



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ ΣΧΟΛΗ
ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ ΤΜΗΜΑ
ΦΥΣΙΚΗΣ**

**ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
<<ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ>>**

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη της έντασης του φαινομένου της αστικής θερμικής νήσου για τρία
Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα**

Κυριαζής Νικόλαος

A.M. 771

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: Κασσωμένος Παύλος

Περιεχόμενα	Σελίδα
Πρόλογος και Ευχαριστίες.....	6
Περίληψη.....	8
Abstract.....	9
Λίστα Ακρωνυμίων.....	10
Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγή	
1.1 Σπουδαιότητα μελέτης Αστικής θερμικής νησίδας.....	11
1.2 Μέτρηση Αστικής θερμικής νησίδας.....	11
1.3 Είδη Αστικής θερμικής νησίδας.....	13
1.4 Αιτίες δημιουργίας του UHI.....	14
1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση του UHI.....	17
1.6 Επιπτώσεις του UHI.....	18
1.7 Τρόποι περιορισμού του UHI.....	20
1.8 Τύποι καιρού.....	21
1.9 Τύποι συνοπτικών ταξινομήσεων.....	22
1.10 Είδη της συνοπτικής ταξινόμησης τύπων καιρού.....	22
Κεφάλαιο 2^ο Δεδομένα-Μεθοδολογία	
2.1 Δεδομένα	
2.1.1 Δεδομένα για τον προσδιορισμό των τύπων καιρού.....	24
2.1.2 Δεδομένα θερμοκρασίας.....	25
2.2 Μεθοδολογία	
2.2.1 Υπολογισμός της έντασης του UHI.....	26
2.2.2 Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA).....	27
2.2.3 Ανάλυση κατά Συστάδες (CA).....	29
2.2.4 Μη ιεραρχική μέθοδος κατά συστάδες K-means.....	30
Κεφάλαιο 3^ο Αποτελέσματα	
3.1 Η περίπτωση της Βαρκελώνης.....	32
3.1.1 Ορισμός των τύπων καιρού.....	33
3.1.2 Χωρική κατανομή αστικής υπερθέρμανσης.....	41
3.1.3 Συσχέτιση αστικής υπερθέρμανσης με τους τύπους καιρού.....	43
3.2 Η περίπτωση του Λουξεμβούργου.....	44
3.2.1 Ορισμός των τύπων καιρού.....	46
3.2.2 Χωρική κατανομή αστικής υπερθέρμανσης.....	54
3.2.3 Συσχέτιση αστικής υπερθέρμανσης με τους τύπους καιρού.....	56
3.3 Η περίπτωση του Ελσίνκι.....	57
3.3.1 Ορισμός των τύπων καιρού.....	59
3.3.2 Χωρική κατανομή αστικής υπερθέρμανσης.....	65
3.3.3 Συσχέτιση αστικής υπερθέρμανσης με τους τύπους καιρού.....	68
Κεφάλαιο 4^ο Συμπεράσματα-Σύνοψη.....	70
Βιβλιογραφική λίστα αναφορών.....	72

Πρόλογος και Ευχαριστίες

Στον Ηλία για την αμέριστη και πολύτιμη βοήθεια του στον Δημήτρη, την Φένια την Μαρία για την συνεχή υποστήριξη και στον Δημήτρη και την Γεωργία για την παρέα στο ταξίδι.

Κυριαζής Νικόλαος

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το φαινόμενο τη αστικής θερμικής νησίδας (UHI). Με την χρήση δεδομένων από την Υπηρεσία Κλιματικής Αλλαγής Copernicus (Copernicus Climate Change Service) υπολογίστηκε η ένταση της αστικής θερμικής νησου (UHII) και μέσω αυτής η αστική υπερθέρμανση κατά την θερινή περίοδο, για τα αστικά κέντρα της Βαρκελώνης, του Λουξεμβούργου και του Ελσίνκι. Οι τιμές αστικής υπερθέρμανσης χρησιμοποιήθηκαν για την μελέτη της χωρικής κατανομής κάθε αστικού κέντρου ανά μήνα τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας.

Ακόμη, για τις ίδιες πόλεις βρέθηκαν οι βέλτιστοι τύποι καιρού που περιγράφουν τις συνοπτικές συνθήκες για κάθε μέρα από το 1980-2020. Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία για τον προσδιορισμό των τύπων καιρού αποκτήθηκαν από τη βάση δεδομένων NCEP(Το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης)/NCAR(Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικής Έρευνας) Reanalysis (<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEPNCAR/.CDAS1/.DAILY>).

Ο ορισμός των τύπων καιρού (Weather Types, WTs) έγινε με τη χρήση των εξής μετεωρολογικών παραμέτρων: ρυθμός υετού, ρυθμός ανωμεταφορικού υετού, θερμοκρασία στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, ολική νεφοκάλυψη, ζωνική και μεσημβρινή συνιστώσα του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης, γεωδυναμικά ύψη των ισοβαρικών επιφανειών των 500hPa και των 1000hPa, θερμοκρασία στις ισοβαρικές επιφάνειες 500hPa και 850hPa, ειδική υγρασία της ισοβαρικής επιφάνειας των 850hPa και υετίσιμο ύδωρ. Αρχικά, εφαρμόζονται η PCA και η CA στις ημερήσιες τιμές των παραμέτρων της 40ετούς περιόδου 1980- 2020 και σχηματίζονται ομάδες των οποίων οι ημερομηνίες παρουσιάζουν κοινά συνοπτικά χαρακτηριστικά. Κάθε μία από αυτές τις ομάδες αποτελεί έναν Τύπο Καιρού (WT). Συνεπώς, ορίζονται 7 WTs για την Βαρκελώνη, 8 για το Λουξεμβούργο και 6 για το Ελσίνκι. Για όλους τους τύπους καιρού μελετώνται τα χαρακτηριστικά τους, συμπεριλαμβανομένων των συνοπτικών συνθηκών που κυριαρχούν και των μηνιαίων και ετήσιων κατανομών των συχνότητων τους.

Τέλος, συσχετίστηκαν οι επικρατούντες τύποι καιρού με την αστική υπερθέρμανση κάθε πόλης. Έτσι, βρέθηκε ποιοι τύποι καιρού επικρατούν κατά την εμφάνιση τιμών αστικής υπερθέρμανσης. Πιο συγκεκριμένα, για την πόλη της Βαρκελώνης ο WT6 επικρατεί κυρίως τις ημέρες αστικής υπερθέρμανσης κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, για το Λουξεμβούργο ο WT1 είναι ο κυρίαρχος τύπος καιρού ενώ για το Ελσίνκι την διάρκεια της ημέρας οι τιμές αστικής υπερθέρμανσης οφείλονται στην επικράτηση του WT1 όμως την νύχτα αξιοσημείωτη εμφάνιση έχει και ο WT5.

Abstract

In this study we investigated the association between local weather types (WTs) and the Urban Heat Island Intensity (UHII) in the regions of Barcelona, Luxembourg and Helsinki. The UHII was calculated for every hour of the day from 2008 to 2017, using an air temperature dataset produced by Copernicus Climate Change Service. We have calculated the upper 5% of UHII (Urban Overheating-UO). The UO has been estimated during warm period (June-September) and for daytime and nighttime. The spatial characteristics of the UO were also investigated.

Also, for the same cities, weather types were found that describe meteorological conditions for each day from 1980-2020. The data used in this paper to determine weather types were obtained from the NCEP/NCAR Reanalysis database (<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/.NOAA/.NCEPNCAR/.CDAS1/.DAILY>).

Weather Types (WTs) were defined using the following meteorological parameters: precipitation rate, convective precipitation rate, temperature at 2 meters above the earth's surface, total cloud cover, zonal and meridional wind components at 10 meters above the earth's surface, 500hPa and 1000hPa geopotential heights, 500hPa and 850hPa air temperature, 850hPa specific humidity and precipitable water. First, (PCA) Principal Component Analysis and (CA) Cluster Analysis are applied to the daily parameter values of the 40-year period 1980-2020 and groups are formed whose dates show common meteorological characteristics. Each of these groups constitutes a Weather Type (WT). Therefore, 7 WTs are defined for Barcelona, 8 for Luxembourg and 6 for Helsinki. For all weather types, their characteristics are studied, including the prevailing summary conditions and their monthly and annual frequency distributions.

Finally, weather types were correlated with each city's urban warming. Thus, it was found which weather types prevail during the occurrence of urban overheating values. More specifically, for the city of Barcelona WT6 mainly on urban overheating days during the summer, for Luxembourg WT1 is the dominant weather type while for Helsinki during the day the urban overheating values are due to the prevalence of WT1. WT5 also has a remarkable appearance at night.

Λίστα Ακρωνυμίων

UHI: Urban Heat Island

UHII: Urban Heat Island Intensity

UO: Urban Overheating

UBL: Urban boundary Layer

UCL: Urban Canopy Layer

UP: Urban Plume

UTC: Universal Time Coordinated

NCEP: National Center for Environmental Prediction

NCAR: National Center for Atmospheric Research

PCA: Principal Component Analysis

CA: Cluster Analysis

Κεφάλαιο 1^ο Εισαγωγή

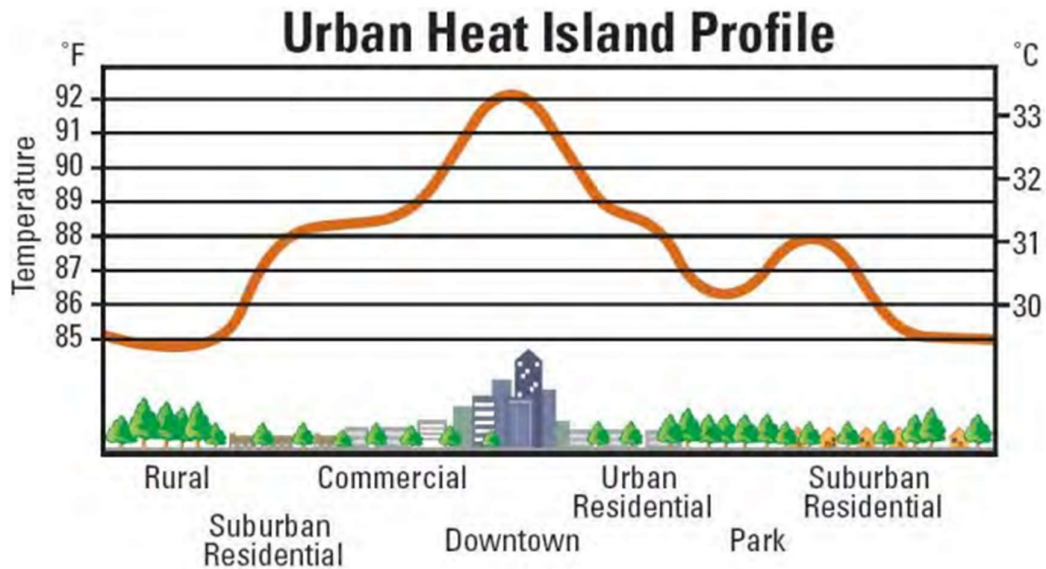
1.1 Σπουδαιότητα μελέτης Αστικής θερμικής νησίδας

Στο πεδίο της κλιματολογίας η μελέτη της πλανητικής θέρμανσης λόγω του ανθωπογενούς φαινομένου του θερμοκηπίου βρίσκεται στο επίκεντρο των μελετών. Η έντονη αστικοποίηση που συντελείται σε παγκόσμιο επίπεδο και τα φαινόμενα που εμφανίζονται εξαιτίας της όπως η αστική θερμική νησίδα εμφανίζονται στο προσκήνιο (Unger, 2001). Η αστικοποίηση αυξάνεται ραγδαία καθώς όλο και μεγαλύτερο ποσοστό του παγκόσμιου πληθυσμού συγκεντρώνεται στις μεγαλουπόλεις. Για αυτό, δημιουργούνται νέα ζητήματα προς διερεύνηση όπως η επίδραση του αστικού περιβάλλοντος στην ανθρώπινη υγεία μέσω δεικτών θνησιμότητας και δυσφορίας ακόμη και με την εμφάνιση ακραίων καιρικών συνθηκών όπως πολύ υψηλών θερμοκρασιών (Zhang, 2011). Εκτός από την επίδραση στις θερμοκρασίες των πόλεων, οι αστικοποίηση επιδρά και σε άλλες κλιματολογικές παραμέτρους (Bousse, 2009).

Το UHI (Urban Heat Island) είναι ένα από τα πιο συχνά φαινόμενα που μελετώνται και σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή (Santamouris, 2007). Η διαφορά ανάμεσα στο κλίμα των περιχώρων μιας πόλης και στο κλίμα αυτής αναφέρεται ως "αστικό κλίμα". Οι πιο καθοριστικοί παράγοντες του αστικού κλίματος είναι οι θερμοκρασίες επιφανείας και αέρα, οι μεταβολές του ισοζυγίου ακτινοβολιών, η μικρή σχετική υγρασία και η περιορισμένη ατμοσφαιρική ανάμειξη του αέρα (Kuttler, 2008). Μελέτες για το αστικό κλίμα έχουν ασχοληθεί σε μεγάλο βαθμό με την αστική θερμική νησίδα που είναι καλά τεκμηριωμένη, τουλάχιστον για πόλεις μεσαίου γεωγραφικού πλάτους.

1.2 Μέτρηση Αστικής θερμικής νησίδας

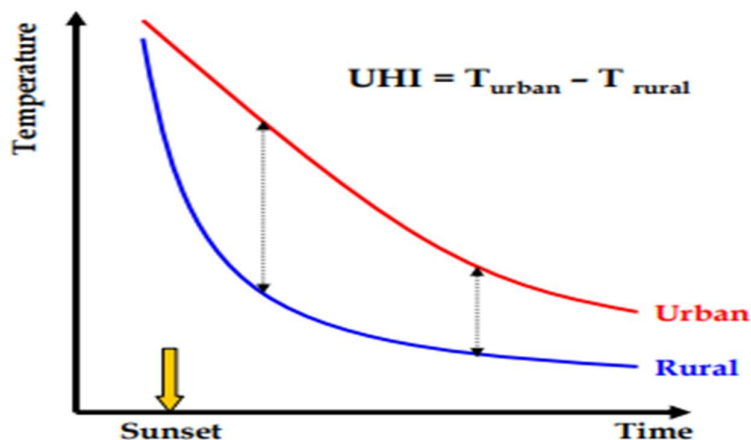
Η αστική θερμική νησίδα είναι ένα φαινόμενο όπου οι αστικές περιοχές και ιδιαίτερα το κέντρο των μεγαλουπόλεων είναι θερμότερα από της υπαίθριες και ημι-αγροτικές περιοχές (Coutts, 2009). Το (UHI), αναφέρει ότι οι θερμοκρασίες στις αστικές περιοχές είναι υψηλότερες από ό,τι στις γύρω περιοχές (Σχήμα 1.1), επομένως μεγενθύνει τις αρνητικές επιπτώσεις της έκθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες. Η ευπάθεια των κατοίκων σε υψηλές θερμοκρασίες έχει αυξημένο ενδιαφέρον καθώς εξετάζεται πώς η κλιματική αλλαγή θα επηρεάσει τις πόλεις δεδομένου ότι είναι πιθανό η αλλαγή του κλίματος σε συνδυασμό με το UHI να προκαλέσει περισσότερους θανάτους (Räsänen, 2019).



Σχήμα 1.1 Διακυμάνσεις της θερμοκρασίας του αέρα σε ένα τυπικό αστικό κέντρο. Πηγή : (Bousse 2009)

Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας μπορεί να ποσοτικοποιηθεί από τη μέγιστη διαφορά μεταξύ της αστικής θερμοκρασίας και της θερμοκρασίας υποβάθρου της υπαίθρου (Σχήμα 1.2), έτσι ορίζεται η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας (UHI) (Mihalakakou, 2004). Στην ιδανική περίπτωση, μια αστική θερμική νησίδα είναι η διαφορά της θερμοκρασίας που βρίσκεται μια δεδομένη τοποθεσία μέσα στη πόλη από τη θερμοκρασία που θα είχε η ίδια τοποθεσία χωρίς την παρουσία της πόλης. Δεδομένου ότι μια τέτοια μέτρηση δεν είναι δυνατή, δύο τεχνικές μπορεί να εφαρμοστούν για την αξιολόγηση μιας θερμικής νησίδας (Tsoka, 2017).

Το μέγεθος της θερμικής νησίδας μπορεί να προσεγγιστεί λαμβάνοντας την ταυτόχρονη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ μιας αστικής τοποθεσίας και οποιασδήποτε κοντινής αγροτικής τοποθεσίας με παρόμοια γεωγραφικά χαρακτηριστικά. Αυτή η τεχνική είναι εξαιρετική για τον προσδιορισμό του μεγέθους και της έντασης ανά πάσα στιγμή. Μια δεύτερη προσέγγιση αναλύει τις τάσεις διαφορών κλιματολογικών παραμέτρων μεταξύ σταθμού εντός πόλης και ενός σε κοντινή αγροτική περιοχή. Αυτή η προσέγγιση ανταποκρίνεται σε μακροπρόθεσμες μεταβολές, αλλά έχει περιορισμένη ικανότητα να εκτιμήσει το μέγεθος (Magee, 1999)



Σχήμα 1.2 Η ένταση του UHI και η διαφορική θέρμανση αστικών-υπαίθριων περιοχών Πηγή: (Coutts 2009)

1.3 Είδη Αστικής θερμικής νησίδας

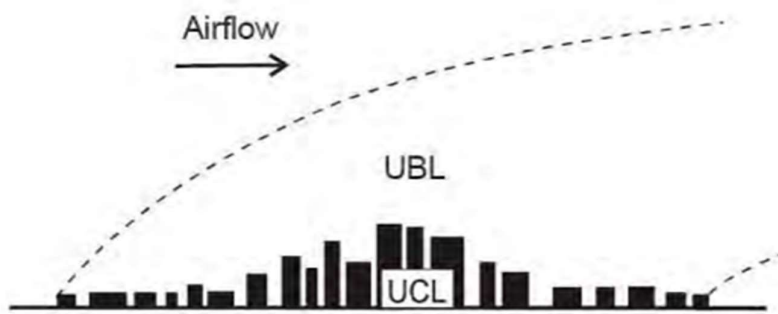
Η σύσταση του οριακού στρώματος της αστικής ατμόσφαιρας διαφέρει από αυτή της υπαίθρου εξαιτίας δομής, του μεγέθους και του είδους των κτιρίων που επηρεάζουν την ροή του αέρα μέσω μηχανικής και θερμικής ανατάραξης (Taha, 1997). Το εσωτερικό οριακό στρώμα πάνω από την πόλη διαφέρει από αυτό της υπαίθρου καθώς αλλάζει η μορφολογία της επιφάνεια του εξαιτίας του αστικού ιστού. Το αστικό οριακό στρώμα είναι μέσης χωρικής κλίμακας που καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά της αστικής επιφάνειας και απαρτίζεται από το αστικό οριακό στρώμα (Urban Boundary Layer) που παραμένει ανεπηρέαστο από τον αστικό ιστό, τον αστικό θόλο (Urban Canopy Layer) που καθορίζεται από τα αστικά φαράγγια ανάμεσα στα κτήρια, το αστικό νέφος (Urban Plume) που εντοπίζεται στην υπήνεμη πλευρά της πόλης (Bousse, 2009).

