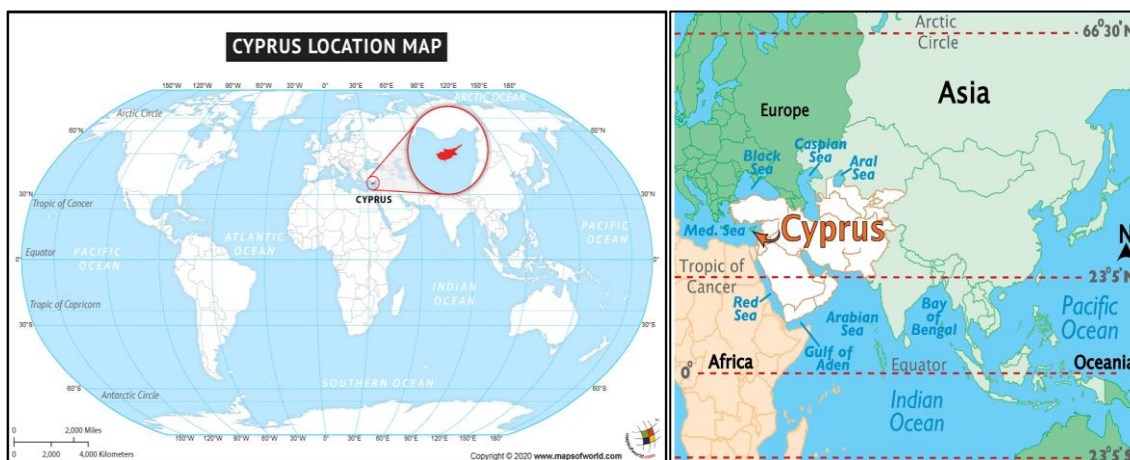
1.4.2 Κλιματική αλλαγή – Επιπτώσεις στην υγεία

Μελέτες πραγματοποιήθηκαν σχετικά με την κλιματική αλλαγή και τις αναμενόμενες εκτιμήσεις στην θνησιμότητα που σχετίζονται με τις υψηλές θερμοκρασίες και τους καύσωνες. Σύμφωνα με μια από τις μεγαλύτερες έρευνες πάνω στο θέμα αυτό, προκύπτει το συμπέρασμα ότι εάν δεν ληφθούν υπόψιν οποιαδήποτε μέτρα προσαρμογής κατά της κλιματικής αλλαγής, τα ποσοστά θνησιμότητας θα αυξηθούν κατά πολύ, κυρίως σε χώρες που ανήκουν στις ζώνες των τροπικών και υποτροπικών γεωγραφικών πλατών. Παράλληλα υποδεικνύουν ότι ακόμα και με την υπόθεση λήψης μέτρων προσαρμογής, λόγω της εκτιμώμενης αύξησης του πληθυσμού, τα ποσοστά θνησιμότητας θα συνεχίσουν να αυξάνονται όμως με πιο αργό ρυθμό (Guo et al. 2018). Σε όλες τις εκτιμήσεις πρέπει να λαμβάνονται υπόψιν και τα κοινωνικοοικονομικά κριτήρια. Έρευνες δείχνουν ότι η υγεία του πληθυσμού βρίσκεται σε ρίσκο, όχι άμεσα από τις ακραίες θερμοκρασίες, αλλά από την έκθεση η οποία εξαρτάται από τις

υποδομές, την οικονομία και το κοινωνικό πλαίσιο στο οποίο εντάσσονται. Συγκεκριμένα στην Ευρώπη, το ποσοστό του πληθυσμού που βρίσκεται σε ρίσκο θνησιμότητας σχετικά με τις ακραίες θερμοκρασίες εκτιμάται γύρω στο 4% ενώ λαμβάνοντας υπόψιν διάφορα σενάρια που αφορούν κοινωνικοοικονομικά κριτήρια, αναμένεται να αυξηθεί στο 20,3%, 32% έως και 48,4% μέχρι το 2050. Τα αποτελέσματα αυτά διαφέρουν σημαντικά ανάλογα με τη γεωγραφική περιοχή της Ευρώπης. Σε κάθε περίπτωση όμως, η Μεσόγειος εκτιμάται ότι θα είναι αυτή που θα επηρεαστεί περισσότερο (Cristina Linares et al. 2020).

1.5 Περιοχή Μελέτης

Η Κύπρος εντοπίζεται στην ανατολική γωνία της Μεσογείου και είναι το τρίτο μεγαλύτερο νησί της. Η γεωγραφική θέση της Κύπρου είναι σημαντική μιας και βρίσκεται μεταξύ τριών ηπείρων: της Ευρώπης, της Αφρικής και της Ασίας. Βρίσκεται ανατολικά της Ρόδου και της Κρήτης (~346km), νότια των ακτών της Τουρκίας (~60 km), δυτικά των Συριακών ακτών (~90 km), και βόρεια των ακτών της Αιγύπτου (~305 km).



Σχήμα 2: Γεωγραφική θέση Κύπρου ("World Atlas" 2023; "World Map" 2023)

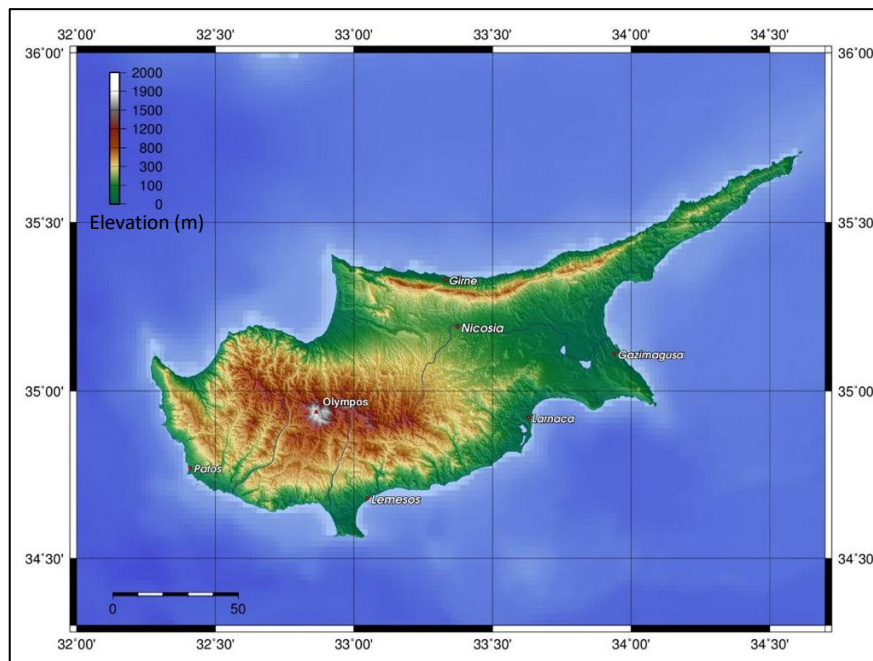
Σύμφωνα με τη Στατιστική Υπηρεσία ο συνολικός πληθυσμός στις ελεγχόμενες από το Κράτος περιοχές της Κύπρου, μέχρι την 1η Οκτωβρίου 2021 ανήλθε στις 923,272. Η πρωτεύουσα του νησιού είναι η Λευκωσία και βρίσκεται περίπου στο κέντρο του νησιού, όπου είναι και η έδρα της κυβέρνησης καθώς και το κυρίως επιχειρηματικό κέντρο. Ο πληθυσμός στη Λευκωσία καλύπτει το 38% του συνολικού πληθυσμού της Κύπρου και

ανέρχεται στα 350,824 άτομα. Η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη είναι η Λεμεσός και εντοπίζεται στα νότια παράλια της Κύπρου με πληθυσμό 262,236 (28,4%), όπου βρίσκεται και το κυριότερο εμπορικό λιμάνι της Κύπρου. Η Λάρνακα στο νοτιοανατολικό τμήμα του νησιού με πληθυσμό 155,753 (16,9%) έχει το μεγαλύτερο αεροδρόμιο και το δεύτερο εμπορικό λιμάνι του νησιού. Τέλος, η Πάφος βρίσκεται στα νοτιοδυτικά του νησιού με πληθυσμό 100,175 (10,8%) και η επαρχία Αμμοχώστου στα ανατολικά, με πληθυσμό 40,280 (8,2%). Η Κύπρος προσελκύει τουρισμό καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου, με τη μέγιστη ροή τους καλοκαιρινούς μήνες κυρίως Ιούλιο και Αύγουστο. Συγκεκριμένα για την περίοδο Ιανουαρίου – Οκτωβρίου 2023, οι αφίξεις τουριστών ανήλθαν σε 3,562,417 ("Στατιστική Υπηρεσία" 2023).

Όσον αφορά τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά, η Κύπρος καλύπτει έκταση 9,254 τετραγωνικά χιλιόμετρα εκ των οποίων τα 1,733 είναι δασικά και χωρίζεται σε 4 φυσικές περιοχές. Στο κέντρο – νοτιοδυτικό τμήμα του νησιού εντοπίζεται ο κύριος ορεινός όγκος του νησιού, η οροσειρά του Τρόοδους, με την υψηλότερη κορυφή τον Όλυμπο (1,953m). Στα βόρεια παράλια εντοπίζεται η οροσειρά του Πενταδακτύλου με υψηλότερη κορυφή στα 1,024 μέτρα. Μεταξύ των δύο οροσειρών βρίσκεται η κεντρική πεδιάδα της Μεσαορίας που χαρακτηρίζεται από χαμηλό υψόμετρο, συγκεκριμένα στη Λευκωσία το υψόμετρο δεν ξεπερνάει τα 180 μέτρα. Τέλος, κατά μήκος της ακτογραμμής του νησιού υπάρχουν παράλιες πεδιάδες και κοιλάδες.

Σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση κατά Köppen, η Κύπρος εμπίπτει στις κατηγορίες BSh, αντιστοιχεί σε κλίμα στέπας – ημίξηρο θερμό και Csa που αντιστοιχεί σε κατεξοχήν Μεσογειακό κλίμα (Kottek et al. 2006). Γενικότερα με βάση το Τμήμα Μετεωρολογίας της Κύπρου, η Κύπρος χαρακτηρίζεται από μεσογειακό κλίμα, δηλαδή οι καλοκαιρινοί μήνες, που θεωρούνται από τα μέσα του Μάη ως τα μέσα του Σεπτεμβρίου, χαρακτηρίζονται ως θερμοί και ξηροί, ενώ ο χειμώνας διαρκεί από τα μέσα Νοεμβρίου μέχρι μέσα Μαρτίου και χαρακτηρίζεται βροχερός αλλά ήπιος. Στις πεδινές περιοχές της Κύπρου, το 75% των ωρών για ολόκληρο τον χρόνο επικρατούν συνθήκες ηλιοφάνειας. Οι υψηλές θερμοκρασίες και ο ανέφελος ουρανός κατά τη θερινή περίοδο

οφείλονται στην επίδραση του εποχιακού βαρομετρικού χαμηλού που έχει το κέντρο του στη νοτιοδυτική Ασία. Οι θερμοκρασίες το καλοκαίρι είναι υψηλές και η μέση ημερήσια θερμοκρασία τον Ιούλιο και τον Αύγουστο κυμαίνεται μεταξύ 29°C στην κεντρική πεδιάδα έως 22 °C στο Τρόδος, ενώ η μέση μέγιστη θερμοκρασία για αυτούς τους μήνες κυμαίνεται μεταξύ 36 και 27 °C αντίστοιχα. Η βροχόπτωση είναι πολύ χαμηλή με μέση τιμή που δεν ξεπερνά το 5% της μέσης βροχόπτωσης ολόκληρου του χρόνου.

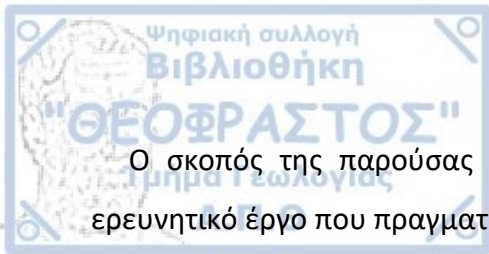


Σχήμα 3: Γεωμορφολογία της Κύπρου, χάρτης υψομέτρου σε μέτρα και οι κυριότερες πόλεις (“Mapsland” 2023)

Κατά τους χειμερινούς μήνες η Κύπρος επηρεάζεται από υφέσεις και μέτωπα που κινούνται στη Μεσόγειο με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά. Κατά μέσο όρο οι διαταραχές αυτές έχουν διάρκεια μια έως τρεις ημέρες και η βροχόπτωση που προσφέρουν καλύπτει περίπου το 60% της ετήσιας βροχόπτωσης κατά τους μήνες Δεκέμβριο με Φεβρουάριο. Η μέση ετήσια βροχόπτωση στην Κύπρο φτάνει τα ~510 χιλιοστά ανά έτος (1901 – 2022). Οι μέσες θερμοκρασίες κατά τον Ιανουάριο είναι 10°C στην κεντρική πεδιάδα και 3°C στις ψηλότερες κορυφές του Τρόδους, με μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες 5°C και 0°C αντίστοιχα (“Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης Και Περιβάλλοντος” 2023; “Κλιματολογικές Πληροφορίες” 2023)

Συμπερασματικά, οι καύσωνες αποτελούν ένα από τα πιο επικίνδυνα ακραία καιρικά φαινόμενα που επηρεάζουν τον πλανήτη, συνεισφέροντας θετικά στα ποσοστά θνησιμότητας κάθε χρόνο. Με βάση τις μελέτες και τις εκτιμήσεις των ερευνητών, λόγω της ανθρωπογενούς κλιματικής αλλαγής, η ένταση, η διάρκεια και η συχνότητα εμφάνισης των επεισοδίων καύσωνα εκτιμάται ότι θα αυξηθούν. Ταυτόχρονα δραματικές είναι και οι εκτιμήσεις των επιπτώσεων πιθανής αύξησης των καυσώνων, κυρίως στον τομέα υγείας. Η Μεσόγειος θεωρείται «hot spot» της κλιματικής αλλαγής, μιας και η αύξηση της θερμοκρασίας γίνεται με μεγαλύτερο ρυθμό συγκριτικά με την παγκόσμια κλίμακα. Η Κύπρος, ως το τρίτο μεγαλύτερο νησί της Μεσογείου, δεν μπορεί να παραμείνει ανεπηρέαστη σε αυτή τη δραματική εξέλιξη. Επομένως κρίνεται αναγκαία η μελέτη των καυσώνων στην Κύπρο και ο καθορισμός στο ρόλο που διαδραματίζουν στην υγεία του πληθυσμού της Κύπρου από άποψη θνησιμότητας και εισαγωγών στα νοσοκομεία.

Στην Κύπρο πραγματοποιήθηκαν ήδη μερικές μελέτες σχετικά με την υγεία και πως αυτή επηρεάζεται από ακραία καιρικά φαινόμενα, όπως είναι οι καύσωνες. Συγκεκριμένα οι (Tsangari et al. 2016) μελέτησαν για πρώτη φορά την επίδραση της μέγιστης θερμοκρασίας, της υγρασίας και της ρύπανσης αιωρούμενων σωματιδίων στην θνησιμότητα (όλων των αιτιών, μείον ατυχημάτων) για την περίοδο 2007 – 2009. Ανάλογα οι (Heaviside et al. 2016) μελέτησαν την επίδραση της μέγιστης θερμοκρασίας στη θνησιμότητα (όλων των αιτιών) για την περίοδο 2004 – 2009, ενώ εκτίμησαν και πως η θνησιμότητα θα μεταβληθεί σε πιθανή αύξηση της θερμοκρασίας από 1 – 5 °C στο μέλλον. Έρευνα διεξάχθηκε στην Κύπρο από (Pantavou et al. 2020) σε πεζούς, με τη χρήση ερωτηματολογίων με σκοπό τη μελέτη των επιπτώσεων των ακραίων θερμοκρασιών μέσω στατιστικών αναλύσεων των αποτελεσμάτων και την χρήση του δείκτη PET. Τέλος, σε συνέχεια της προηγούμενης έρευνας οι (Pantavou et al. 2021b) μελέτησαν τις επιπτώσεις των θερμικών συνθηκών μέσω του PET και του UTCI στις εισαγωγές των νοσοκομείων για την περίοδο 2009 – 2018.



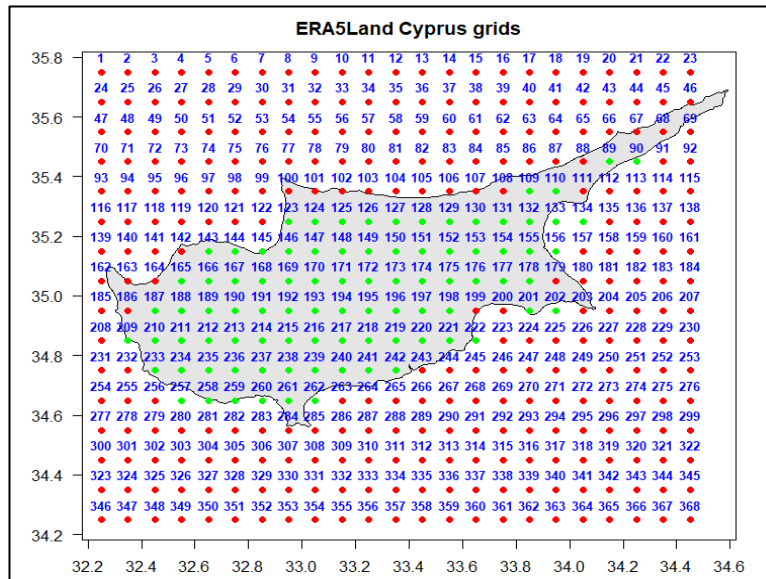
Ο σκοπός της παρούσας εργασίας είναι πρώτον να ενισχύσει το προηγούμενο ερευνητικό έργο που πραγματοποιήθηκε στην Κύπρο, μέσω της μελέτης των ημερών με ακραίες θερμοκρασίες, υπολογίζοντας ταυτόχρονα το θερμικό στρες με την χρήση του UTCI για την περίοδο 2004 - 2019. Δεύτερον, για τις περιόδους ακραίων θερμοκρασιών να υπολογιστεί η συσχέτιση του δείκτη θερμικού στρες με την θνησιμότητα και την νοσηρότητα. Τρίτον, να εκτιμηθεί το σχετικό ρίσκο θνησιμότητας και εισαγωγών σε νοσοκομεία σε σχέση με την μέγιστη, ελάχιστη θερμοκρασία και του βιοκλιματικού δείκτη UTCI χρησιμοποιώντας την στατιστική μέθοδο των Generalized Additive Models GAMs.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

1.1 Δεδομένα

1.1.1 Δεδομένα Θερμοκρασιών

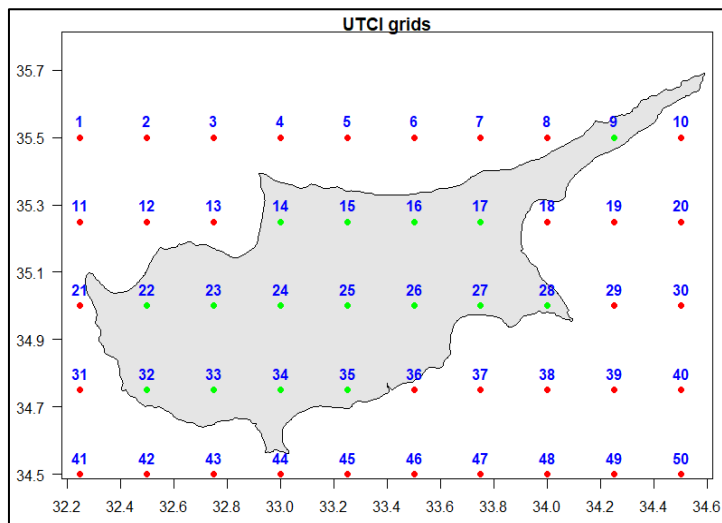
Η μελέτη των καυσώνων στην Κύπρο πραγματοποιήθηκε με τη χρήση δεδομένων (reanalysis) της βάσης δεδομένων ERA5 – Land λόγω της καλύτερης χωρικής κάλυψης του νησιού, σε αντίθεση με πραγματικά δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών. Η παράμετρος που χρησιμοποιήθηκε ήταν η θερμοκρασία σε ύψος δύο μέτρων (t2m) πάνω από την επιφάνεια της γης ή της θάλασσας, υπό μορφή πλεγματικών σημείων. Η οριζόντια χωρική διακριτοποίηση των δεδομένων ήταν ίση με 9km ($0.1^\circ \times 0.1^\circ$) σε ένα παράθυρο γεωγραφικού πλάτους $34.2^\circ - 35.8^\circ$ και γεωγραφικού μήκους $32.2^\circ - 34.6^\circ$ που καλύπτει την περιοχή της Κύπρου (Σχήμα 4). Η χρονική ανάλυση αντιστοιχεί σε ωριαία βάση, η θερμοκρασία μετριέται σε βαθμούς Kelvin ενώ η χρονική περίοδος των δεδομένων θερμοκρασίας καλύπτει από το 1979 μέχρι το 2019 ("ERA5-Land Hourly Data from 1950 to Present" 2023).



Σχήμα 4: Διαθέσιμα πλεγματικά σημεία στην περιοχή της Κύπρου σύμφωνα με την βάση δεδομένων reanalysis ERA5 – Land. Με πράσινο χαρακτηρίζονται τα σημεία στα οποία το μοντέλο αντιλαμβάνεται ως «ξηρά» και σε αυτά αντιστοιχούν τιμές, ενώ με κόκκινο αντιστοιχούν τα σημεία χωρίς τιμές που το μοντέλο θεωρεί ως «θάλασσα».

1.1.2 Δεδομένα UTCI – Universal Thermal Climate Index

Για την μελέτη του θερμικού στρες χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του βιοκλιματικού δείκτη UTCI που εξάχθηκαν από την βάση δεδομένων reanalysis ERA5 – HEAT (Human thermal comfort). Η βάση αυτή αποτελεί την πρώτη παγκοσμίως βάση δεδομένων που αφορά βιοκλιματικούς δείκτες και συγκεκριμένα ο ένας εκ των δύο, είναι ο UTCI και ο άλλος ο MRT (Mean Radiant Temperature) που αποτελεί παράμετρο εκτίμησης του UTCI. Η οριζόντια χωρική διακριτοποίηση των δεδομένων ήταν ίση με $\sim 27\text{km}$ ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$), η χρονική ανάλυση αντιστοιχεί σε ωριαία βάση εκφρασμένη σε βαθμούς Kelvin ενώ η χρονική περίοδος που καλύπτει ο δείκτης UTCI αντιστοιχεί από το 2004 μέχρι το 2019 ("Thermal Comfort Indices Derived from ERA5 Reanalysis" 2023)



Σχήμα 5: Διαθέσιμα πλεγματικά σημεία στην περιοχή της Κύπρου σύμφωνα με την βάση δεδομένων reanalysis ERA5 – HEAT. Με πράσινο χαρακτηρίζονται τα σημεία που εμπίπτουν πάνω από την Κύπρο και χρησιμοποιήθηκαν για μελέτη, ενώ με κόκκινο τα πλεγματικά σημεία που ανήκουν εκτός περιοχής μελέτης.

1.1.3 Δεδομένα Υγείας

Για την μελέτη της επίδρασης των ακραίων θερμοκρασιών και του θερμικού στρες στην δημόσια υγεία, μελετήθηκε τόσο η θνησιμότητα όσο και η νοσηρότητα του πληθυσμού της Κύπρου. Επομένως, δεδομένα θνησιμότητας δόθηκαν από τη Μονάδα Παρακολούθησης της Υγείας τους Υπουργείου Υγείας της Κυπριακής Δημοκρατίας. Τα

δεδομένα περιλαμβάνουν πληροφορίες για την ημερομηνία θανάτου, το φύλο, την ηλικία, την τοποθεσία θανάτου (σπίτι, νοσοκομείο, δρόμο κ.τ.λ.) καθώς και την περιγραφή της αιτίας θανάτου ή της διάγνωσης (IDC10) σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα Κατηγοριοποίησης και Ταξινόμησης Ασθενειών ("ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΓΕΙΑΣ - Μονάδα Παρακολούθησης Υγείας" 2023). Τα δεδομένα θνησιμότητας στην Κυπριακή Δημοκρατία άρχισαν να καταγράφονται σε βάση δεδομένων από το 2004 οπότε η περίοδος που καλύπτουν τα δεδομένα είναι από το 2004 μέχρι το 2019.

Τα δεδομένα νοσηρότητας δόθηκαν από την Στατιστική Υπηρεσία και αφορούν ημερήσιες πληροφορίες εισαγωγών και εξαγωγών από τα οκτώ δημόσια και αγροτικά νοσοκομεία της Κυπριακής Δημοκρατίας (Πίνακας 2). Όπως τα δεδομένα θνησιμότητας, έτσι και τα δεδομένα νοσηρότητας περιλαμβάνουν πληροφορίες για την ημερομηνία εισαγωγής, εξιτηρίου, φύλου, ηλικίας και κύριας διάγνωσης του ασθενή (IDC10) σύμφωνα με το Διεθνές Σύστημα Κατηγοριοποίησης και Ταξινόμησης Ασθενειών. Τα δεδομένα εισαγωγών που ήταν διαθέσιμα κάλυπταν τη χρονική περίοδο από το 1999 έως το 2019. Παρόλα αυτά, λόγω του ότι τα δεδομένα θνησιμότητας καλύπτουν μόνο τη χρονική περίοδο από το 2004 έως το 2019, τα δεδομένα νοσηρότητας περιορίστηκαν στο ίδιο χρονικό διάστημα με αυτά της θνησιμότητας ("Στατιστική Υπηρεσία", 2023).

Πίνακας 2: Δημόσια Νοσοκομεία της Κυπριακής Δημοκρατίας

A/A	Νοσοκομεία Κυπριακής Δημοκρατίας
1	Γενικό Νοσοκομείο Λευκωσίας (H1)
2	Νοσοκομείο Αρχιεπισκόπου Μακαρίου Γ' Λευκωσίας (H2)
3	Γενικό Νοσοκομείο Λάρνακας Μακάριος Γ' (H5)
4	Γενικό Νοσοκομείο Λεμεσού (H6)
5	Γενικό Νοσοκομείο Πάφου (H7)
6	Αγροτικό Νοσοκομείο Κυπερούντας (R1)
7	Νοσοκομείο Παραλιμνίου (R2)
8	Αγροτικό Νοσοκομείο Πόλης Χρυσοχούς (R3)

Σύμφωνα με τη μελέτη των (Cheng et al. 2019) οι κατηγορίες που επηρεάζονται περισσότερο κατά τη διάρκεια συνθηκών καύσωνα είναι αυτές του καρδιαγγειακού-κυκλοφορικού και αναπνευστικού συστήματος. Συνεπώς, τα δεδομένα θνησιμότητας και εισαγωγών υποβλήθηκαν σε φιλτράρισμα, κρατώντας τις κατηγορίες J00-J99 (circulatory) και I00-I99 (respiratory), βάση του Διεθνούς Συστήματος Κατηγοριοποίησης και Ταξινόμησης Ασθενειών.

1.2 Καύσωνες – ακραία θερμές περίοδοι

Στην παρούσα εργασία, επιλέχθηκε μια διαφορετική προσέγγιση για τη μελέτη των καυσώνων σε σχέση με εκείνη που χρησιμοποιεί η μετεωρολογική υπηρεσία της Κύπρου. Χρησιμοποιώντας τα ωριαία δεδομένα θερμοκρασιών από το ERA5 – Land, υπολογίστηκαν οι ημερήσιες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες. Στη συνέχεια, για τους θερμούς μήνες του έτους (Μάιος – Σεπτέμβριο), υπολογίστηκε το θερμοκρασιακό όριο του 95^{ου} ποσοστημορίου. **Ορίστηκαν ως καύσωνες ή ημέρες ακραίων θερμοκρασιών, οι ημέρες όπου τόσο η μέγιστη όσο και η ελάχιστη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της ίδιας ημέρας υπερέβησαν το 95^ο ποσοστημόριο της αντίστοιχης θερμοκρασίας, όπως αυτή υπολογίστηκε για την περίοδο 2000 – 2019.** Ο όρος "επεισόδιο ακραίων θερμοκρασιών" ή "ακραία θερμή περίοδος" χρησιμοποιήθηκε για να περιγράψει ένα επεισόδιο, με δύο ή περισσότερες συνεχόμενες ημέρες ακραίων θερμοκρασιών.