Σύμφωνα με την βιβλιογραφία εντοπίζονται 3 είδη αστικής θερμικής νησίδας:

1. Θερμική νησίδα θόλου
2. Θερμική νησίδα ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος
3. Θερμική νησίδα επιφανείας

Τα 2 πρώτα αναφέρονται σε θέρμανση της ατμόσφαιρας ενώ το 3^ο σε αυτή της επιφάνειας του αστικού ιστού. Η διαφορά μεταξύ της θερμικής νησίδας θόλου και αυτής του οριακού στρώματος έγκειται στο στρώμα της αστικής ατμόσφαιρας που αναφέρονται. Η μεν αφορά στο στρώμα του αέρα που βρίσκεται ακριβώς πάνω από την επιφάνεια του αστικού ιστού δηλαδή στον χώρο ανάμεσα στα κτίρια, η δε ακριβώς από πάνω της. (Oke, 1982). Το αστικό στρώμα θόλου (UCL) μετράται μεταξύ του εδάφους και το μέσο επίπεδο των κτιρίων της πόλης σαν ένα φυτικό στρώμα θόλου Αυτό το στρώμα περιλαμβάνει τα στοιχεία τραχύτητας όπως κτίρια. (Stathopoulou, 2007).

Διαφορετικές διαδικασίες επηρεάζουν την ένταση της θερμικής νησίδας στα 2 στρώματα. Στην νησίδα θόλου διαδικασίες μικρής κλίμακας είναι αυτές που επιδρούν ενώ σε αυτή του ΑΟΣ μέσης και μεγάλης κλίμακας. Το οριακό ατμοσφαιρικό στρώμα (UBL) βρίσκεται πάνω από το UCL (Σχήμα 1.3) και επηρεάζεται λιγότερο από την παρουσία της πόλης και περισσότερο από φαινόμενα μέσης κλίμακας τόσο χωρικής όσο και χρονικής (Bousse, 2009).



Σχήμα 1.3 Σύσταση οριακού στρώματος αστικής ατμόσφαιρας. Πηγή: (Oke 1982)

1.4 Αιτίες δημιουργίας του UHI

Η αστικοποίηση αλλάζει την μορφή των επιφανειών η οποία με την σειρά της επιδρά στις διαδικασίες απορρόφησης, ανάκλασης και εκπομπής της ηλιακής ακτινοβολίας. Επιπλέον, άλλες δυναμικές διαδικασίες που επηρεάζονται είναι η εναλλαγή θερμότητας – υγρασίας μεταξύ επιφανείας και ατμόσφαιρας (Zhang, 2011).

Σύμφωνα με ορισμένους συγγραφείς, οι τροποποιήσεις που δημιουργούνται από τη διαδικασία της αστικοποίησης στις αστικές επιφάνειες με την αλλαγή των θερμικών ιδιοτήτων τους είναι οι πιο σημαντικός παράγοντας σχηματισμού του UHI. Αυτά τα αποτελέσματα επιβεβαιώνονται από πειράματά (Montavez, 1999).

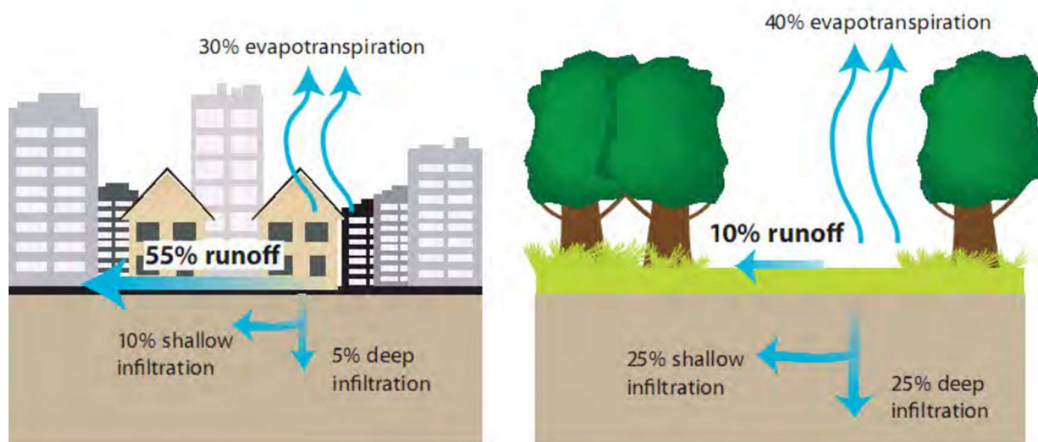
Οι μηχανισμοί και οι διαδικασίες που συμπεριλαμβάνονται στο φαινόμενο είναι αρκετά πολύπλοκοι ωστόσο αυτοί που επικρατούν σε μικρή κλίμακα είναι το ισοζύγιο ενέργειας, ακτινοβολίας, η θερμοχωρητικότητα και η ποσότητα των υδάτων (Unger 2001). Δευτερευούσης σημασίας για το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (UHI), είναι η αστική γεωμετρία, η ατμοσφαιρική ρύπανση και η ανθρωπογενής θερμότητα που απελευθερώνεται από τις αστικές δραστηριότητες (Hassan, 2021).

Επιπλέον, η δομή των πόλεων με τα αστικά φαράγγια και την πολύπλοκη γεωμετρία των δρόμων μειώνει την τυρβώδη μεταφορά θερμότητας εμποδίζει την διαφυγή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας προς την ανώτερη τροπόσφαιρα. Ακόμη, οι επιφάνειες των πόλεων έχουν αντικαταστήσει τη φυσική βλάστηση με αποτέλεσμα την μείωση της διαφυγής λανθάνουσας θερμότητας λόγω εξάτμισης (Stathoroulou, 2007).

Οι κύριες αιτίες που επηρεάζουν το αστικό κλίμα και οφείλονται στην διαφοροποίηση των επιφανειών των πόλεων από το φυσικό περιβάλλον είναι:

- I. Η αντικατάσταση του φυσικού εδάφους με τεχνητό όπως τσιμέντο, ασφαλτο κ.α. που είναι κοινό γνώρισμα όλων των αστικών περιοχών. Για παράδειγμα η ασφαλτος έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα και μικρή ανακλαστικότητα (Stathoroulou, 2007).
- II. Η διαφοροποίηση των επιφανειών ως προς την πυκνότητα, την θερμοχωρητικότητα, την θερμική αγωγιμότητα και την θερμική διάχυση είναι αυτή που καθορίζει και την συμπεριφορά τους απέναντι στην ηλιακή ακτινοβολία (Unger, 2001).

- III. Ακόμη, η συμπεριφορά των επιφανειών του αστικού ιστού στην απορροή των υδάτων από τις κατακρημνίσεις επιδρά στην εκπομπή μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (υπέρυθρης) από αυτές (Σχήμα 1.4). Αυτό συμβαίνει διότι η ραγδαία απορροή των υδάτων από την αστική επιφάνεια μέσω των φρεατίων μειώνει την ποσότητα τους στην επιφάνεια και περιορίζει τη δυνατότητα εξάτμισης επομένως πιο πολύ ενέργεια είναι διαθέσιμη για θέρμανση των επιφανειών ενώ και η λανθάνουσα θερμότητα λόγω εξάτμισης που ψύχει τις επιφάνειες μειώνεται (Kuttler, 2008). Ο μεγάλος όγκος τεχνητών υλικών δίνει στις αστικές περιοχές πολύ υψηλότερη θερμική ικανότητα αποθήκευσης από τις φυσικές επιφάνειες και χαμηλότερες τιμές λευκαύγειας σε σύγκριση με τα αγροτικά περιβάλλοντα. Το τυπικό εύρος λευκαύγειας των αστικών επιφανειών κυμαίνεται μεταξύ 0,10 και 0,20. Αποτέλεσμα, είναι ότι μεγάλες ποσότητες ενέργειας αποθηκεύονται στον αστικό θόλο κατά τη διάρκεια της ημέρας και απελευθερώνονται μετά τη δύση του ηλίου (Golden, 2004).
- IV. Η βλάστηση καλύπτει μόνο ένα μικρό μέρος της επιφάνειας των πόλεων. Κατά συνέπεια, η εξατμισοδιαπνοή μειώνεται σημαντικά και οι αστικές περιοχές σχεδόν μοιράζονται αποκλειστικά, την ηλιακή ακτινοβολία σε αισθητή και όχι σε λανθάνουσα θερμότητα (Coutts et al., 2007). Η βλάστηση και η υγρασία έχουν σημαντική επίδραση στο μικροκλίμα. Κάθε επιφάνεια με βλάστηση χρησιμοποιεί μεγάλο ποσοστό καθαρής ηλιακής ακτινοβολίας μετατρέποντας την σε ενέργεια για την εξατμισοδιαπνοή και τη φωτοσύνθεση (Arnfield, 2003).

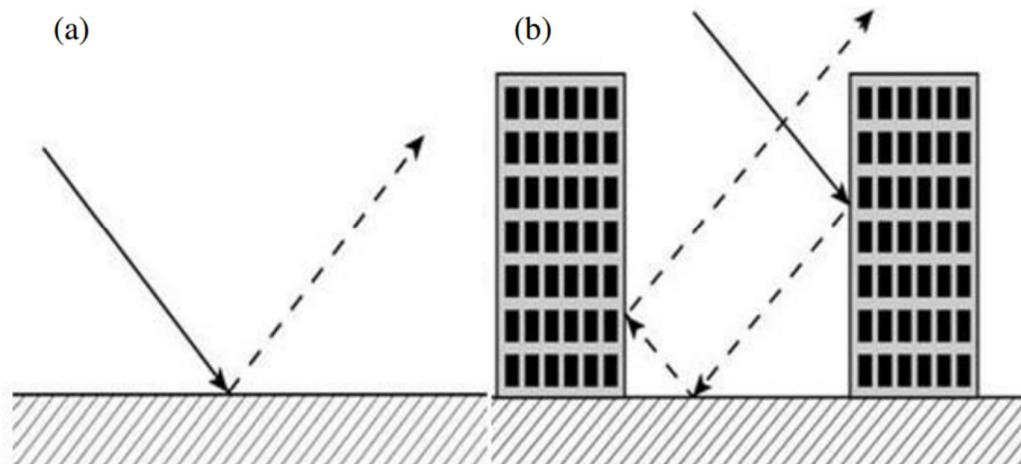


Σχήμα 1.4 Διαφοροποίηση στην απορροή των υδάτων και στην εξατμισοδιαπνοή. Πηγή: (Bousse 2009)

- V. Η μείωση της εκπομπής μεγάλου μήκους κύματος (υπέρυθρης) ακτινοβολίας από τις επιφάνειες εξαιτίας του εγκλωβισμού της από τα αστικά φαράγγια. Η γεωμετρία των κτιρίων έχει πολύπλοκη επίδραση στην αστική ατμόσφαιρα, η οποία περιλαμβάνει τη μειωμένη ταχύτητα του ανέμου και αύξηση της τυρβώδους ροής μειώνοντας την απώλεια της αισθητής και της λανθάνουσας θερμότητας και παγιδεύοντας την ακτινοβολία υπέρυθρων κυμάτων στα αστικά φαράγγια και μειώνοντας έτσι την απώλεια ενέργειας (Oke, 1981). Η απόφραξη του ουρανού είναι ίσως η πιο σημαντική από τις γεωμετρικές επιπτώσεις των κτιρίων προκαλώντας καθυστέρηση της ψύξης του εδάφους σε συνθήκες ανέφελων και νήνεμων νυχτών. Έτσι, η ένταση της θερμικής νησίδας για

πολλές πόλεις λειτουργεί και σαν ένα μέτρο της αστικής τους γεωμετρίας. (Barrington, 1985).

- VI. Η κατανομή της θερμοκρασίας στις αστικές περιοχές επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από το ισοζύγιο της ακτινοβολίας. Η ηλιακή ακτινοβολία που προσπίπτει σε αστικές επιφάνειες απορροφάται και στη συνέχεια μετατρέπεται σε αισθητή θερμότητα. Το μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας προσπίπτει στις στέγες και τους κατακόρυφους τοίχους των κτιρίων, και μόνο ένα σχετικά μικρό τμήμα φτάνει στην επιφάνεια (Bottyan et al., 2004). Οι τοίχοι, οι στέγες και το έδαφος εκπέμπουν ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος στην αστική ατμόσφαιρα. Η ένταση της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από τον συντελεστή θέασης της επιφάνειας. το μεγαλύτερο μέρος του ουρανού θόλου καλύπτεται από τοίχους και οι επιφάνειες μπλοκάρονται από άλλα κτίρια, και έτσι η υπέρυθη ακτινοβολία δεν μπορεί να διαφύγει. Το καθαρό υπόλοιπο μεταξύ των ηλιακών κερδών και της απώλεια θερμότητας από την εκπεμπόμενη ακτινοβολία υπέρυθρων κυμάτων καθορίζει το θερμικό ισοζύγιο των αστικών περιοχών (Σχήμα 1.5) (Mihalakakou et al. 2002). Η πολλαπλή ανάκλαση της ακτινοβολίας υπέρυθρων κυμάτων μεταξύ των επιφανειών του αστικού φαραγγιού, μειώνει την λευκαύγεια του συστήματος (Elliot et al., 2020).

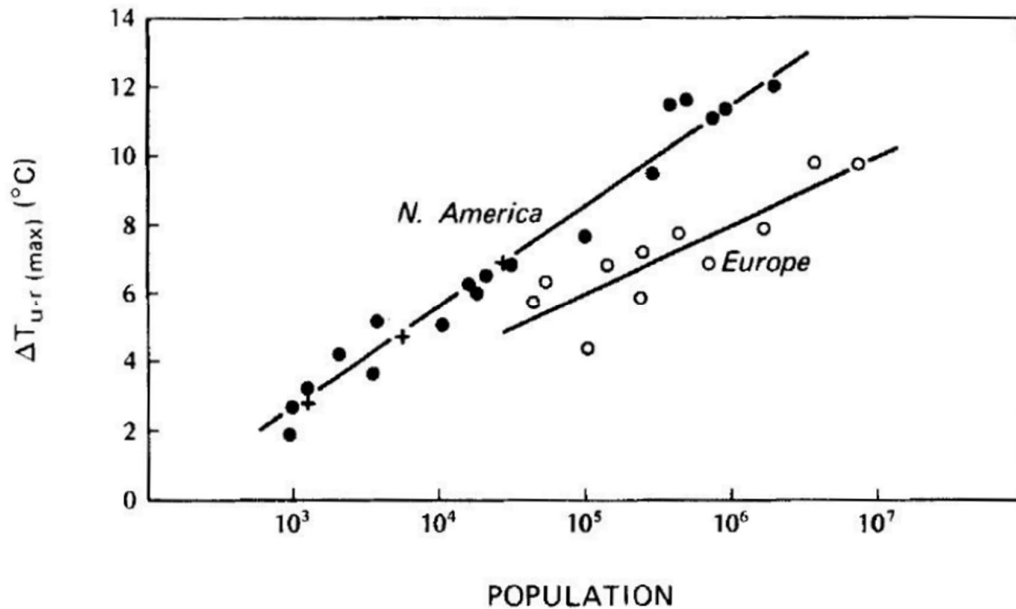


Σχήμα 1.5 Ανάκλαση προσπίπτουσας ακτινοβολίας σε επίπεδη επιφάνεια (a) σε τυπική αστική επιφάνεια (b) Πηγή: (Arnfield et al., 2003).

- VII. Η απελευθέρωση στερεών, υγρών και αερίων ρυπαντών καθώς και θερμότητας από τις ανθρώπινες δραστηριότητες χαρακτηρίζεται ως ανθρωπογενής θερμότητα και περιλαμβάνει τη διαφυγή θερμότητας από αυτοκίνητα, σπίτια, εργοστάσια ή οποιαδήποτε άλλη ανθρώπινη πηγή (Magee, 1999). Οι ατμοσφαιρικοί ρύποι, ιδίως τα αερολύματα άνθρακα, μπορούν να συμβάλλουν στο UHI απορροφώντας, και εκ νέου επανεκπέμποντας ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος τη νύχτα. Έτσι σχηματίζεται ένα θερμοκηπιακό φαινόμενο που εμποδίζει την ψύξη των αστικών περιοχών (Arnfield et al., 2003). Η υψηλή απελευθέρωση του ανθρωπογενούς θερμότητας θα μπορούσε να οδηγήσει σε πιο έντονο UHI, ιδιαίτερα νωρίς το πρωί και αργά το απόγευμα όταν το ενεργειακό ισοζύγιο δεν κυριαρχείται από τον εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία (Giannaros et al., 2012).

1.5 Παράγοντες που επηρεάζουν την ένταση του UHI

Η ένταση του φαινομένου όπως ήταν αναμενόμενο είναι ανάλογη του μεγέθους της πόλης και πιο συγκεκριμένα του πληθυσμού καθώς είναι ένα εύκολα μετρήσιμο μέγεθος (Kuttler, 2008). Η χρήση του πληθυσμού και του μεγέθους της πόλης ως δείκτης του UHI έχει μελετηθεί από τον (Oke, 1982). Βρέθηκε ότι τα δύο συσχετίζονται θετικά (Σχήμα 1.6) καθώς ο πληθυσμός και το μέγεθος της πόλης έχουν επίδραση στον αριθμό των κτιρίων και των οχημάτων. Αν και οι πόλεις με μεγάλο πληθυσμό τείνουν να φιλοξενούν υψηλά κτίρια μεταβλητές όπως τα υλικά των κτιρίων, η πυκνότητα τους, ο συντελεστής προβολής του ουρανού δεν εξαρτώνται πάντα από τον πληθυσμό (Taha, 1997).



Σχήμα 1.6 Μεταβολή του UHI με τον πληθυσμό για διάφορες πόλεις. Πηγή: (Oke 1991)

Άλλοι παράγοντες που επηρεάζουν το UHI είναι μετεωρολογικές μεταβλητές εκ των οποίων οι πιο σημαντικές είναι η ταχύτητα του ανέμου και η νεφοκάλυψη (Oke, 1982). Αυτό οφείλεται στο ρόλο που παίζουν αυτές οι μεταβλητές στις ακτινοβολίες και στις τυρβώδεις ροές γύρω από την αστική περιοχή (Morris et al., 2001). Η ένταση και η εμφάνιση του UHI μειώνεται σε συνθήκες ανέμου και συννεφιάς όταν ο αέρας είναι καλά αναμεμιγμένος και η τοπικές θερμοκρασιακές διαφορές εξαλείφονται (Oke, 1982). Αντίθετα, χαμηλές ταχύτητες ανέμου και μικρή ή καθόλου νεφοκάλυψη σχετίζεται με υψηλές εντάσεις και συχνότητες εμφάνισης του φαινομένου (Mihalakakou et al., 2002). Αυτό οφείλεται στο ότι επηρεάζουν την ηλιοφάνεια και τον αερισμό της αστικής ατμόσφαιρας. Και οι δύο αυτές μετεωρολογικές μεταβλητές επηρεάζουν την ατμοσφαιρική σταθερότητα, την οποία ο Lee (1975) έδειξε ότι έχει ισχυρή συσχέτιση με την ένταση του UHI. Οι περισσότερες μελέτες του UHI μέχρι σήμερα περιορίζονται σε αίθριες συνθήκες που θεωρούνται βέλτιστες για την ανάπτυξη του φαινομένου (κατά τη διάρκεια αντικυκλωνικών συνθηκών με ανέφελο ουρανό και νηνεμία) (Morris, 2001).

Ο άνεμος στον αστικό ιστό της πόλης συνήθως έχει μικρότερες τιμές ταχύτητας από αυτές της υπαίθρου. Όμως έχει παρατηρηθεί ότι κατά την διάρκεια αίθριων και νηνεμων ημερών ιδιαίτερα τις πρωινές ώρες όπου η αστική θερμική νηίδα είναι

εντονότερη η ταχύτητες του ανέμου επιφανείας είναι μεγαλύτερες στις αστικές περιοχές από τις ημιαστικές (Kassomenos, 2006). Αυτή η κυκλοφορία προκαλείται εξαιτίας της διαφορικής θέρμανσης των επιφανειών που είναι ικανή να δημιουργήσει οριζόντια βαροβαθμίδα ανάμεσα στις αστικές και ημιαστικές-υπαίθριες περιοχές (Kuttler, 2008).