1.3 Universal Thermal Climate Index

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία υπάρχουν 100άδες βιοκλιματικοί δείκτες, παρ' όλ' αυτά, δεν υπάρχει ένας καθολικά χρησιμοποιούμενος δείκτης. Σε μια προσπάθεια εύρεσης ενός δείκτη ο οποίος θα είναι εφαρμόσιμος παντού, οι (Blazejczyk et al. 2012b; Blazejczyk et al. 2013) κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο δείκτης UTCI περιγράφει πολύ καλύτερα τις βιοκλιματικές συνθήκες σε όλες τις τοποθεσίες, τις καιρικές συνθήκες και τα διαφορετικά κλίματα σε σύγκριση με άλλους δείκτες (Effective Temperature – ET, Wet-Bulb Globe Temperature – WBGT, Heat Stress Index – HIS, Wind Chill Temperature

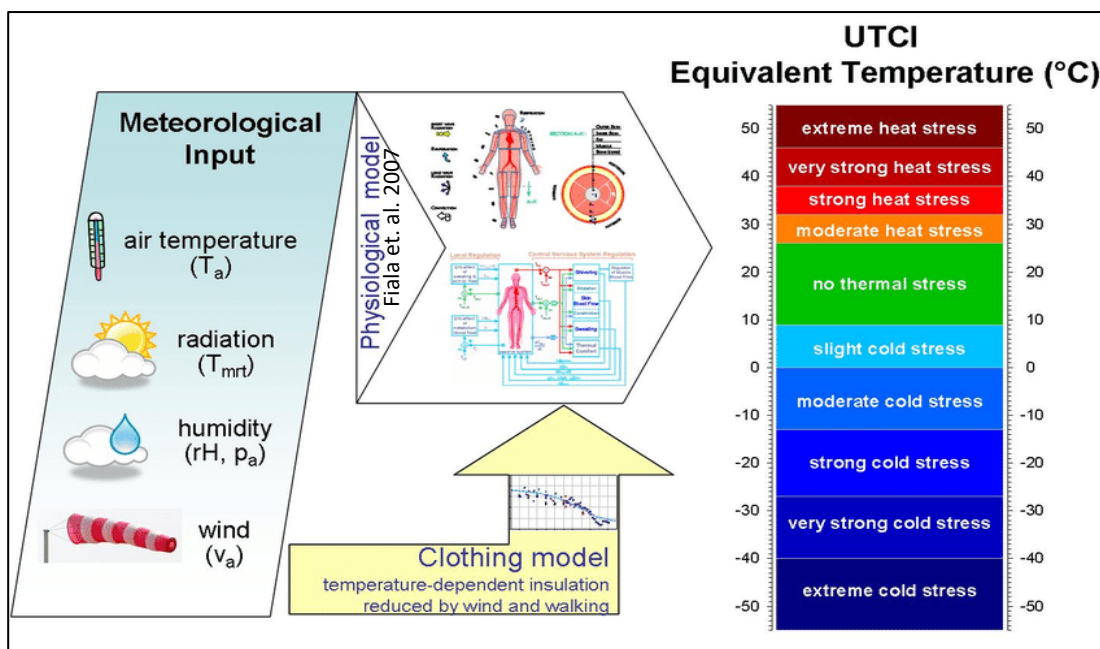
– WCT, Perceived Temperature – PT, Physiological Equivalent Temperature – PET κτλ.). Για τον λόγο αυτό στην συγκεκριμένη εργασία, το θερμικό στρες στην Κύπρο θα μελετηθεί με την χρήση του UTCI.

Η ιδέα για ανάπτυξη ενός Παγκόσμιου Θερμικού Κλιματικού Δείκτη (Universal Thermal Climate Index – UTCI) ξεκίνησε το 1999 από την επιτροπή της Διεθνούς Εταιρίας Βιομετεωρολογίας (International Society of Biometeorology – ISB) και είχε σαν στόχο την δημιουργία ενός δείκτη ο οποίος θα βασιζόταν στο πιο προηγμένο θερμοφυσιολογικό μοντέλο. Η ενέργεια αυτή ενισχύθηκε το 2005 από την European COST (Cooperation in Science and Technical Development) Action730 με ειδικούς μετεωρολόγους – κλιματολόγους και άτομα ειδικευμένα στη θερμοφυσιολογία του ανθρώπινου σώματος, όπου μέχρι το 2009 ολοκληρώθηκε με επιτυχία, καθώς είχε αναπτυχθεί πλήρως ο UTCI (Błażejczyk et al. 2013; “UTCI - Universal Thermal Climate Index” 2023).

Ο δείκτης UTCI ορίζεται ως ο βιοκλιματικός δείκτης που εκφράζει τη φυσιολογική αντίδραση του οργανισμού στην εξωτερική θερμική κατάσταση του περιβάλλοντος (θερμική άνεση). Μετρίεται σε βαθμούς κελσίου, εκφράζοντας την θερμοκρασία που αισθάνεται ο ανθρώπινος οργανισμός και υπολογίζεται λαμβάνοντας υπόψιν συγκεκριμένες μετεωρολογικές παραμέτρους, μέσω του πιο προηγμένου θερμοφυσιολογικού μοντέλου, γνωστό ως Fiala Model (Błażejczyk et al. 2013). Το μοντέλο αυτό βασίζεται στο ισοζύγιο των ανταλλαγών θερμότητας του σώματος και είναι συζευγμένο με ένα μοντέλο ρουχισμού. Σύμφωνα με τους (Havenith et al. 2012) το μοντέλο ρουχισμού αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας πραγματικά δεδομένα σχετικά με τη συμπεριφορά των ρούχων, με σκοπό να προσδιοριστεί ο βαθμός μόνωσης και αντίστασης των ρούχων στην υγρασία για κάθε ξεχωριστό τμήμα του σώματος, σε σχέση με την θερμοκρασία του περιβάλλοντος. Το σκεπτικό υπολογισμού του UTCI και οι κλάσεις του, παρουσιάζονται στο Σχήμα 6. Το εύρος των τιμών που μπορεί να πάρει ο UTCI με τις αντίστοιχες κατηγορίες θερμικού στρες και την αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Η τιμή του UTCI διαφέρει από την θερμοκρασία του αέρα και εξαρτάται από την θερμοκρασία περιβάλλοντος (T_{air}), την ηλιακή ακτινοβολία μέσω της παραμέτρου (T_{mrt}), την τάση των υδρατμών (v_p) ή την σχετική υγρασία (RH) και τέλος την ταχύτητα του ανέμου σε ύψος 1,5 μέτρα (v_a). Η μαθηματική έκφραση της σχέσης υπολογισμού του δείκτη παρουσιάζεται στην Εξίσωση 1, όπου offset εκφράζει την απόκλιση.

$$UTCI = f(T_{air}, T_{mrt}, v_a, v_p) = T_{air} + offset(T_{air}, T_{mrt}, v_a, v_p) \quad (Εξ. 1)$$



Σχήμα 6: Υπολογισμός του UTCI ως ισοδύναμη κατηγοριοποιημένη θερμοκρασία όπως προκύπτει από τη σύζευξη του μοντέλου Fiala με το μοντέλο ρουχισμού ("UTCI - Universal Thermal Climate Index, Poster" 2023).

Πίνακας 3: Το εύρος των τιμών του UTCI με τις αντίστοιχες κατηγορίες θερμικού στρες και την αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού. (Lukić et al. 2021; Błażejczyk et al. 2013)

Εύρος UTCI	Κατηγορία Θερμικού Στρες	Αντιδράσεις οργανισμού
UTCI >46°C	Extreme Heat Stress	- Αύξηση (ορθικής) θερμοκρασίας με σταδιακό ρυθμό - Απότομη μείωση στην απώλεια θερμότητας - Μέσος ρυθμός ιδρώτα >650g/hr, απότομη αύξηση
38 °C <UTCI<46 °C	Very Strong Heat Stress	- Διαφορά θερμοκρασίας δέρματος – θερμοκρασία πυρήνα σώματος χαμηλή - Αύξηση (ορθικής) θερμοκρασίας στα 30 λεπτά

32 °C <UTCI<38 °C	Strong Heat Stress	- Μέσος ρυθμός ιδρώτα >200g/hr, απότομη αύξηση - Αύξηση (ορθικής) θερμοκρασίας στα 120 λεπτά - Στιγμαία αλλαγή στη θερμοκρασία δέρματος
26 °C <UTCI<32 °C	Moderate Heat Stress	- Αλλαγή στο ρυθμό εφίδρωσης (εφίδρωση στα 30 λεπτά) - Απότομη αύξηση της υγρασίας του δέρματος - αύξησης της θερμοκρασίας όρθου και δέρματος
9 °C <UTCI<26 °C	No Thermal Stress	- Μέσος ρυθμός ιδρώτα >100g/hr - Σταθερή θερμοκρασία (όρθου)
0 °C <UTCI<9 °C	Slight Cold Stress	Μείωση θερμοκρασίας άκρων (χρήση γαντιών)
-13 °C<UTCI<0 °C	Moderate Cold Stress	- Vasoconstriction (στένωση των αγγείων– μείωση ροής) - Θερμοκρασία προσώπου στα 30 λεπτά <15ο C πόνο
-27 <UTCI<-13 °C	Strong Cold Stress	Μούδιασμα
-40 <UTCI<-27 °C	Very Strong Cold Stress	- Κρυοπάγημα, μούδιασμα και ρίγος - Μείωση της θερμοκρασίας σώματος (όρθου)
UTCI<-40 °C	Extreme Cold Stress	- Κρυοπάγημα. - Συνεχής μείωση θερμοκρασίας σώματος (όρθου με το χρόνο

1.4 Συσχέτιση και Generalized Additive Models (GAMs)

1.4.1 Συσχέτιση

Για να μελετηθεί η σχέση του θερμικού στρες και των δεδομένων υγείας χρησιμοποιήθηκε η στατιστική μέθοδος της συσχέτισης και συγκεκριμένα ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης του Pearson. Σύμφωνα με αυτόν η συσχέτιση ορίζεται με βάση το πηλίκο της Εξίσωσης 2.

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \sum_i (y_i - \bar{y})^2}} = \frac{\text{cov}(X,Y)}{\sqrt{\text{var}(x) \cdot \text{var}(y)}} \quad (\text{Εξ. 2})$$

Όπου cov(X,Y) είναι η συνδιακύμανση των μεταβλητών X, Y. Ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης αποτελεί αδιάστατο μέγεθος και λαμβάνει τιμές από -1 μέχρι +1. Το 1 υποδεικνύει τέλεια θετική γραμμική συσχέτιση, το -1 τέλεια αρνητική γραμμική συσχέτιση και το 0 υποδεικνύει έλλειψη γραμμικής συσχέτισης. Η ανάλυση της συσχέτισης μπορεί να παρέχει πληροφορίες σχετικά με το αν δύο μεταβλητές μπορεί να επηρεάζονται μεταξύ τους γραμμικά (Faizi and Alvi 2023).

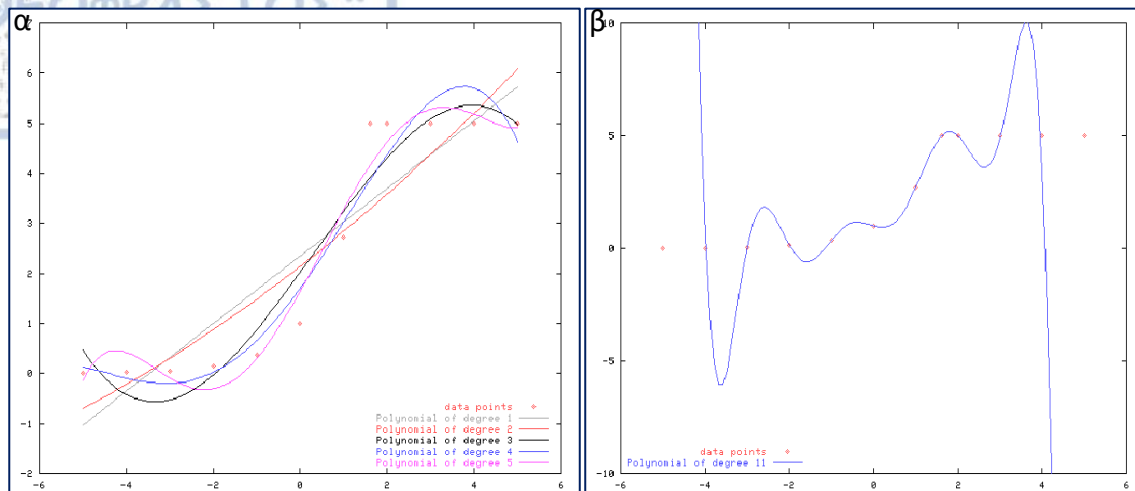
1.4.2 Generalized Additive Models (GAMs)

Η επιτυχημένη κατασκευή ενός στατιστικού μοντέλου βασίζεται στο συνδυασμό α) της ευελιξίας που προσφέρει και β) την ερμηνεία που μπορεί να δώσει. Τα γραμμικά μοντέλα παρόλο που ερμηνεύονται και χρησιμοποιούνται πολύ εύκολα, είναι περιορισμένα στην ευελιξία τους, λόγω του ότι αδυνατούν να εξηγήσουν πολύπλοκες σχέσεις. Αντιθέτως τα πιο σύνθετα μοντέλα όπως η μηχανική μάθηση (Machine Learning Statistical Models - ML), για παράδειγμα τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα (Artificial Neural Networks), παρόλο που εντοπίζουν και περιγράφουν περιπλοκότητες, χρειάζονται πολλά δεδομένα ενώ η ερμηνεία τους είναι δύσκολη. Τα GAMs, σε μια κλίμακα από τα πιο απλά (γραμμικά) μοντέλα μέχρι τα πιο σύνθετα και εξελιγμένα (ML), βρίσκονται κάπου στη μέση (Σχήμα 7). Δηλαδή μπορούν να αντιμετωπίσουν πολυπλοκότητες σε μη γραμμικές σχέσεις, ενώ ταυτόχρονα τα συμπεράσματα που προκύπτουν είναι εύκολα ερμηνεύσιμα.



Σχήμα 7: Ταξινόμηση στατιστικών μοντέλων σε μια κλίμακα από τα πιο απλά στα πιο περίπλοκα και σύνθετα.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα των GAMs βασίζεται στο γεγονός ότι μπορούν να προσεγγίσουν μη γραμμικές σχέσεις χωρίς να εισέρχεται το υποκειμενικό κριτήριο επιλογής της καλύτερης συνάρτησης. Δηλαδή, εάν υπάρχει μη γραμμική σχέση μεταξύ δύο μεταβλητών, μια «πρόχειρη» λύση προσφέρεται από τις πολυωνυμικές εξισώσεις διαφορετικής τάξης (Σχήμα 8α). Παρ' όλ' αυτά, στην προσπάθεια να γίνει καλύτερη επιλογή πολυωνύμων της σωστής τάξης, εισέρχεται το σφάλμα του Runge's Phenomenon. Σύμφωνα με αυτό, χρησιμοποιώντας πολυώνυμα υψηλού βαθμού σε ένα σύνολο σημείων με ισοδύναμη απόσταση, προκαλείται πρόβλημα ταλάντωσης στα άκρα της της καμπύλης (Σχήμα 8β). Τα GAMs προσφέρουν λύση σε αυτό το υποκειμενικό κριτήριο.



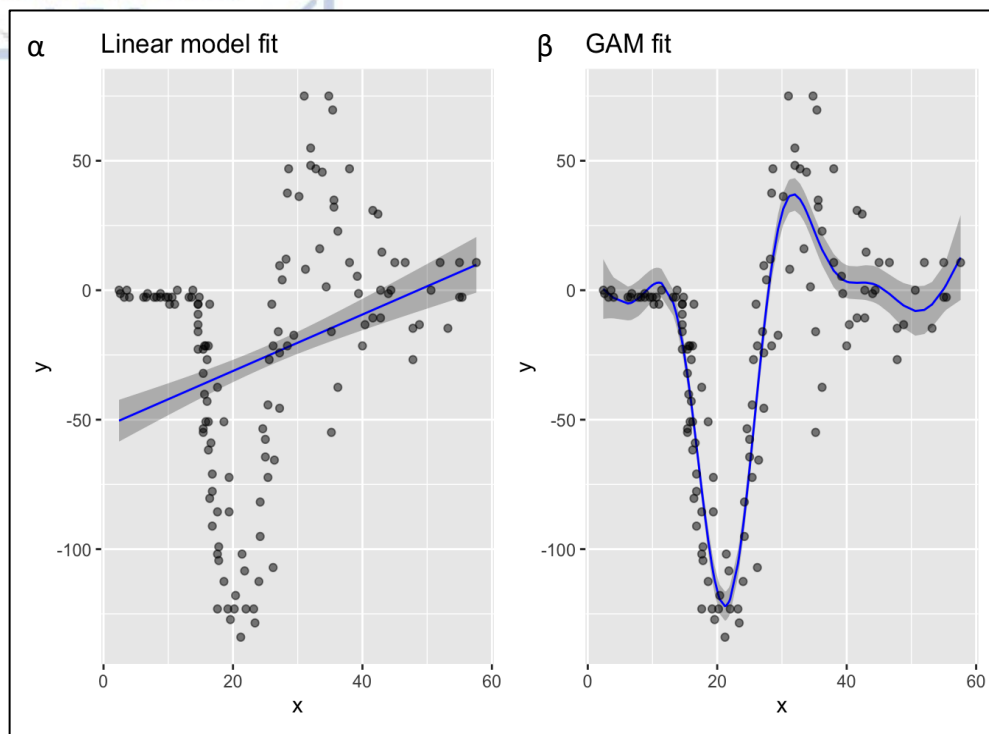
Σχήμα 8: α) Προσέγγιση σημείων με πολυώνυμα διαφορετικής τάξης β) πολυώνυμο 11^{ης} τάξης και εισαγωγή του Runge's Phenomenon (Erwin Kalvelagen, 2002).

Επομένως, τα GAMs είναι ένας τύπος στατιστικών μοντέλων που επεκτείνουν τη γενική ιδέα των γραμμικών (Εξ. 3), προσθέτοντας μη γραμμικές συναρτήσεις των μεταβλητών στο μοντέλο (Εξ. 4) (Hastie 2009; Wood 2017).

$$\text{Linear Model: } y_i = \beta_0 + \sum_j \beta_j \chi_{ji} + \epsilon_i \quad (\text{Εξ. 3})$$

$$\text{GAMs: } y_i = \beta_0 + \sum_j s_j(\chi_{ji}) + \epsilon_i \quad (\text{Εξ. 4})$$

Όπου το β_0 περιγράφει την σταθερά (intercept) της εξαρτημένης μεταβλητής όταν η ανεξάρτητη μεταβλητή είναι μηδέν και το ϵ_i εκφράζει τη διαφορά των πραγματικών τιμών με τις προβλεπόμενες τιμές του μοντέλου (mean zero residuals), το οποίο ακολουθεί κανονική κατανομή (μέση τιμή μηδέν). Στο γραμμικό μοντέλο (Εξ. 3) ο δεύτερος όρος αποτελεί ένα γραμμικό συνδυασμό αθροίσματος του γινομένου του συντελεστή επίδρασης (β_j) με την συνδιακύμανση χ_{ji} . Η κύρια ιδέα πίσω από τα GAMs είναι ότι αντί να υποθέτουμε μια γραμμική σχέση μεταξύ των μεταβλητών, μπορούμε να επιτρέψουμε στο μοντέλο, να προσαρμοστεί μόνο του σε μη γραμμικές σχέσεις μέσω των «smooth functions» (s_j), ώστε να προκύψει η σχέση της ανεξάρτητης και της εξαρτημένης μεταβλητής. Ένα τεχνητό παράδειγμα της εφαρμογής των GAMs φαίνεται στο Σχήμα 9.



Σχήμα 9: Τεχνητό παράδειγμα εφαρμογής α) γραμμικού μοντέλου και β) GAMs σε δεδομένα ("Eric R. Scott" 2023).

Οι ομαλές συναρτήσεις (smooth functions) είναι μη γραμμικές συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για να μοντελοποιήσουν τις σχέσεις μεταξύ μιας μεταβλητής και της μεταβλητής απόκρισης. Συχνά χρησιμοποιούνται spline functions ή smoothing techniques.. Τα «splines» αποτελούνται από τμηματικές πολυωνυμικές συναρτήσεις, που κάθε τμήμα αποτελεί τα «basis functions» (b_k) ενώ το σύνολο των τμημάτων αυτών αποτελεί την κύρια βάση (basis). Μαθηματικά τα splines περιγράφονται από την Εξίσωση 5 (Hastie, Tibshirani, and Friedman 2009; Wood 2017).

$$s(x) = \sum_{k=1}^K \beta_k b_k(x) \quad (\text{Εξ. 5})$$

Υπάρχουν περιπτώσεις που οι «smooth functions» είναι περίπλοκες συναρτήσεις με αποτέλεσμα το μοντέλο να εμφανίζει υπερπροσαρμογή (overfitting), κάτι το οποίο δεν είναι αποδεκτό. Από την άλλη όσο πιο απλή είναι η συνάρτηση τόσο πιο γραμμική θα

είναι η προσέγγιση το οποίο, επίσης, δεν είναι αποδεκτό. Για να επιτευχθεί η βέλτιστη συνάρτηση που εφαρμόζεται με τον καλύτερο δυνατό τρόπο στα δεδομένα, εισάγεται ο όρος της «κυματώδους» προσαρμογής «wiggliness» και του όρου κυρώσεως «penalty term» που ορίζει πόσο αυτή μπορεί να κυμαίνεται ή να παρουσιάζει τοπικά μη γραμμικά μοτίβα. Σε γενικές γραμμές, μεγαλύτερο "wiggliness" σημαίνει περισσότερη ελευθερία για την προσαρμογή του μοντέλου στα δεδομένα, αλλά ταυτόχρονα μπορεί να οδηγήσει σε υπερπροσαρμογή (overfitting) αν δεν ελεγχθεί κατάλληλα.

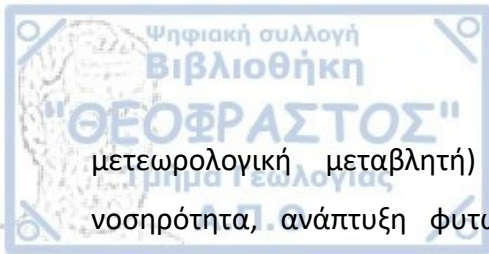
Η μέθοδος "Penalized Log Likelihood" χρησιμοποιείται στη θεωρία των Generalized Additive Models (GAMs) για την εκτίμηση των παραμέτρων του μοντέλου καθώς και του όρου κυρώσεως. Η ιδέα είναι να ελαχιστοποιηθεί ένας συνδυασμός του λογαρίθμου της συνάρτησης πιθανοφάνειας (log likelihood) και ενός όρου κυρώσεως (penalty term) που επιβάλλεται στις ομαλές συναρτήσεις (smooth function) για να ελέγχεται το "wiggliness" του μοντέλου. Η γενική μορφή της συνάρτησης «Penalised Log Likelihood (PLL)» φαίνεται στην Εξίσωση 6.

$$L_p(\beta) = L(\beta) - \lambda \beta^T S \beta = L(\beta) - \lambda W \quad (\text{Εξ. 6})$$

όπου $L(\beta)$ (Log Likelihood) περιγράφει πόσο καλά περιγράφει η συνάρτηση του GAM τα δεδομένα, ενώ ο δεύτερο όρος ορίζεται από τον όρο κυρώσεως λ του μοντέλου που ελέγχει το πόσο καμπυλωτή είναι η συνάρτηση – Wiggliness ($W = \beta^T S \beta$).

Στην Rstudio με τη βοήθεια του πακέτου «mgcv» η τιμή του λ μπορεί να εκτιμηθεί είτε αυτόματα από το μοντέλο, είτε χειροκίνητα με βάση τα υποκειμενικά κριτήρια του χρήστη. Παρ' όλ' αυτά, προτείνεται γενικότερα από ερευνητές, να εφαρμόζεται το μοντέλο με τη μέθοδο «REML» (Restricted Maximum Likelihood) του πακέτου «mgcv», το οποίο δίνει συνήθως τα βέλτιστα αποτελέσματα.

Στα πλαίσια της μελέτης της επίδρασης των ακραίων θερμοκρασιών και του θερμικού στρες στη θνησιμότητα και την νοσηρότητα, επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν τα DLNMs (Distributed Lag Non – Linear Models) τα οποία ενσωματώνονται στα GAMs. Τα DLNMs βοηθούν στο να γίνει κατανοητό το πώς οι αλλαγές σε μια μεταβλητή (π.χ.



μετεωρολογική μεταβλητή) επηρεάζουν ένα αποτέλεσμα (π.χ. θνησιμότητα, νοσηρότητα, ανάπτυξη φυτών κ.τ.λ.) με κάποια χρονική καθυστέρηση. Η λέξη "Distributed" αναφέρεται στο γεγονός ότι η επίδραση δεν είναι συγκεντρωμένη σε ένα χρονικό σημείο αλλά κατανέμεται κατά μήκος του χρόνου. Επίσης, η λέξη "Non-Linear" υποδεικνύει ότι ο τρόπος που η εξαρτημένη μεταβλητή συνδέεται με τις ανεξάρτητες μεταβλητές μπορεί να μην ακολουθεί μια απλή γραμμική σχέση. Η ενσωμάτωση των DLNMs στα GAMs μέσω του πακέτου «mgcv» έχει χρησιμοποιηθεί προηγουμένως σε διάφορους τομείς εφαρμογής, όπως η δένδροχρονολόγηση και στη σεισμολογία. (Gasparrini et al. 2017; Economou T et al. 2023; "Generalized Additive Models in R" 2023; "Eric R. Scott" 2023)

Η επεξεργασία των δεδομένων και η εξαγωγή των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε με την χρήση της CDO (Climate Data Operators) και της RStudio.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

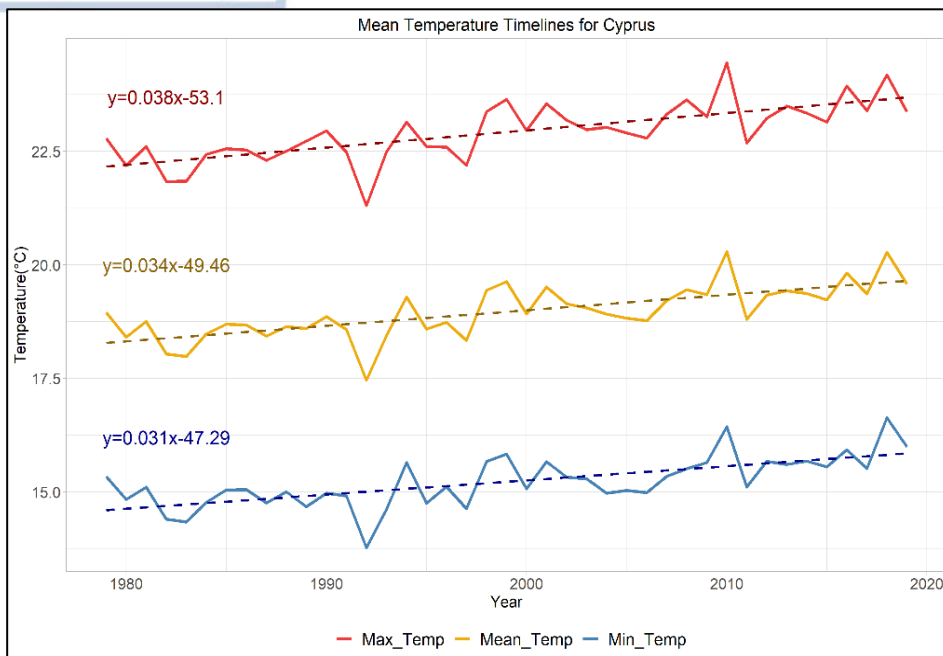
3.1 Κλιματολογία

3.1.1. Χρονική Ανάλυση

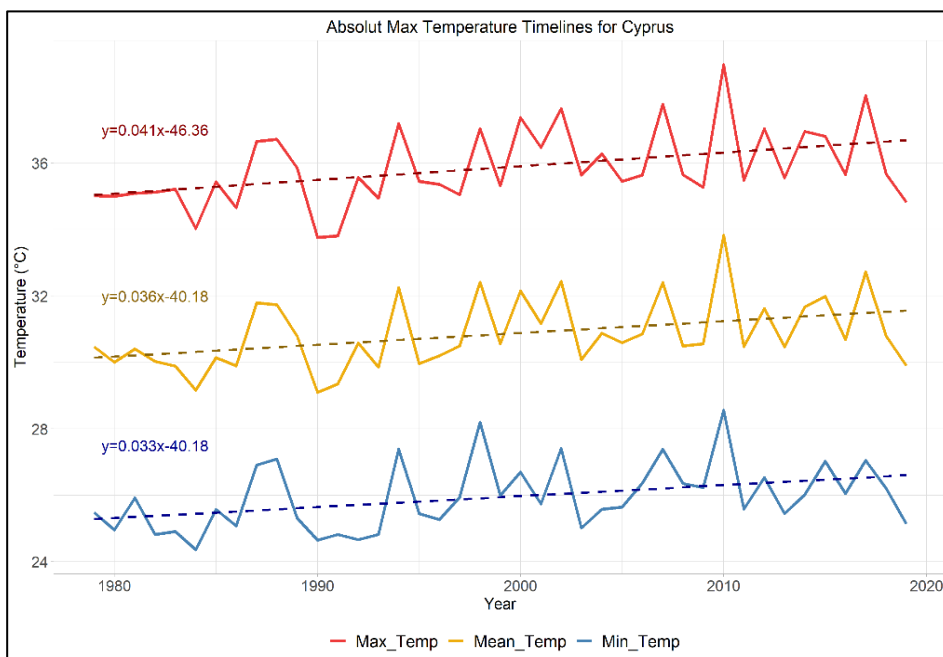
Αρχικά, με βάση τα δεδομένα θερμοκρασιών μελετήθηκε η κλιματολογία της Κύπρου για τα τελευταία 40 χρόνια. Υπολογίστηκε η ημερήσια μέγιστη, ελάχιστη και μέση θερμοκρασία για κάθε πλεγματικό σημείο και στη συνέχεια, η μέση καθώς και η απόλυτη ετήσια μέγιστη, ελάχιστη και μέση θερμοκρασία. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 10 και 11 αντίστοιχα. Με βάση τα σχήματα αυτά παρατηρείται ότι η Κύπρος την τελευταία 40ετία παρουσιάζει μια στατιστικά σημαντική τάση αύξησης σε όλες τις μεταβλητές της θερμοκρασίας τόσο στις μέσες όσο και στις απόλυτες τιμές. Η σημαντικότητα αυτή υποστηρίζεται από την τιμή p -value στο επίπεδο σημαντικότητας του 5%.