Ο αίθριος καιρός με νηνεμία και ανέφελο ουρανό ευνοεί το φαινόμενο καθώς οι μεγαλύτερες εντάσεις παρατηρούνται νύχτα και με επικράτηση υψηλών συστημάτων πίεσης και λιγότερο υπό θυελλώδεις και συννεφιασμένες καιρικές συνθήκες κυκλωνικές (χαμηλή πίεση). Η αστική θερμική νησίδα προκαλεί μέσης κλίμακας κυκλοφορία όπως (αστική αύρα) όταν η χωρική έκταση του φαινομένου είναι μεγάλη. Σε παραθαλάσσιες και πόλεις δίπλα σε λίμνη η αλληλεπίδραση θαλάσσιας/λιμναίας αύρας και αστικής θερμικής νησίδας δημιουργεί μια έντονη ζώνη σύγκλισης πάνω από το κέντρο των πόλεων με αποτέλεσμα την ενίσχυση της ροής της αύρας (Zhang, 2011).

Πάνω από 80% των ωριαίων τιμών θερμοκρασίας του αστικού ιστού κατά την διάρκεια ενός έτους είναι μεγαλύτερες από αυτές της υπαίθρου τουλάχιστον κατά 1 K. Η ένταση του φαινομένου είναι εντονότερη κατά την επικράτηση αίθριων και ανέφελων ωστόσο παρατηρείται μεγαλύτερη επίδραση στην ένταση από την ύπαρξη ισχυρών ανέμων που ευνοεί την ανάμειξη και λιγότερο από το ποσοστό της νεφοκάλυψης (Kuttler, 2008).

Στις παραθαλάσσιες περιοχές μεσαίου γεωγραφικού πλάτους υπάρχει μια εποχιακή διακύμανση στη αστική θερμική νησίδα και η μεγαλύτερη ένταση εμφανίζεται το θερμότερο εξάμηνο του έτους, ιδιαίτερα το καλοκαίρι λόγω συχνότερου αντικυκλωνικού καιρού, (Oke, 1982). Διάφορες μελέτες διαπίστωσαν ότι το φθινόπωρο και η άνοιξη έπονται του καλοκαιριού στην ένταση της θερμικής νησίδας (Santamouris, 2007) και ο χειμώνας είναι η εποχή του χρόνου με την λιγότερη ένταση (Oke, 1982).

Το φαινόμενο εμφανίζεται τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας ενώ το χωρικό και χρονικό μοτίβο του ελέγχεται έντονα από το μοναδικά χαρακτηριστικά κάθε αστικής περιοχής. Η πόλη της Αθήνας για παράδειγμα χαρακτηρίζεται από ένα ισχυρό φαινόμενο θερμικής νησίδας, που προκαλείται κυρίως από το επιταχυνόμενη εκβιομηχάνιση και αστικοποίηση που συντελείται τα τελευταία χρόνια. Με αποτέλεσμα να εμφανίζεται τόσο κατά τη καλοκαιρινή όσο και τη χειμερινή περίοδο, με μέση ημερήσια ένταση να κυμαίνεται μεταξύ 6-12 °C (Mihalakakou, 2004).

1.6 Επιπτώσεις του UHI

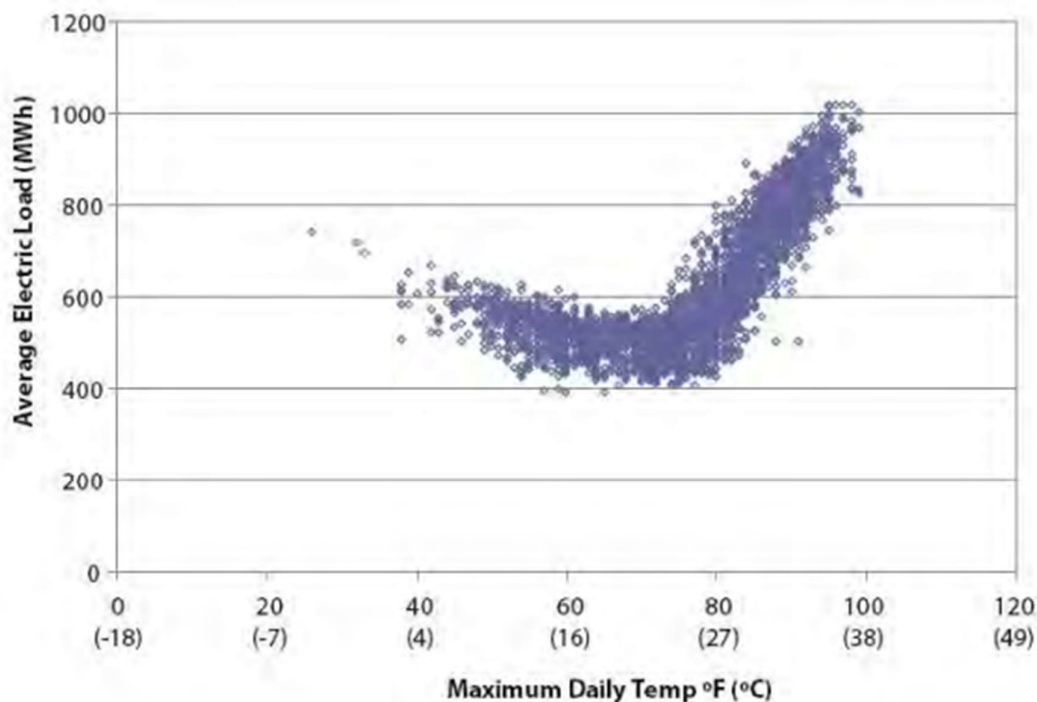
Το (UHI) είναι ιδιαίτερα σημαντικό για τη περιοχή της Μεσογείου, καθώς η κλιματική αλλαγή και τα σενάρια που προβλέπουν ταχεία αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας για τα επόμενα χρόνια, λόγω της ευρείας διάδοσης των συστημάτων κλιματισμού και την αύξηση της ζήτησης ψύξης. Η ένταση του UHI είναι επομένως μια βασική μεταβλητή για την πρόβλεψη των ενεργειακών αναγκών στις αστικές περιοχές (Salvati, 2017). Τα αποτελέσματα μελετών που ερευνούν την αστική θερμική νησίδα για μια αστική περιοχή (πόλη) είναι χρήσιμα για την πρόγνωση και τον σχεδιασμό των ενεργειακών απαιτήσεων ιδιαίτερα την χειμερινή και θερινή περίοδο του έτους όπου η ενεργειακή κατανάλωση είναι μέγιστη για θέρμανση και για ψύξη αντίστοιχα (Unger, 2001).

Οι θερμικές νησίδες έχουν μεγάλη επιρροή στην ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων. Υψηλές θερμοκρασίες που προκαλεί το φαινόμενο αυξάνουν την ενεργειακή κατανάλωση των κτιρίων για ψύξη και μειώνουν την απόδοση του κλιματισμού. Ταυτόχρονα μειώνουν το δυναμικό των φυσικών μεθόδων εξαερισμού των πόλεων,

αυξάνοντας τα επίπεδα ρύπανσης του αστικού αέρα (Santamouris, 2007). Εκτιμάται ότι στις περιοχές μεσαίου γεωγραφικού πλάτους θα παρουσιαστεί η μεγαλύτερη αύξηση στην ετήσια κατανάλωση ενέργειας λόγω της κλιματικής αλλαγής και του UHI, γιατί θα υπάρξει ζήτηση για ψύξη το φθινόπωρο και την άνοιξη πέραν του καλοκαιριού (Salvati, 2017).

Οι υψηλότερες θερμοκρασίες του φαινομένου έχουν θετική επίδραση κατά την επικράτηση της χειμερινής περιόδου του έτους αφού η ζήτηση ενέργειας μειώνεται ενώ το αντίθετο συμβαίνει την καλοκαιρινή περίοδο (Tsoka et al., 2017). Έτσι η αστική θερμική νησίδα έχει τόσο θετικές όσο και αρνητικές επιδράσεις στην κατανάλωση ενέργειας. Για αυτό επιχειρήθηκε μια συσχέτιση του φαινομένου με την κατανάλωση ενέργειας μέσω μετρήσεων των εκπομπών CO₂ για το Λονδίνο όπου βρέθηκε ότι και για τις 2 περιόδους του χρόνου τόσο για θέρμανση όσο και για ψύξη η εκπομπή CO₂ άρα και η κατανάλωση αυξήθηκε κατά 2.8%/°C (Watkins, 2002).

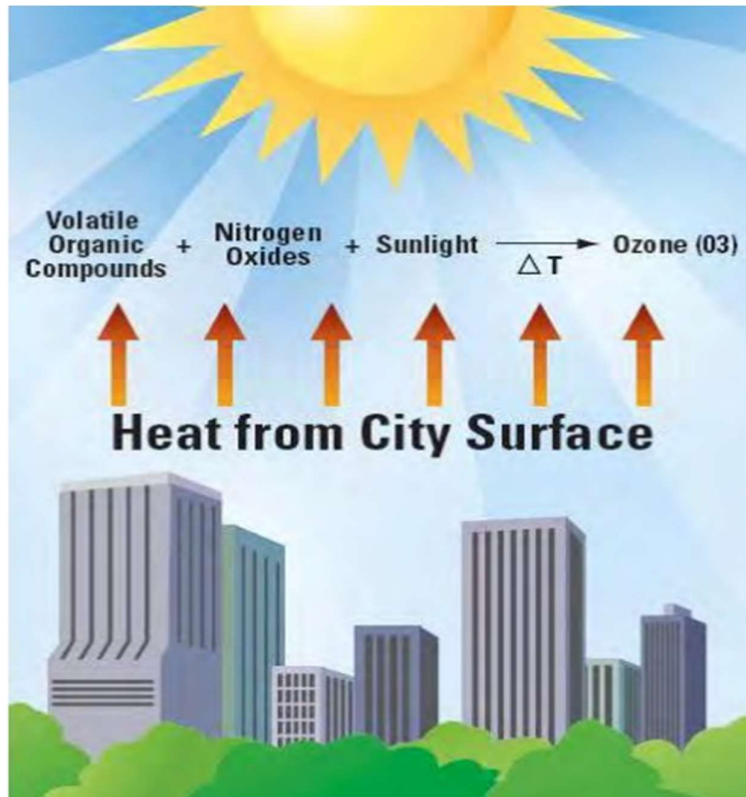
Ένα καθαρό καλοκαιρινό απόγευμα, η θερμοκρασία του αέρα σε μια τυπική πόλη είναι έως και 2,5 °C υψηλότερη από ό,τι στις γύρω αγροτικές περιοχές. Βρέθηκε ότι η μέγιστη αστική ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται κατά 2-4% για κάθε άνοδο κατά 1.8 C της ημερήσιας μέγιστης θερμοκρασίας (Σχήμα 1.7). Έτσι, η πρόσθετη χρήση κλιματισμού που προκαλείται από αυτήν την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στην πόλη είναι υπεύθυνη για την αύξηση 5-10% της αστικής ζήτησης ηλεκτρικής (Akbari et al., 2001).



Σχήμα 1.7 Συσχέτιση μεταξύ της μέσης ημερήσιας κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας για την Νέα Ορλεάνη και της μέγιστης ημερήσιας αστικής θερμοκρασίας. Πηγή: (Akbari 2001)

Η αυξημένες εκπομπές φωτοχημικών αερίων σε συνδυασμό με την αστική θερμική νησίδα έχουν ισχυρή επίδραση στην μείωση της ποιότητας του αστικού αέρα. Έχει βρεθεί έντονη συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας του αέρα και της συγκέντρωσης του τροποσφαιρικού όζοντος. Παρατηρείται ταύτιση των διακυμάνσεων της

συγκέντρωσης του όζοντος και της θερμοκρασίας κυρίως κατά την διάρκεια της ημέρας. Αυτό συμβαίνει διότι μεγάλες τιμές ηλιακής ακτινοβολίας είναι διαθέσιμες για τους μηχανισμούς παραγωγής όζοντος (Σχήμα 1.8) (Santamouris et al., 2007). Η αυξημένη θερμοκρασία του αέρα στις αστικές περιοχές μπορεί επίσης επιταχύνει ορισμένους ατμοσφαιρικούς χημικούς κύκλους, οδηγώντας σε αύξηση των συγκεντρώσεων του όζοντος στο έδαφος (Räsänen, 2019). Η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα οδηγεί σε περισσότερα περιστατικά αναπνευστικών ασθενειών, μια άλλη αρνητική επίπτωση του η επίδραση του UHI στη δημόσια υγεία (Giannaros, 2012).



Σχήμα 1.8 Διαδικασία παραγωγής όζοντος στα αστικά κέντρα.

Η υπερθέρμανση στις αστικές περιοχές θα μπορούσε να επιδεινωθεί σημαντικά ως αποτέλεσμα του UHI. Κατά τη διάρκεια καύσωνα, τα ποσοστά θανάτων στις πόλεις είναι συχνά πολύ υψηλότερα από ό,τι στις αγροτικές περιοχές (Kassomenos, 2006). Σύμφωνα με επιδημιολογικές μελέτες, Οι άνθρωποι που ζουν σε αστικές περιοχές αντιμετωπίζουν αυξημένο κίνδυνο θανάτου σε σύγκριση με όσους ζουν σε προαστιακές ή αγροτικές περιοχές, ως αποτέλεσμα των αυξημένων θερμοκρασιών. Ενώ οι θερμικές νησίδες θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε αύξηση της θνησιμότητας που σχετίζεται με τη ζέστη το καλοκαίρι, θα μπορούσαν επίσης να οδηγήσουν σε λιγότερους θανάτους κατά τη διάρκεια του χειμώνα (Giannaros et al., 2012).

1.7 Τρόποι περιορισμού του UHI

Η προσπάθεια περιορισμού της έντασης του φαινομένου εστιάζεται σε 2 τρόπους: Στους χώρους πρασίνου των πόλεων και στην χρήση κατάλληλων υλικών στα κτίρια και στις αστικές επιφάνειες. Η μεγάλη λευκαύγεια των επιφανειών του αστικού ιστού

καθώς και η αύξηση της φυτοκάλυψης μειώνει την θερμοκρασία επιφανείας του αέρα (Taha, 1997).

Η ένταση της θερμικής νησίδας μπορεί να μειωθεί σημαντικά μειώνοντας την ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τις επιφάνειες. Αυτό επιτυγχάνεται με την αύξηση της λευκαύγειας των πόλεων με τη χρήση υλικών για τα κτίρια και τις αστικές επιφάνειες που να παρουσιάζουν υψηλή ανακλαστικότητα στην ηλιακή ακτινοβολία (Santamouris, 2007). Η ηλιακή ανάκλαση μιας επιφάνειας σε όλο το φάσμα μπορεί να διαφέρει από την ανάκλαση στο ορατό επειδή το ορατό φως (μήκη κύματος 400 – 700 nm) συνήθως αντιπροσωπεύει μόνο το 43% της ενέργειας του ηλιακού φάσματος (300 – 2500 nm). Ένα άλλο 52% βρίσκεται στο εγγύς υπέρυθρο (700 – 2500 nm), και 5% στο υπεριώδες (300 – 400 nm) (Levison et al., 2002).

Η αύξηση της ανάκλασης μιας επιφάνειας τη διατηρεί σε χαμηλότερη θερμοκρασία, μειώνοντας τη μεταφορά του θερμότητας από την επιφάνεια στον αέρα και έτσι μειώνεται η θερμοκρασία περιβάλλοντος αέρα. Οι χαμηλότερες θερμοκρασίες του αέρα μειώνουν τη ζήτηση για ενέργεια ψύξης (Coutts, 2009). Συγκεκριμένα, έχει διαπιστωθεί οι λευκές επιφάνειες παρουσιάζουν πολύ χαμηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες από τα κοινά υλικά και μπορούν να συμβάλλουν σημαντικά στη μείωση των αστικών θερμοκρασιών περιβάλλοντος και στην μείωση των επιπτώσεων των θερμικών νησίδων εξαιτίας της υψηλής ανακλαστικότητας τους κατά την διάρκεια της μέρας. Τη νύχτα όμως επιφάνειες με χαμηλές τιμές εκπομπής (υπέρυθρη ακτινοβολία) είναι προτιμότερες (Santamouris, 2007).

Ωστόσο η μεγάλη λευκαύγεια και κατά συνέπεια η μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας δεν έχει μόνο ευεργετικές ιδιότητες. Σε παράκτιες πόλεις η μείωση της έντασης του φαινομένου επηρεάζει τον μηχανισμό της θαλάσσιας αύρας μειώνοντας την κυκλοφορία που αποφορτίζει από τους ρύπους την πόλη μεταφέροντας τους πάνω από την θάλασσα. Επιπλέον, η μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας περιορίζει το βάθος του ατμοσφαιρικού στρώματος μέσα στο οποίο μπορούν να διαχυθούν οι αστικοί ρύποι έτσι σε μεμονωμένα σημεία μέσα στην πόλη να υπάρχουν υψηλές συγκεντρώσεις ρύπων (Taha, 1997).

Η φύτευση δέντρων έχει άμεση επίδραση μειώνοντας το ατμοσφαιρικό CO₂ δεσμεύει απευθείας τον άνθρακα από τη ατμόσφαιρα μέσω της φωτοσύνθεσης. Ωστόσο, η φύτευση δέντρων στις πόλεις έχει επίσης έμμεσο αποτέλεσμα για το CO₂. Μειώνοντας τη ζήτηση για ενέργεια ψύξης, τα αστικά δέντρα μειώνουν έμμεσα τις εκπομπές CO₂ από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (Watkins, 2002). Ακόμη, η ποσότητα του CO₂ που αποφεύγεται μέσω της έμμεσης επίδρασης είναι σημαντικά μεγαλύτερη από την ποσότητα που απομονώνεται άμεσα. Ομοίως, τα δέντρα παγιδεύουν άμεσα πρόδρομες ουσίες του όζοντος (με ξηρή εναπόθεση), ένα άμεσο αποτέλεσμα, και έμμεσα μειώνουν τις εκπομπές αυτών των προδρόμων ουσιών από τους σταθμούς ηλεκτροπαραγωγής (Akbari et al., 2001).

Τα αστικά πάρκα ή τα δάση μπορούν επίσης να παρέχουν αρκετό χώρο πρασίνου για τη δημιουργία περιοχών με χαμηλότερη θερμοκρασία αέρα και επιφανείας μειώνοντας τις θερμοκρασίες περιβάλλοντος κατά 2-3°C σε σύγκριση με τη γύρω οικιστική περιοχή (Unger, 2001). Συγκεκριμένα η θερμοκρασία του αέρα σε πάρκα στην Αθήνα ήταν 1.5°C μικρότερη σε σχέση με την γειτονικές περιοχές ενώ παρατηρήθηκε και μείωση 70% της άμεσης ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει στο έδαφος εξαιτίας της ύπαρξης δέντρων (Santamouris, 2007).

1.8 Τύποι καιρού

Οι ταξινομήσεις διάφορων μετεωρολογικών παραμέτρων όπως αερίων μαζών, και τύπων καιρού χρησιμοποιούνται στον κλάδο της κλιματολογίας για να εξετάσουν την ημερήσια σχέση μεταξύ του καιρού και μιας σειράς διαφορετικών επιφανειακών φαινομένων (Yarnal, 1993; Barry και Perry, 2001). Ένας τύπος καιρού (Weather Type, WT) μπορεί να οριστεί ως ένα σύνολο μετεωρολογικών καταστάσεων που επικρατούν σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Οι συνοπτικές ταξινομήσεις διαχωρίζουν διαφορετικούς τύπους καιρού που σχετίζονται με φαινόμενα όπως ανεμοστρόβιλοι, καύσωνες μεταφορά αερομεταφερόμενων παθογόνων μικροοργανισμών κ.α. (Coutts et al., 2007).