Συγκεκριμένα από το Σχήμα 10 αναφορικά με τις μέσες ετήσιες τιμές θερμοκρασίας, την μεγαλύτερη αύξηση σημείωσε η μέγιστη θερμοκρασία με ρυθμό $0,38\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία. Για όλη την υπό μελέτη περίοδο, αυτό μεταφράζεται σε αύξηση $1,52\text{ }^{\circ}\text{C}$ από το 1979 μέχρι το 2019. Εξίσου σημαντικός είναι ο ρυθμός αύξησης της μέσης ($0,34\text{ }^{\circ}\text{C}$ / δεκαετία $\rightarrow 1,36\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 40ετία) καθώς και της ελάχιστης θερμοκρασίας ($0,31\text{ }^{\circ}\text{C}$ / δεκαετία $\rightarrow 1,24\text{ }^{\circ}\text{C}$ / 40ετία). Ανάλογα αποτελέσματα παρατηρούνται και στο Σχήμα 11, με τις απόλυτες ετήσιες μέγιστες, μέσες και ελάχιστες θερμοκρασίες. Μάλιστα συγκριτικά με τις μέσες ετήσιες θερμοκρασίες, οι απόλυτες μέγιστες έχουν μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης. Δηλαδή, η απόλυτη ετήσια μέγιστη θερμοκρασία σημείωσε τον μεγαλύτερο ρυθμό αύξησης της τάξεως του $0,41\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία, άρα $1,64\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά 40ετία και αναλογικά η απόλυτη μέση και ελάχιστη ετήσια θερμοκρασία $0,36\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $0,33\text{ }^{\circ}\text{C}$ ανά δεκαετία, άρα $1,44\text{ }^{\circ}\text{C}$ και $1,32\text{ }^{\circ}\text{C}$ αντίστοιχα, από το 1979 μέχρι το 2019. Παράλληλα από τα δύο σχήματα χρονοσειρών μπορούν να ξεχωρίσουν τα πιο θερμά και ψυχρά έτη από όλη την υπό μελέτη περίοδο. Συγκεκριμένα τα έτη 1991 και 1992 είχαν φανερά μικρότερες θερμοκρασίες από τις μέσες κλιματολογικές τιμές ενώ αντιθέτως το 2010

τόσο στις μέσες όσο και στις απόλυτες ετήσιες μέγιστες, ελάχιστες και μέσες θερμοκρασίες σημειώθηκε το μέγιστο συγκριτικά με τα υπόλοιπα έτη.

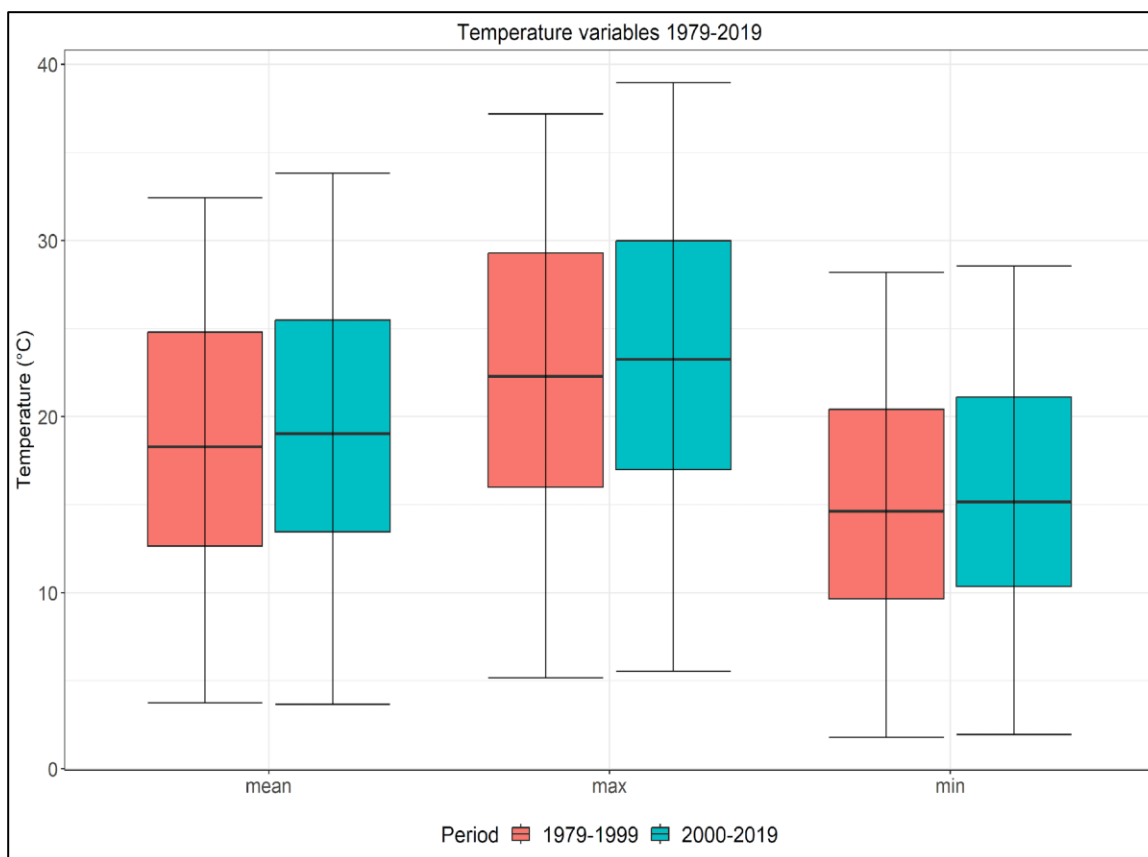


Σχήμα 10: Μέσες ετήσιες τιμές μέγιστης (κόκκινο), μέσης (κίτρινο) και ελάχιστης (μπλε) θερμοκρασίας μαζί με τις τάσεις στην Κύπρο από το 1979 – 2019.



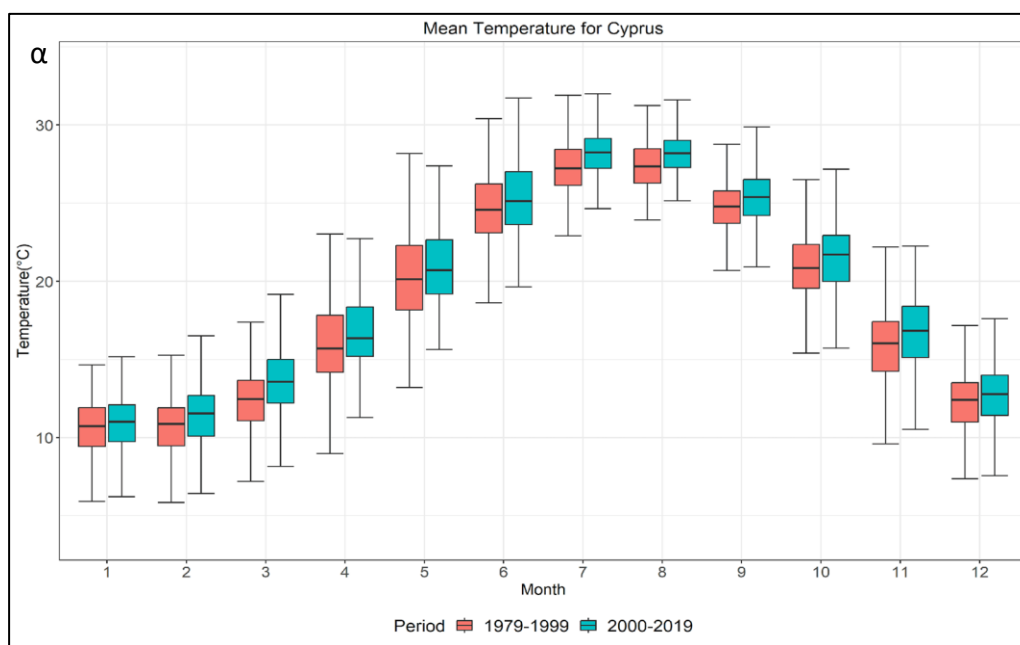
Σχήμα 11: Απόλυτες μέγιστες ετήσιες τιμές των μεγίστων (κόκκινο), μέσων (κίτρινο) και ελαχίστων (μπλε) θερμοκρασιών μαζί με τις τάσεις στην Κύπρο από το 1979 – 2019.

Ακολουθώντας, λαμβάνοντας υπόψη την περίοδο κάλυψης των δεδομένων υγείας (2004 – 2019), συνεχίστηκε η μελέτη των κλιματολογικών τάσεων χωρίζοντας την υπό μελέτη περίοδο σε δύο υπό περιόδους, από το 1979 μέχρι το 1999 και από το 2000 μέχρι το 2019. Με αυτό τον τρόπο υπάρχει πιο ξεκάθαρη εικόνα για την περίοδο ενδιαφέροντος. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 12, από το οποίο μέσω της χρήσης των θηκογραμμάτων και της σύγκρισης της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας για τις δύο υπό περιόδους, φαίνεται και πάλι η αύξηση των μεταβλητών της θερμοκρασίας. Παρατηρείται λοιπόν, ότι η περίοδος 2000 – 2019 εμφανίζει υψηλότερες τιμές σε ολόκληρη την κατανομή του ενδοτεταρτομοριακού εύρους, ιδιαιτέρως για τις απόλυτες μέγιστες τιμές.

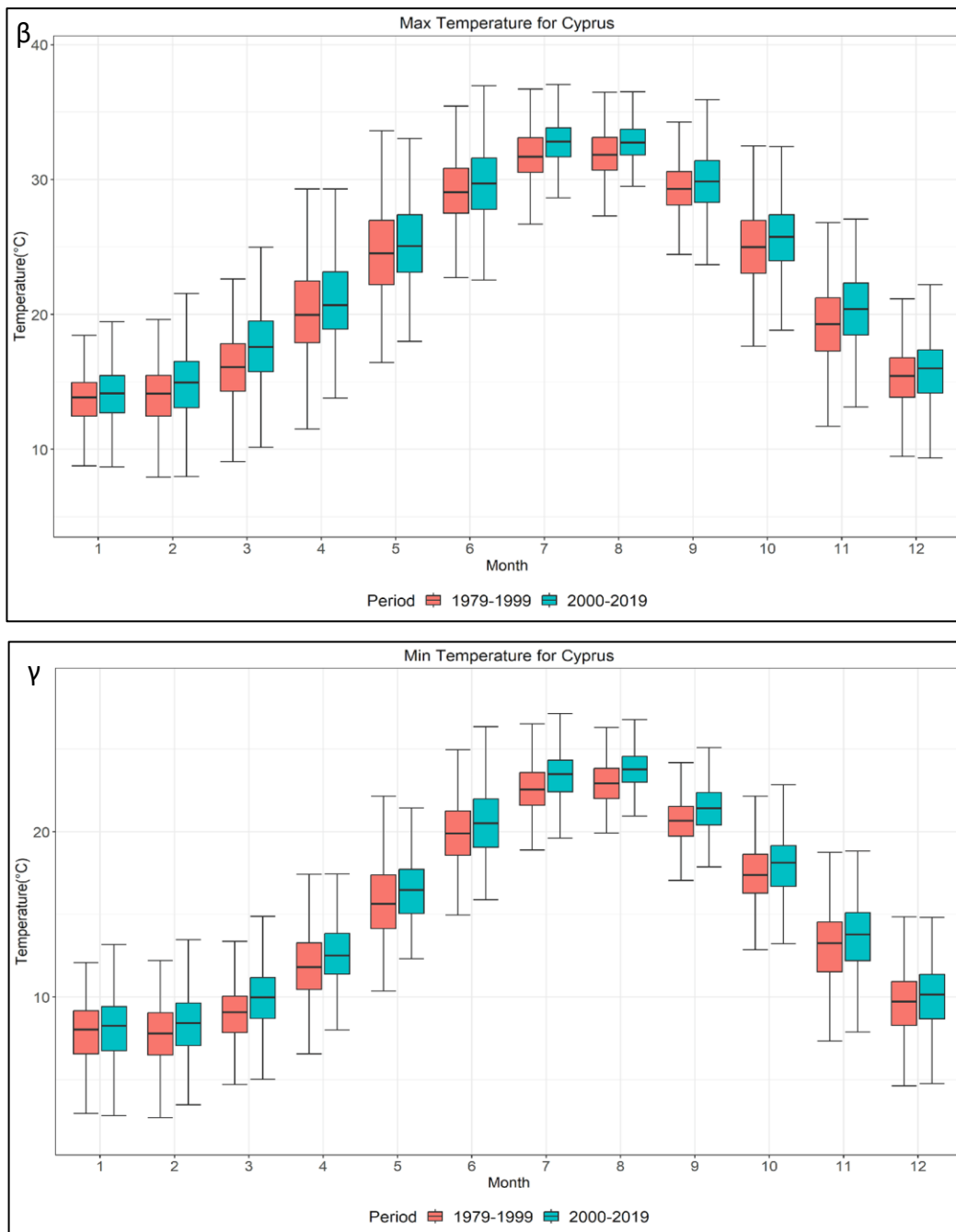


Σχήμα 12: Σύγκριση μεταβλητών θερμοκρασίας (μέσης, μέγιστης και ελάχιστης) στην Κύπρο για δυο υπό περιόδους μελέτης 1979 – 1999 και 2000 – 2019.

Με τον ίδιο τρόπο πραγματοποιήθηκε η μηνιαία ανάλυση των κλιματολογικών τάσεων των θερμοκρασιών στην Κύπρο, μελετώντας και συγκρίνοντας τις μηνιαίες μέσες, μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες για τις δυο υπό περιόδους. Τα αποτελέσματα τοποθετήθηκαν στο Σχήμα 13, από το οποίο παρατηρείται η εποχικότητα στην Κύπρο. Δηλαδή οι υψηλότερες θερμοκρασίες σημειώνονται τους μήνες Ιουνίου, Ιουλίου και Αυγούστου, με τις μέγιστες να καταγράφονται τον Ιούλιο ενώ οι ελάχιστες τον Δεκέμβριο, Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Η περίοδος 2000 – 2019, εμφανίζει υψηλότερες τιμές ολόκληρης την κατανομής γενικότερα. Από τις μέσες θερμοκρασίες (Σχήμα 13α), η αύξηση είναι εντονότερη κατά τους μεταβατικούς μήνες (π.χ. Απρίλιος, Σεπτέμβριος, Οκτώβριος και Νοέμβριος) καθώς και τους καλοκαιρινούς μήνες. Από την κατανομή των μέγιστων και ελαχίστων θερμοκρασιών (Σχήμα 13β και 13γ αντίστοιχα) παρατηρείται μια πιο ομοιόμορφη αύξηση των χαρακτηριστικών του ενδοτεταρτομοριακού εύρους για όλους τους μήνες, ενώ φαίνεται επίσης σημαντική αύξηση στα ακραία χαμηλά όρια των θηκογραμμάτων. Η εντονότερη αύξηση σε ολόκληρη την κατανομή εντοπίζεται στις ελάχιστες θερμοκρασίες (13γ) κάτι το οποίο δεν ήταν τόσο ξεκάθαρο στο Σχήμα 12. Τέλος, από τα θηκογράμματα ενώ παρατηρείται αύξηση της θερμοκρασίας για το 2000 – 2019 συγκριτικά με το 1979 – 1999, το



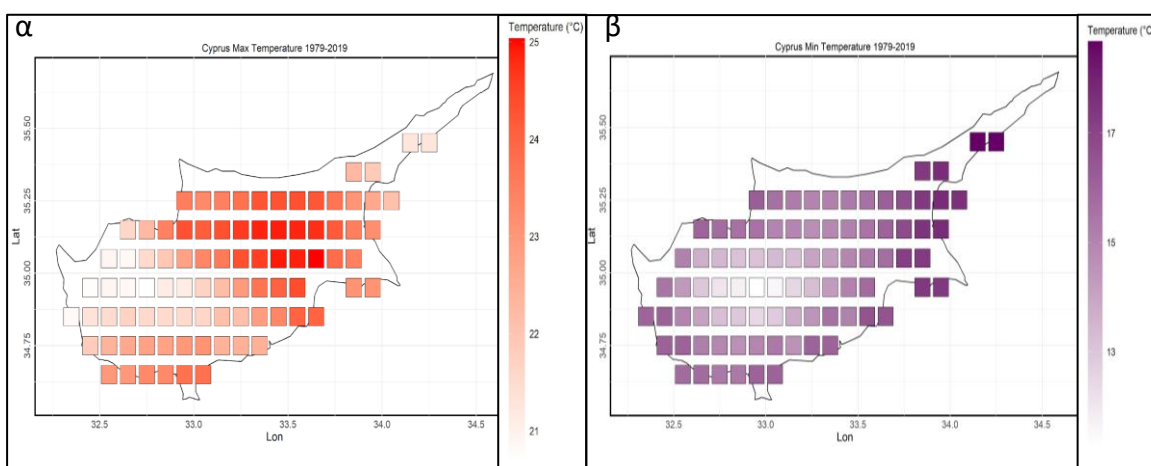
ενδοτεταρτομοριακό εύρος των μηνών Ιουλίου και Αυγούστου είναι μειωμένο, πληροφορία που ερμηνεύεται από το γεγονός ότι οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες σημειώνουν άνοδο λόγω της αυξημένης ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας.



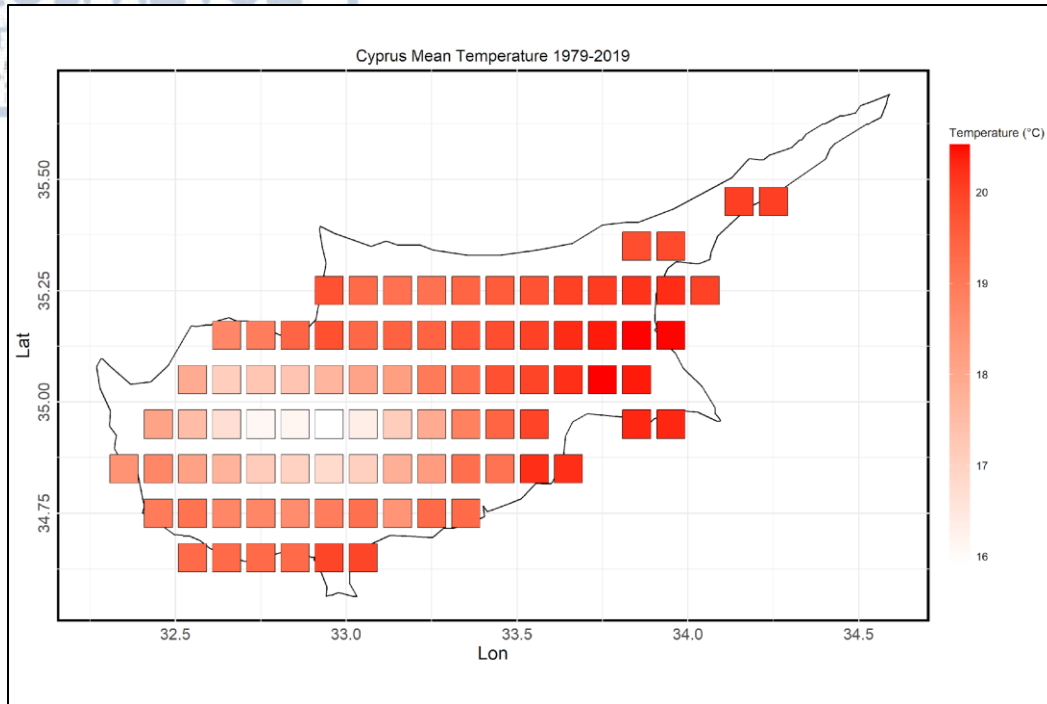
Σχήμα 13: Μηνιαία κατανομή α) μέσων, β) μέγιστων και γ) ελαχίστων θερμοκρασιών στην Κύπρο για δυο υπό περιόδους μελέτης 1979 – 1999 και 2000 – 2019.

3.1.2. Χωρική Ανάλυση

Στη συνέχεια μελετήθηκε η χωρική κατανομή της θερμοκρασίας για την περίοδο 1979 – 2019. Για κάθε κόμβο υπολογίστηκε η μέση τιμή της μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας για την υπό μελέτη περίοδο και στην συνέχεια οι τιμές αποτυπώθηκαν στους χάρτες των παρακάτω Σχημάτων 14 και 15. Αρχικά μελετώντας το Σχήμα 14(α), οι υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες εντοπίζονται στο εσωτερικό του ανατολικού τμήματος του νησιού, καλύπτοντας τις επαρχίες Κερύνειας και Λευκωσίας καθώς και την πόλη της Λευκωσίας – πρωτεύουσα του νησιού – στην οποία κατανέμεται και το μεγαλύτερο τμήμα του συνολικού πληθυσμού. Αντιθέτως, οι χαμηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες εντοπίζονται στο εσωτερικό του δυτικού μισού του νησιού, δηλαδή πάνω από τον κεντρικό ορεινό όγκο της οροσειράς του Τροόδους. Από το Σχήμα 14(β), δηλαδή την χωρική κατανομή της ελάχιστης θερμοκρασίας, παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στα παράλια ενώ οι χαμηλότερες τιμές στο εσωτερικό του νησιού. Στο Σχήμα 15 φαίνεται η χωρική κατανομή της μέσης θερμοκρασίας η οποία διαμορφώνεται σύμφωνα με την κατανομή των Σχημάτων 14 (α) και (β), δηλαδή υψηλότερες θερμοκρασίες στο ανατολικό εσωτερικό ενώ χαμηλότερες θερμοκρασίες στο δυτικό κεντρικό εσωτερικό του νησιού.



Σχήμα 14: Χωρική κατανομή της α) μέγιστης και β) ελάχιστης θερμοκρασίας κόμβο (ERA5 Land) στη Κύπρο για την περίοδο 1979 – 2019.



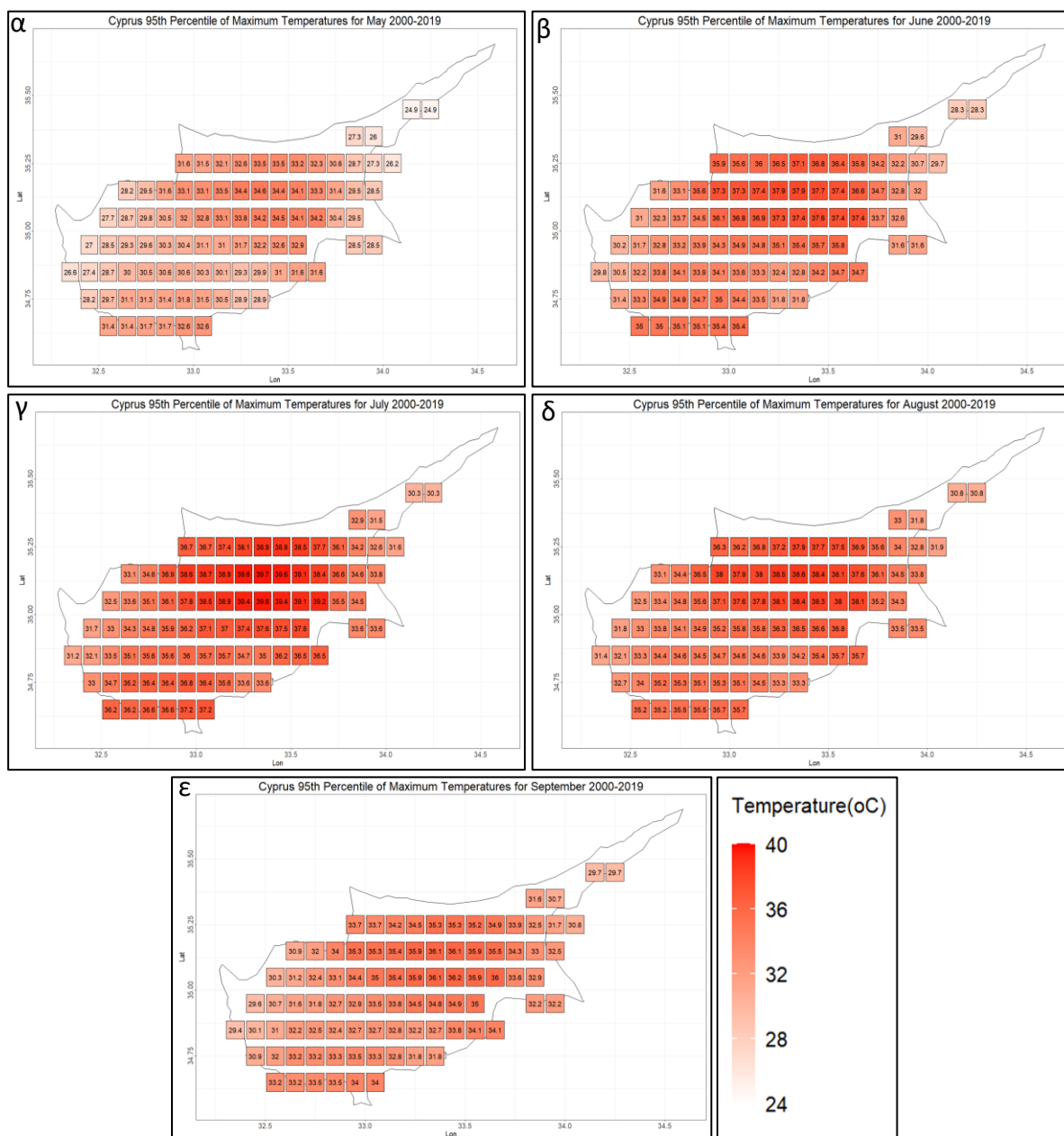
Σχήμα 15: Χωρική κατανομή της μέσης θερμοκρασίας για κάθε κόμβο στη Κύπρο για την περίοδο 1979 – 2019.

3.2 Ακραία θερμές περιόδους – Καύσωνες

Εφόσον ορίστηκαν οι ημέρες ακραίων θερμοκρασιών ως οι ημέρες στις οποίες ταυτόχρονα η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία ξεπερνάει το 95^ο ποσοστημόριο της 20ετίας 2000 με 2019, το επόμενο βήμα για να εντοπιστούν είναι να υπολογιστούν τα όρια αυτά. Το 95^ο ποσοστημόριο υπολογίστηκε για τις μέγιστες και τις ελάχιστες θερμοκρασίες για κάθε θερμό μήνα και κάθε κόμβο. Ως θερμοί μήνες στην Κύπρο θεωρούνται οι μήνες από Μάιο μέχρι Σεπτέμβριο. Τα αποτελέσματα των θερμοκρασιακών ορίων των μεγίστων και ελαχίστων θερμοκρασιών παρουσιάζονται στα Σχήματα 16 και 17 αντίστοιχα.