Ακόμη, οι συνοπτικές ταξινομήσεις έχουν επίσης γίνει πολύ διαδεδομένες στην μελέτη της κλιματικής αλλαγής τα τελευταία χρόνια. Αυτό συμβαίνει λόγω της ικανότητάς τους να λαμβάνουν μετεωρολογικά δεδομένα από παγκόσμια κλιματικά μοντέλα και να τα ταξινομούν σε τύπους καιρού που έχουν σημαντικές επιδράσεις σε μικρές χωρικές κλίμακες. (Lee και Sheridan, 2011).

Οι μετεωρολογικές συνθήκες που περιγράφονται από τους WTs παρέχουν σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τη μεταβλητότητα των κλιματικών χαρακτηριστικών στην περιοχή μελέτης (Lee και Sheridan, 2018). Επιπλέον, οι ενδοετήσιες διακυμάνσεις των συχνοτήτων των WTs συνδέονται με την εποχικότητα του κλίματος, ενώ οι διαχρονικές διακυμάνσεις μπορεί να αποκαλύψουν πιθανές μακροπρόθεσμες τάσεις (Lolis και Kotsias, 2020).

1.9 Τύποι συνοπτικών ταξινομήσεων

Στη βιβλιογραφία εμφανίζονται διαφορετικοί τύποι συνοπτικών ταξινομήσεων όπως η ταξινόμηση μοτίβων χαρτών και η ταξινόμηση τύπων καιρού. Οι ταξινομήσεις μοτίβων χαρτών ενδιαφέρονται για την ατμοσφαιρική κυκλοφορία σε μια ευρεία χωρική κλίμακα, εξετάζοντας μία ή δύο μεταβλητές όπως την πίεση στη στάθμη της θάλασσας, τη θερμοκρασία ή τα γεωδυναμικά ύψη (Kalkstein κ.α., 1998). Η ταξινόμηση τύπων καιρού (μερικές φορές αναφέρεται ως ταξινόμηση αερίων μαζών), επικεντρώνεται στην ταξινόμηση της ημερήσιας «μετεωρολογικής κατάστασης» σε διαφορετικές τοποθεσίες εξετάζοντας ένα πλήθος μετεωρολογικών μεταβλητών προκειμένου να ταξινομηθεί η κάθε μέρα σε έναν από τους διάφορους τύπους καιρού (Lee και Sheridan, 2018).

Κάθε μία από αυτές τις μεθόδους ταξινόμησης μπορεί επίσης να πραγματοποιηθεί είτε με τα ατμοσφαιρικά δεδομένα να ταξινομούνται ανεξάρτητα από την εφαρμογή για την οποία προορίζονται, είτε όταν το συμβάν δηλαδή η ίδια η εφαρμογή παίζει ρόλο στον καθορισμό των ατμοσφαιρικών δεδομένων που θα ταξινομηθούν (Yarnal, 1993). Ο συνδυασμός μεμονωμένων καιρικών στοιχείων σε ομάδες ή τάξεις (classes) που να είναι αντιπροσωπευτικές στη κατάσταση της συνοπτικής κλίμακας, σε μια συγκεκριμένη στιγμή στον χρόνο (Kalkstein and Davis, 1990). Οι κατηγορίες/τάξεις στη συνέχεια μπορούν να σχετίζονται με κάποια περιβαλλοντική παράμετρο, των οποίων οι παραλλαγές να εξαρτώνται από τις διάφορες καταστάσεις της ατμόσφαιρας σε διαφορετικούς χρόνους (Lee και Sheridan, 2018).

1.10 Είδη της συνοπτικής ταξινόμησης τύπων καιρού

Ο Temporal Synoptic Index (TSI), όταν πρωτοεμφανίστηκε, ήταν η πρώτη ταξινόμηση αερίων μαζών /τύπων καιρού. Ο TSI χρησιμοποίησε τεχνικές που εξακολουθούν να χρησιμοποιούνται σε πολλές συνοπτικές ταξινομήσεις μέχρι σήμερα, όπως της ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA). Η πρώτη εφαρμογή του TSI ήταν στην ταξινόμηση των ημερών κακής ποιότητας του αέρα (υψηλές συγκεντρώσεις διοξειδίου του θείου) το χειμώνα στο Delaware από τους (Kalkstein και Corrigan, 1986). Ο TSI, ωστόσο, έχει ένα μειονεκτήματα σχετικά με την ταξινόμηση των τύπων καιρού χωρικά: Τόσο ο αριθμός όσο και η φύση των τύπων καιρού σε κάθε τοποθεσία είναι συχνά διαφορετική (Sheridan, 2000). Αυτό μειώνει τη διαισθητικότητα της ταξινόμησης, καθώς ένας τύπος καιρού X σε μια τοποθεσία μπορεί να είναι εντελώς διαφορετικός σε χαρακτήρα από τον ίδιο τύπο X σε άλλη τοποθεσία (Lee, 2015).

Η μεθοδολογία TSI επανασχεδιάστηκε αργότερα από τους Davis και Kalkstein (1990) ως Spatial Synoptic Index (SSI) σε μια προσπάθεια να βελτιωθεί η συμβατότητα μεταξύ των σταθμών. Σε αυτήν την εξέλιξη της μεθοδολογίας ταξινόμησης τύπων καιρού, οι ερευνητές χρησιμοποίησαν για πρώτη φορά μια συνδυαστική τεχνική PCA/CA (Cluster Analysis) (Kalkstein κ.α., 1996).

Ένα βασικό πλεονέκτημα της ταξινόμησης SSI είναι όπως αναφέρθηκε παραπάνω έναντι, της TSI είναι ότι δεν χρειάζεται να γίνουν ξεχωριστές ταξινομήσεις για διαφορετικές εποχές του χρόνου ή για διαφορετικές τοποθεσίες – καθεμία από τις οποίες ενδέχεται να προκύψουν διαφορετικός αριθμός τύπων καιρού, ή τύποι με διαφορετικό χαρακτηριστικά από εποχή σε εποχή και τόπο σε τόπο (Sheridan κ.α., 2012). Εξαιτίας αυτού, το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό του SSI είναι η καθολικότητα των κατηγοριών που προκύπτουν. Δηλαδή, καθώς μετακινείται κανείς από σταθμό σε σταθμό, το πλήρες σύνολο των τύπων καιρού παραμένουν σταθερά. Έτσι, ενώ η μεθοδολογία της TSI έχει χρησιμοποιηθεί για μια σειρά από συνοπτικές αναλύσεις, το SSI χρησιμοποιείται συχνά για ένα σύνολο δεδομένων (δηλαδή ένα ημερολόγιο ημερήσιων τύπων καιρού) και επομένως είναι πολύ πιο εύκολο να χρησιμοποιηθεί από τους ερευνητές (Lee, 2015).

Κεφάλαιο 2^ο Δεδομένα-Μεθοδολογία

2.1 Δεδομένα

2.1.1 Δεδομένα για τον προσδιορισμό των τύπων καιρού

Τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία για τον προσδιορισμό των τύπων καιρού αποκτήθηκαν από τη βάση δεδομένων NCEP(Το Εθνικό Κέντρο Περιβαλλοντικής Πρόβλεψης)/NCAR(Εθνικό Κέντρο Ατμοσφαιρικής Έρευνας) Reanalysis (<https://iridl.ldeo.columbia.edu/SOURCES/NOAA/NCEPNCAR/CDAS-1/DAILY/>). Τα δεδομένα που ελήφθησαν περιλαμβάνουν ημερήσιες τιμές (12 UTC) πλεγματικών σημείων δύο συνόλων μετεωρολογικών παραμέτρων και αναφέρονται στην περιοχή της δυτικής (Βαρκελώνη),κεντρικής (Λουξεμβούργο) και βόρειας (Ελσίνκι) Ευρώπης και στη χρονική περίοδο 1980-2020.

Η βάση δεδομένων NCEP/NCAR επιλέχθηκε διότι είναι η πιο μακροχρόνια βάση δεδομένων αναδρομικής ανάλυσης (reanalysis) που χρησιμοποιεί το πλήρες σύνολο διαθέσιμων παρατηρήσεων. Επίσης, η επιλογή των παραπάνω παραμέτρων αποφασίστηκε με βάση το γεγονός ότι αντιπροσωπεύουν επαρκώς το κλίμα κάθε περιοχής ενδιαφέροντος το οποίο εξαρτάται από τη θερμοκρασία, την υγρασία, τη νέφωση, τον υετό και τον επικρατούντα άνεμο. Η χρήση των γεωδυναμικών υψών δικαιολογείται λαμβάνοντας υπόψη ότι τα χαρακτηριστικά της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας επηρεάζουν τις επικρατούσες μετεωρολογικές συνθήκες στην κάθε περιοχή.

Το πρώτο σύνολο δεδομένων περιλαμβάνει το γεωδυναμικό ύψος των ισοβαρικών επιφανειών και 1000hPa (σε γεωδυναμικά μέτρα, gpm), τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa (σε βαθμούς Κελσίου, °C), την ειδική υγρασία στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa (σε γραμμάρια ανά χιλιόγραμμο, g/kg) με χωρική ανάλυση $2,5^{\circ} \times 2,5^{\circ}$. Οι γεωγραφικές περιοχές των δεδομένων εκτείνονται για την Βαρκελώνη μεταξύ ($30^{\circ}\text{B}-50^{\circ}\text{B}$) και ($20^{\circ}\Delta-30^{\circ}\text{A}$) Σχήμα 2.1 ,για το Λουξεμβούργο μεταξύ ($40^{\circ}\text{B}-55^{\circ}\text{B}$) και ($15^{\circ}\Delta-5^{\circ}\text{A}$) (Σχήμα 2.2) και για το Ελσίνκι μεταξύ ($55^{\circ}\text{B}-75^{\circ}\text{B}$) και ($0^{\circ}\Delta-40^{\circ}\text{A}$) (Σχήμα 2.3).

Το δεύτερο σύνολο παραμέτρων περιλαμβάνει το ρυθμό υετού και το ρυθμό ανωμεταφορικού υετού (σε χιλιοστά ανά ημέρα, mm/day), τη θερμοκρασία του αέρα στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης (σε βαθμούς Κελσίου, °C), την ολική νεφοκάλυψη (σε ποσοστιαίες μονάδες, %) και τη ζωνική και τη μεσημβρινή συνιστώσα

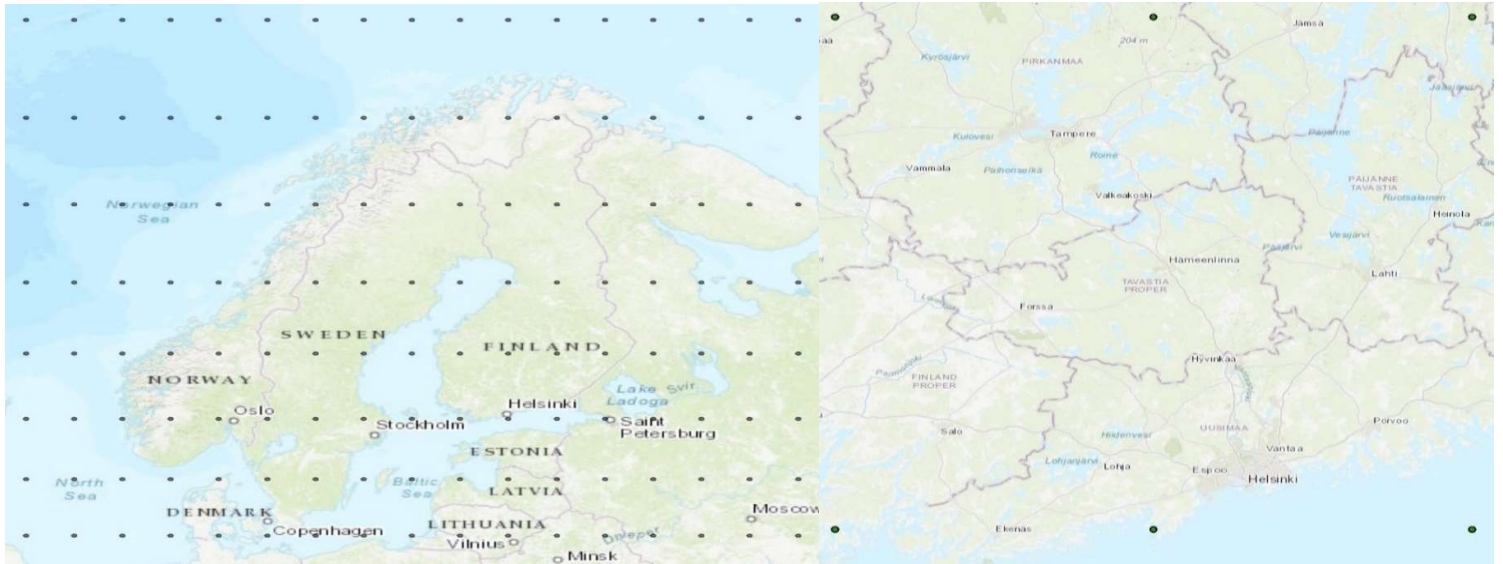


Σχήμα 2.1 Χάρτες ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής (αριστερά) και μικρής γεωγραφικής περιοχής (δεξιά) για την Βαρκελώνη.

του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης (σε μέτρα ανά δευτερόλεπτο, m/sec). Οι γεωγραφικές περιοχές των δεδομένων εκτείνονται για την Βαρκελώνη μεταξύ (40,95°B-42,85°B) και (0°Δ-3,75°Α) Σχήμα 2.1, για το Λουξεμβούργο μεταξύ (48,57°B-50,47°B) και (3,75°Δ-7,5°Δ) Σχήμα 2.2 και για το Ελσίνκι μεταξύ (59,99°B-61,9°B) και (22,5°Δ-4°Α) (Σχήμα 2.3).



Σχήμα 2.2 Χάρτες ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής (αριστερά) και μικρής γεωγραφικής περιοχής (δεξιά) για το Λουξεμβούργο.



Σχήμα 2.3 Χάρτες ευρύτερης γεωγραφικής περιοχής (αριστερά) και μικρής γεωγραφικής περιοχής (δεξιά) για το Ελσίνκι.

2.1.2. Δεδομένα θερμοκρασίας

Για την χαρτογράφηση και την κατανομή του UHI καθώς και του UHII στα αστικά κέντρα της Βαρκελώνης, του Ελσίνκι και του Λουξεμβούργου, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από την Υπηρεσία Κλιματικής Αλλαγής Copernicus. (Copernicus Climate Change Service) η οποία προσφέρει δεδομένα θερμοκρασίας αέρα, ειδικής υγρασίας, σχετικής υγρασίας και ταχύτητας ανέμου για 100 ευρωπαϊκές πόλεις από το 2008 έως

το 2017 με χωρική ανάλυση 100 m και με ωριαία χρονική ανάλυση μέσω του μοντέλου UrbClim.

Το μοντέλο UrbClim δημιουργήθηκε από δύο τύπους δεδομένων εισόδου: μετεωρολογικά δεδομένα μεγάλης κλίμακας και δεδομένα της επιφάνειας του εδάφους (χρήση γης, βλάστηση κ.α.). Τα μετεωρολογικά δεδομένα μεγάλης κλίμακας που χρησιμοποιήθηκαν ελήφθησαν από το ERA 5 και τα δεδομένα της επιφάνειας όπως φαίνονται στον παρακάτω πίνακα (πίνακας 2.1).

Πίνακας 2.1 Δεδομένα επιφάνειας για την δημιουργία του UrbClim

Type	Source	Resolution
Land use	Copernicus (Corine Land Cover 2012)	100m
Soil Sealing	Copernicus (Imperviousness 2012)	100m
Vegetation index (NDV)	Copernicus (Proba V 2014 -2017)	300m
Anthropogenic heat flux	AHF 2016	0.0416 degrees
Digital Elevation Model (DEM)	U.S. Geological Survey (USGS) (Global Multiresolution Terrain Elevation Data (GMTED) 2010)	0.002083 degrees

Επομένως, επιλέχθηκαν και εξήχθησαν τα αρχεία θερμοκρασίας αέρα όπως φαίνονται στον πίνακα (πίνακας 2.2) μαζί με δυο ακόμη αρχεία που περιέχουν παραμέτρους (σημεία συντεταγμένων): θάλασσας, διαχωρισμού αγροτικών-αστικών περιοχών από το CORINE land cover of 2012.

Πίνακας 2.2 Δεδομένα θερμοκρασίας μοντέλου Urbclim

Μεταβλητή	Θερμοκρασία αέρα (2m από την επιφάνεια)
Μονάδα	K
Χωρική ανάλυση	100m*100m
Χρονική ανάλυση	Ωριαία
Χρονική περίοδος	2008 έως 2017
Μορφή αρχείων	NetCDF-4
Μορφή ώρας	UTC

2.2 Μεθοδολογία

2.2.1 Υπολογισμός της έντασης του UHI

Οι θερμοκρασίες που ελήφθησαν από UrbClim αφορούσαν τη χρονοσειρά 2008 έως 2017 και χωρίστηκαν σε ημερήσια (daytime) και σε νυχτερινά (nighttime), ώστε να

βρεθεί αντίστοιχα το $\Delta T_{\text{daytime}}$ (από 06:00 έως 18:00) και $\Delta T_{\text{nighttime}}$ (23:00 έως 05:00). Ακόμη η μελέτη μας επικεντρώνεται στην θερινή περίοδο του έτους επομένως από κάθε χρονιά χρησιμοποιήθηκαν μόνο οι τιμές θερμοκρασίας (Ιουνίου, Ιουλίου, Αυγούστου και Σεπτεμβρίου). Έπειτα αφαιρέθηκαν από το συνολικό πλέγμα τα σημεία εκείνα (συντεταγμένες) που αφορούσαν θαλάσσιες και υπαίθριες περιοχές σύμφωνα με τα δεδομένα που ελήφθησαν από το CORINE land cover of 2012. Στην συνέχεια, υπολογίστηκε η μέση τιμή της θερμοκρασίας των σημείων της υπαίθρου ανά ώρα \bar{T}_{Twr} τόσο για τη διάρκεια της μέρας daytime όσο και για τη νύχτα nighttime.

Η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας παρουσιάζεται ως η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα στα 2m μεταξύ των αστικών και υπαίθριων περιοχών. Τα δεδομένα θερμοκρασίας αέρα ύψους 2m που προσομοιώθηκαν και εξήχθησαν από το μοντέλο αστικού κλίματος UrbClim χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του UHI σύμφωνα με την εξίσωση:

$$\Delta T_{UHI} = T_i - \bar{T}_{Twr}, \quad (2.1)$$

όπου T_i είναι η θερμοκρασία στα 2m για κάθε σημείο του πλέγματος εντός του αστικού ιστού και \bar{T}_{Twr} είναι η μέση θερμοκρασία αέρα σε ύψος 2m για όλα τα σημεία της υπαίθρου την ίδια χρονική στιγμή.

Για να επιτευχθεί η συσχέτιση μεταξύ των τύπων καιρού (WTs) και της αστικής υπερθέρμανσης (urban overheating, UO) (η οποία οδηγεί στην αύξηση της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας), υπολογίστηκε το ανώτερο 5% ΔT_{max} (τόσο το ολοήμερο όσο και το νυχτερινό) για κάθε σημείο του πλέγματος. Δηλαδή, βρέθηκε το υψηλότερο 5% των διαφορών ΔT_{UHI} για κάθε πόλη τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας (06:00 έως 18:00) όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας (19:00 έως 05:00), για όλη τη χρονοσειρά (2008-2017) ανά μήνα.

Στην συνέχεια, το 5% ΔT_{max} (τόσο το ολοήμερο όσο και το νυχτερινό) για τους 4 θερινούς μήνες του έτους για κάθε σημείο του πλέγματος μεσοποιήθηκε. Τα αποτελέσματα αυτά χρησιμοποιήθηκαν για την χωρική κατανομή του φαινομένου (UO) σε κάθε αστικό κέντρο καθώς και συσχέτιστηκαν με τους τύπους καιρού που προέκυψαν για κάθε πόλη.