Μελετώντας την χωρική κατανομή των θερμοκρασιακών ορίων του 95^{ου} ποσοστημορίου φαίνεται ότι ο μήνας με τις υψηλότερες τιμές μεγίστων θερμοκρασιών στη Κύπρο, είναι ο Ιούλιος. Η μέγιστη τιμή του 95^{ου} ορίου αντιστοιχεί σε αυτή των 39.7°C. Τα μικρότερα όρια θερμοκρασιών αντιστοιχούν στον μήνα Μάιο (24.9 °C). Όπως

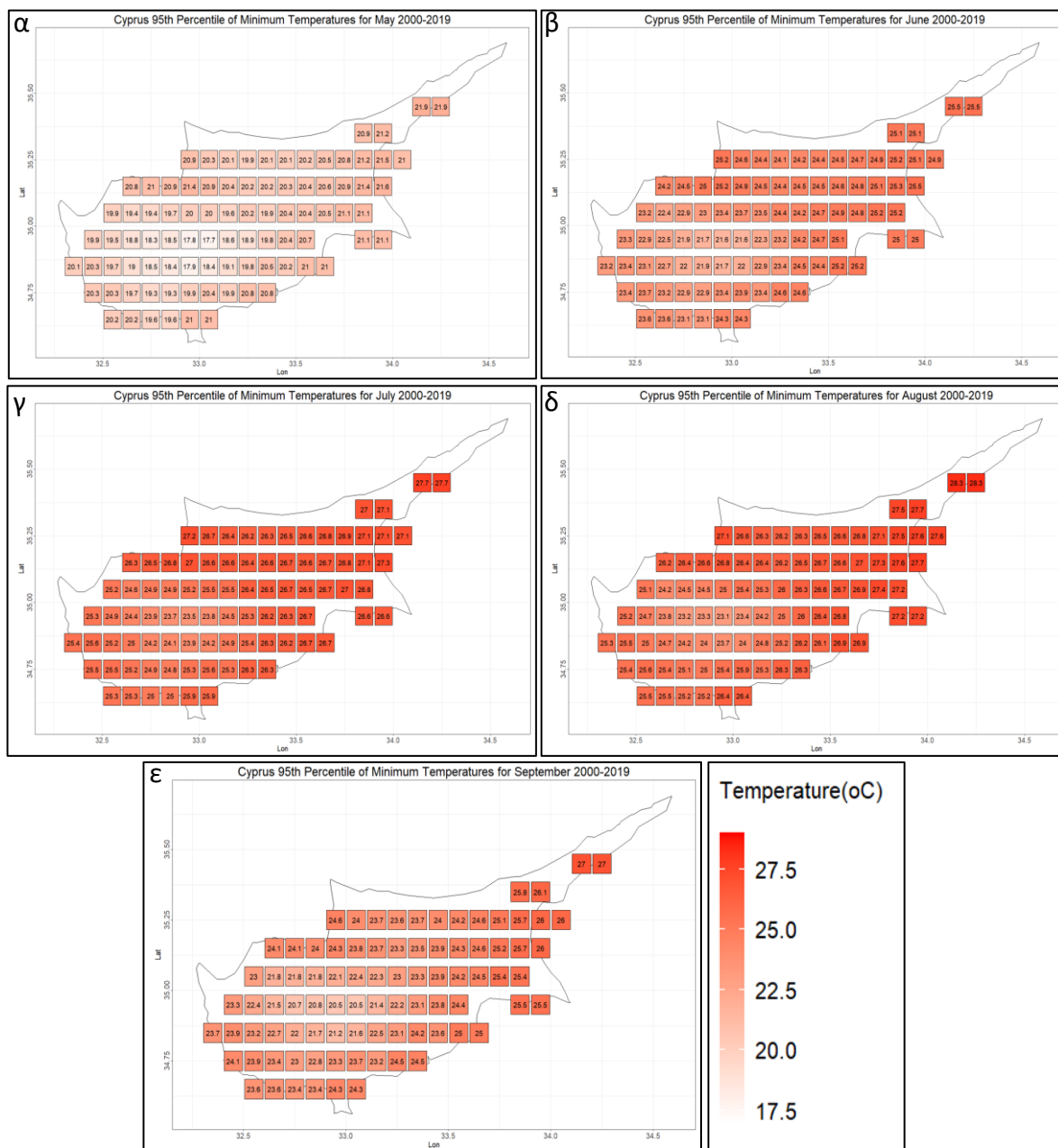
αναφέρθηκε και προηγουμένως, χωρικά, οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο ανατολικό εσωτερικό του νησιού δηλαδή κυρίως επαρχίες Λευκωσίας και Κερύνειας.



Σχήμα 16: Χωρική κατανομή του 95^{ου} ποσοστημορίου των μεγίστων θερμοκρασιών κάθε πλεγματικού σημείου για τους μήνες α) Μάιο β) Ιούνιο, γ) Ιούλιο, δ) Αύγουστο και ε) Σεπτέμβριο για την περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο.

Ανάλογα από το Σχήμα 17 φαίνεται ότι ο μήνας με τις υψηλότερες τιμές ελαχίστων θερμοκρασιακών ορίων στη Κύπρο, είναι ο Αύγουστος και η μεγαλύτερη τιμή αντιστοιχεί

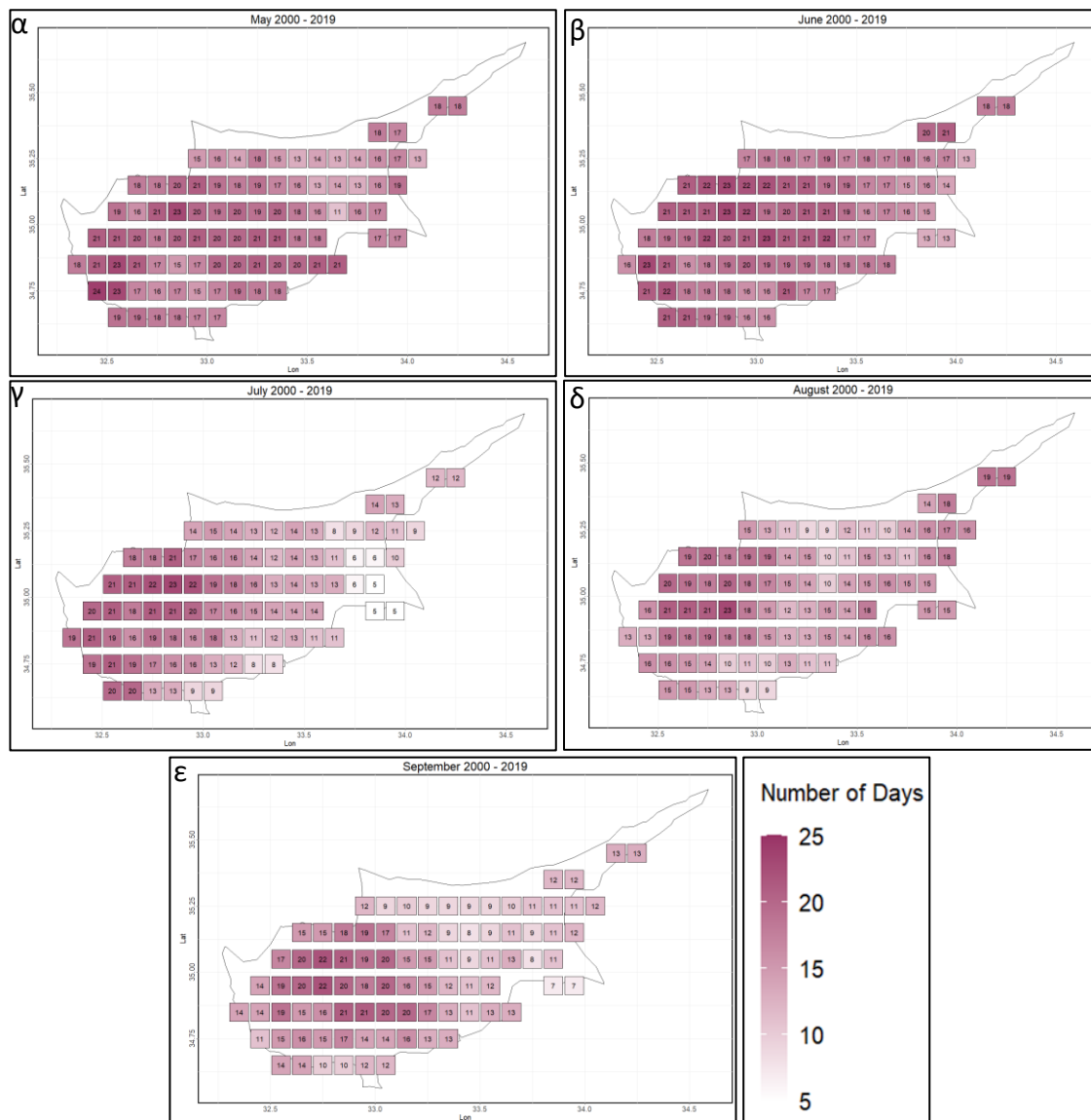
σε αυτή των 28,3°C, ενώ η μικρότερη τιμή του ορίου θερμοκρασίας αντιστοιχεί στον μήνα Μάιο στους 17,7°C. Ταυτόχρονα φαίνεται ότι οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στα Βόρεια, Βορειοανατολικά και Ανατολικά παράλια του νησιού που καλύπτουν τις επαρχίες Κερύνειας, Αμμοχώστου και Λάρνακας αντίστοιχα.



Σχήμα 17: Χωρική κατανομή του 95^{ου} ποσοστημορίου των ελαχίστων θερμοκρασιών κάθε πλεγματικού σημείου για τους μήνες α) Μάιο β) Ιούνιο, γ) Ιούλιο, δ) Αύγουστο και ε) Σεπτέμβριο για την περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο.

3.2.1 Χωρική και χρονική ανάλυση

Στη συνέχεια, ελέγχθηκαν ποιες περιπτώσεις πληρούν τα κριτήρια ώστε να θεωρηθούν ως ημέρες ακραίων θερμοκρασιών. Στο Σχήμα 18 τοποθετούνται τα αποτελέσματα του αριθμού ημερών με ακραίες θερμοκρασίες ανά κόμβο και ανά μήνα. Μελετώντας την χωρική κατανομή των ημερών με ακραίες θερμοκρασίες παρατηρείται ότι συγκριτικά με τη χωρική κατανομή του 95^{ου} ποσοστημορίου της μέγιστης και ελάχι-



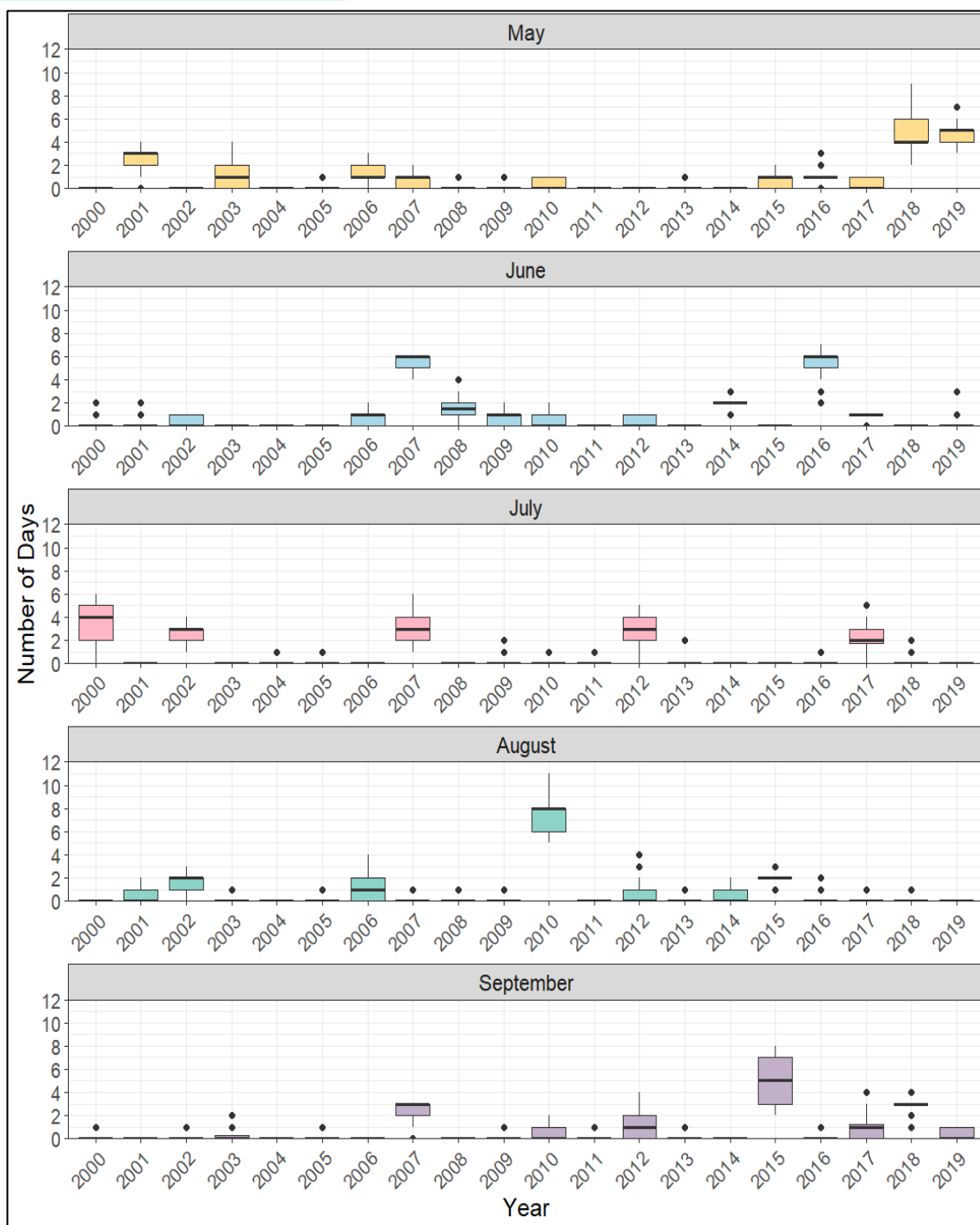
Σχήμα 18: Χωρική κατανομή του συνολικού αριθμού ημερών με ακραίες θερμοκρασίες ανά κόμβο για τους μήνες α) Μάιο β) Ιούνιο, γ) Ιούλιο, δ) Αύγουστο και ε) Σεπτέμβριο για την περίοδο 2000 – 2019.

στης θερμοκρασίας (Σχήμα 16 και 17), εμφανίζει διαφορετική συμπεριφορά. Παρατηρείται δηλαδή ότι στο δυτικό τμήμα του νησιού της Κύπρου κυρίως στο εσωτερικό, καταγράφονται οι περισσότερες ημέρες ακραίων θερμοκρασιών. Μάλιστα το μέγιστο για κάθε μήνα εντοπίζεται πάνω από την ηπειρωτική περιοχή και τον κύριο ορεινό όγκο του νησιού και το ελάχιστο πάνω από τις νότιες – νοτιοανατολικές περιοχές. Εξαιρέση αποτελεί ο Μάιος που το πρωτεύον μέγιστο του εντοπίζεται στα νοτιοδυτικά παράλια. Το μέγιστο αυτό αποτελεί και τον μεγαλύτερο αριθμό ημερών (24) που σημειώθηκε σε όλους τους κόμβους για όλα τα χρόνια. Όσον αφορά τον μήνα με τον μεγαλύτερο συνολικό αριθμό ημερών ακραίων θερμοκρασιών για όλους τους κόμβους, αυτός είναι ο Ιούνιος, ακολουθεί ο Μάιος, Αύγουστος, Ιούλιος και τέλος ο Σεπτέμβριος.

Η συμπεριφορά αυτή πιθανόν σχετίζεται με το γεγονός ότι το εύρος των ορίων της μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερο σε ένα άξονα από τα βορειοανατολικά μέχρι τα νότια παράλια, καλύπτοντας μεγάλο κομμάτι του ηπειρωτικού τμήματος της Κύπρου. Αντιθέτως στα δυτικά και ανατολικά παράλια του νησιού το εύρος αυτό είναι μικρότερο. Έτσι λόγω του ότι το εύρος του μέγιστου και ελάχιστου θερμοκρασιακού ορίου είναι μεγαλύτερο στο εσωτερικό του νησιού, το κριτήριο πληρείται δυσκολότερα σε σχέση με τα δυτικά και νοτιοανατολικά παράλια. Για επιβεβαίωση της παραπάνω θεώρησης, πραγματικά μετεωρολογικά δεδομένα του τμήματος μετεωρολογίας για τους σταθμούς Αθαλάσσας (Λευκωσία) και Τροόδους μελετήθηκαν, προκύπτοντας τα ίδια συμπεράσματα.

Ακολουθώντας, προκυμμένους να ανιχνευτούν οι σημαντικότερες περιπτώσεις αναφορικά με τις ακραίες θερμοκρασίες, κατασκευάστηκε το Σχήμα 19 στο οποίο μελετώνται τα ημερογράμματα με τον αριθμό ημερών ακραίων θερμοκρασιών για κάθε μήνα και κάθε έτος. Από το σχήμα αυτό διακρίνονται τα σημαντικότερα έτη, όπως για παράδειγμα ο Μάιος του 2018, ο Ιούνιος του 2007 και 2016, ο Σεπτέμβριος του 2010. Αξιοσημείωτη είναι η περίπτωση του Αυγούστου το 2010 στον οποίο το μέγιστο της κατανομής έφτασε τις 10 ημέρες ακραίων θερμοκρασιών, δηλαδή το 1/3 του Αυγούστου.

Παράλληλα φαίνεται ότι ο Ιούλιος είναι ο μήνας στον οποίο καταγράφεται συχνότερα μεγάλος αριθμός ημερών ακραίων θερμοκρασιών (2000, 2002, 2007, 2012 και 2017).



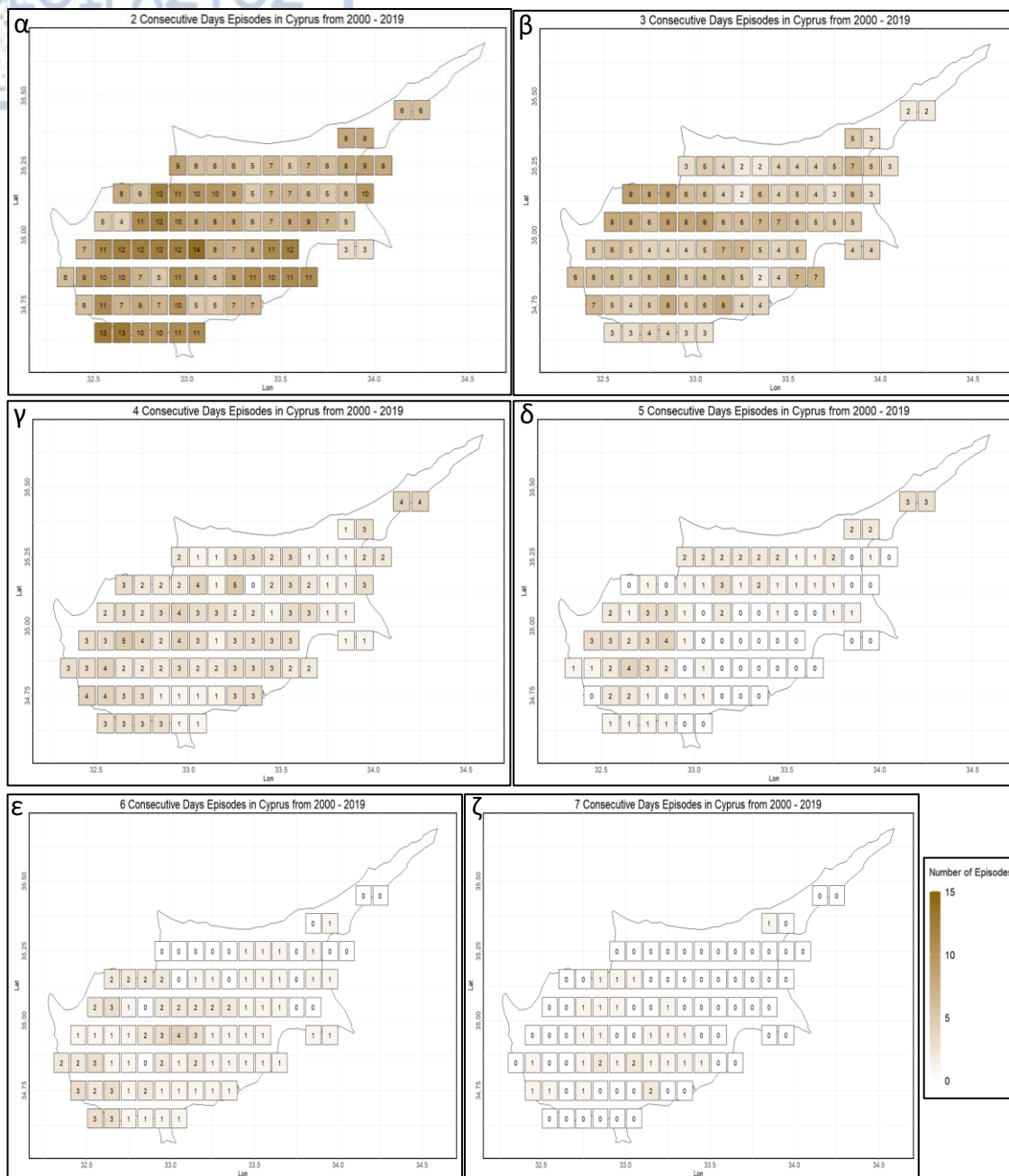
Σχήμα 19: Ανάλυση με την χρήση θηκογραμμάτων του αριθμού ημερών με ακραίες θερμοκρασίες για όλα τα πλεγματικά σημεία ανά έτος και μήνα για την υπό μελέτη περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο.

3.2.2 Συνεχόμενες ημέρες ακραίων θερμοκρασιών

Αφού μελετήθηκε η χωρική και η χρονική συμπεριφορά των περιπτώσεων των ημερών με ακραίες θερμοκρασίες, σημαντικό κομμάτι αποτελεί επίσης και η μελέτη των συνεχόμενων ημερών, λόγω της θερμικής καταπόνησης που μπορεί να προκαλέσουν. Έτσι ως επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών ορίζονται οι περιπτώσεις που επικρατούν ακραίες θερμοκρασίες για τουλάχιστον δύο συνεχόμενες ημέρες.

Επομένως για να μελετηθούν και να εντοπιστούν αυτά τα επεισόδια υπολογίστηκαν για κάθε κόμβο οι περιπτώσεις που επικρατούσαν συνεχόμενες ημέρες ακραίων θερμοκρασιών. Από την ανάλυση που πραγματοποιήθηκε, προκύπτει ότι για την Κύπρο ο μέγιστος αριθμός συνεχόμενων ημερών που χαρακτηρίζονται με ακραίες θερμοκρασίες είναι επτά – (7) ημέρες ανά κόμβο. Για τον λόγο αυτό ομαδοποιήθηκαν τα επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών ανάλογα με τη διάρκεια τους, από τρεις μέχρι επτά ημέρες και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο Σχήμα 20.

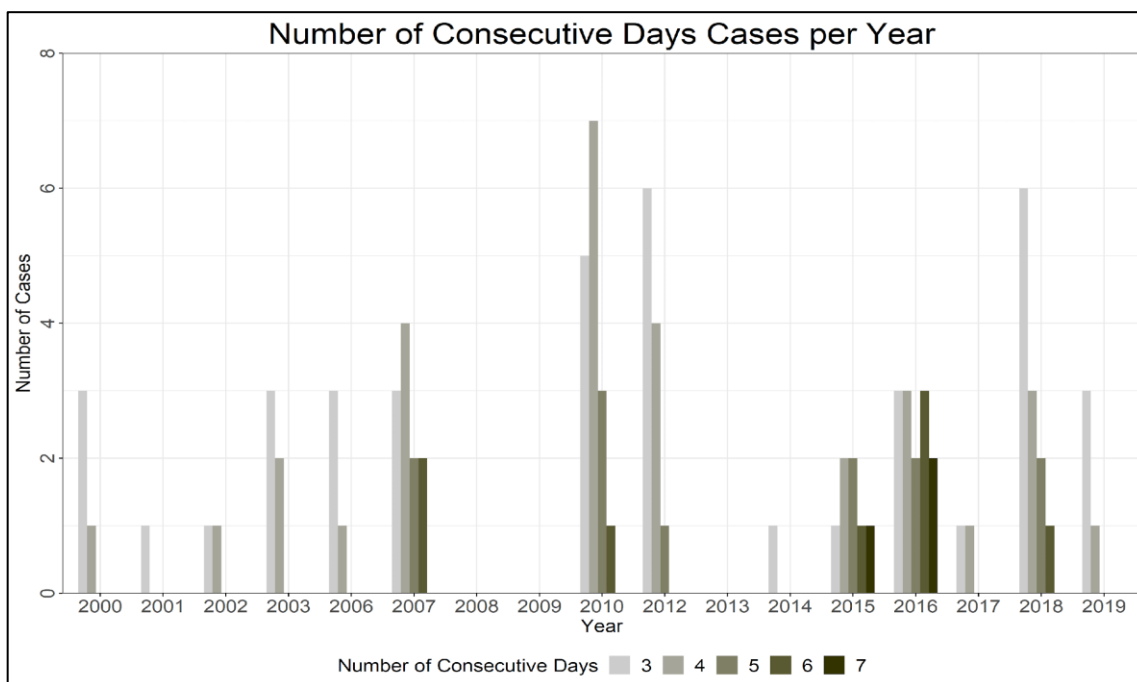
Από το Σχήμα 20 σε αντίθεση με τη χωρική κατανομή του αριθμού ημερών με ακραίες θερμοκρασίες του Σχήματος 18 δεν διαφαίνεται κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο, παρόλο που το μέγιστο των περιπτώσεων εμπίπτει σε κάθε κατηγορία συνεχόμενων ημερών στο δυτικό μισό του νησιού. Επιπρόσθετα, όπως είναι λογικό παρατηρείται ότι αθροιστικά για όλα τα πλεγματικά σημεία, τα περισσότερα επεισόδια είναι αυτά με διάρκεια δύο και τριών συνεχόμενων ημερών, ενώ όπως είναι φυσικό όσο αυξάνεται η διάρκεια τόσο μειώνεται ο αριθμός των περιπτώσεων. Εξαίρεση αποτελεί η περίπτωση επεισοδίων διάρκειας 6 συνεχόμενων ημερών που αθροιστικά είναι περισσότερα από τα επεισόδια 5 συνεχόμενων ημερών. Αθροιστικά λοιπόν, επεισόδια δυο ημερών – 709 περιπτώσεις, επεισόδια τριών ημερών – 454 περιπτώσεις, επεισόδια τεσσάρων ημερών – 211 περιπτώσεις, επεισόδια πέντε ημερών – 96 περιπτώσεις, επεισόδια έξι ημερών – 106 περιπτώσεις και τέλος επεισόδια επτά ημερών – 29 περιπτώσεις.



Σχήμα 20: Επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών στην Κύπρο για την περίοδο 2000 – 2019, δηλαδή ημερών που ξεπερνιέται το 95^ο ποσοστημόριο τόσο της ελάχιστης όσο και της μέγιστης θερμοκρασίας, με διάρκεια α) δύο, β) τριών, γ) τεσσάρων, δ) πέντε, ε) έξι και ζ) επτά συνεχόμενων ημερών.

Στη συνέχεια μελετήθηκαν χρονικά και μηνιαία τα επεισόδια συνεχόμενων ημερών με κοινές ημερομηνίες ανά κόμβο όπως φαίνεται στο Σχήμα 21 και 22 αντίστοιχα.

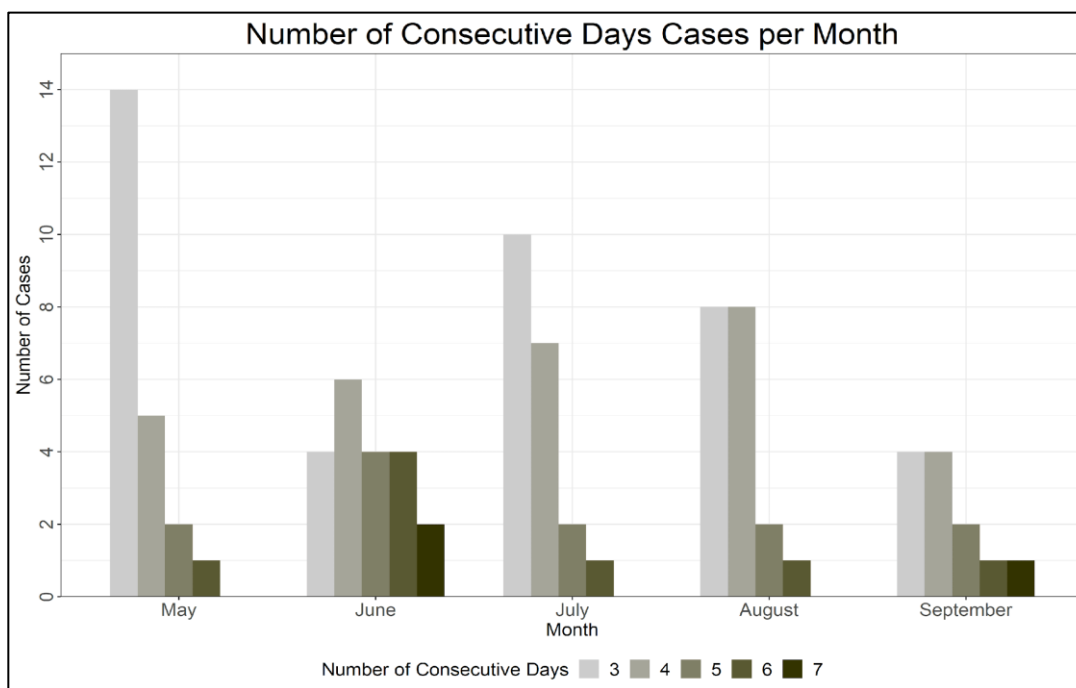
Από το Σχήμα 21 διακρίνονται τα έτη με τα περισσότερα επεισόδια συνεχόμενων ημερών ακραίων θερμοκρασιών ανά διάρκεια. Συγκεκριμένα το 2015 και 2016 είναι τα μοναδικά έτη από την υπό μελέτη περίοδο που εμφανίζουν επεισόδια με τη μεγαλύτερη διάρκεια συνεχόμενων (7) ημερών. Παράλληλα σημαντικά είναι και τα έτη 2007, 2010, 2012 και 2018. Παρόλο που δεν έχουν την μέγιστη διάρκεια, σημείωσαν τον μεγαλύτερο αριθμό επεισοδίων για διάρκεια τριών, τεσσάρων και πέντε συνεχόμενων ημερών (π.χ. 2010, εφτά περιπτώσεις τεσσάρων συνεχόμενων ημερών με ακραίες θερμοκρασίες).



Σχήμα 21: Αριθμός επεισοδίων ακραίων θερμοκρασιών στην Κύπρο ανά έτος για την περίοδο 2000 – 2019, διάρκειας τριών έως εφτά συνεχόμενων ημερών.

Ανάλογα από το Σχήμα 22 φαίνεται ότι οι μήνες που σημειώθηκαν τα μεγαλύτερης διάρκειας επεισόδια συνεχόμενων ημερών είναι ο Ιούνιος και ο Σεπτέμβριος. Ο Μάιος, Ιούλιος και Αύγουστος παρόλο που δεν εμφανίζουν επεισόδια εφτά συνεχόμενων ημερών, σημειώνουν μεγάλο αριθμό επεισοδίων μικρότερης διάρκειας. Συγκεκριμένα το Μάιο καταγράφηκαν συνολικά δεκατέσσερα επεισόδια τριών συνεχόμενων ημερών. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι τα επεισόδια που παρουσιάζονται στα συγκεκριμένα Σχήματα 21 και 22 αναφέρονται στα επεισόδια που προκύπτανε για κοινές ημερομηνίες σε συγκεκριμένους κόμβους. Επομένως υπάρχει πιθανότητα μερικά επεισόδια να

καλύπτουν ένα εύρος μιας περιόδου όμως να παρουσιάζονται ξεχωριστά ως τμηματικές περιπτώσεις. Για να αντιμετωπιστεί αυτό το πρόβλημα, θεωρήθηκε ότι εάν έστω και ένα πλεγματικό σημείο πληρούσε τα κριτήρια καύσωνα για 2 τουλάχιστον ημέρες, τότε στην Κύπρο επικρατούσε επεισόδιο καύσωνα. Έτσι τα επεισόδια καύσωνα στην Κύπρο παρουσιάζονται στο Σχήμα Ι του παραρτήματος. Στο σχήμα αυτό φαίνονται ότι τα επεισόδια στην Κύπρο είχαν διάρκεια από δύο έως δώδεκα συνεχόμενες ημέρες, ενώ συνολικά σημειώθηκαν 50 επεισόδια καύσωνα για την υπό μελέτη περίοδο.



Σχήμα 22: Αριθμός επεισοδίων ακραίων θερμοκρασιών στην Κύπρο ανά μήνα για την περίοδο 2000 – 2019, διάρκειας τριών έως εφτά συνεχόμενων ημερών.

3.3 Θερμικό στρες

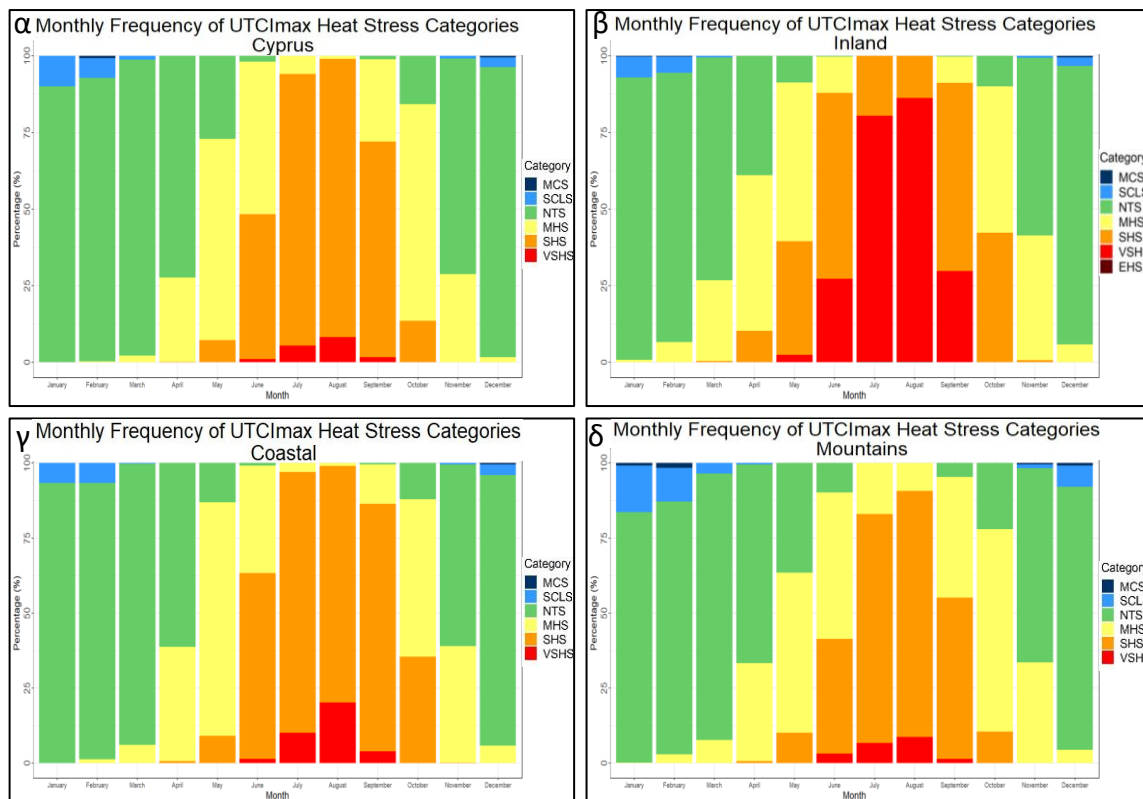
Για την μελέτη του θερμικού στρες στην Κύπρο επιλέχθηκε ο βιοκλιματικός δείκτης UTCI. Από τη μέχρι τώρα ανάλυση προέκυψε ότι ο μεγαλύτερος αριθμός ημερών και επεισοδίων συνεχόμενων ημερών με ακραίες θερμοκρασίες για την περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο, εντοπίζεται στο δυτικό μισό του νησιού που γεωγραφικά ανήκει ο κύριος ορεινός όγκος του. Για να ελεγχθεί το πόσο συχνά επικρατούν συνθήκες θερμικής καταπόνησης και δυσφορίας στην περιοχή αυτή, υπολογίστηκε η μηνιαία και ετήσια

συχνότητα εμφάνισης της κάθε κατηγορίας του UTCI για όλη την υπό μελέτη περίοδο. Η μελέτη έγινε αρχικά για όλο το νησί ως μεσοποιημένες τιμές για όλους του κόμβους όπως παρουσιάζεται στο Σχήμα 23(α) και 24(α). Παρ' όλα αυτά, λόγω του ότι με τον τρόπο αυτό εισαγόταν αρκετός θόρυβος και χανόταν σημαντική πληροφορία αναφορικά με τα τοπικά χαρακτηριστικά του νησιού, η μελέτη πραγματοποιήθηκε για τρεις επιπλέον ξεχωριστές περιπτώσεις. Οι τρεις ξεχωριστές περιπτώσεις πλεγματικών σημείων επιλέχθηκαν με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να περιγράφουν και να καλύπτουν όλα τα γεωμορφολογικά/τοπογραφικά χαρακτηριστικά του νησιού, ενώ ταυτόχρονα ανήκουν στο ίδιο γεωγραφικό πλάτος. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε το πλεγματικό σημείο 23 που καλύπτει την περιοχή των ορεινών, το πλεγματικό σημείο 25 που περιγράφει το εσωτερικό του νησιού και τέλος το πλεγματικό σημείο 27 που καλύπτει παραθαλάσσιο τμήμα (Σχήμα 5).

Οι κατηγορίες του UTCI είναι Extreme Heat Stress (EHS), Very Strong Heat Stress (VSHS), Strong Heat Stress (SHS), Moderate Heat Stress (MHS), No Thermal Stress (NTS), Slight Cold Stress (SCLS), Moderate Cold Stress (MCS), Strong Cold Stress (SCS) Very Strong Cold Stress (VSCS) και Extreme Cold Stress (ECS). Κάθε κλάση του UTCI αναπαρίσταται από διαφορετική χρωματική απόχρωση η οποία διατηρείται για όλα τα παρακάτω σχήματα ενώ η χρωματική κατάταξη των κλάσεων του UTCI παρουσιάζεται στον Πίνακα 1.

Στο Σχήμα 23 παρουσιάζεται η μηνιαία ανάλυση συχνοτήτων των κλάσεων του UTCI και από την σύγκριση των διαφορετικών περιπτώσεων παρατηρείται ότι την πιο δυσμενή εικόνα εμφανίζει η περιοχή του εσωτερικού 23(β) αφού επικρατεί σχεδόν όλο τον χρόνο θερμικό στρες το οποίο εμφανίζεται (με πολύ μικρή συχνότητα εμφάνισης) ακόμα και τους χειμερινούς μήνες με την κατηγορία MHS. Από νωρίς τον Απρίλιο εμφανίζεται σε όλες τις περιπτώσεις η κατηγορία SHS με ένα ποσοστό της τάξεως του 10% ενώ η κατηγορία VSHS κάνει την εμφάνιση της από τον Μάιο στο εσωτερικό. Από τον Ιούνιο μέχρι και τον Σεπτέμβριο επικρατούν μονίμως συνθήκες δυσφορίας στο εσωτερικό αφού το ποσοστό συχνότητας της κατηγορίας (VSHS) αντιστοιχεί από 25-75% ανά μήνα.

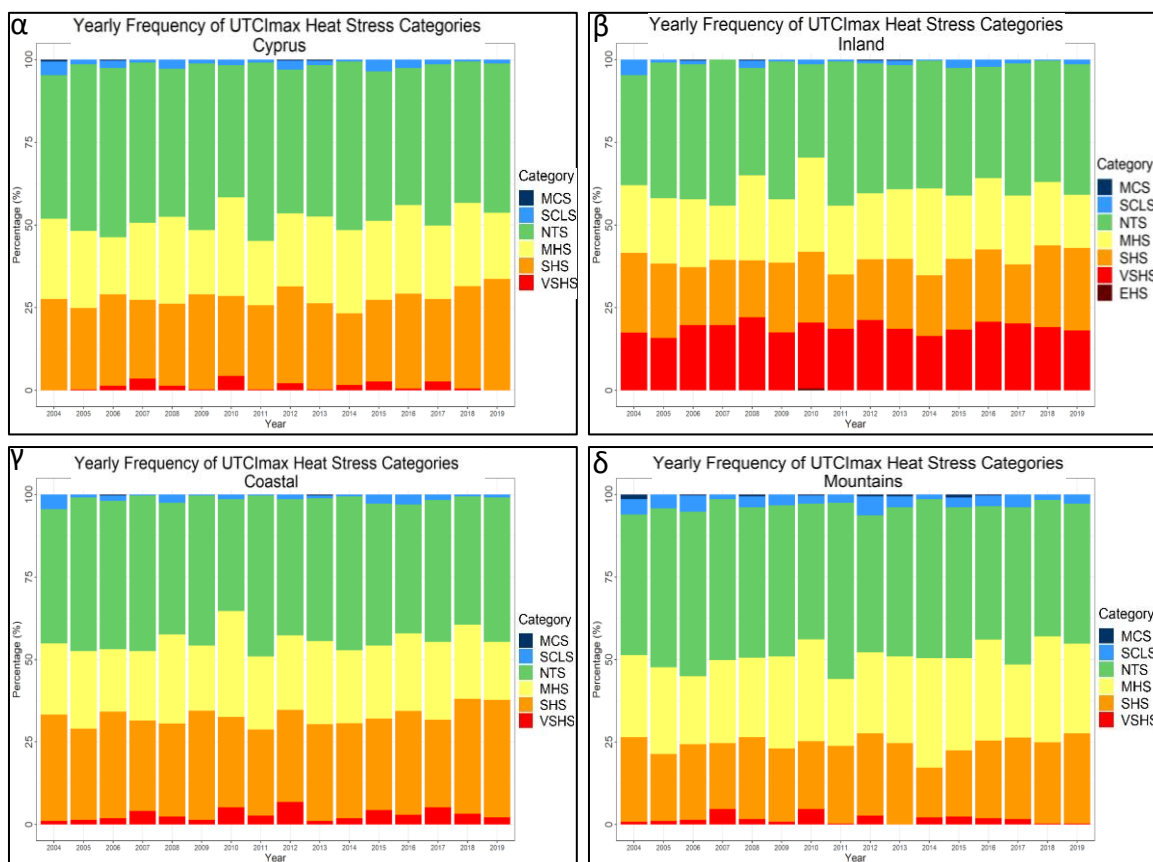
Σημειώνεται επίσης ότι για τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο υπάρχουν μεμονωμένα περιστατικά που αντιστοιχούν στην κατηγορία (EHS) η οποία αποτελεί και το μέγιστο της κατάταξης του θερμικού στρες με βάση τον UTCI. Όσον αφορά τα παράλια και τα ορεινά εμφανίζουν ομοιότητες ως προς τους καλοκαιρινούς μήνες που παρουσιάζουν μεγάλα ποσοστά συχνότητας εμφάνισης της κατηγορίας (SHS) με την κατηγορία (VSHS) να εμφανίζεται τους μήνες Ιούνιο με Σεπτέμβριο και κορύφωση τον Ιούλιο και Αύγουστο.



Σχήμα 23: Μηνιαία συχνότητα εμφάνισης της κάθε κλάσης του UTCI για την υπό μελέτη περίοδο 2000-2019 στην Κύπρο για τις περιπτώσεις α) όλων των κόμβων μεσοποιημένα για όλη την Κύπρο, β) στο εσωτερικό, γ) στα ορεινά και δ) στα παράλια.

Ακολουθώντας παρουσιάζεται στο Σχήμα 24, η ετήσια συχνότητα εμφάνισης των κλάσεων του UTCI από το οποίο προκύπτει το συμπέρασμα ότι σε όλο το νησί (Σχήμα 24(α)) το 50% (και άνω) των ημερών ανά έτος, ο πληθυσμός και κάθε ζωτικός οργανισμός στη Κύπρο βιώνει θερμικό στρες με το 25% των ημερών αυτών να ανήκει στην κατηγορία SHS. Στο εσωτερικό 24(β), το 20% των ημερών ανά έτος ανήκει στην κατηγορία VSHS.

Από το σύνολο των ετών, αυτό που εμφανίζει το μεγαλύτερο θερμικό στρες είναι το έτος 2010, κάτι το οποίο έρχεται σε συμφωνία με τα προηγούμενα αποτελέσματα.



Σχήμα 24: Ετήσια συχνότητα εμφάνισης της κάθε κλάσης του UTCI για την υπό μελέτη περίοδο 2000-2019 στην Κύπρο για τις περιπτώσεις α) όλων των πλεγματικών σημείων μεσοποιημένα για όλη την Κύπρο, β) στο εσωτερικό, γ) στα ορεινά και δ) στα παράλια.

3.3.1 Σχέση ακραίων θερμοκρασιών και θερμικού στρες

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζονται τα ισχυρότερα επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών από άποψη μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, διάρκειας, κάλυψης του νησιού ως προς τον αριθμό των κόμβων που καλύπτουν καθώς και θερμικού στρες με βάση τιμή του UTCI. Από τον πίνακα παρατηρούνται περιπτώσεις επεισοδίων στα οποία το θερμικό στρες αντιστοιχούσε στην κατηγορία EHS (Extreme heat stress). Τα επεισόδια αυτά παρουσιάζονται απομονωμένα στον Πίνακα 5 με σκοπό να μελετηθούν χωρικά.

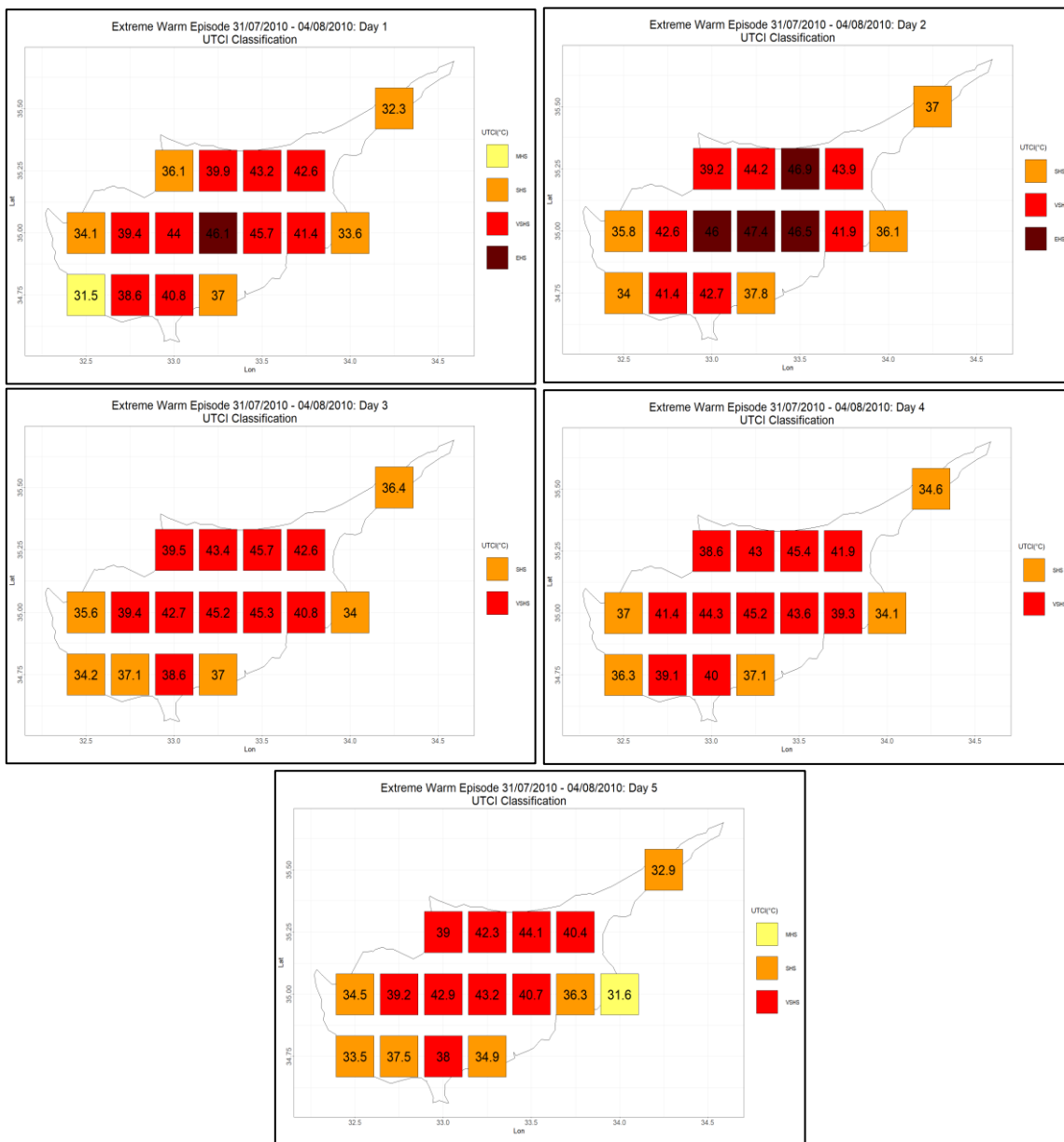
Πίνακας 4: Περιπτώσεις επεισοδίων ακραίων θερμοκρασιών για την περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο, μαζί με τη μέγιστη θερμοκρασία και το μέγιστο δείκτη UTCI. Με κόκκινο τονίζονται τα επεισόδια με τη μεγαλύτερη διάρκεια και κάλυψη του νησιού. Ο δείκτης UTCI χρωματίστηκε με βάση την κατηγοριοποίηση της τιμής του.

A/ A	Διάρκεια Ημερών	Ημερομηνία Έναρξης	Ημερομηνία Λήξης	Max Temp (°C)	Max UTCI (°C)
1	6	05/07/2000	10/07/2000	42.2	-
2	3	26/05/2001	28/05/2001	36.6	-
3	4	29/07/2002	01/08/2002	42.2	-
4	5	10/05/2003	14/05/2003	34.8	-
5	3	24/05/2006	26/05/2006	36.1	38.5
6	4	20/08/2006	23/08/2006	40.0	44.1
7	6	24/06/2007	29/06/2007	41.7	44.5
8	6	26/07/2007	31/07/2007	41.8	46.0
9	3	01/09/2007	04/09/2007	38.2	42.1
10	3	19/06/2008	21/06/2008	39.4	42.2
11	5	31/07/2010	04/08/2010	43.2	46.9
12	12	15/08/2010	26/08/2010	40.2	44.8
13	3	04/09/2010	06/09/2010	35.4	40.3
14	6	15/07/2012	20/07/2012	41.3	44.9
15	7	06/08/2012	12/08/2012	37.0	42.4
16	4	02/09/2012	05/09/2012	36.6	41.0
17	3	26/06/2014	28/06/2014	41.2	43.6
18	7	06/09/2015	12/09/2015	39.3	43.5
19	3	14/05/2016	16/05/2016	36.0	38.5
20	8	19/06/2016	26/06/2016	39.6	43.6
21	4	30/06/2017	03/07/2017	42.9	46.2
22	3	02/05/2018	04/05/2018	33.1	35.9
23	8	17/05/2018	24/05/2018	36.2	40.2
24	4	01/09/2018	04/09/2018	39.1	42.6
25	3	22/05/2019	24/05/2019	37.0	39.7
26	4	28/05/2019	31/05/2019	39.0	41.1

Πίνακας 5: Σημαντικότερα επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών για την περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο (όπως προκύπτουν από τον Πίνακα 4)

A/ A	Διάρκεια Ημερών	Ημερομηνία Έναρξης	Ημερομηνία Λήξης	Max Temp (°C)	Max UTCI (°C)
1	6	26/07/2007	31/07/2007	41.8	46.0
2	5	31/07/2010	04/08/2010	43.2	46.9
3	4	30/06/2017	03/07/2017	42.9	46.2

Τα τρία σημαντικότερα επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών και ακραίου θερμικού στρες στην Κύπρο που καταγράφονται στον Πίνακα 5, παρουσιάζονται χωρικά λαμβάνοντας υπόψιν μόνο το θερμικό στρες. Στο παρόν κείμενο παρουσιάζεται το επεισόδιο 31/07/2010 – 04/08/2010 στο οποίο καταγράφηκε τόσο η μέγιστη θερμοκρασία (43.2°C) όσο και ο μέγιστος δείκτης UTCI (46.9°C). Στο παράρτημα τοποθετούνται οι άλλες δύο εξίσου σημαντικές περιπτώσεις του Πίνακα 5.



Σχήμα 25: Χωρική προβολή των τιμών του δείκτη UTCI ημερησίως για το επεισόδιο ακραίων θερμοκρασιών στις 31/07/2010 – 04/08/2010.

Στις 26/07/2007 μέχρι 31/07/2007 η μέγιστη τιμή του θερμικού στρες έφτασε τους 46°C, ενώ στις 30/06/2017 μέχρι 03/07/2017 έφτασε τους 46.2°C. Τα μέγιστα σημειώθηκαν στον ίδιο κόμβο. Και στις τρεις περιπτώσεις προκύπτει ότι το εσωτερικό του νησιού και τα ορεινά χαρακτηρίζονται από Very Strong Heat Stress (VSHS) μέχρι και Extreme Heat Stress (EHS) του δείκτη UTCI. Οι κόμβοι του δείκτη UTCI στα εντονότερα επεισόδια ανήκουν κυρίως στις τρεις ανώτερες κατηγορίες SHS, VSHS και EHS. Το εντονότερο στρες γενικότερα εντοπίζεται στο εσωτερικό του νησιού το οποίο εκτείνεται μέχρι και το δυτικό μισό, δηλαδή καλύπτει τμήμα του κύριου ορεινού όγκου του νησιού. Άρα ο συνδυασμός ακραίων θερμοκρασιών με μεγάλη διάρκεια και θερμικού στρες που εκτιμάται από τον UTCI, καθιστούν δυνητικά τη συγκεκριμένη περιοχή ως ευάλωτη στις προαναφερθέντες περιόδους.