2.2.2 Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA)

Λόγω του μεγάλου πλήθους των μετεωρολογικών δεδομένων η ομαδοποίηση τους και η ανάλυση των χαρακτηριστικών τους, αποτελεί ένα ιδιαίτερα δύσκολο πρόβλημα. Απαιτείται λοιπόν η μείωση του πλήθους των μεταβλητών και για το σκοπό αυτό στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήσαμε την στατιστική μέθοδο της ανάλυσης κύριων συνιστωσών.

Αρχικά, εφαρμόστηκε με τη χρήση του SPSS η PCA (Principal Component Analysis) σε κάθε ένα από τα 2 πακέτα δεδομένων που περιλαμβάνουν τιμές γεωδυναμικού ύψους στις ισοβαρικές επιφάνειες των 500hPa και 1000hPa, της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa, της ειδικής υγρασίας στην ισοβαρική επιφάνεια 850hPa για τη μεγάλη γεωγραφική περιοχή και του ρυθμού υετού καθώς και του ρυθμού ανωμεταφορικού υετού, της θερμοκρασίας του αέρα στα 2 μέτρα από την επιφάνεια της γης, της ολικής νεφοκάλυψης καθώς και της ζωνικής και τη μεσημβρινής συνιστώσας του ανέμου στα 10 μέτρα από την επιφάνεια της γης για την μικρή γεωγραφική περιοχή κάθε πόλης.

Η ανάλυση κύριων συνιστωσών (που εφαρμόστηκε είναι μια στατιστική μέθοδος η οποία χρησιμοποιείται με σκοπό τη μείωση της διαστατικότητας μιας μεγάλης σειράς δεδομένων. Αυτό επιτυγχάνεται με την αντικατάσταση των υπάρχοντων συσχετιζόμενων μεταβλητών X_1, X_2, \dots, X_p από άλλες ασυσχέτιστες μεταξύ τους μεταβλητές F_1, F_2, \dots, F_m πλήθους $m < p$, οι οποίες ονομάζονται παράγοντες (factors). Οι τιμές των παραγόντων που προκύπτουν ονομάζονται τιμές επίδοσης (factor scores). Η μέση τιμή των επιδόσεων για κάθε παράγοντα έχει μηδενική τιμή, ενώ η τυπική απόκλιση έχει τιμή ίση με τη μονάδα. Αν και το πλήθος των παραγόντων F_j είναι σημαντικά μικρότερο από το πλήθος των αντίστοιχων αρχικών μεταβλητών X_i , ($m < p$), ερμηνεύουν πολύ μεγάλο ποσοστό της αρχικής πληροφορίας. Οι αρχικές μεταβλητές εκφράζονται ως γραμμικός συνδυασμός των ανεξάρτητων παραγόντων, σύμφωνα με την εξίσωση:

$$X_i = g_{i1}F_1 + g_{i2}F_2 + \dots + g_{im}F_m + e_i. \quad (2.2)$$

Στην προηγούμενη εξίσωση, οι συντελεστές $g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{im}$ καλούνται φορτία των παραγόντων (factor loadings) και εκφράζουν τη συσχέτιση της X_i μεταβλητής με κάθε έναν από τους παράγοντες.

Κατά την παραγοντική ανάλυση λαμβάνουν χώρα οι παρακάτω μαθηματικές μέθοδοι και υπολογισμοί.

1. Εφαρμογή ανάλυσης σε κύριες συνιστώσες

- ❖ Κανονικοποίηση των αρχικών p μεταβλητών, ώστε να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα.
- ❖ Υπολογισμός του πίνακα συσχετίσεων των αρχικών μεταβλητών.
- ❖ Υπολογισμός των ιδιοτιμών $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p$ του πίνακα συσχετίσεων και των αντίστοιχων ιδιοδιανυσμάτων b_1, b_2, \dots, b_p . Η ιδιοτιμή λ_j αποτελεί τη διακύμανση της j -οστής κύριας συνιστώσας και τα στοιχεία του ιδιοδιανύσματος b_j αποτελούν τους συντελεστές, όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση :

$$Z_j = b_{j1}X_1 + b_{j2}X_2 + \dots + b_{jp}X_p. \quad (2.3)$$

2. Υπολογισμός των X_i ως γραμμικούς συνδυασμούς των κυρίων συνιστωσών όπως φαίνεται στην παρακάτω εξίσωση:

$$X_i = b_{i1}Z_1 + b_{i2}Z_2 + \dots + b_{ip}Z_p. \quad (2.4)$$

3. Διατήρηση m κυρίων συνιστωσών:

$$X_i = b_{i1}Z_1 + b_{i2}Z_2 + \dots + b_{mi}Z_m + e_i. \quad (2.5)$$

όπου το e_i να αποτελεί γραμμικό συνδυασμό των υπολοίπων κυρίων συνιστωσών $Z_{m+1}, Z_{m+2}, \dots, Z_p$

4. Μετατροπή των κυρίων συνιστωσών Z_j σε παράγοντες, διαιρώντας τις με την τυπική απόκλισή τους, η οποία είναι $\sqrt{\lambda_j}$, ώστε να έχουν μέση τιμή ίση με το μηδέν και διακύμανση ίση με τη μονάδα. Έτσι η εξίσωση 3.04 μετασχηματίζεται σε:

$$X_i = a_{i1}F_1 + a_{i2}F_2 + \dots + a_{im}F_m + e_i. \quad (2.6)$$

Στην προηγούμενη εξίσωση όπου $a_{ij} = \sqrt{\lambda_j} b_{ji}$ και $F_j = Z_j \sqrt{\lambda_j}$ οι οποίες μεταβλητές καλούνται προσωρινοί παράγοντες (provisional factors).

5. Ορθογώνια "varimax" περιστροφή των προσωρινών παραγόντων F_j σκοπό την εύρεση νέων παραγόντων F_j^* , των οποίων τα φορτία θα είναι μεγαλύτερα κατ' απόλυτη τιμή από τα προηγούμενα ώστε η κατάταξη των αρχικών μεταβλητά σε κάποιον παράγοντα να είναι καλύτερη. Αυτό γίνεται εφικτό με τη μεγιστοποίηση του αθροίσματος των τετραγώνων των φορτίων του κάθε παράγοντα $F_j \sum_i = 1, a_{ij}^2$, αφού αυτό είναι ένα μέτρο της ολικής διακύμανσης των αρχικών μεταβλητών, που ερμηνεύει ο κάθε j παράγοντας.

Προκύπτει έτσι μία νέα εξίσωση:

$$X_i = g_{i1}F_1^* + g_{i2}F_2^* + \dots + g_{im}F_m^* + e_i, \quad (2.7)$$

στην οποία οι νέοι παράγοντες F_j^* καλούνται περιστρεμμένοι παράγοντες (rotated factors). Στη συνέχεια προς χάριν απλότητας οι περιστρεμμένοι παράγοντες θα αναφέρονται απλά ως παράγοντες και θα συμβολίζονται με F_j .

Ένα πολύ σημαντικό βήμα στην Παραγοντική Ανάλυση είναι η επιλογή του κατάλληλου αριθμού m των παραγόντων που θα διατηρηθούν. Γι' αυτόν το λόγο έχουν αναπτυχθεί διάφορα κριτήρια όπως το Kaiser-Guttman, το κριτήριο της παράλληλης ανάλυσης, καθώς και το κριτήριο SCREE, το οποίο και χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία. Σύμφωνα με το κριτήριο SCREE, θα πρέπει να διατηρηθούν τόσο παράγοντες, όσα είναι και τα σημεία που αποκλίνουν από την ευθεία γραμμή σε ένα διάγραμμα όπου παρατίθενται οι ιδιοτιμές του πίνακα συσχετίσεων διατεταγμένες σε φθίνουσα σειρά. Σε αυτήν την εργασία, ο αριθμός των στατιστικά σημαντικών παραγόντων υποδεικνύεται από το διάγραμμα Scree και τη φυσική υπόσταση των αποτελεσμάτων.

2.2.3 Ανάλυση κατά Συστάδες (CA)

Από την PCA ανάλυση για κάθε πακέτο δεδομένων κάθε περιοχής διατηρήθηκε και ενοποιήθηκε ο κατάλληλος αριθμός παραγόντων για κάθε πόλη. Στους ενοποιημένους πλέον παράγοντες κάθε πόλης εφαρμόστηκε η Cluster Analysis με την χρήση του SPSS.

Η ανάλυση κατά συστάδες αποτελεί μια διαδομένη στατιστική μέθοδος και σκοπό έχει να κατατάξει σε ομάδες τις υπάρχουσες παρατηρήσεις χρησιμοποιώντας την πληροφορία που υπάρχει σε κάποιες μεταβλητές. Με άλλα λόγια αυτή η μέθοδος εξετάζει πόσο όμοιες είναι κάποιες παρατηρήσεις ως προς κάποιον αριθμό μεταβλητών με σκοπό να δημιουργήσει ομάδες από παρατηρήσεις που μοιάζουν μεταξύ τους. Μια επιτυχημένη ανάλυση θα πρέπει να καταλήξει σε ομάδες για τις οποίες οι παρατηρήσεις

μέσα σε κάθε ομάδα να είναι όσο γίνεται πιο ομοιογενείς, αλλά παρατηρήσεις διαφορετικών ομάδων να διαφέρουν όσο γίνεται περισσότερο. Δύο βασικές έννοιες για την ανάλυση κατά συστάδες, αλλά όχι μόνο, είναι οι έννοιες της απόστασης και της ομοιότητας. Μπορούμε εύκολα να διαπιστώσουμε ότι αυτές οι δύο έννοιες είναι αντίθετες μεταξύ τους, αφού παρατηρήσεις που είναι όμοιες θα έχουν μεγάλη ομοιότητα και μικρή απόσταση. Το συμπέρασμα είναι ότι στην ανάλυση κατά συστάδες σκοπός μας είναι να δημιουργήσουμε ομάδες μέσα στις οποίες οι παρατηρήσεις απέχουν λίγο, ενώ παρατηρήσεις διαφορετικών ομάδων απέχουν μεταξύ τους αρκετά.

Γενικά υπάρχουν αρκετές διαφορετικές προσεγγίσεις για το πώς μπορούμε να ομαδοποιήσουμε τα δεδομένα μας. Οι βασικότερες και πιο διαδομένες ωστόσο προσεγγίσεις είναι οι :

- Ιεραρχικές μέθοδοι: Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, ξεκινάμε με κάθε παρατήρηση να είναι από μόνη της μια ομάδα. Σε κάθε βήμα ενώνουμε τις δύο παρατηρήσεις που έχουν πιο μικρή απόσταση. Αν δύο παρατηρήσεις έχουν ενωθεί σε προηγούμενο βήμα, ενώνουμε μια υπάρχουσα ομάδα με μια παρατήρηση μέχρι να φτιάξουμε μια ομάδα. Κοιτώντας τα αποτελέσματα, διαλέγουμε πόσες ομάδες τελικά προκύπτουν.
- K-means: Ο αριθμός των ομάδων είναι γνωστός από πριν. Με ένα επαναληπτικό αλγόριθμο μοιράζουμε τις παρατηρήσεις στις ομάδες ανάλογα με το ποια ομάδα είναι πιο κοντά στην παρατήρηση.
- Στατιστικές μέθοδοι: Και οι δύο μέθοδοι που είπαμε στηρίζονται καθαρά σε αλγοριθμικές λύσεις και δεν προϋποθέτουν κάποιο μοντέλο. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι στατιστικές ξεκινώντας από κάποιες υποθέσεις κατατάσσουμε τις παρατηρήσεις. Δυστυχώς αυτές οι μέθοδοι έχουν αρκετά υπολογιστικά προβλήματα και για αυτό δεν προσφέρονται από πολλά στατιστικά πακέτα.

Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήσαμε την δεύτερη μέθοδο (K-means), για την ομαδοποίηση των δεδομένων μας, που παρουσιάζεται αναλυτικά στην επόμενη παράγραφο.

2.2.4 Μη ιεραρχική μέθοδος κατά συστάδες K-means

Η μέθοδος θεωρεί πως ο αριθμός των ομάδων που θα προκύψουν είναι γνωστός εκ των προτέρων. Αποτελεί έναν περιορισμό της μεθόδου, καθώς είτε πρέπει να τρέξουμε τον αλγόριθμο με διαφορετικές επιλογές ως προς το πλήθος των ομάδων είτε πρέπει με κάποιον άλλο τρόπο να έχουμε καταλήξει στον αριθμό των ομάδων. Ο αλγόριθμος K-means ανήκει σε μία μεγάλη κατηγορία αλγορίθμων ομαδοποίησης που είναι γνωστοί ως αλγόριθμοι διαμέρισης (portioning algorithms).

Η μέθοδος δουλεύει επαναληπτικά. Χρησιμοποιεί την έννοια του κέντρου (centroid) της ομάδας και στην συνέχεια κατατάσσει τις παρατηρήσεις ανάλογα με την απόσταση τους από τα κέντρα όλων των ομάδων. Το κέντρο κάθε ομάδας δεν είναι τίποτα άλλο από την μέση τιμή για κάθε μεταβλητή όλων των παρατηρήσεων της ομάδας, δηλαδή αντιστοιχεί στο διάνυσμα των μέσων. Στην συνέχεια για κάθε παρατήρηση υπολογίζουμε την ευκλείδεια απόσταση της (Σχέση 2.8) από τα κέντρα των ομάδων που έχουμε και κατατάσσουμε κάθε παρατήρηση στην ομάδα που είναι

πιο κοντά. Η ευκλείδεια απόσταση που χρησιμοποιείται φαίνεται στην παρακάτω σχέση:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{n=1}^p (x_{in} - x_{jn})^2}, \quad (2.8)$$

όπου d_{ij} είναι η ευκλείδεια απόσταση μεταξύ της i και της j παρατήρησης, x_{in} η τιμή της n μεταβλητής για την i παρατήρηση, x_{jn} η τιμή της n μεταβλητής για την j παρατήρηση και p ο αριθμός των μεταβλητών μιας παρατήρησης.

Αφού κατατάζουμε όλες τις παρατηρήσεις, τότε υπολογίζουμε από την αρχή τα κέντρα, απλώς ως διάνυμα των μέσων για τις παρατηρήσεις που ανήκουν στην κάθε ομάδα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρις ότου δεν υπάρχουν διαφορές ανάμεσα σε δύο διαδοχικές επαναλήψεις. Η παραπάνω διαδικασία αλγοριθμικά αποτυπώνεται ως:

Βήμα 1^ο: Βρες τα αρχικά κέντρα

Βήμα 2^ο: Κατάταξε κάθε παρατήρηση στην ομάδα της οποίας το κέντρο έχει τη μικρότερη απόσταση από την παρατήρηση.

Βήμα 3^ο: Από τις παρατηρήσεις που είναι μέσα στην ομάδα υπολόγισε τα νέα κέντρα.

Βήμα 4^ο: Αν νέα κέντρα δε διαφέρουν από τα παλιά σταμάτα αλλιώς πήγαινε στο βήμα 2.

Ο αλγόριθμος ουσιαστικά ελαχιστοποιεί το άθροισμα των τετραγωνικών αποστάσεων των παρατηρήσεων από τα κέντρα των ομάδων που ανήκουν. Συνήθως η λύση περιέχει ομάδες με περίπου όμοιο αριθμό παρατηρήσεων. Το μεγάλο μειονέκτημα του αλγορίθμου είναι ότι εξαρτάται από τις αρχικές τιμές, οι οποίες αν δεν βρεθούν με καλό τρόπο, μπορεί να οδηγήσουν σε πολύ διαφορετική ομαδοποίηση.

Ένα άλλο πρόβλημα έχει να κάνει με τον αριθμό των ομάδων που θα επιλέξουμε. Μια τακτική είναι η ομαδοποίηση με διαφορετικό κάθε φορά αριθμό ομάδων και στο τέλος η επιλογή της ομάδας που είναι κατά κάποιο τρόπο βέλτιστη. Ένας τρόπος να αποφύγουμε την υλοποίηση μεγάλου αριθμού διαφορετικών ομαδοποιήσεων είναι να μελετάμε την λύση που ήδη έχουμε, προσπαθώντας να ενώσουμε ή να διαλύσουμε ομάδες που θα μπορούσαν να μας βελτιώσουν την μέση απόσταση των παρατηρήσεων από το κέντρο της ομάδας που ανήκουν.

Η μέθοδος K-means βασίζεται στην ευκλείδεια απόσταση, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί κάθε είδους απόσταση (city-block, Minkowski απόσταση κ.α.). Για μη συνεχή δεδομένα υπάρχει το πρόβλημα ότι δεν μπορούμε να υπολογίσουμε τους μέσους των ομάδων. Έτσι θα χρησιμοποιήσουμε κάποιο άλλο μέτρο, π.χ. για κατηγορικά δεδομένα με κατάταξη μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το διάνυμα διαμέσων ενώ για ονομαστικά δεδομένα την επικρατούσα τιμή (mode).

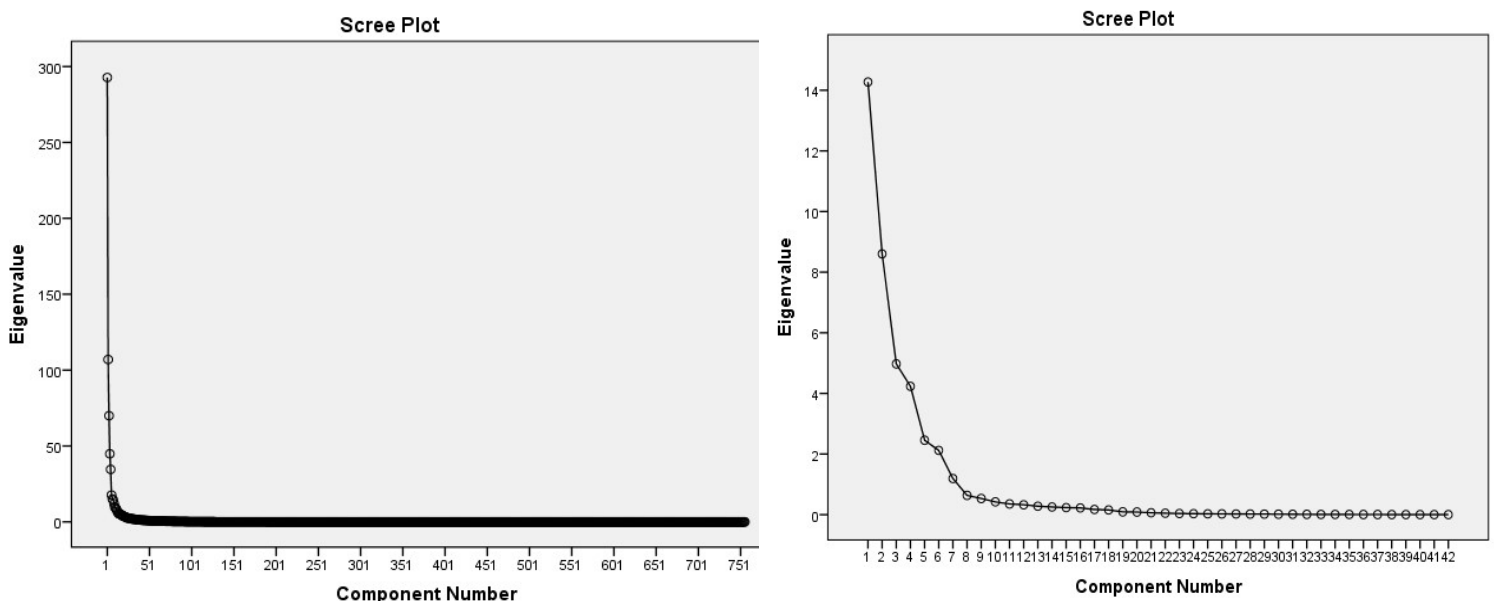
Για την επιλογή του αριθμού των ομάδων που θα διατηρηθούν, υπάρχουν διάφορα στατιστικά τεστ. Στην παρούσα εργασία, για την επιλογή του πλήθους των ομάδων, χρησιμοποιείται συμβουλευτικά η μέθοδος του “Αλματος” (“Jump” Method), η οποία προτείνεται από τους Sugar and James (2003) και βασίζεται στον υπολογισμό της στρέβλωσης (distortion), που αποτελεί ένα μέτρο της διασποράς (dispersion) των παρατηρήσεων σε κάθε ομάδα. Σύμφωνα με αυτήν τη μέθοδο, εφαρμόζεται επανειλημμένα η k-means Ανάλυση κατά Συστάδες, για διαφορετικό πλήθος ομάδων k κάθε φορά.