3.4 Συσχέτιση – GAMs

3.4.1 Συσχέτιση

Στη συνέχεια προκυμμένου να μελετηθεί η πιθανή σχέση μεταξύ των ακραίων θερμοκρασιών που οδηγούν σε θερμικό στρες με τη δημόσια υγεία, μελετήθηκε η συσχέτιση μεταξύ του μέγιστου ημερήσιου δείκτη UTCI για όλη την Κύπρο στις περιόδους που χαρακτηρίζονταν με ακραίες θερμοκρασίες και των δεδομένων υγείας, δηλαδή των συνολικών ημερήσιων θανάτων και εισαγωγών στα δημόσια νοσοκομεία της Κύπρου. Λαμβάνοντας υπόψιν τις περιόδους ακραίων θερμοκρασιών στην Κύπρο με βάση τον Πίνακα 4 και 5, επιλέχθηκαν συγκεκριμένα έτη και μήνες με τις πιο δυσμενείς συνθήκες από άποψη θερμικού στρες. Έπειτα κάθε μήνας χωρίστηκε σε τρεις υπό περιόδους διάρκειας δεκαημέρων με σκοπό να μειωθεί ο θόρυβος των αποτελεσμάτων. Στη συνέχεια υπολογίστηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson για κάθε δεκαήμερο μεταξύ του μέγιστου ημερήσιου δείκτη UTCI με τις συνολικές εισαγωγές και την θνησιμότητα της αντίστοιχης περιόδου. Τα αποτελέσματα παρουσιάστηκαν στον Πίνακα 6, από τον οποίο φαίνεται ότι υπάρχει μερική θετική συσχέτιση μεταξύ των υπό μελέτη μεταβλητών για κάποιες περιπτώσεις. Παρ' όλα αυτά οι συντελεστές συσχέτισης μόνο

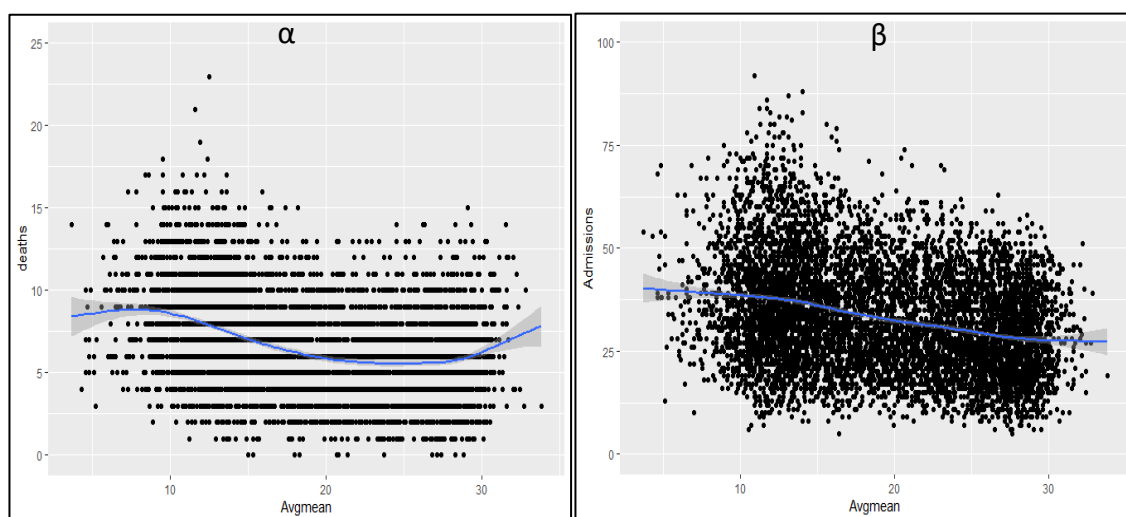
σε δύο περιπτώσεις χαρακτηρίζονται στατιστικά σημαντικοί κάτι που αποδεικνύει ότι δεν υπάρχει ισχυρή στατιστικά σημαντική συσχέτιση. Συγκεκριμένα, παρόλο που ο Αύγουστος του 2010, όπως αποδείχτηκε από τα προηγούμενα αποτελέσματα, ήταν ο πιο δυσμενής μήνας από άποψη ακραίων θερμοκρασιών και θερμικού στρες, δεν διαφαίνεται να εμφανίζει κάποια ισχυρή θετική συσχέτιση με την θνησιμότητα και τις εισαγωγές. Παράλληλα αρκετές περιπτώσεις παρουσιάζουν αρνητικό συντελεστή συσχέτισης υποδηλώνοντας μείωση της θνησιμότητας και των εισαγωγών στα νοσοκομεία σε συνθήκες αυξημένου θερμικού στρες.

Πίνακας 6: Συντελεστής συσχέτιση του μέγιστου ημερήσιου δείκτη $UTCI$ με θνησιμότητα και εισαγωγές για τους θερμότερους και πιο στρεσογόνους μήνες στην Κύπρο. Οι τιμές με κόκκινη σκιαγράφηση αντιστοιχούν στις στατιστικά σημαντικές τιμές.

Year	Month	Period (10 days)	Correlation	
			Mortality — $UTCI_{max}$	Admissions — $UTCI_{max}$
2007	June	1st	-0.02	0.32
		2nd	-0.12	-0.31
		3rd	0.54	0.48
2007	July	1st	-0.14	0.03
		2nd	0.36	0.28
		3rd	0.37	0.01
2010	July	1st	0.54	-0.22
		2nd	-0.17	0.54
		3rd	-0.14	0.02
2010	August	1st	0.15	0.10
		2nd	0.21	-0.13
		3rd	0.22	-0.40
2017	June	1st	-0.22	0.30
		2nd	0.16	-0.53
		3rd	0.71	-0.03
2017	July	1st	0.27	0.14
		2nd	0.64	-0.60
		3rd	-0.37	0.62

Ο λόγος που πιθανόν εξηγεί την μη ξεκάθαρη, στατιστικά σημαντική και ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ του δείκτη UTCI και των θερμοκρασιών γενικότερα με την θνησιμότητα και τις εισαγωγές, είναι το γεγονός ότι ο συντελεστής συσχέτισης Pearson ανιχνεύει μόνο γραμμικές σχέσεις, ενώ δεν είναι ικανός να εξηγήσει πλήρως την πολυπλοκότητα των μη γραμμικών σχέσεων.

Προκυμμένον λοιπόν να ελεγχθεί η φύση της σχέσης μεταξύ των θερμοκρασιών με την θνησιμότητα και τις εισαγωγές κατασκευάστηκαν διαγράμματα διασποράς (scatter plots) μεταξύ των παραπάνω μεταβλητών. Λόγω της μη γραμμικότητας τους εφαρμόστηκαν σε αυτά συναρτήσεις «smooth functions». Στο Σχήμα 26 παρουσιάζεται η μη γραμμική σχέση που περιγράφει τις μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες με την θνησιμότητα και τις εισαγωγές.



Σχήμα 26: Διαγράμματα διασποράς μεταξύ α) θνησιμότητας (αριθμού θανάτων) και β) εισαγωγών με την μέση θερμοκρασία στην Κύπρο για την περίοδο 2004 – 2019. Η μπλε καμπύλη υποδηλώνει την σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών και το σκιασμένο μέρος γύρω από αυτήν το εύρος αβεβαιότητας.

3.4.2 GAMs

Από το Σχήμα 26 προέκυψε ότι η σχέση που περιγράφει την συμπεριφορά της θερμοκρασίας με την θνησιμότητα και τις εισαγωγές χαρακτηρίζεται ως μη γραμμική και προκύπτει χρησιμοποιώντας smooth functions. Παρ' όλα αυτά υπάρχει αρκετός θόρυβος

οπότε απαιτείται να χρησιμοποιηθεί ένα νέο μοντέλο το οποίο να μπορεί να εντοπίσει τον θόρυβο όσο το δυνατόν περισσότερο, ούτως ώστε να αποσαφηνιστεί οποιαδήποτε σχέση γίνεται καλύτερα. Για τον λόγο αυτό γίνεται η χρήση των στατιστικών μοντέλων GAMs – Generalized Additive Models. Παρακάτω μελετήθηκε η επίδραση των μέγιστων, ελαχίστων θερμοκρασιών καθώς και του βιοκλιματικού δείκτη UTCI στην θνησιμότητα και νοσηρότητα των ανθρώπων στην Κύπρο. Χρησιμοποιήθηκε μοντέλο GAM, με ενσωματωμένο DLNM, με την οικογένεια αρνητικής διωνυμικής κατανομής (Negative Binomial Distribution). Το αποτέλεσμα του μοντέλου ήταν το σχετικό ρίσκο ή κίνδυνος RR (Relative Risk) που εκφράζει τον λόγο της πιθανότητας να συμβεί κάποια υπέρβαση προς την θνησιμότητα και τις εισαγωγές σε πλήθος ομάδας που βρίσκεται εκτεθειμένο σε ακραίες θερμοκρασίες ως προς την πιθανότητα να συμβεί η υπέρβαση σε μια ομάδα που δεν είναι σοβαρά εκτεθειμένη.

3.4.3 GAMs – Θνησιμότητα

Χρησιμοποιήθηκαν τρισδιάστατα διαγράμματα που παρουσιάζουν το βαθμό του ρίσκου που προκύπτει από το συνδυασμό της έκθεσης σε διάφορες εξωτερικές κλιματικές συνθήκες καθώς επίσης και από τη χρονική διάρκεια αυτών (exposure – lag – response relationship). Η διάρκεια επίδρασης που μελετάται είναι 20 ημέρες. Τα αρχικά αποτελέσματα της επίδρασης της μέγιστης θερμοκρασίας στη θνησιμότητα αποτυπώνονται στο Σχήμα 27. Η δυσδιάστατη μορφή του διαγράμματος 27(α), παρουσιάζεται με την επιπρόσθετη πληροφορία της στατιστικής σημαντικότητας και παρουσιάζεται στο Σχήμα 27(β).

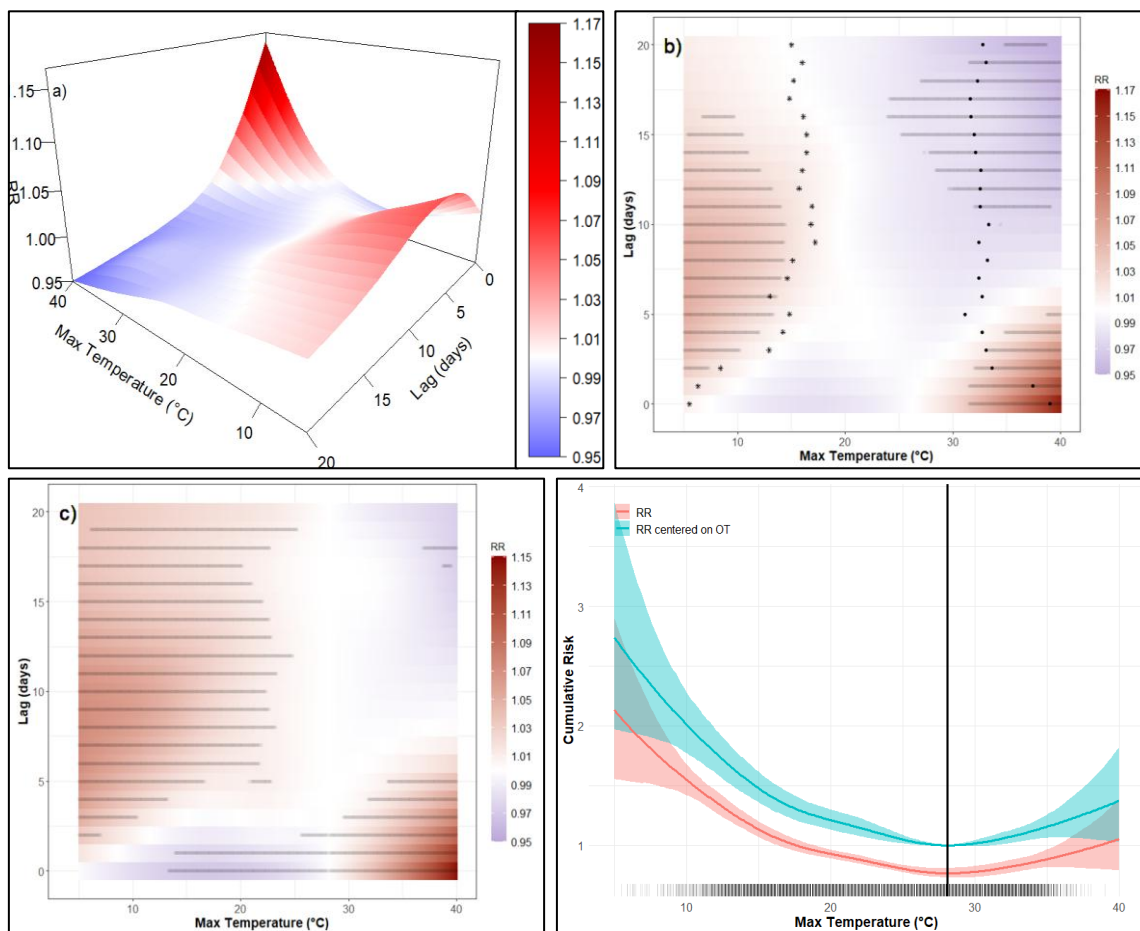
Στο Σχήμα 27(α) φαίνεται η μη γραμμική σχέση ανάμεσα στη θνησιμότητα και τη θερμοκρασία. Ταυτόχρονα παρουσιάζεται το ρίσκο θνησιμότητας, το οποίο προκύπτει από τη σύγκριση με τη μέση κατάσταση θνησιμότητας. Σύμφωνα με το διάγραμμα η τιμή του μέγιστου ρίσκου αγγίζει το 17% πάνω από την μέση κατάσταση, στην θερμοκρασία των 40°C, όταν αυτή παρατηρείται την ίδια ημέρα (lag 0). Το ρίσκο παραμένει υψηλό μέχρι και έξι μέρες μετά το lag 0 ενώ αντίθετα για lags 7 – 20 ημερών παρατηρείται

αντίθετη συμπεριφορά, δηλαδή μείωση του ρίσκου, της τάξεως του 5%. Η μείωση του ρίσκου αποδίδεται στο «Harvesting Effect» με βάση του οποίου ο ευάλωτος πληθυσμός στις πρώτες μέρες εμφάνισης υψηλών θερμοκρασιών «υπέκυψε», επομένως έχει απομείνει ο πληθυσμός που είναι πιο «ανθεκτικός» σε αυτές τις συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών. Αυξημένο ρίσκο 5-10% υπάρχει επίσης όταν οι μέγιστες θερμοκρασίες είναι χαμηλές και δεν ξεπερνάνε τους 5 - 15°C για lags 5 – 15 ημερών περίπου, ενώ φαίνεται ότι στις χαμηλές θερμοκρασίες δεν εμφανίζεται το «Harvesting Effect». Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι είναι «παράδοξο» να θεωρούμε ότι μπορεί να έχουμε την ίδια θερμοκρασία για 20 συνεχόμενες ημέρες κυρίως για τις ακραίες τιμές, δηλαδή δεν είναι βέλτιστο να μελετάμε τον σχετικό κίνδυνο παίρνοντας μια «κάθετη τομή» από το διάγραμμα. Για το λόγο αυτό τοποθετούνται οι τροχιές των θερμοκρασιών της πιο ψυχρής (09/01/2015) / (13/12/2013) και της πιο θερμής ημέρας (01/08/2010) για την υπό μελέτη περίοδο.

Μέχρι τώρα, το ρίσκο και ο κίνδυνος μελετώνται σχετικά με τη μέση θνησιμότητα. Στο Σχήμα 27(γ) υπολογίζεται η θερμοκρασία στην οποία αθροιστικά αντιστοιχεί το μικρότερο ρίσκο και υιοθετείται ο όρος «βέλτιστης θερμοκρασίας» (optimum temperature – OT). Παρουσιάζονται ξανά τα αποτελέσματα του σχετικού ρίσκου σύμφωνα με την θνησιμότητα σε αυτή την θερμοκρασία τα οποία δεν διαφέρουν κατά πολύ συγκριτικά με το 27(β). Παρατηρείται παρ' όλα αυτά το στατιστικά σημαντικό μειωμένο ρίσκο για θερμοκρασίες μικρότερες της βέλτιστης θερμοκρασίας. Παράλληλα αυξάνεται η στατιστική σημαντικότητα του ρίσκου για μικρές θερμοκρασίες ενώ εξαφανίζεται η περιοχή που αποδόθηκε στο «Harvesting Effect».

Από το Σχήμα 27(δ) βλέπουμε το αθροιστικό σχετικό ρίσκο (CR) με βάση την μέση θνησιμότητα (RR) και με βάση την βέλτιστη θερμοκρασία (RR_OT). Το σχήμα αυτό ερμηνεύεται με βάση την στάθμη που αντιστοιχεί το αθροιστικό ρίσκο (CR=1), δηλαδή το ρίσκο αυξάνεται για $CR > 1$ και αντίθετα μειώνεται για $CR < 1$. Το σχετικό ρίσκο RR (κόκκινο) αυξάνεται όταν η μέγιστη θερμοκρασία είναι μικρότερη των 18°C και όταν είναι μεγαλύτερη από 38°C. Λαμβάνοντας υπόψιν το ρίσκο στην βέλτιστη θερμοκρασία RR_OT

(γαλάζιο), το μικρότερο ρίσκο αντιστοιχεί στην βέλτιστη θερμοκρασία ενώ πάνω και κάτω από αυτή την θερμοκρασία το ρίσκο αυξάνεται. Παρ' όλα αυτά το ρίσκο και στις δύο περιπτώσεις είναι πολύ μεγαλύτερο για χαμηλές θερμοκρασίες σε αντίθεση με υψηλές θερμοκρασίες. Ταυτόχρονα όμως υπάρχει μεγάλη αβεβαιότητα για τις θερμοκρασίες μικρότερες των 10°C και μεγαλύτερες των 35°C.

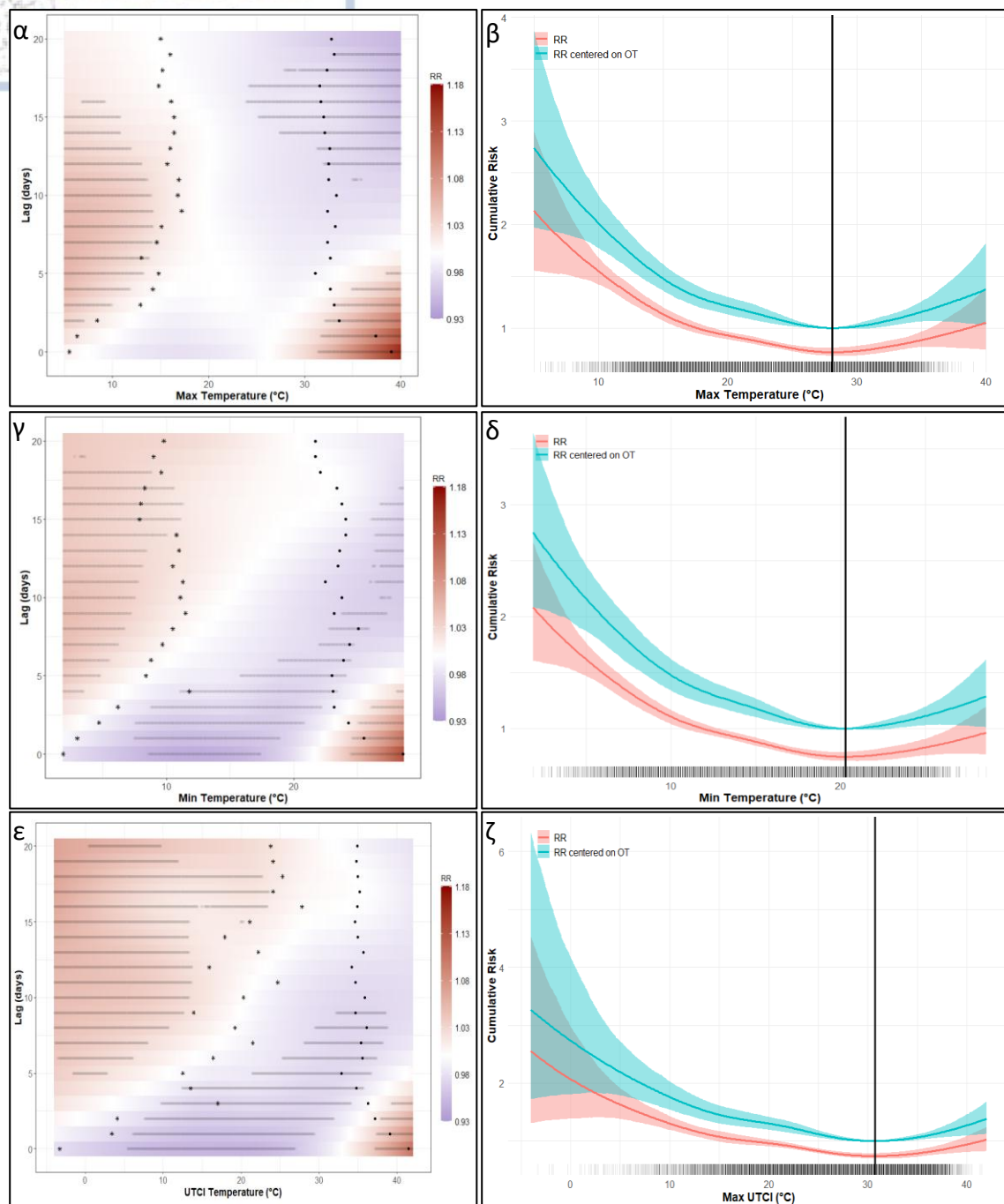


Σχήμα 27: Σχετικός κίνδυνος θνησιμότητας στην Κύπρο με βάση την μέγιστη θερμοκρασία. α) Τρισδιάστατη αναπαράσταση έκθεσης στη μέγιστη θερμοκρασία – χρόνου υστέρησης - σχετικού κινδύνου. β) Σχετικός κίνδυνος και στατιστικά σημαντικές περιοχές με γκρι σκίαση. Τα σημεία πάνω στο διάγραμμα αναπαριστούν τις «τροχιές» θερμοκρασιών μιας πολύ θερμής (01/08/2010) και μιας πολύ κρύας ημέρας (09/01/2015). γ) Σχετικός κίνδυνος σε σχέση με την «βέλτιστη θερμοκρασία» - OT=28.2°C δ) Αθροιστικός σχετικός κίνδυνος σε σχέση με την μέση κατάσταση θνησιμότητας (RR) και σε σχέση με την «βέλτιστη θερμοκρασία» που φαίνεται με την κατακόρυφη μαύρη γραμμή (RR_OT).

Η ανάλυση που προηγήθηκε αφορούσε την επίδραση της μέγιστης θερμοκρασίας στη θνησιμότητα. Με τον ίδιο τρόπο προκύπτουν τα αποτελέσματα για την επίδραση της ελάχιστης θερμοκρασίας καθώς και του βιοκλιματικού δείκτη UTCI στην θνησιμότητα, όμως αυτή τη φορά επιλέγονται να παρουσιαστούν τα αντίστοιχα διαγράμματα β και δ του Σχήματος 27, εφόσον περιέχουν όλη την απαραίτητη πληροφορία για ερμηνεία. Για λόγους σύγκρισης στο Σχήμα 28 παρουσιάζονται ξανά τα αποτελέσματα για την μέγιστη θερμοκρασία, μαζί με τα αποτελέσματα της ελάχιστης θερμοκρασίας και του UTCI.

Από το Σχήμα 28, παρατηρείται ότι το ρίσκο που προκύπτει από την ελάχιστη θερμοκρασία και τον δείκτη UTCI έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με το ρίσκο που προκύπτει από τη μέγιστη θερμοκρασία. Οι μικρές διαφορές εντοπίζονται στις χαμηλές θερμοκρασίες της ελάχιστης θερμοκρασίας και του δείκτη UTCI όπου το ρίσκο είναι αυξημένο για lags 5 – 20 ημερών (στατιστικά σημαντικό). Για τις υψηλότερες θερμοκρασίες το ρίσκο είναι μεγαλύτερο στο διάγραμμα της μέγιστης θερμοκρασίας συγκριτικά με το διάγραμμα της ελάχιστης (13%), Σχήμα 28 (γ) και του UTCI (10%), Σχήμα 28 (ε) παρόλο που το μέγιστο και γενικότερα οι περιοχές με αυξημένο ρίσκο εντοπίζονται τις ίδιες ημέρες και για παρόμοια lags. Επίσης, στην ελάχιστη θερμοκρασία και στον δείκτη UTCI για lag 0 – 3 ημερών και θερμοκρασίες μικρότερες των 20°C και 30°C αντίστοιχα, το ρίσκο είναι μειωμένο κατά 5-6% (στατιστικά σημαντικό).

Ειδικότερα, παρατηρώντας τα Σχήματα 28 (β,δ και ζ) οι βέλτιστες θερμοκρασίες στις οποίες υπάρχει το μικρότερο αθροιστικό ρίσκο θνησιμότητας είναι 28,2°C για τις μέγιστες θερμοκρασίες, 20,2°C για τις ελάχιστες και 31,4°C για τον δείκτη UTCI. Για τις περιπτώσεις ελαχίστων θερμοκρασιών και UTCI το ρίσκο θνησιμότητας είναι επίσης φανερά μεγαλύτερο για χαμηλότερες θερμοκρασίες, ενώ το ρίσκο αυξάνεται κατά πολύ στην περίπτωση του UTCI, παρά την μεγάλη αβεβαιότητα που το περικλείει.

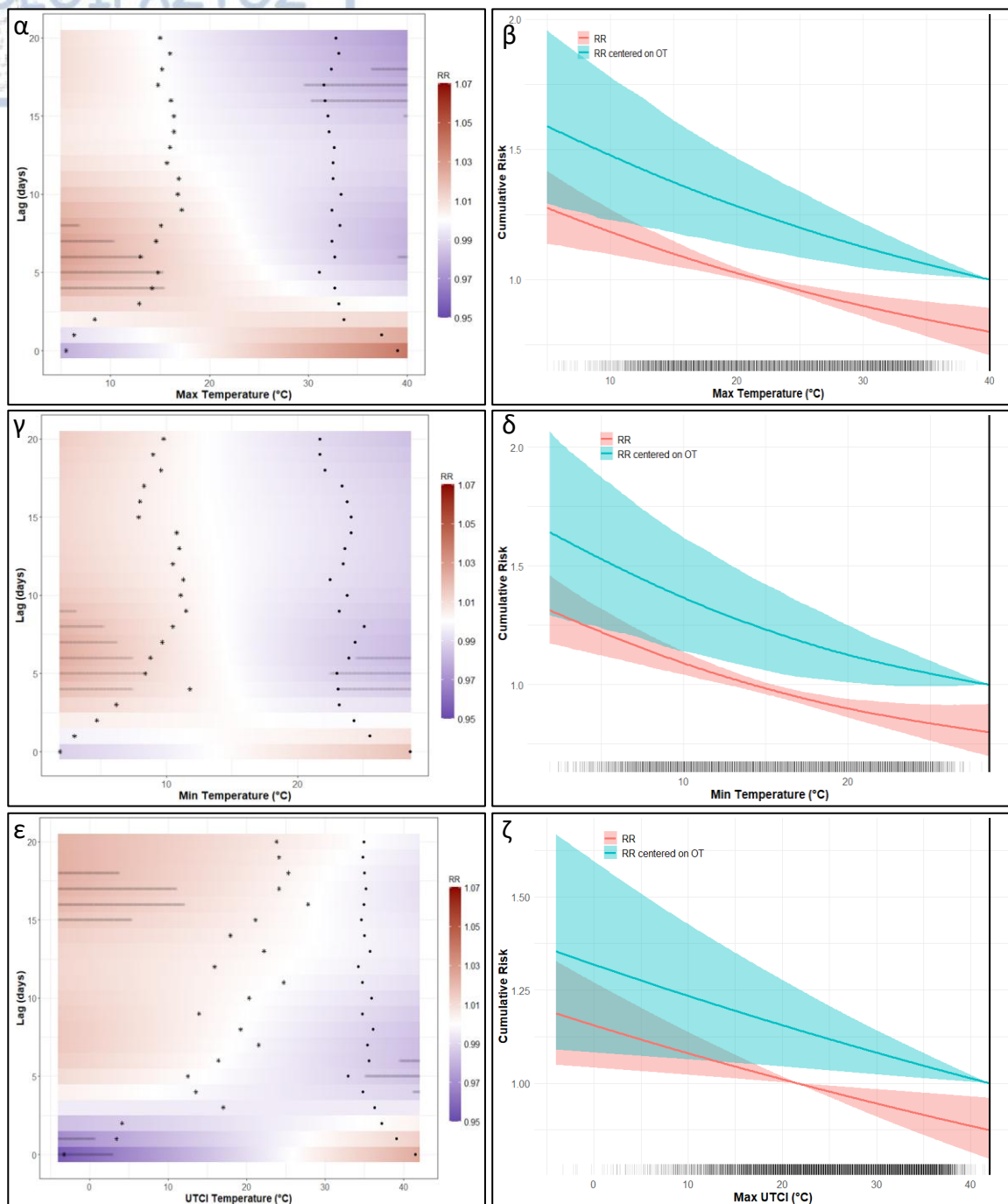


Σχήμα 28: Σχετικός κίνδυνος θνησιμότητας στην Κύπρο με βάση την α) μέγιστη γ) ελάχιστη θερμοκρασία και ε) UTCI. Τα σημεία πάνω στα διαγράμματα αναπαριστούν τις «τροχιές» θερμοκρασιών μιας πολύ θερμής και μιας πολύ κρύας ημέρας. Οι γκρι σκιασμένες περιοχές χαρακτηρίζονται από στατιστική σημαντικότητα β) Αθροιστικός σχετικός κίνδυνος σε σχέση με την μέση κατάσταση θνησιμότητας RR και σε σχέση με την «βέλτιστη θερμοκρασία» RR_OT που σημειώνεται με την κάθετη μαύρη γραμμή για τις β) μέγιστες, δ) ελάχιστες θερμοκρασίες και ζ) UTCI.

Η ίδια ανάλυση που πραγματοποιήθηκε για το ρίσκο της θνησιμότητας και πως αυτό προκύπτει από την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία καθώς και του δείκτη UTCI, έγινε και για την νοσηρότητα. Δηλαδή υπολογίστηκε το πως επηρεάζουν οι παράγοντες της θερμοκρασίας και του δείκτη UTCI το σχετικό ρίσκο ενός ανθρώπου να νοσηλευτεί με καρδιακά – αναπνευστικά νοσήματα που συνδέονται με την εμφάνιση καύσωνα.

Σύμφωνα λοιπόν με το Σχήμα 19 (α, γ, ε) παρατηρείται ότι το ρίσκο νοσηρότητας διαφέρει από αυτό της θνησιμότητας, τόσο ως προς την τιμή του ρίσκου που είναι φανερά μειωμένη (4% για μέγιστες θερμοκρασίες, 2% για ελάχιστες θερμοκρασίες και UTCI) όσο και ως προς την στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων. Αρχικά παρατηρείται ότι ως προς τις μέγιστες (Σχήμα 19α) και ελάχιστες θερμοκρασίες (Σχήμα 19γ) η κατανομή του ρίσκου νοσηρότητας είναι όμοια. Δηλαδή αυξημένο ρίσκο εμφανίζεται στις υψηλότερες θερμοκρασίες για lag 0 έως 2 και στις χαμηλές θερμοκρασίες, στις οποίες είναι μεγαλύτερο και στατιστικά σημαντικό για lag 5 ημερών. Αντίθετα μειωμένο ρίσκο για lag 4 – 20 ημερών εμφανίζεται στις υψηλότερες θερμοκρασίες για τις μέγιστες και για τις ελάχιστες θερμοκρασίες. Όσον αφορά τον δείκτη UTCI, παρατηρείται ότι όταν αυτός καταγράψει χαμηλές θερμοκρασίες, το ρίσκο νοσηλείας μειώνεται την ίδια ημέρα (lag0).

Όσον αφορά τα διαγράμματα του αθροιστικού σχετικού ρίσκου νοσηρότητας του Σχήματος 19 (β, δ και ζ) παρατηρείται ότι εμφανίζουν την ίδια συμπεριφορά. Η βέλτιστη θερμοκρασία στην οποία καταγράφεται το μικρότερο ρίσκο για νοσηλεία αντιστοιχεί στην υψηλότερη θερμοκρασία της β) μέγιστης (OT=39°C) δ) ελάχιστης (OT=28,6°C) και ζ) UTCI (OT=41.5°C). Το αποτέλεσμα αυτό θέτει ερωτήματα, παρ' όλα αυτά αυτό που προκύπτει ως συμπέρασμα είναι ότι όπως και στο ρίσκο θνησιμότητας, όσο και στο ρίσκο νοσηρότητας, αυτό αυξάνεται στις χαμηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τις υψηλότερες θερμοκρασίες παρόλη την μεγάλη αβεβαιότητα.



Σχήμα 29: Σχετικό ρίσκο νοσηρότητας στην Κύπρο με βάση την α) μέγιστη γ) ελάχιστη θερμοκρασία και ε) UTCI. Τα σημεία πάνω στα διαγράμματα αναπαριστούν τις «τροχιές» θερμοκρασιών μιας πολύ θερμής και μιας πολύ κρύας ημέρας. Οι γκρι σκιασμένες περιοχές χαρακτηρίζονται από στατιστική σημαντικότητα β) Αθροιστικός σχετικός κίνδυνος σε σχέση με την μέση κατάσταση θνησιμότητας RR και σε σχέση με την «βέλτιστη θερμοκρασία» RR_OT που σημειώνεται με την κάθετη μαύρη γραμμή για τις β) μέγιστες, δ) ελάχιστες θερμοκρασίες και ζ) UTCI.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η ανθρωπογενής κλιματική αλλαγή είναι μια από τις μεγαλύτερες απειλές της σύγχρονης κοινωνίας και με βάση το γεγονός ότι η Μεσόγειος χαρακτηρίζεται ως «hot spot» των επερχόμενων αλλαγών στο κλίμα, η παρούσα εργασία είχε ως κύριο σκοπό την μελέτη των καυσώνων σε ένα νησί που εντοπίζεται στην ανατολική Μεσόγειο, την Κύπρο. Στόχος ήταν η μελέτη των κλιματολογικών τάσεων της θερμοκρασίας στην 40ετία 1979 – 2019 καθώς και ο ορισμός και η ανάλυση των επεισοδίων καύσωνα ή ακραίων θερμοκρασιών στην Κύπρο για την περίοδο 2000 – 2019 όπως προκύπτουν από τα δεδομένα reanalysis του ERA5 - Land. Παράλληλα απαραίτητη κρίθηκε και η μελέτη του θερμικού στρες για τις περιόδους ακραίων θερμοκρασιών, χρησιμοποιώντας ένα από τους πιο ολοκληρωμένους βιοκλιματικούς δείκτες, τον UTCI. Επίσης μελετήθηκε η συσχέτιση του θερμικού στρες με την δημόσια υγεία χρησιμοποιώντας δεδομένα θνησιμότητας και νοσηρότητας. Τέλος, μελετήθηκε στο σχετικό ρίσκο θνησιμότητας και νοσηλείας με βάση τη θερμοκρασία και το θερμικό στρες για διαφορετικές ημέρες υστέρησης χρησιμοποιώντας την στατιστική μέθοδο των GAMS.

Αρχικά, μελετώντας την κλιματολογία για την 40ετία 1979 – 2019, παρατηρήθηκε ότι στην Κύπρο παρουσιάστηκε στατιστικά σημαντική τάση αύξησης τόσο στις μέσες όσο και στις απόλυτες τιμές της μέγιστης, ελάχιστης και μέσης θερμοκρασίας. Η μεγαλύτερη τάση αύξησης σημειώθηκε από τις ετήσιες και απόλυτες μέγιστες θερμοκρασίες με ρυθμό 0,38 °C και 0,41 °C ανά 10ετία αντίστοιχα. Αντίστοιχα αποτελέσματα προέκυψαν από την μελέτη των (Shen et al. 2022) για τις χώρες της Ευρώπης. Οι (Price et al. 1999) μελετώντας τις αλλαγές στο εύρος της ημερήσιας θερμοκρασίας στην Κύπρο, έδειξαν ότι για τον σταθμό στη Λευκωσία παρατηρήθηκε μείωση του ημερήσιου θερμοκρασιακού εύρους από το 1900 – 1999 λόγω της αύξησης της ελάχιστης θερμοκρασίας, το οποίο βρίσκεται σε συμφωνία με τα αποτελέσματα της μηνιαίας ανάλυσης στην Κύπρο, ενώ φαίνεται ότι η μείωση αυτή συνεχίζεται μέχρι το 2019.

Στη συνέχεια, μελετήθηκαν οι ακραία θερμές ημέρες στην Κύπρο, δηλαδή ημέρες που η μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία ξεπερνούσαν το όριο του 95^{ου} ποσοστημορίου για την περίοδο 2000 – 2019. Η ίδια προσέγγιση υιοθετήθηκε από τους (Z. Yang and Zhang 2020) για τις περιοχές της Ασίας, Ευρώπης και Βόρειας Αφρικής, καθώς και από τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος που εκτιμούν τις αλλαγές στις ημέρες καύσωνα στις Ευρωπαϊκές πόλεις με βάση το ίδιο κριτήριο (European Environment Agency, 2023). Στη Κύπρο προέκυψε το συμπέρασμα ότι οι περισσότερες ημέρες που εκπληρώνουν τα κριτήρια για τον ορισμό των ημερών με ακραίες θερμοκρασίες σημειώθηκαν τους μήνες Μάιο και Ιούνιο στο κεντροδυτικό μισό του νησιού, δηλαδή πάνω από τον κύριο ορεινό όγκο της Κύπρου, το Τρόοδος. Το παραπάνω συμπέρασμα αποδίδεται στο γεγονός του ότι το εύρος των ορίων (μέγιστης – ελάχιστης) θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερα στο εσωτερικό του νησιού και πληρούν τα κριτήρια καύσωνα δυσκολότερα σε σχέση με τα δυτικά και νοτιοανατολικά παράλια. Από την ετήσια ανάλυση ανά μήνα των ημερών με ακραίες θερμοκρασίες, προκύπτει ότι ο Ιούλιος είναι ο μήνας ο οποίος καταγράφεται συχνότερα μεγάλος αριθμός ημερών ακραίων θερμοκρασιών. Μελετώντας τα επεισόδια συνεχόμενων ημερών, δεν προκύπτει κάποιο ιδιαίτερο μοτίβο αναφορικά με την χωρική κατανομή των περισσότερων επεισοδίων. Οι μήνες που σημειώθηκαν τα μεγαλύτερης διάρκειας επεισόδια συνεχόμενων ημερών ανά κόμβο, ήταν ο Ιούνιος και ο Σεπτέμβριος, ενώ μικρότερης διάρκειας ο Μάιος. Παράλληλα το 2010 , 2007, 2015 και 2016 ήταν τα έτη με τα περισσότερα επεισόδια συνεχόμενων ημερών με ακραίες θερμοκρασίες.

Ακολούθως μελετήθηκε η κλιματολογία του UTCI με βάση διαφορετικές περιοχές της Κύπρου (παράλια, ορεινά και εσωτερικό), σύμφωνα με τα οποία προκύπτει το συμπέρασμα ότι για την περίοδο 2004 – 2019 το μεγαλύτερο θερμικό στρες σημειώνεται στο εσωτερικό του νησιού κατά τους μήνες Αύγουστο και Ιούλιο, στους οποίους πάνω από το 75% των ημερών αυτών των μηνών, το θερμικό στρες αντιστοιχεί στην κατηγορία Very Strong Heat Stress (VSHS). Σε γενικότερο πλαίσιο στη Κύπρο ο πληθυσμός αισθάνεται θερμικό στρες για περίπου το 50% των ημερών κάθε χρόνο, ακόμα και αν το θερμικό στρες αντιστοιχεί στην κατηγορία του Moderate Heat Stress (MHS).

Τα σημαντικότερα επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών και ακραίου θερμικού στρες στην Κύπρο σημειώθηκαν το 2007, 2010 και 2017. Το ισχυρότερο επεισόδιο σημειώθηκε στις 31/07/2010 – 04/08/2010 στο οποίο καταγράφηκε τόσο η μέγιστη θερμοκρασία (43.2°C) όσο και ο μέγιστος δείκτης UTCI (46.9°C) για την υπό μελέτη περίοδο, πάνω από το εσωτερικό μέχρι το δυτικό μισό του νησιού. Ταυτόχρονα για την ίδια περίοδο σημειώνονταν πολύ υψηλές ελάχιστες θερμοκρασίες (30.3°C). Σύμφωνα με τους (Retalis et al. 2013) η κορύφωση του επεισοδίου σημειώθηκε την 01/08/2010 στην οποία από το σύνολο των 63 μετεωρολογικών σταθμών οι 14 κατέγραψαν ρεκόρ θερμοκρασιών με τη μέγιστη θερμοκρασία να φτάνει τους $45,6^{\circ}\text{C}$ (Μετεωρολογικός σταθμός Αθαλάσσας, Λευκωσία) ενώ για την ίδια περίοδο και ολόκληρο τον μήνα το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας ήταν πολύ έντονο κυρίως στη Λευκωσία και στη Λάρνακα. Επομένως ο συνδυασμός ακραίων θερμοκρασιών με μεγάλη διάρκεια και θερμικού στρες που εκτιμάται από τον UTCI, καθιστούν τη περιοχή του εσωτερικού ως δυνητικά ευάλωτη.

Από τη μελέτη του συντελεστή συσχέτισης του δείκτη UTCI με την θνησιμότητα και τη νοσηρότητα φάνηκε ότι δεν υπήρχε ισχυρή σύνδεση για όλες τις περιπτώσεις ημερών με ακραίες θερμοκρασίες. Ταυτόχρονα η σχέση που περιγράφει την συμπεριφορά της θερμοκρασίας με την θνησιμότητα και τις εισαγωγές παρουσιάστηκε ως μη γραμμική, επομένως γίνεται η χρήση των στατιστικών μοντέλων GAMs για εκτίμηση του σχετικού ρίσκου ή κινδύνου RR (Relative Risk) για θνησιμότητα και νοσηλεία σε νοσοκομείο της Κύπρου με βάση τις μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες και τον UTCI.

Όταν η μέγιστη και η ελάχιστη θερμοκρασία καθώς και ο UTCI παίρνουν την μέγιστη τους τιμή τότε το ρίσκο θνησιμότητας φτάνει το 16%, 13% και 10% αντίστοιχα, την ίδια ημέρα (lag 0) ενώ παραμένει υψηλό μέχρι και πέντε με έξι μέρες πριν το lag0. Ανάλογα υψηλό ρίσκο υπάρχει στις χαμηλές θερμοκρασίες για lag 10 ημερών περίπου (χαμηλές μέγιστες θερμοκρασίες). Η παρατήρηση αυτή βρίσκεται σε απόλυτη συμφωνία με μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στην Κίνα (J. Yang et al. 2012) καθώς και στην Κύπρο για ασθένειες του κυκλοφοριακού συστήματος (Lubczyńska et al. 2015) με την διαφορά ότι το ρίσκο παραμένει υψηλό μόνο για μία ημέρα. Οι Pyrgou και Santamouris 2020

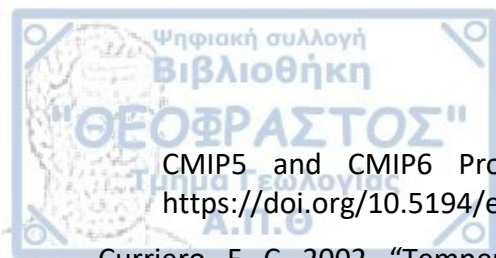
μελέτησαν την επίδραση της θερμοκρασίας σε θανάτους που σχετίζονται με κυκλοφοριακό και αναπνευστικό σύστημα υπολογίζοντας το σχετικό ρίσκο με μεθόδους περιγραφικής στατιστικής. Θεώρησαν διαφορετικό ορισμό καύσωνα (τρεις ημέρες με μέση θερμοκρασία $> 90^{\circ}\text{U}$ ποσοστημορίου) ενώ φάνηκε ότι οι γυναίκες είναι πιο εκτεθειμένες από τους άντρες. Μελετώντας το αθροιστικό ρίσκο στη Κύπρο, προέκυψε το συμπέρασμα ότι το ρίσκο θνησιμότητας στις χαμηλές θερμοκρασίες είναι μεγαλύτερο σε σχέση με τις υψηλές θερμοκρασίες ιδίως όταν λαμβάνεται υπόψιν ο δείκτης UTCI. Ανάλογα αποτελέσματα προέκυψαν για την πόλη της Θεσσαλονίκης σύμφωνα με τους Psistaki et al. 2023. Οι Pyrgou and Santamouris 2020 και Curriero 2002 συμφωνούν στο ότι ο πληθυσμός που είναι πιο εγκλιματισμένος στις υψηλές θερμοκρασίες, όπως ο πληθυσμός της Κύπρου, είναι πιο πιθανόν να βρίσκεται σε κίνδυνο θανάτου σε χαμηλές θερμοκρασίες συγκριτικά περιοχές μεγαλύτερων γεωγραφικών πλατών που είναι εγκλιματισμένοι στις χαμηλές θερμοκρασίες, οπότε βρίσκονται σε κίνδυνο στις υψηλές θερμοκρασίες. Οι βέλτιστες θερμοκρασίες στις οποίες υπάρχει το μικρότερο αθροιστικό ρίσκο θνησιμότητας είναι $28,2^{\circ}\text{C}$ για τις μέγιστες θερμοκρασίες, $20,2^{\circ}\text{C}$ για τις ελάχιστες και $31,4^{\circ}\text{C}$ για τον δείκτη UTCI.

Τέλος η ίδια ανάλυση έγινε και για την νοσηρότητα σύμφωνα με την οποία, το ρίσκο διαφέρει από αυτό της θνησιμότητας, τόσο ως προς την τιμή του ρίσκου όσο και ως προς την στατιστική σημαντικότητα των αποτελεσμάτων τα οποία είναι γενικά μικρότερα σε σχέση με τη θνησιμότητα. Ανάλογο συμπέρασμα προέκυψε σε μελέτη που έγινε στη Μαδρίτη (C. Linares and Diaz 2008). Αυξημένο ρίσκο εμφανίζεται στις υψηλότερες θερμοκρασίες για lag 0-2 όπως συμπεραίνουν και οι Pantanou et al. 2021a για την Κύπρο. Παρ' όλ' αυτά, το ρίσκο νοσηλείας στις χαμηλές θερμοκρασίες, είναι μεγαλύτερο και στατιστικά σημαντικότερο για lag 5 ημερών σε σχέση με τη μέγιστη θερμοκρασία, ιδίως όταν μελετάται το αθροιστικό ρίσκο. Η βέλτιστη θερμοκρασία στην οποία καταγράφεται το μικρότερο ρίσκο για νοσηλεία αντιστοιχεί στην υψηλότερη θερμοκρασία της μέγιστης ($\text{OT}=39^{\circ}\text{C}$), ελάχιστης ($\text{OT}=28,6^{\circ}\text{C}$) και UTCI ($\text{OT}=41.5^{\circ}\text{C}$). Το αποτέλεσμα αυτό θέτει ερωτήματα μιας και συμπεραίνεται ότι σε ακραία υψηλές θερμοκρασίες το αθροιστικό

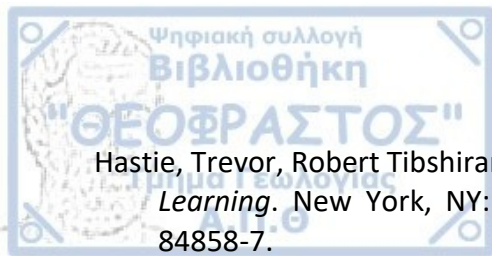


ρίσκο για νοσηλεία είναι το ελάχιστο. Πιθανή εξήγηση σε αυτό προκύπτει από τους C. Linares and Diaz 2008, οι οποίοι συμπεραίνουν ότι για τις διαγνώσεις παθήσεων που χρησιμοποιήθηκαν (κυκλοφοριακού και αναπνευστικού συστήματος) οι υψηλές θερμοκρασίες προκαλούν άμεση θνησιμότητα, κυρίως στις ευάλωτες ομάδες με αποτέλεσμα ο άμεσα επηρεασμένος πληθυσμός να μην προλαβαίνει να εισαχθεί και να νοσηλευτεί σε νοσοκομείο. Παρ' όλα αυτά, το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει, είναι ότι τόσο το ρίσκο θνησιμότητας, όσο και το ρίσκο νοσηρότητας, αυξάνεται στις χαμηλότερες θερμοκρασίες συγκριτικά με τις υψηλότερες θερμοκρασίες παρόλη την μεγάλη αβεβαιότητα.

- Anderson, G. Brooke, and Michelle L. Bell. 2011. "Heat Waves in the United States: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities." *Environmental Health Perspectives* 119 (2): 210–18. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002313>.
- Basagaña, Xavier, Claudio Sartini, Jose Barrera-Gómez, Payam Dadvand, Jordi Cunillera, Bart Ostro, Jordi Sunyer, and Mercedes Medina-Ramón. 2011. "Heat Waves and Cause-Specific Mortality at All Ages." *Epidemiology* 22 (6): 765–72. <https://doi.org/10.1097/EDE.0b013e31823031c5>.
- Blazejczyk, Krzysztof, Yoram Epstein, Gerd Jendritzky, Henning Staiger, and Birger Tinz. 2012a. "Comparison of UTCI to Selected Thermal Indices." *International Journal of Biometeorology* 56 (3): 515–35. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0453-2>.
- . 2012b. "Comparison of UTCI to Selected Thermal Indices." *International Journal of Biometeorology* 56 (3): 515–35. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0453-2>.
- Błazejczyk, Krzysztof, Gerd Jendritzky, Peter Bröde, Dusan Fiala, George Havenith, Yoram Epstein, Agnieszka Psikuta, and Bernhard Kampmann. 2013. "An Introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI)." *Geographia Polonica* 86 (1): 5–10. <https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1>.
- Błazejczyk, Krzysztof, Gerd Jendritzky, Peter Bröde, Dusan Fiala, George Havenith, Yoram Epstein, Agnieszka Psikuta, and Bernhard Kampmann. 2013. "An Introduction to the Universal Thermal Climate Index (UTCI)." *Geographia Polonica* 86 (1): 5–10. <https://doi.org/10.7163/GPol.2013.1>.
- Brooke Anderson, G., and Michelle L. Bell. 2011. "Heat Waves in the United States: Mortality Risk during Heat Waves and Effect Modification by Heat Wave Characteristics in 43 U.S. Communities." *Environmental Health Perspectives* 119 (2): 210–18. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002313>.
- Cheng, Jian, Zhiwei Xu, Hilary Bambrick, Vanessa Prescott, Ning Wang, Yuzhou Zhang, Hong Su, Shilu Tong, and Wenbiao Hu. 2019. "Cardiorespiratory Effects of Heatwaves: A Systematic Review and Meta-Analysis of Global Epidemiological Evidence." *Environmental Research*. Academic Press Inc. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108610>.
- Christidis, Nikolaos, Gareth S. Jones, and Peter A. Stott. 2015. "Dramatically Increasing Chance of Extremely Hot Summers since the 2003 European Heatwave." *Nature Climate Change* 5 (1): 46–50. <https://doi.org/10.1038/nclimate2468>.
- Cos, Josep, Francisco Doblas-Reyes, Martin Jury, Raúl Marcos, Pierre Antoine Bretonnière, and Margarida Samsó. 2022. "The Mediterranean Climate Change Hotspot in the



- CMIP5 and CMIP6 Projections.” *Earth System Dynamics* 13 (1): 321–40. <https://doi.org/10.5194/esd-13-321-2022>.
- Curriero, F. C. 2002. “Temperature and Mortality in 11 Cities of the Eastern United States.” *American Journal of Epidemiology* 155 (1): 80–87. <https://doi.org/10.1093/aje/155.1.80>.
- Diffenbaugh, Noah S., and Filippo Giorgi. 2012. “Climate Change Hotspots in the CMIP5 Global Climate Model Ensemble.” *Climatic Change* 114 (3–4): 813–22. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0570-x>.
- Ebi, Kristie L., Jennifer Vanos, Jane W. Baldwin, Jesse E. Bell, David M. Hondula, Nicole A. Errett, Katie Hayes, et al. 2020a. “Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications.” In *Annual Review of Public Health*, 42:293–315. Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-012420-105026>.
- . 2020b. “Extreme Weather and Climate Change: Population Health and Health System Implications.” In *Annual Review of Public Health*, 42:293–315. Annual Reviews Inc. <https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth-012420-105026>.
- Epstein, Yoram, and Daniel S Moran. 2006a. “Thermal Comfort and the Heat Stress Indices.” *Industrial Health*. Vol. 44.
- . 2006b. “Thermal Comfort and the Heat Stress Indices.” *Industrial Health*. Vol. 44.
- Faizi, Nafis, and Yasir Alvi. 2023. “Correlation.” In *Biostatistics Manual for Health Research*, 109–26. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-443-18550-2.00002-5>.
- Garcia-Herrera, R., J. Díaz, R. M. Trigo, J. Luterbacher, and E. M. Fischer. 2010. “A Review of the European Summer Heat Wave of 2003.” *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. Taylor and Francis Inc. <https://doi.org/10.1080/10643380802238137>.
- Gasparrini, Antonio, Fabian Scheipl, Ben Armstrong, and Michael G. Kenward. 2017. “A Penalized Framework for Distributed Lag Non-linear Models.” *Biometrics* 73 (3): 938–48. <https://doi.org/10.1111/biom.12645>.
- Giorgi, F. 2006. “Climate Change Hot-spots.” *Geophysical Research Letters* 33 (8). <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>.
- Guo, Yuming, Antonio Gasparrini, Shanshan Li, Francesco Sera, Ana Maria Vicedo-Cabrera, Micheline de Sousa Zanotti Stagliorio Coelho, Paulo Hilario Nascimento Saldiva, et al. 2018. “Quantifying Excess Deaths Related to Heatwaves under Climate Change Scenarios: A Multicountry Time Series Modelling Study.” *PLOS Medicine* 15 (7): e1002629. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1002629>.



Hastie, Trevor, Robert Tibshirani, and Jerome Friedman. 2009. *The Elements of Statistical Learning*. New York, NY: Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-84858-7>.

Havenith, George, Dusan Fiala, Krzysztof Błazejczyk, Mark Richards, Peter Bröde, Ingvar Holmér, Hannu Rintamaki, Yael Benshabat, and Gerd Jendritzky. 2012. "The UCI-Clothing Model." *International Journal of Biometeorology* 56 (3): 461–70. <https://doi.org/10.1007/s00484-011-0451-4>.

Heaviside, Clare, Haritini Tsangari, Anastasia Paschalidou, Sotiris Vardoulakis, Pavlos Kassomenos, Kyriakos E. Georgiou, and Edna N. Yamasaki. 2016. "Heat-Related Mortality in Cyprus for Current and Future Climate Scenarios." *Science of The Total Environment* 569–570 (November): 627–33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.06.138>.

Karl, Thomas R, and Richard W Knight. 1997. "The 1995 Chicago Heat Wave: How Likely Is a Recurrence?" *Bulletin of the American Meteorological Society* 78 (6): 1107–20.

Katsouyianni K, Trichopoulos D, Zavitsanos X, and Touloumi G. 1988. "The 1987 Athens Heatwave." *The Lancet* 332 (8610): 573.

Koppe, Christina, Sari Kovats, Gerd Jendritzky, Bettina Menne, Jürgen Baumüller, Arie Bitan, Julio Díaz Jiménez, et al. 2004. "Health and Global Environmental Change Heat-Waves: Risks and Responses." <http://www.euro.who.int/globalchange>.

Kottek, Markus, Jürgen Grieser, Christoph Beck, Bruno Rudolf, and Franz Rubel. 2006. "World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification Updated." *Meteorologische Zeitschrift* 15 (3): 259–63. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2006/0130>.

Laaidi, Karine, Abdelkrim Zeghnoun, Bénédicte Dousset, Philippe Bretin, Stéphanie Vandentorren, Emmanuel Giraudet, and Pascal Beaudeau. 2012. "The Impact of Heat Islands on Mortality in Paris during the August 2003 Heat Wave." *Environmental Health Perspectives* 120 (2): 254–59. <https://doi.org/10.1289/ehp.1103532>.

Lelieveld, J., P. Hadjinicolaou, E. Kostopoulou, J. Chenoweth, M. El Maayar, C. Giannakopoulos, C. Hannides, et al. 2012. "Climate Change and Impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East." *Climatic Change* 114 (3–4): 667–87. <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0418-4>.

Linares, C., and J. Diaz. 2008. "Impact of High Temperatures on Hospital Admissions: Comparative Analysis with Previous Studies about Mortality (Madrid)." *The European Journal of Public Health* 18 (3): 317–22. <https://doi.org/10.1093/eurpub/ckm108>.

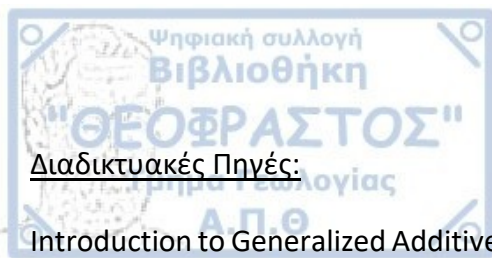
Linares, Cristina, Julio Díaz, Maya Negev, Gerardo Sánchez Martínez, Roberto Debono, and Shlomit Paz. 2020. "Impacts of Climate Change on the Public Health of the Mediterranean Basin Population - Current Situation, Projections, Preparedness and

- Adaptation." *Environmental Research* 182 (March): 109107. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109107>.
- Lionello, Piero, and Luca Scarascia. 2018. "The Relation between Climate Change in the Mediterranean Region and Global Warming." *Regional Environmental Change* 18 (5): 1481–93. <https://doi.org/10.1007/s10113-018-1290-1>.
- Lubczyńska, Małgorzata J, Costas A Christophi, and Jos Lelieveld. 2015. "Heat-Related Cardiovascular Mortality Risk in Cyprus: A Case-Crossover Study Using a Distributed Lag Non-Linear Model." *Environmental Health* 14 (1): 39. <https://doi.org/10.1186/s12940-015-0025-8>.
- Lukić, Milica, Dejan Filipović, Milica Pecelj, Ljiljana Crnogorac, Bogdan Lukić, Lazar Divjak, Ana Lukić, and Ana Vučićević. 2021. "Assessment of Outdoor Thermal Comfort in Serbia's Urban Environments during Different Seasons." *Atmosphere* 12 (8): 1084. <https://doi.org/10.3390/atmos12081084>.
- Meehl, Gerald A., and Claudia Tebaldi. 2004. "More Intense, More Frequent, and Longer Lasting Heat Waves in the 21st Century." *Science* 305 (5686): 994–97. <https://doi.org/10.1126/science.1098704>.
- Nairn, John, and Robert Fawcett. 2014. "The Excess Heat Factor: A Metric for Heatwave Intensity and Its Use in Classifying Heatwave Severity." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (1): 227–53. <https://doi.org/10.3390/ijerph120100227>.
- Nitschke, Monika, Graeme R Tucker, Alana L Hansen, Susan Williams, Ying Zhang, and Peng Bi. 2011. "Impact of Two Recent Extreme Heat Episodes on Morbidity and Mortality in Adelaide, South Australia: A Case-Series Analysis." *Environmental Health* 10 (1): 42. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-10-42>.
- Pantavou, Katerina, George Giallourous, Spyridon Lykoudis, Georgios Markozannes, Effrosini Constantinou, Anastasia Panagi, Mary Economou, et al. 2020. "Impact of Heat Exposure on Health during a Warm Period in Cyprus." *Euro-Mediterranean Journal for Environmental Integration* 5 (2): 27. <https://doi.org/10.1007/s41207-020-00164-0>.
- Pantavou, Katerina, George Giallourous, Kostas Philippopoulos, Daniele Piovani, Constantinos Cartalis, Stefanos Bonovas, and Georgios K. Nikolopoulos. 2021a. "Thermal Conditions and Hospital Admissions: Analysis of Longitudinal Data from Cyprus (2009–2018)." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (24): 13361. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413361>.
- . 2021b. "Thermal Conditions and Hospital Admissions: Analysis of Longitudinal Data from Cyprus (2009–2018)." *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18 (24): 13361. <https://doi.org/10.3390/ijerph182413361>.