Κεφάλαιο 3^ο Αποτελέσματα

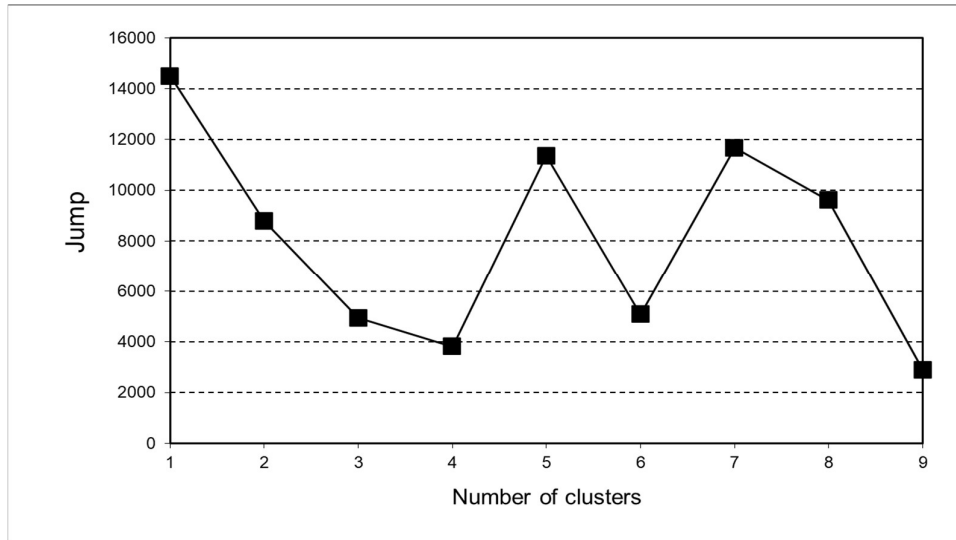
Στο Κεφάλαιο 3 παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή των PCA και CA αναλύσεων στις ημερήσιες τιμές 10 μετεωρολογικών παραμέτρων με σκοπό τον ορισμό των Τύπων Καιρού (WTs) για κάθε γεωγραφική περιοχή. Συνεπώς, ορίζονται οι κυρίαρχοι WTs οι οποίοι περιγράφουν τις συνοπτικές συνθήκες που επικρατούν και μελετώνται τα χαρακτηριστικά τους. Έπειτα, παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της αστικής υπερθέρμανσης (urban overheating) για κάθε αστικό κέντρο ανά μήνα. Στην συνέχεια, γίνεται η συσχέτιση των τύπων καιρού κάθε περιοχής με την υπολογισμένη αστική υπερθέρμανση (UO) για κάθε πόλη.

3.1 Η περίπτωση της Βαρκελώνης

Για την Βαρκελώνη, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.1, όπου παρουσιάζονται τα διαγράμματα Scree για κάθε γεωγραφική περιοχή και υπο-περιοχή (μεγάλο και μικρό domain), η εφαρμογή της PCA στις ημερήσιες τιμές των 4 μετεωρολογικών παραμέτρων οδηγεί σε 7 παράγοντες PCs που ερμηνεύουν το 72% της συνολικής διακύμανσης για το μεγάλο domain και 7 παράγοντες που ερμηνεύουν το 90% της συνολικής διακύμανσης για το μικρό domain. Έπειτα από την εφαρμογή της CA στις χρονοσειρές των 14 PCs (7+7) καταλήγουμε σε 7 ομοιογενείς συστάδες. Για την επιλογή του αριθμού των συστάδων, εκτός από τη μέθοδο Άλματος (Jump method) (Σχήμα 3.2) λαμβάνεται υπόψιν και η φυσική υπόσταση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Κάθε μία από τις 7 συστάδες αποτελείται από ημερομηνίες οι οποίες χαρακτηρίζονται από παρόμοιες καιρικές/συνοπτικές συνθήκες και επομένως ορίζουν έναν συγκεκριμένο WT. Στα Σχήματα (3.3-3.17) παρουσιάζονται οι μέσοι χάρτες των γεωδυναμικών υψών των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 1000hPa και τα αντίστοιχα ραβδογράμματα των μηνιαίων (%) συχνοτήτων των 7 WTs και της συχνότητας εμφάνισης των τύπων καιρού ολόκληρης της χρονοσειράς (overall) από το έτος 1980-2020.



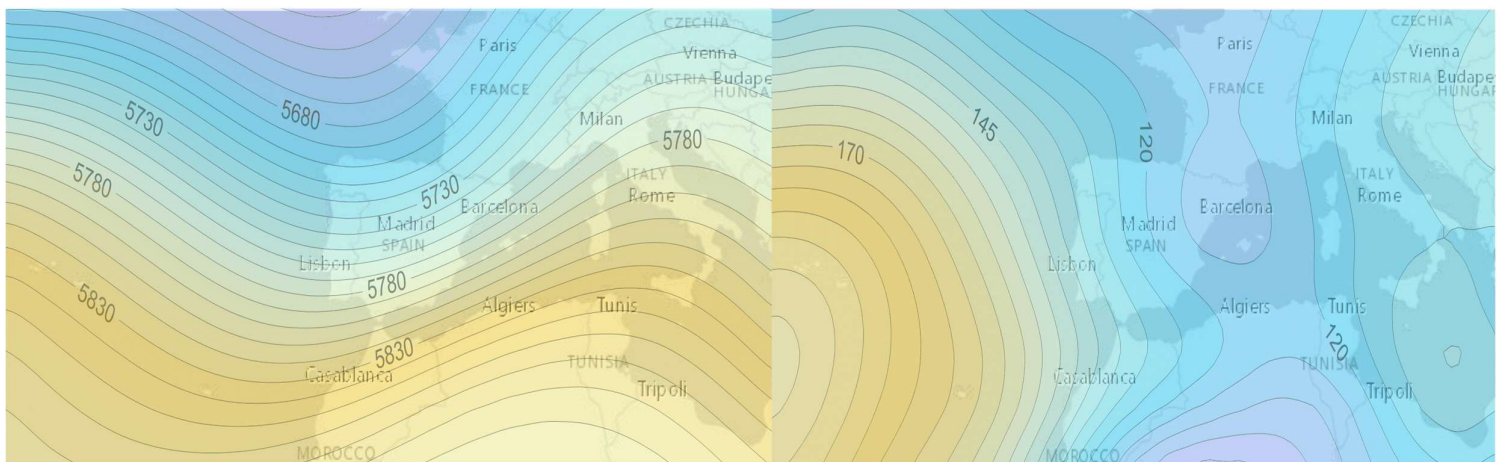
Σχήμα 3.1 Το διάγραμμα Scree που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των PCs για την μικρή γεωγραφική περιοχή (αριστερά) και για την μεγάλη (δεξιά).



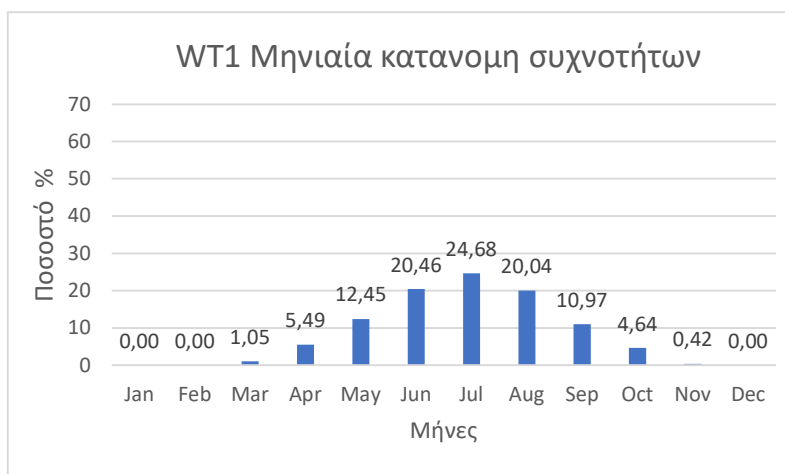
Σχήμα 3.2 Το διάγραμμα του Άλματος (Jump) που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των συστάδων.

3.1.1 Ορισμός των τύπων καιρού

- Ο WT 1 είναι ένας WT της θερμής περιόδου του έτους καθώς σύμφωνα με την ενδοετήσια διακύμανση της συχνότητάς του εμφανίζεται από τον Μάρτιο έως και τον Νοέμβριο (Σχήμα 3.4). Όμως το μέγιστο της συχνότητας του εντοπίζεται τους 3 καλοκαιρινούς μήνες (Ιούνιος-Ιούλιος-Αύγουστος). Υπό την επικράτηση του συγκεκριμένου τύπου καιρού (Σχήμα 3.3) εντοπίζεται μια σφήνα χαμηλών πιέσεων (trough) στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa βόρεια της Ισπανίας ενώ στην επιφάνεια υπάρχει ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων πάνω από την Βαρκελώνη. Ακόμη, στην επιφάνεια ο μόνιμος αντικυκλώνας των Αζορών εμφανίζεται αρκετά εκτεταμένος και αρκετά κοντά στις ακτές της Πορτογαλίας-Μαρόκου.

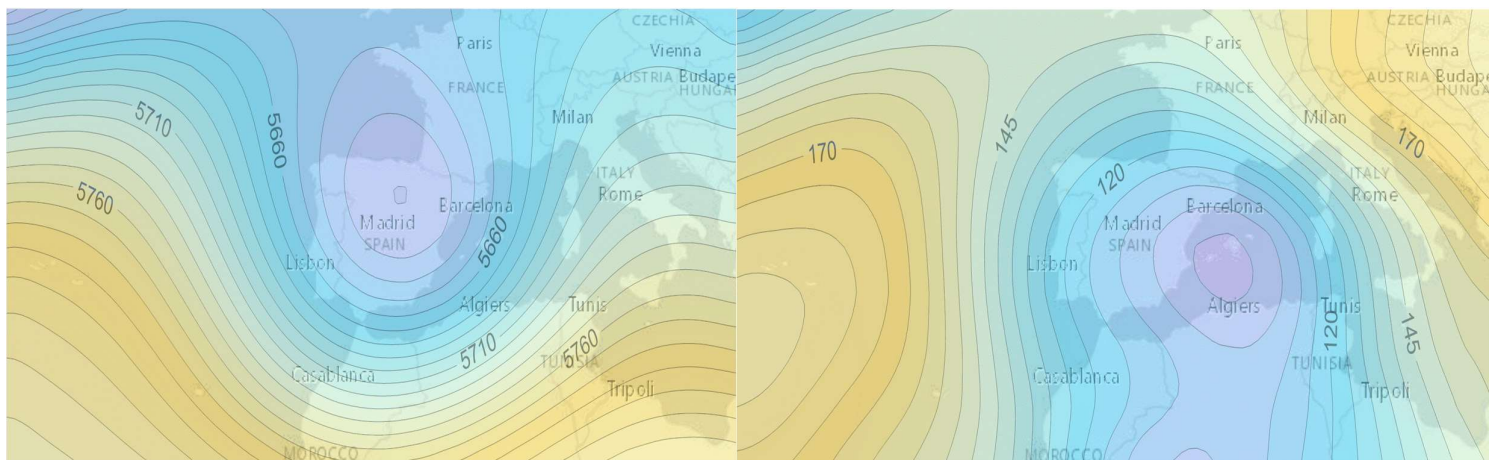


Σχήμα 3.3 WT1 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

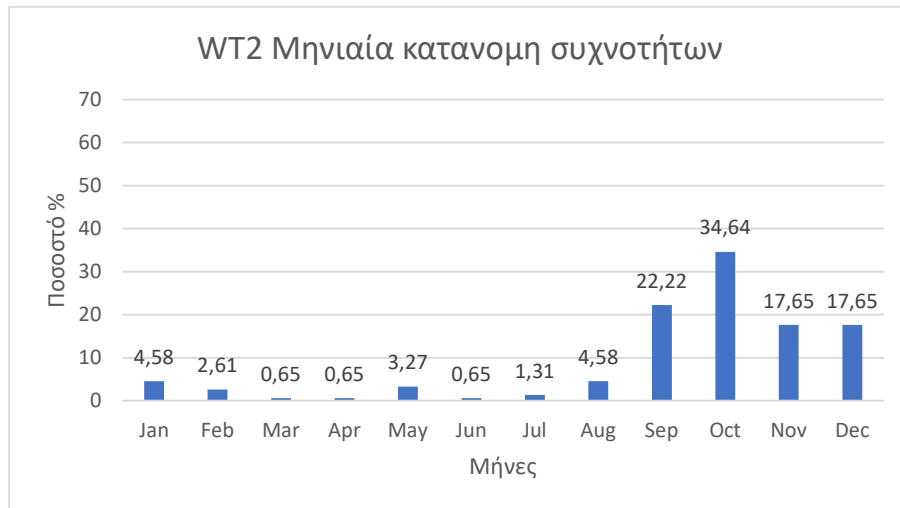


Σχήμα 3.4 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT1 ανά μήνα.

- Ο WT2, σύμφωνα με την ενδοετήσια διακύμανση της συχνότητάς του (Σχήμα 3.6), είναι γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου του έτους με την μέγιστη τιμή του να εμφανίζεται το φθινόπωρο και πιο συγκεκριμένα τον Οκτώβριο. Ωστόσο, πολύ μικρές τιμές εμφάνισης του υπάρχουν και το καλοκαίρι. Οι συνοπτικές συνθήκες (Σχήμα 3.5) που αντιστοιχούν σε αυτόν τον WT, χαρακτηρίζονται από την επικράτηση ενός χαμηλού βαρομετρικού NA της Ισπανίας με επίκεντρο την Ιβηρική Θάλασσα όμως στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa το χαμηλό βαρομετρικό εντοπίζεται βορειότερα στην ηπειρωτική Ιβηρική χερσόνησο.

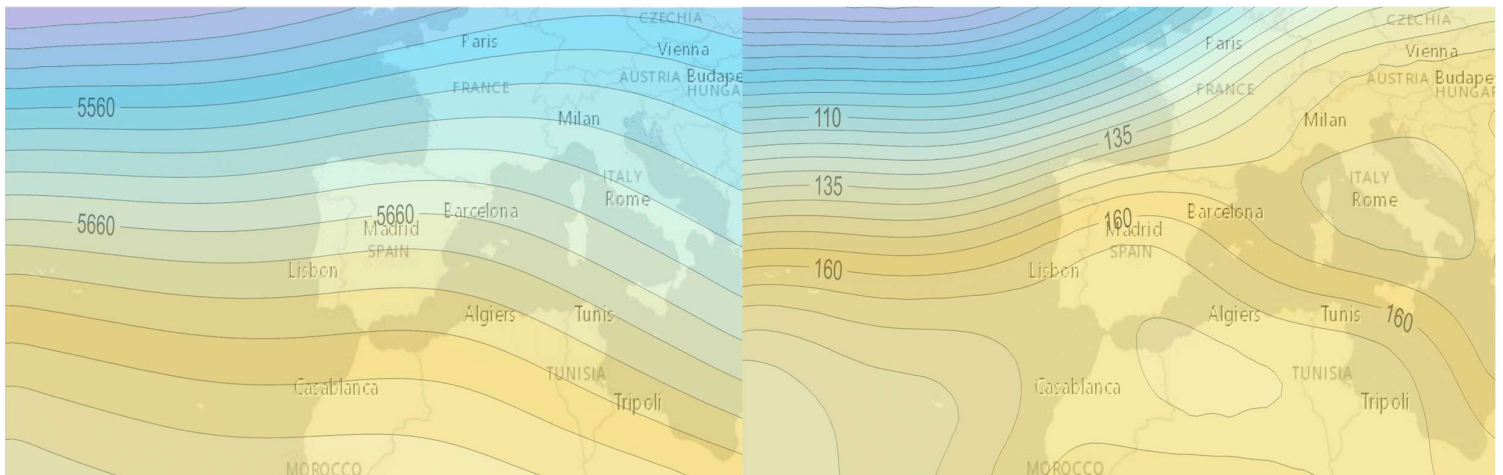


Σχήμα 3.5 WT2 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

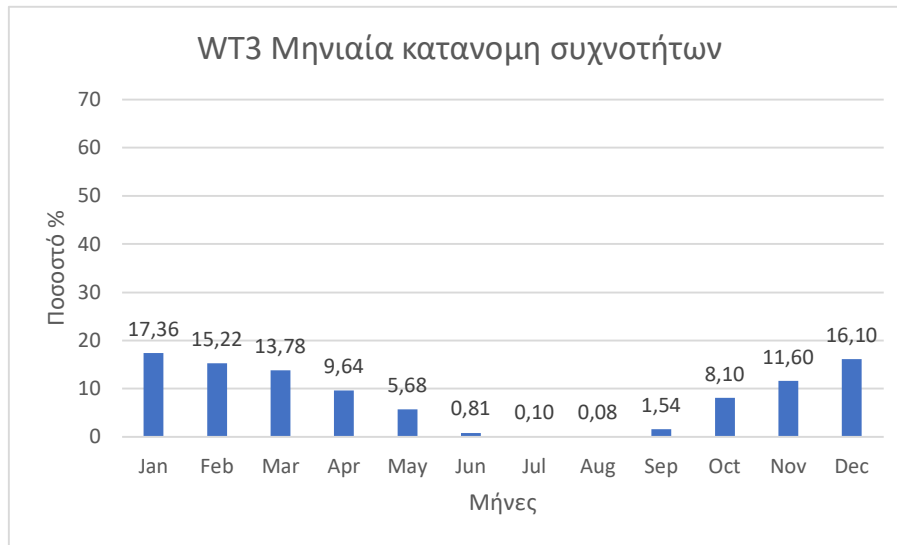


Σχήμα 3.6 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT2 ανά μήνα.

- Ο WT3 (Σχήμα 3.7) σχετίζεται με την ύπαρξη 2 ισχυρών υψηλών αντικυκλών στην επιφάνεια ενός πάνω από την Ιταλία και ενός πάνω από την Αλγερία. Τα 2 αυτά συστήματα οδηγούν στην επικράτηση μιας δυτικής ροής στην δυτική Μεσόγειο και στην πόλη της Βαρκελώνης. Ο WT3 είναι γενικά ένας τύπος καιρού της ψυχρής περιόδου (Σχήμα 3.8) του έτους, καθώς εμφανίζεται από τον Οκτώβριο έως τον Μάιο με μέγιστη συχνότητα κατά το δίμηνο Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου.