- Perkins, Sarah E. 2015. "A Review on the Scientific Understanding of Heatwaves—Their Measurement, Driving Mechanisms, and Changes at the Global Scale." *Atmospheric Research* 164–165 (October): 242–67. <https://doi.org/10.1016/J.ATMOSRES.2015.05.014>.
- Price, Colin, Silas Michaelides, Stylianos Pashiardis, and Pinhas Alpert. 1999. "Long Term Changes in Diurnal Temperature Range in Cyprus." *Atmospheric Research* 51 (2): 85–98. [https://doi.org/10.1016/S0169-8095\(99\)00022-8](https://doi.org/10.1016/S0169-8095(99)00022-8).
- Psistaki, K., I.M. Dokas, and A.K. Paschalidou. 2023. "Analysis of the Heat- and Cold-Related Cardiovascular Mortality in an Urban Mediterranean Environment through Various Thermal Indices." *Environmental Research* 216 (January): 114831. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.114831>.
- Pyrgou, Andri, and Mattheos Santamouris. 2020. "Probability Risk of Heat- and Cold-Related Mortality to Temperature, Gender, and Age Using GAM Regression Analysis." *Climate* 8 (3): 40. <https://doi.org/10.3390/cli8030040>.
- Retalis, A., D. Paronis, S. Michaelides, F. Tymvios, D. Charalambous, D. G. Hadjimitsis, and A. Agapiou. 2013. "Study of the August 2010 Heat Event in Cyprus." In , 265–70. https://doi.org/10.1007/978-3-642-29172-2_38.
- Robinson, Peter J. 2001. "On the Definition of a Heat Wave." *Journal of Applied Meteorology and Climatology* 40 (4): 762–75. [https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2001\)040<0762:OTDOAH>2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1175/1520-0450(2001)040<0762:OTDOAH>2.0.CO;2).
- Shaposhnikov, Dmitry, Boris Revich, Tom Bellander, Getahun Bero Bedada, Matteo Bottai, Tatyana Kharkova, Ekaterina Kvasha, Tomas Lind, and Göran Pershagen. 2015. "Long-Term Impact of Moscow Heat Wave and Wildfires on Mortality." *Epidemiology*. Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1097/EDE.0000000000000251>.
- Shen, Beibei, Shuaifeng Song, Lijuan Zhang, Ziqing Wang, Chong Ren, and Yongsheng Li. 2022. "Temperature Trends in Some Major Countries from the 1980s to 2019." *Journal of Geographical Sciences* 32 (1): 79–100. <https://doi.org/10.1007/s11442-022-1937-1>.
- Steadman, R. G. 1979. "The Assessment of Sultriness. Part I: A Temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science." *Journal of Applied Meteorology* 18 (7): 861–73. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1979\)018<0861:TAOSPI>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1979)018<0861:TAOSPI>2.0.CO;2).
- Steadman, Robert G. 1984. "A Universal Scale of Apparent Temperature." *Journal of Climate and Applied Meteorology* 23 (12): 1674–87. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(1984\)023<1674:AUSOAT>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(1984)023<1674:AUSOAT>2.0.CO;2).



- Tolika, Konstantia. 2019. "Assessing Heat Waves over Greece Using the Excess Heat Factor (EHF)." *Climate* 7 (1): 9. <https://doi.org/10.3390/cli7010009>.
- Tsangari, Haritini, Anastasia Paschalidou, Sotiris Vardoulakis, Clare Heaviside, Zoi Konsoula, Stephanie Christou, Kyriakos E. Georgiou, et al. 2016. "Human Mortality in Cyprus: The Role of Temperature and Particulate Air Pollution." *Regional Environmental Change* 16 (7): 1905–13. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0793-2>.
- Vernon, H. M., and C. G. Warner. 1932. "The Influence of the Humidity of the Air on Capacity for Work at High Temperatures." *Journal of Hygiene* 32 (3): 431–62. <https://doi.org/10.1017/S0022172400018167>.
- Wood, Simon N. 2017. *Generalized Additive Models*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9781315370279>.
- Xu, Zhiwei, and Shilu Tong. 2017a. "Decompose the Association between Heatwave and Mortality: Which Type of Heatwave Is More Detrimental?" *Environmental Research* 156 (July): 770–74. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.005>.
- . 2017b. "Decompose the Association between Heatwave and Mortality: Which Type of Heatwave Is More Detrimental?" *Environmental Research* 156 (July): 770–74. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.005>.
- Yang, Jun, Chun-Quan Ou, Yan Ding, Ying-Xue Zhou, and Ping-Yan Chen. 2012. "Daily Temperature and Mortality: A Study of Distributed Lag Non-Linear Effect and Effect Modification in Guangzhou." *Environmental Health* 11 (1): 63. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-11-63>.
- Yang, Zhanmei, and Jingyong Zhang. 2020. "Dataset of High Temperature Extremes over the Major Land Areas of the Belt and Road for 1979-2018." *Big Earth Data* 4 (2): 128–41. <https://doi.org/10.1080/20964471.2020.1718993>.
- Zittis, G., M. Almazroui, P. Alpert, P. Ciais, W. Cramer, Y. Dahdal, M. Fnais, et al. 2022. "Climate Change and Weather Extremes in the Eastern Mediterranean and Middle East." *Reviews of Geophysics* 60 (3). <https://doi.org/10.1029/2021RG000762>.
- Zuo, Jian, Stephen Pullen, Jasmine Palmer, Helen Bennetts, Nicholas Chileshe, and Tony Ma. 2015. "Impacts of Heat Waves and Corresponding Measures: A Review." *Journal of Cleaner Production*. Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.12.078>.



Διαδικτυακές Πηγές:

- Introduction to Generalized Additive Models · Generalized Additive Models in R.” n.d. Accessed December 2, 2023. <https://noamross.github.io/gams-in-r-course/chapter1>
- “Cyprus Maps & Facts - World Atlas.” n.d. Accessed November 28, 2023. <https://www.worldatlas.com/maps/cyprus>
- Climate Change, Impacts and Vulnerability in Europe 2012. EEA Report No 12/2012 (EEA, 2012) n.d. Accessed November 28, 2023 <https://www.eea.europa.eu/publications/climate-impacts-and-vulnerability-2012>
- “ERA5-Land Hourly Data from 1950 to Present.” n.d. Accessed November 29, 2023. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/reanalysis-era5-land?tab=overview>
- “Eric R. Scott - Distributed Lag Non-Linear Models.” n.d. Accessed December 2, 2023. <https://ericrscott.com/posts/2021-01-13-dlnm/>
- “European Heatwave: What’s Causing It and Is Climate Change to Blame? | PreventionWeb.” n.d. Accessed November 26, 2023. <https://www.preventionweb.net/news/european-heatwave-whats-causing-it-and-climate-change-blame>
- “Heatwave.” n.d. Accessed November 26, 2023. <https://wmo.int/topics/heatwave>
- “Mapsland | Maps of the World | Cyprus.” n.d. Accessed November 28, 2023. <https://www.mapsland.com/asia/cyprus/large-topographical-map-of-cyprus>
- “The Heatwave of 2003 - Met Office.” n.d. Accessed November 26, 2023. <https://www.metoffice.gov.uk/news/2023/11/26/heatwave-2003>
- “Thermal Comfort Indices Derived from ERA5 Reanalysis.” n.d. Accessed November 29, 2023. <https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/derived-utcihistorical?tab=overview>
- “UTCI - Universal Thermal Climate Index.” n.d. Accessed November 30, 2023. <http://www.utci.org/index.php>
- “World Map, a Map of the World with Country Names Labeled.” n.d. Accessed November 28, 2023. <https://www.mapsofworld.com/>
- “Αρχική Σελίδα | Τμήμα Μετεωρολογίας.” n.d. Accessed November 27, 2023. <https://www.moa.gov.cy/moa/dm/dm.nsf/home/home?openform>
- “Κλιματολογικές Πληροφορίες.” n.d. Accessed November 28, 2023. <https://www.dom.org.cy/CLIMATOLOGY/Greek/>
- “Στατιστική Υπηρεσία - Αρχική.” n.d. Accessed November 28, 2023. <https://www.cystat.gov.cy/el/default>
- “Τμήμα Μετεωρολογίας - Υπουργείο Γεωργίας, Αγροτικής Ανάπτυξης και Περιβάλλοντος.” n.d. Accessed November 28, 2023. <https://moa.gov.cy/tomeis-drasis/tmima-meteorologias/time-meteorologias/>
- ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΥΓΕΙΑΣ - Μονάδα Παρακολούθησης Υγείας.” n.d. Accessed November 29, 2023. https://www.moh.gov.cy/moh/moh.nsf/page70_gr/page70_gr?OpenDocument



Σχήμα 1: Ρύθμιση θερμοκρασίας του ανθρώπινου σώματος και εξίσωση ισοζυγίου θερμότητας (Korpe et al. 2004)	3
Σχήμα 2: Γεωγραφική θέση Κύπρου (“World Atlas” 2023; “World Map” 2023)	11
Σχήμα 3: Γεωμορφολογία της Κύπρου, χάρτης υψομέτρου σε μέτρα και οι κυριότερες πόλεις (“Mapsland” 2023)	13
Σχήμα 4: Διαθέσιμα πλεγματικά σημεία στην περιοχή της Κύπρου σύμφωνα με την βάση δεδομένων reanalysis ERA5 – Land. Με πράσινο χαρακτηρίζονται τα σημεία στα οποία το μοντέλο αντιλαμβάνεται ως «ξηρά» και σε αυτά αντιστοιχούν τιμές, ενώ με κόκκινο αντιστοιχούν τα σημεία χωρίς τιμές που το μοντέλο θεωρεί ως «θάλασσα».	16
Σχήμα 5: Διαθέσιμα πλεγματικά σημεία στην περιοχή της Κύπρου σύμφωνα με την βάση δεδομένων reanalysis ERA5 – HEAT. Με πράσινο χαρακτηρίζονται τα σημεία που εμπίπτουν πάνω από την Κύπρο και χρησιμοποιήθηκαν για μελέτη, ενώ με κόκκινο τα πλεγματικά σημεία που ανήκουν εκτός περιοχής μελέτης.	17
Σχήμα 6: Υπολογισμός του UTCI ως ισοδύναμη κατηγοριοποιημένη θερμοκρασία όπως προκύπτει από τη σύζευξη του μοντέλου Fiala με το μοντέλο ρουχισμού (“UTCI - Universal Thermal Climate Index, Poster” 2023).....	21
Σχήμα 7: Ταξινόμηση στατιστικών μοντέλων σε μια κλίμακα από τα πιο απλά στα πιο περίπλοκα και σύνθετα.	23
Σχήμα 8: α) Προσέγγιση σημείων με πολυώνυμα διαφορετικής τάξης β) πολυώνυμο 11 ^{ης} τάξης και εισαγωγή του <i>Runge’s Phenomenon</i> (Erwin Kalvelagen, 2002).	24
Σχήμα 9: Τυχαίο παράδειγμα εφαρμογής α) γραμμικού μοντέλου και β) GAMs σε δεδομένα (“Eric R. Scott” 2023).	25
Σχήμα 10: Μέσες ετήσιες τιμές μέγιστης (κόκκινο), μέσης (κίτρινο) και ελάχιστης (μπλε) θερμοκρασίας μαζί με τις τάσεις στην Κύπρο από το 1979 – 2019.....	29
Σχήμα 11: Απόλυτες μέγιστες ετήσιες τιμές των μεγίστων (κόκκινο), μέσων (κίτρινο) και ελαχίστων (μπλε) θερμοκρασιών μαζί με τις τάσεις στην Κύπρο από το 1979 – 2019... ..	29
Σχήμα 12: Σύγκριση μεταβλητών θερμοκρασίας (μέσης, μέγιστης και ελάχιστης) στην Κύπρο για δυο υπό περιόδους μελέτης 1979 – 1999 και 2000 – 2019.	30
Σχήμα 13: Μηνιαία κατανομή α) μέσων, β) μεγίστων και γ) ελαχίστων θερμοκρασιών στην Κύπρο για δυο υπό περιόδους μελέτης 1979 – 1999 και 2000 – 2019.....	32

Σχήμα 14: Χωρική κατανομή της α) μέγιστης και β) ελάχιστης θερμοκρασίας κόμβο (ERA5 Land) στη Κύπρο για την περίοδο 1979 – 2019..... 33

Σχήμα 15: Χωρική κατανομή της μέσης θερμοκρασίας για κάθε κόμβο στη Κύπρο για την περίοδο 1979 – 2019. 34

Σχήμα 16: Χωρική κατανομή του 95^{ου} ποσοστημορίου των μεγίστων θερμοκρασιών κάθε πλεγματοκού σημείου για τους μήνες α) Μάιο β) Ιούνιο, γ) Ιούλιο, δ) Αύγουστο και ε) Σεπτέμβριο για την περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο. 35

Σχήμα 17: Χωρική κατανομή του 95^{ου} ποσοστημορίου των ελαχίστων θερμοκρασιών κάθε πλεγματοκού σημείου για τους μήνες α) Μάιο β) Ιούνιο, γ) Ιούλιο, δ) Αύγουστο και ε) Σεπτέμβριο για την περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο. 36

Σχήμα 18: Χωρική κατανομή του συνολικού αριθμού ημερών με ακραίες θερμοκρασίες ανά κόμβο για τους μήνες α) Μάιο β) Ιούνιο, γ) Ιούλιο, δ) Αύγουστο και ε) Σεπτέμβριο για την περίοδο 2000 – 2019..... 37

Σχήμα 19: Ανάλυση με την χρήση θηκογραμμάτων του αριθμού ημερών με ακραίες θερμοκρασίες για όλα τα πλεγματοκά σημεία ανά έτος και μήνα για την υπό μελέτη περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο. 39

Σχήμα 20: Επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών στην Κύπρο για την περίοδο 2000 – 2019, δηλαδή ημερών που ξεπερνιέται το 95^ο ποσοστημόριο τόσο της ελάχιστης όσο και της μέγιστης θερμοκρασίας, με διάρκεια α) τριών, β) τεσσάρων, γ) πέντε, δ) έξι και ε) επτά συνεχόμενων ημερών..... 41

Σχήμα 21: Αριθμός επεισοδίων ακραίων θερμοκρασιών στην Κύπρο ανά έτος για την περίοδο 2000 – 2019, διάρκειας τριών έως επτά συνεχόμενων ημερών. 42

Σχήμα 22: Αριθμός επεισοδίων ακραίων θερμοκρασιών στην Κύπρο ανά μήνα για την περίοδο 2000 – 2019, διάρκειας τριών έως επτά συνεχόμενων ημερών. 43

Σχήμα 23: Μηνιαία συχνότητα εμφάνισης της κάθε κλάσης του UTCI για την υπό μελέτη περίοδο 2000-2019 στην Κύπρο για τις περιπτώσεις α) όλων των κόμβων μεσοποιημένα για όλη την Κύπρο, β) στο εσωτερικό, γ) στα ορεινά και δ) στα παράλια..... 45

Σχήμα 24: Ετήσια συχνότητα εμφάνισης της κάθε κλάσης του UTCI για την υπό μελέτη περίοδο 2000-2019 στην Κύπρο για τις περιπτώσεις α) όλων των πλεγματοκικών σημείων μεσοποιημένα για όλη την Κύπρο, β) στο εσωτερικό, γ) στα ορεινά και δ) στα παράλια. 46

Σχήμα 25: Χωρική προβολή των τιμών του δείκτη UTCI ημερησίως για το επεισόδιο ακραίων θερμοκρασιών στις 31/07/2010 – 04/08/2010..... 48

Σχήμα 26: Διαγράμματα διασποράς μεταξύ α) θνησιμότητας (αριθμού θανάτων) και β) εισαγωγών με την μέση θερμοκρασία στην Κύπρο για την περίοδο 2004 – 2019. Η μπλε καμπύλη υποδηλώνει την σχέση μεταξύ των δύο μεταβλητών και το σκιασμένο μέρος γύρω από αυτήν το εύρος αβεβαιότητας. 51

Σχήμα 27: Σχετικός κίνδυνος θνησιμότητας στην Κύπρο με βάση την μέγιστη θερμοκρασία. α) Τρισδιάστατη αναπαράσταση έκθεσης στη μέγιστη θερμοκρασία – χρόνου υστέρησης - σχετικού κινδύνου. β) Σχετικός κίνδυνος και στατιστικά σημαντικές περιοχές με γκρι σκίαση. Τα σημεία πάνω στο διάγραμμα αναπαριστούν τις «τροχιές» θερμοκρασιών μιας πολύ θερμής (01/08/2010) και μιας πολύ κρύας ημέρας (09/01/2015). γ) Σχετικός κίνδυνος σε σχέση με την «βέλτιστη θερμοκρασία» - $OT=28.2^{\circ}C$ δ) Αθροιστικός σχετικός κίνδυνος σε σχέση με την μέση κατάσταση θνησιμότητας (RR) και σε σχέση με την «βέλτιστη θερμοκρασία» που φαίνεται με την κατακόρυφη μαύρη γραμμή (RR_OT)..... 54

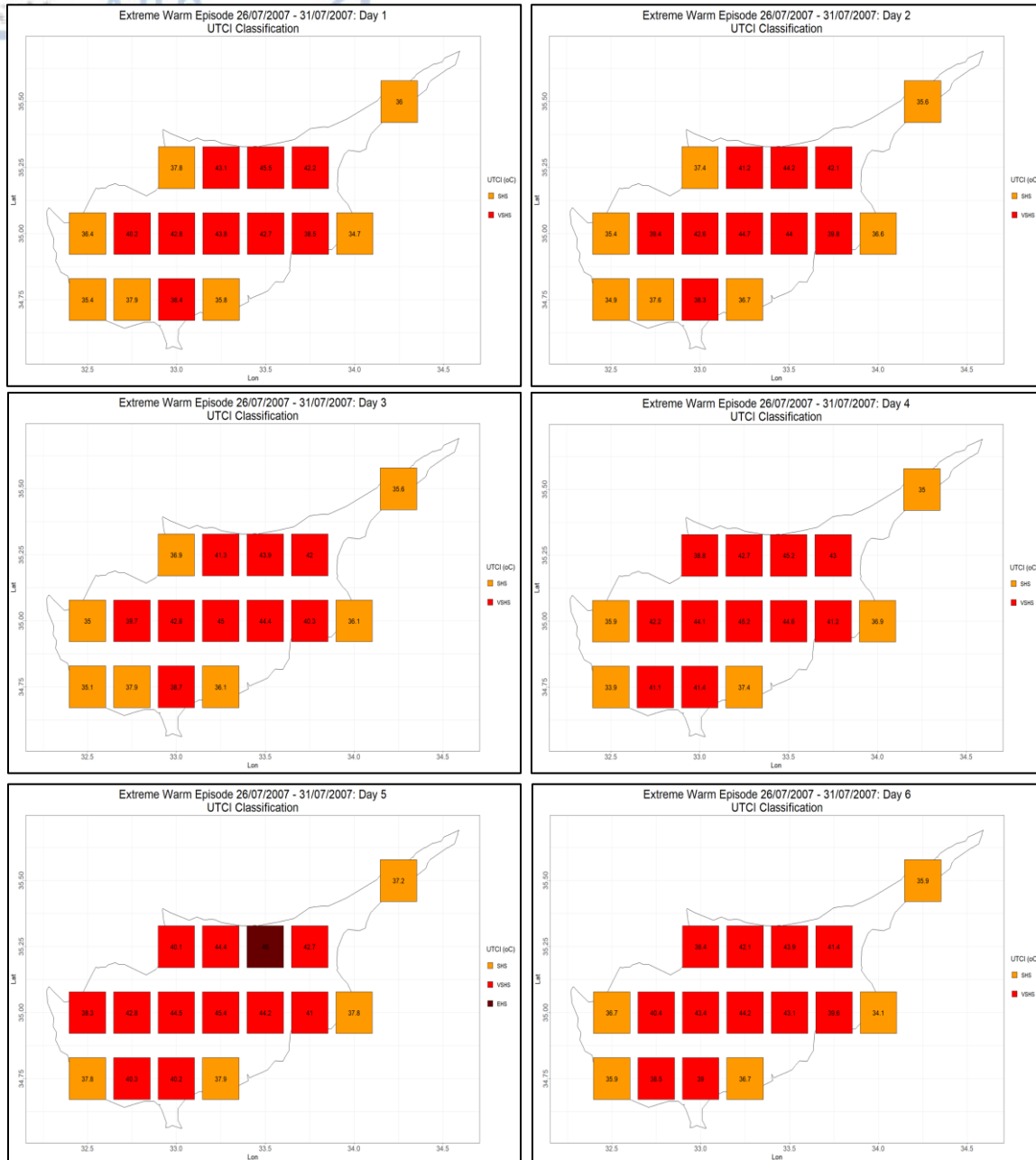
Σχήμα 28: Σχετικός κίνδυνος θνησιμότητας στην Κύπρο με βάση την α) μέγιστη γ) ελάχιστη θερμοκρασία και ε) UTCI. Τα σημεία πάνω στα διαγράμματα αναπαριστούν τις «τροχιές» θερμοκρασιών μιας πολύ θερμής και μιας πολύ κρύας ημέρας. Οι γκρι σκιασμένες περιοχές χαρακτηρίζονται από στατιστική σημαντικότητα β) Αθροιστικός σχετικός κίνδυνος σε σχέση με την μέση κατάσταση θνησιμότητας RR και σε σχέση με την «βέλτιστη θερμοκρασία» RR_OT που σημειώνεται με την κάθετη μαύρη γραμμή για τις β) μέγιστες, δ) ελάχιστες θερμοκρασίες και ζ) UTCI. 56

Σχήμα 29: Σχετικό ρίσκο νοσηρότητας στην Κύπρο με βάση την α) μέγιστη γ) ελάχιστη θερμοκρασία και ε) UTCI. Τα σημεία πάνω στα διαγράμματα αναπαριστούν τις «τροχιές» θερμοκρασιών μιας πολύ θερμής και μιας πολύ κρύας ημέρας. Οι γκρι σκιασμένες περιοχές χαρακτηρίζονται από στατιστική σημαντικότητα β) Αθροιστικός σχετικός κίνδυνος σε σχέση με την μέση κατάσταση θνησιμότητας RR και σε σχέση με την «βέλτιστη θερμοκρασία» RR_OT που σημειώνεται με την κάθετη μαύρη γραμμή για τις β) μέγιστες, δ) ελάχιστες θερμοκρασίες και ζ) UTCI. 58

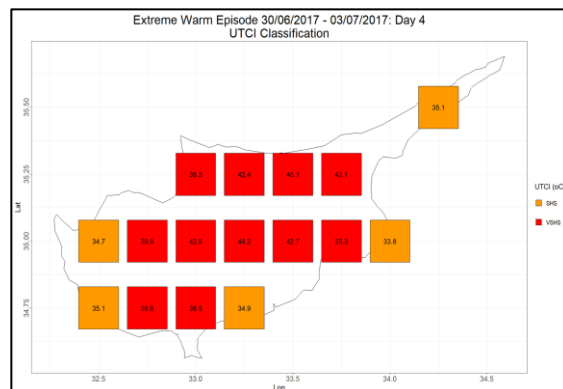
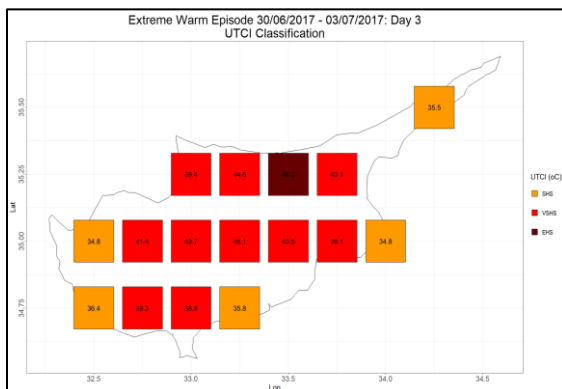
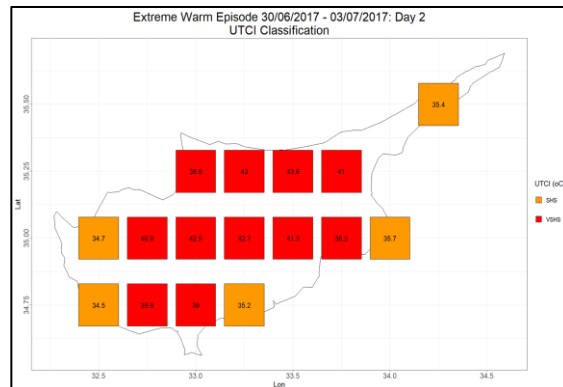
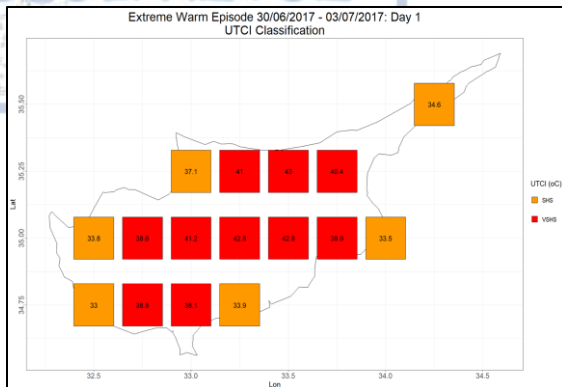


Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1: Λίστα με απλούς βιοκλιματικούς δείκτες και τις παραμέτρους υπολογισμού	8
Πίνακας 2: Δημόσια Νοσοκομεία της Κυπριακής Δημοκρατίας	18
Πίνακας 3: Το εύρος των τιμών του UTCI με τις αντίστοιχες κατηγορίες θερμικού στρες και την αντίδραση του ανθρώπινου οργανισμού. (Lukić et al. 2021; Błażejczyk et al. 2013)	21
Πίνακας 4: Περιπτώσεις επεισοδίων ακραίων θερμοκρασιών για την περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο, μαζί με τη μέγιστη θερμοκρασία και το μέγιστο δείκτη UTCI. Με κόκκινο τονίζονται τα επεισόδια με τη μεγαλύτερη διάρκεια και κάλυψη του νησιού. Ο δείκτης UTCI χρωματίστηκε με βάση την κατηγοριοποίηση της τιμής του.....	47
Πίνακας 5: Σημαντικότερα επεισόδια ακραίων θερμοκρασιών για την περίοδο 2000 – 2019 στην Κύπρο (όπως προκύπτουν από τον Πίνακα 4).....	47
Πίνακας 6: Συντελεστής συσχέτιση του μέγιστου ημερήσιου δείκτη UTCI με θνησιμότητα και εισαγωγές για τους θερμότερους και πιο στρεσογόνους μήνες στην Κύπρο. Οι τιμές με κόκκινη σκιαγράφηση αντιστοιχούν στις στατιστικά σημαντικές τιμές.	50



Σχήμα II: Χωρική προβολή των τιμών του δείκτη UTCI ημερησίως για το επεισόδιο ακραίων θερμοκρασιών στις 26/07/2007 – 31/07/2007.



Σχήμα III: Χωρική προβολή των τιμών του δείκτη UTCI ημερησίως για το επεισόδιο ακραίων θερμοκρασιών στις 30/06/2017 – 03/07/2017.