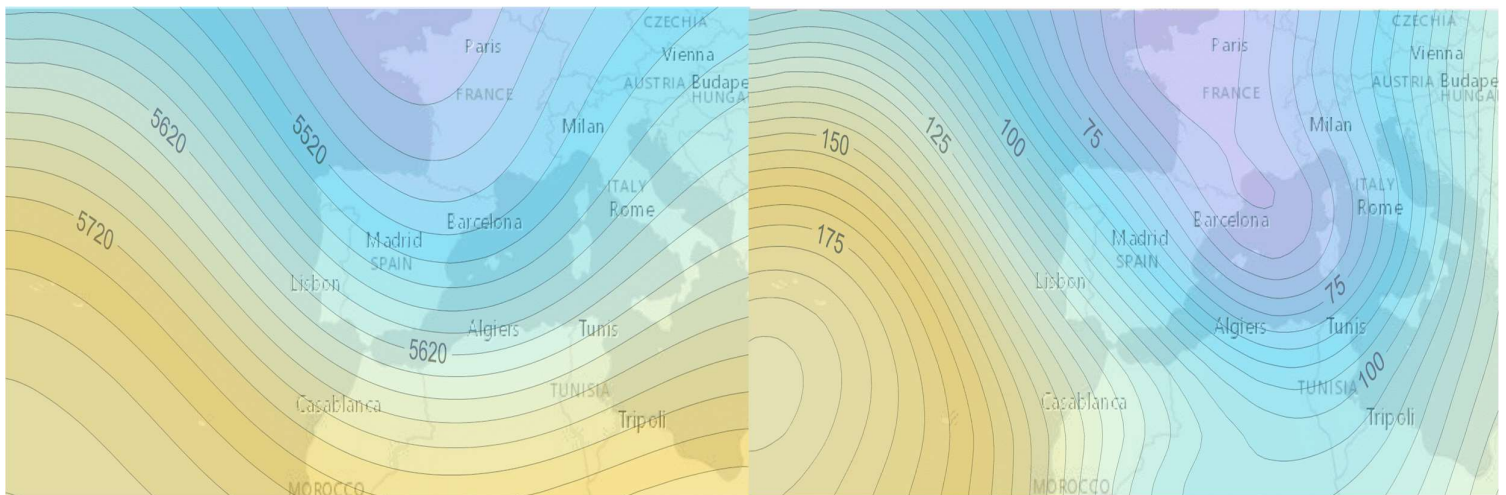


Σχήμα 3.7 WT3 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

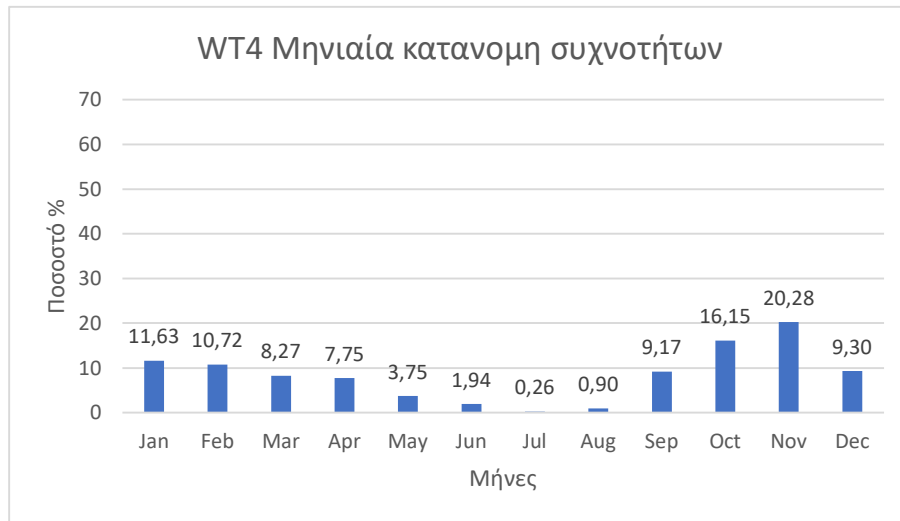


Σχήμα 3.8 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT3 ανά μήνα.

- Ο WT4 (Σχήμα 3.9) είναι γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου, ο οποίος παρουσιάζει υψηλή συχνότητα εμφάνισης από το Σεπτέμβριο έως τον Μάιο με μέγιστη συχνότητα το δίμηνο Οκτωβρίου-Νοεμβρίου (Σχήμα 3.10). Μια σφήνα χαμηλών πιέσεων (trough) εμφανίζεται στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000hPa πάνω την δυτική Μεσόγειο η οποία με το ύψος και συγκεκριμένα στην ισοβαρική επιφάνεια των 500hPa μετατοπίζεται βορειοδυτικότερα πάνω από την Γαλλία.

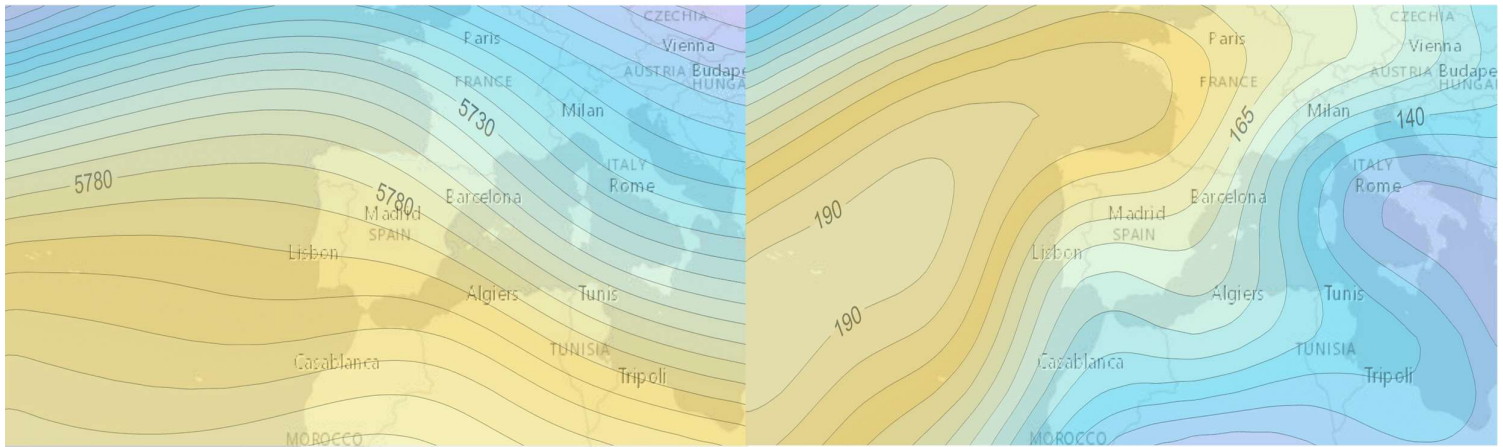


Σχήμα 3.9 WT4 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

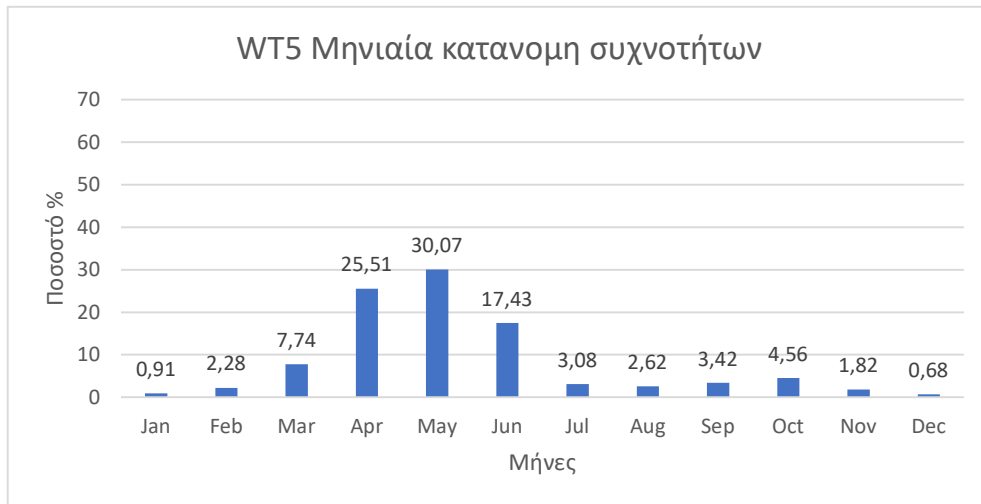


Σχήμα 3.10 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT4 ανά μήνα.

- Ο WT5 (Σχήμα 3.12), σύμφωνα με την ενδοετήσια διακύμανση της συχνότητάς του, είναι γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου του έτους καθώς έχει υψηλή συχνότητα εμφάνισης κυρίως την άνοιξη και συγκεκριμένα το δίμηνο Απριλίου-Μαΐου. Οι συνοπτικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν τον WT5 περιλαμβάνουν ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων στην επιφάνεια πάνω από την ανατολική μεσόγειο και μια σφήνα χαμηλών πιέσεων πάνω από τον Βισκαϊκό κόλπο. Αυτό το χαμηλό της επιφάνειας είναι υπεύθυνο για την εμφάνιση ανατολικής ροής αερίων μαζών στην Βαρκελώνη.

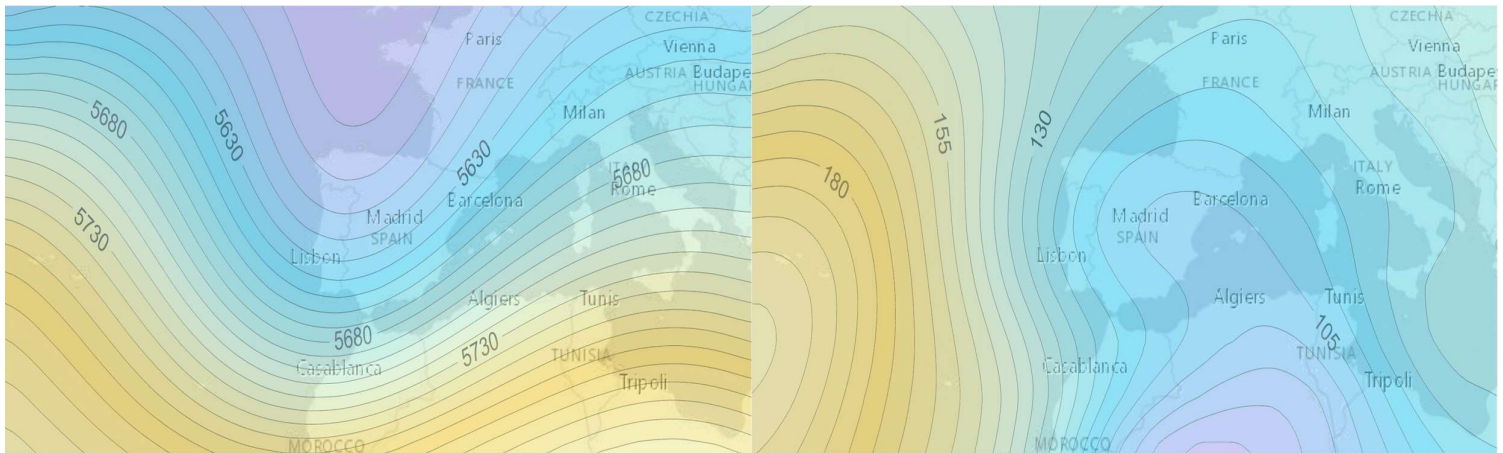


Σχήμα 3.11 WT5 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

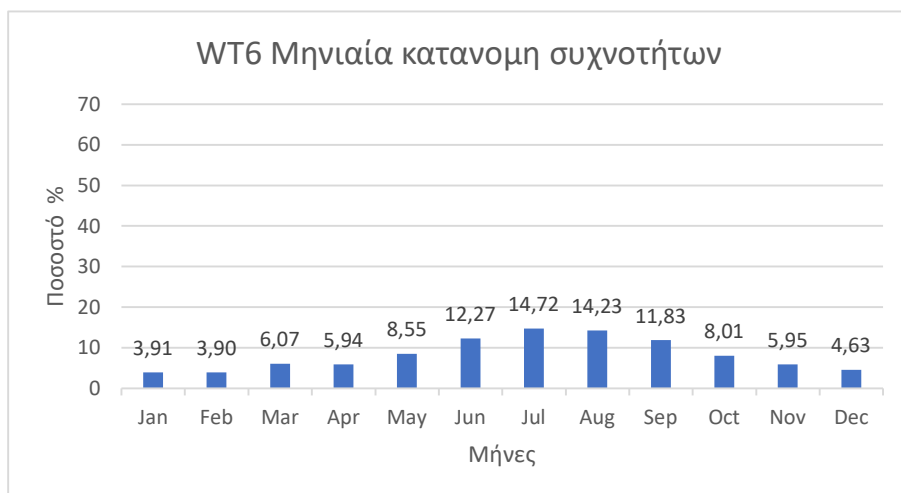


Σχήμα 3.12 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT5 ανά μήνα.

- Ο WT6, σύμφωνα με την ενδοετήσια διακύμανση (Σχήμα 3.14) της συχνότητάς του, είναι γενικά ένας WT που έχει αξιοσημείωτες συχνότητες εμφάνισης τόσο την θερμή όσο και την ψυχρή περίοδο του έτους ωστόσο οι μεγαλύτερες τιμές του εμφανίζονται τους θερινούς μήνες. Χαρακτηρίζεται από την εκτεταμένη παρουσία του αντικυκλώνα των Αζορών πάνω από τον δυτική Ευρώπη και μίας σκάφης υψηλών πιέσεων στην επιφάνεια της ιβηρικής χερσονήσου (Σχήμα 3.13).

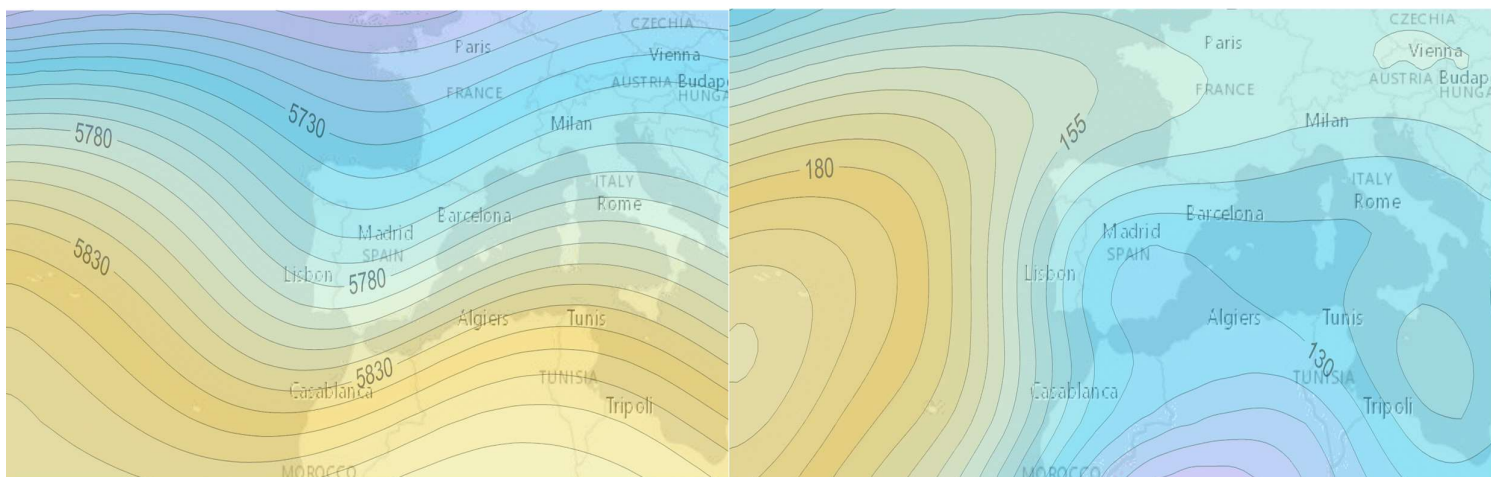


Σχήμα 3.13 WT6 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

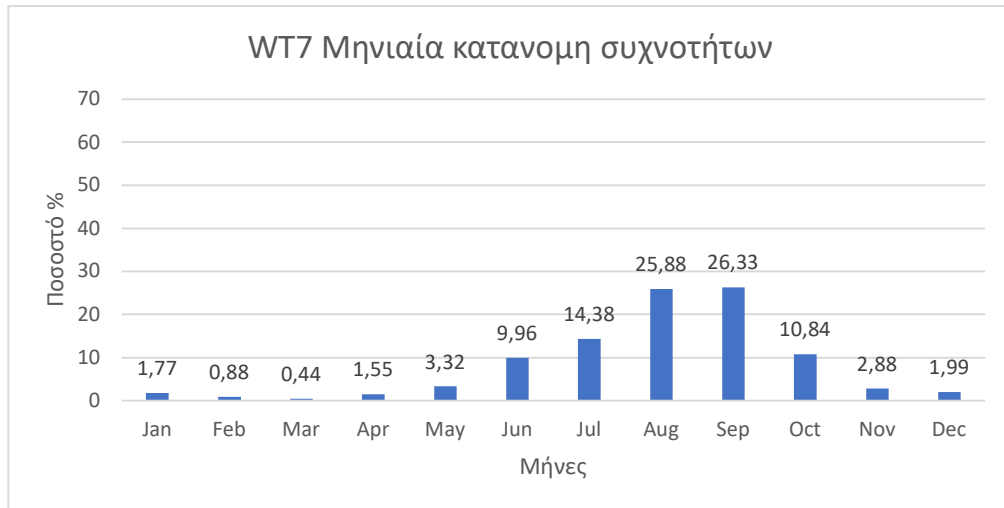


Σχήμα 3.14 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT6 ανά μήνα.

- Ο WT 7 είναι ο τρίτος WT που εμφανίζεται τη θερμή περίοδο του έτους (οι άλλοι είναι ο WT1 και WT6) και παρουσιάζει υψηλή συχνότητα εμφάνισης από τον Ιούνιο έως και τον Οκτώβριο (Σχήμα 3.16). Χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση ενός χαμηλού βαρομετρικού στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000hPa πάνω από την νοτιοδυτική Μεσόγειο (Σχήμα 3.15). Αποτέλεσμα είναι η ύπαρξη για την πόλη της Βαρκελώνης ενός ανέμου νοτιοανατολικής κατεύθυνσης.

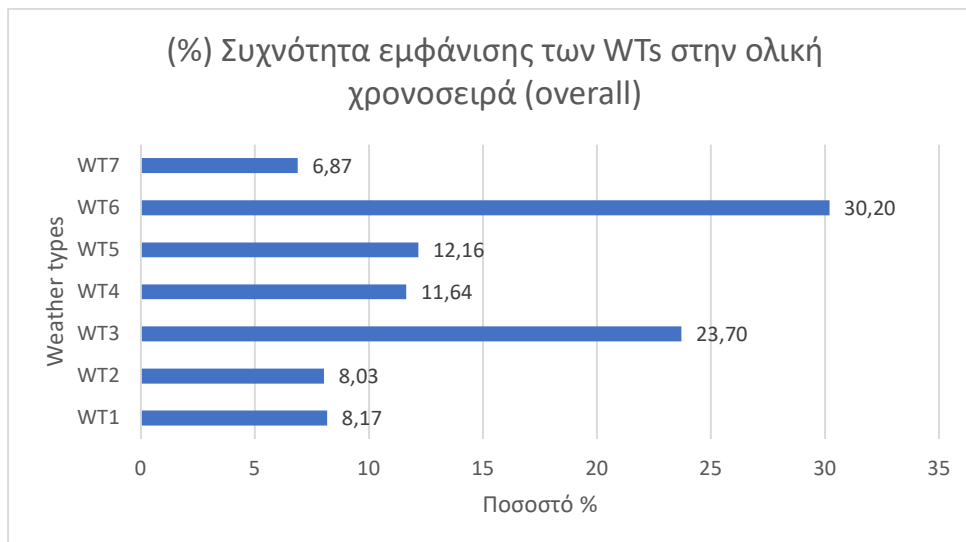


Σχήμα 3.15 WT7 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).



Σχήμα 3.16 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT7 ανά μήνα.

Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των συνοπτικών αερίων μαζών (Σχήμα 3.17), δηλαδή των τύπων καιρού (Weather Types), για τη περιοχή της Βαρκελώνης φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί, όπου απεικονίζει την επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού (WTs) ολόκληρης της χρονοσειράς (overall) από το έτος 1980-2020. Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος καιρού 6 (WT6) είναι ο πιο συχνός τύπος καιρού σε όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς με ποσοστό 30,2% και ακολουθούν οι WT3 με 23,7% και WT 5 με 12,16%, WT 4 με 11,64%, WT1 με 8,17%, WT 2 με 8,3% και τέλος ο WT 7 με 6,87%.

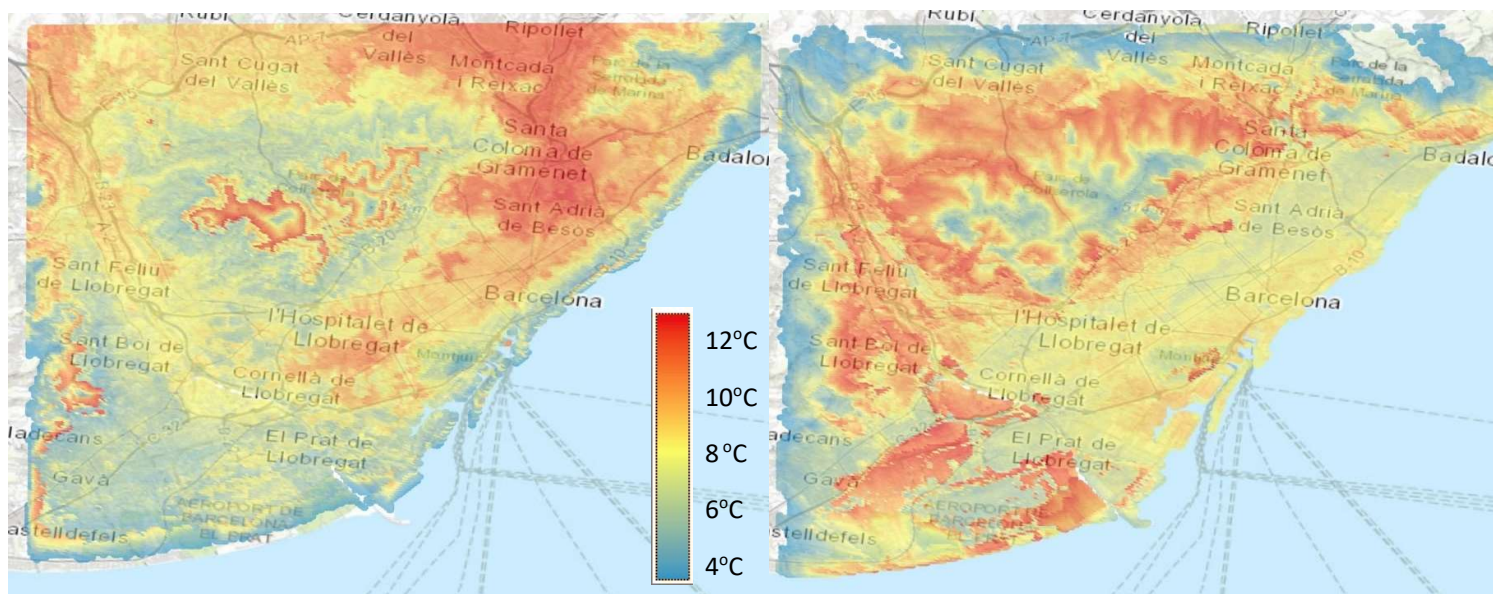


Σχήμα 3.17 Η επί τοις εκατό (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά 1980-2020.

3.1.2 Χωρική κατανομή αστικής υπερθέρμανσης

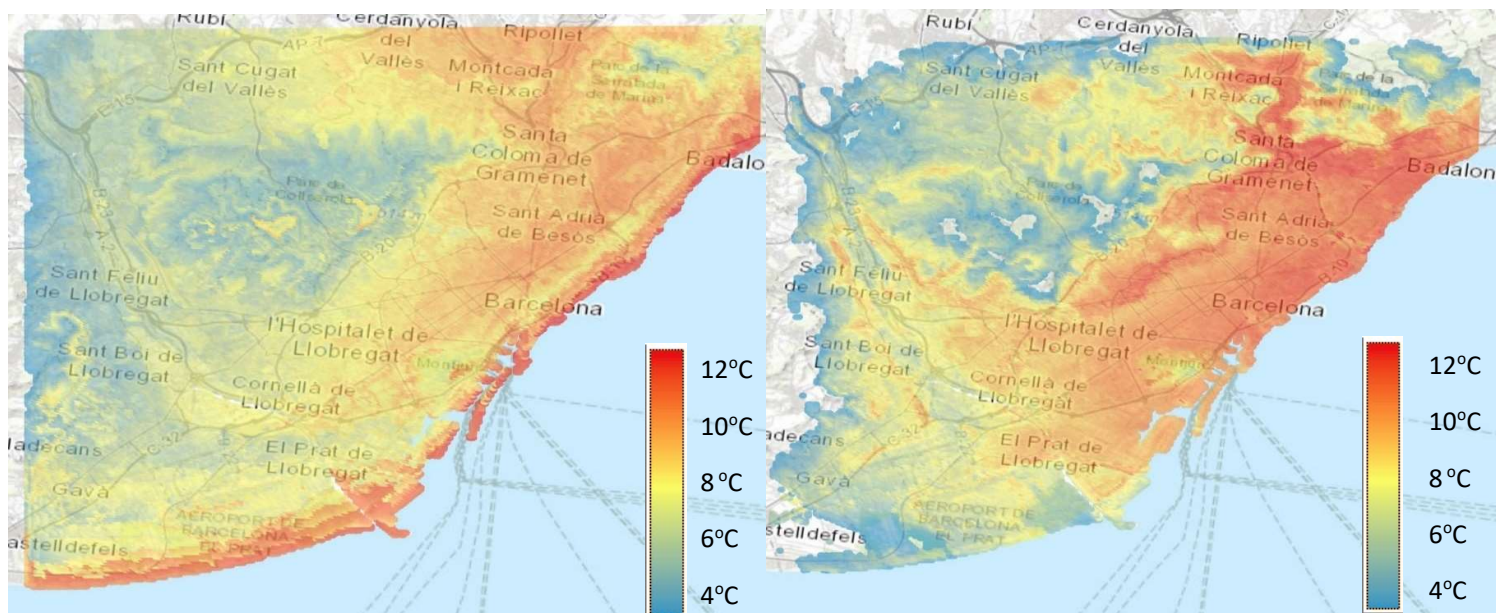
Για την πόλη της Βαρκελώνης όπως φαίνονται στους χάρτες που ακολουθούν παρουσιάζεται η χωρική κατανομή της αστικής υπερθέρμανσης (urban overheating) τόσο ολόημερο όσο και νυχτερινό ανά μήνα για κάθε σημείο πλέγματος του αστικού ιστού που έχει τιμή που να ανήκει στο ανώτερο 5% ΔT_{max} . Τα σημεία που δεν είχαν τιμές παρουσιάζονται λευκά δίχως κάποια χρωματική απόχρωση.

- Τον μήνα Ιούνιο την ημέρα δεν υπάρχουν τιμές υπερθέρμανσης στις παράκτιες περιοχές νοτιοδυτικά του αστικού ιστού. Οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στις περιοχές Sant Adrià de Besòs, Santa Coloma de Gramenet και στην βιομηχανική περιοχή Montcada i Reixac. Τη νύχτα οι μεγαλύτερες τιμές υπερθέρμανσης συγκεντρώνονται πλησίον του αεροδρομίου El Prat και σε ηπειρωτικές περιοχές μεγάλου υψομέτρου (Σχήμα 3.18).



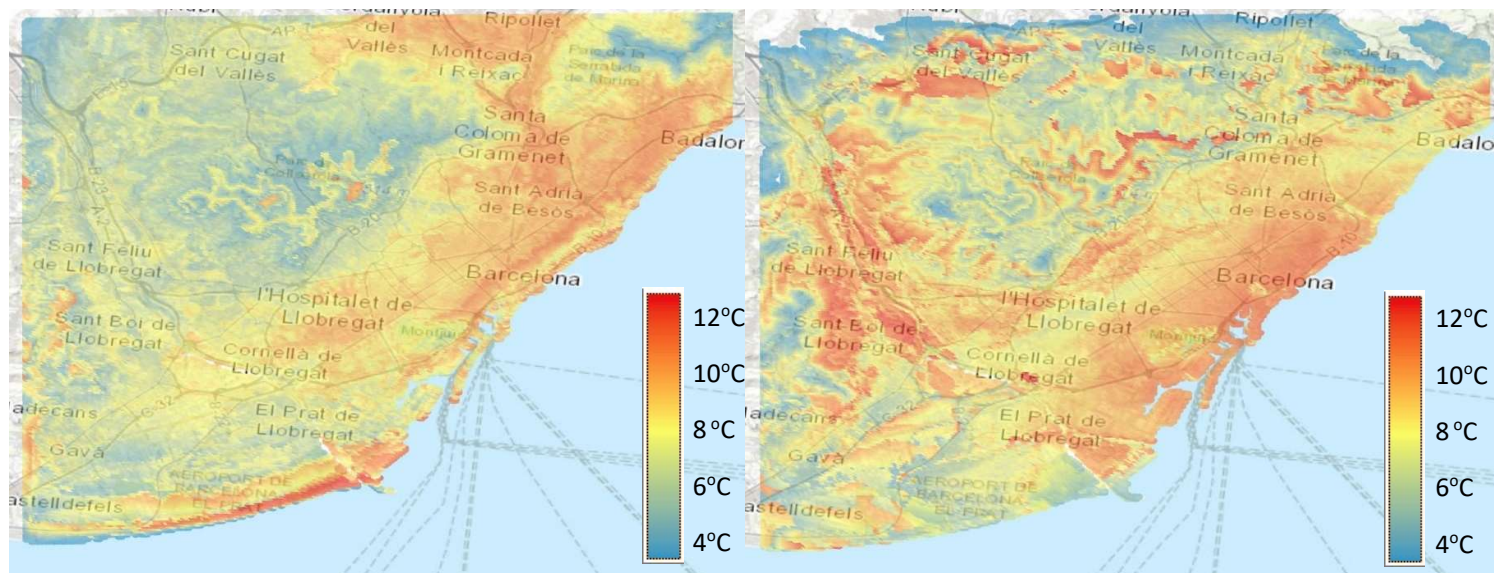
Σχήμα 3.19 Χωρική κατανομή του UO για τη Βαρκελώνη για τον μήνα Ιούνιο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

- Για τον Ιούλιο κατά την διάρκεια της μέρας οι πιο μεγάλες τιμές διαφοράς θερμοκρασίας εντοπίζονται στις παράκτιες περιοχές κατά μήκος όλου του αστικού ιστού. Τη νύχτα δεν υπάρχουν τιμές αστικής υπερθέρμανσης δυτικά και βορείως του αστικού ιστού καθώς και περιοχές εντός του αστικού πάρκου Serra de Collserola. Οι υψηλότερες τιμές τη νυχτερινή περίοδο συγκεντρώνονται περίξ του πυκνού αστικού ιστού (Σχήμα 3.19).



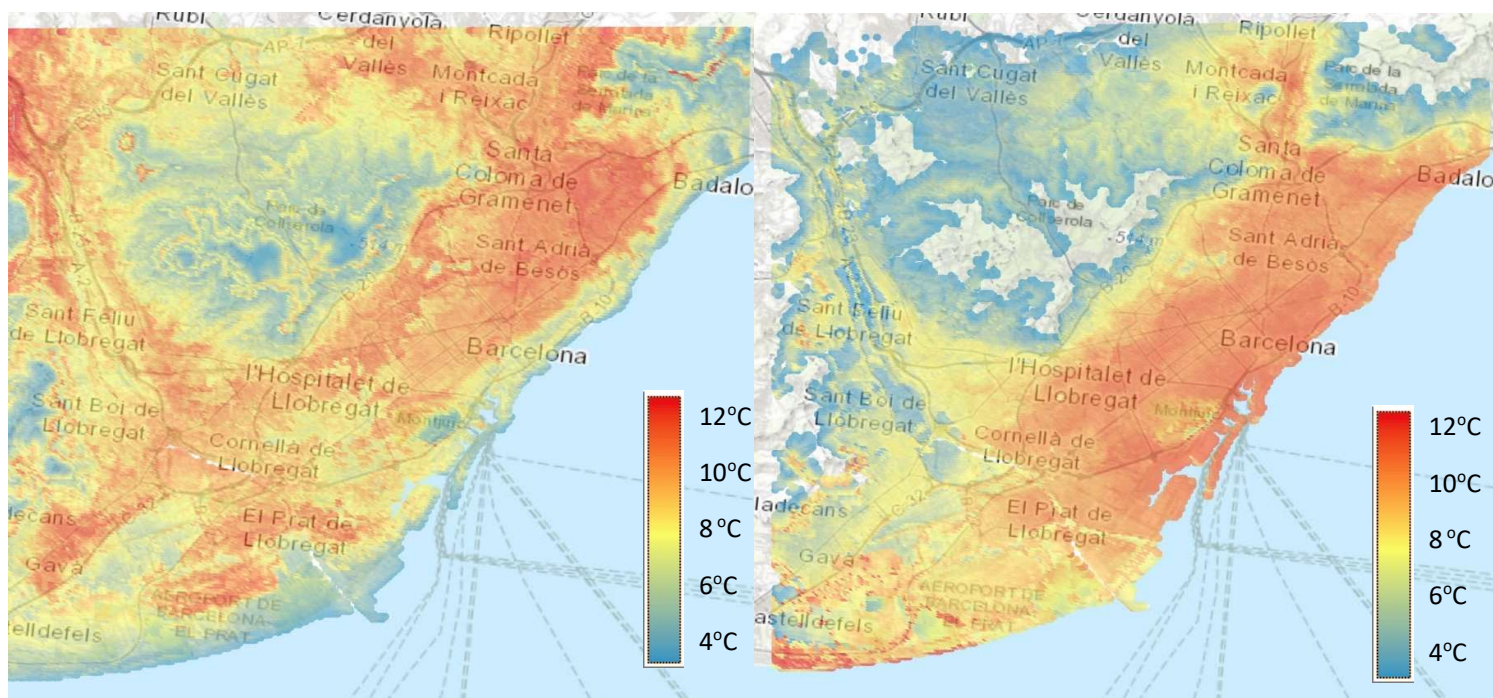
Σχήμα 3.19 Χωρική κατανομή του UO για τη Βαρκελώνη για τον μήνα Ιούλιο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

- Για τον μήνα Αύγουστο παρατηρείται ότι υπάρχουν τιμές που ανήκουν στο 5% ΔT_{\max} κατά την διάρκεια της μέρας σε όλο τον αστικό ιστό. Οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζονται νοτιοδυτικά του αεροδρομίου της πόλης. Όμως, κατά την διάρκεια της νύχτας στο βορειοανατολικό κομμάτι της πόλης δεν υπάρχουν τιμές υπερθέρμανσης. Σε αντίθεση με την μέρα την νύχτα οι μέγιστες τιμές εντοπίζονται στις παράκτιες περιοχές του πυκνού αστικού ιστού καθώς και σε σημεία ηπειρωτικών περιοχών με σχετικά μεγάλο υψόμετρο (Σχήμα 3.20).



Σχήμα 3.20 Χωρική κατανομή του UO για τη Βαρκελώνη για τον μήνα Αύγουστο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

- Για τον Σεπτέμβριο κατά την διάρκεια της ημέρας υπάρχουν τιμές υπερθέρμανσης σε όλο το πλέγμα με τις υψηλότερες να βρίσκονται στις ηπειρωτικές περιοχές με την μεγαλύτερη αστική πυκνότητα. Την νύχτα δεν υπάρχουν τιμές αστικής υπερθέρμανσης σε αρκετές περιοχές του αστικού ιστού με μεγάλο υψόμετρο ενώ, οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στις παραθαλάσσιες περιοχές (Σχήμα 3.21).



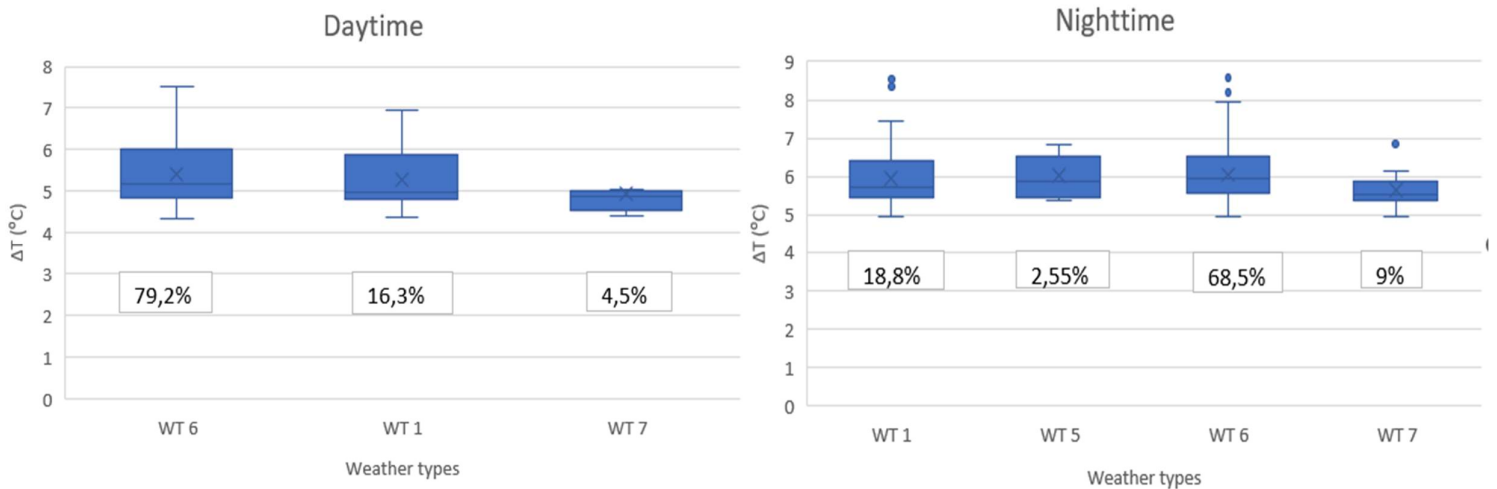
Σχήμα 3.21 Χωρική κατανομή του UO για τη Βαρκελώνη για τον μήνα Σεπτέμβριο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

3.1.3 Συσχέτιση αστικής υπερθέρμανσης με τους τύπους καιρού

Για να μελετηθεί η συσχέτιση μεταξύ των ημερήσιων τύπων καιρού και της αστικής υπερθέρμανσης υπολογίστηκε το 5% των υψηλότερων διαφορών θερμοκρασίας $5\% \Delta T_{\max}$ τόσο κατά την διάρκεια της νύχτας (nighttime) όσο και κατά την διάρκεια της ημέρας (daytime). Έπειτα, η ημερομηνία εμφάνισης κάθε τιμής αντιστοιχήθηκε με τον επικρατούντα τύπο καιρού την εκάστοτε μέρα. Για την πόλη της Βαρκελώνης παρουσιάζονται οι συσχετίσεις της αστικής υπερθέρμανσης με τους τύπους καιρού τόσο κατά την διάρκεια της νύχτας (nighttime) όσο και κατά την διάρκεια της ημέρας (daytime).

Κατά την διάρκεια της ημέρας, τις ημερομηνίες που εμφανίζεται αστική υπερθέρμανση επικρατούν οι τυποί καιρού WT6, WT7 και WT1. Ο κυρίαρχος με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης 79,2% καθώς και την μεγαλύτερη θερμοκρασιακή επίδραση είναι ο WT6 με μέση τιμή 5,5°C (Σχήμα 3.22).

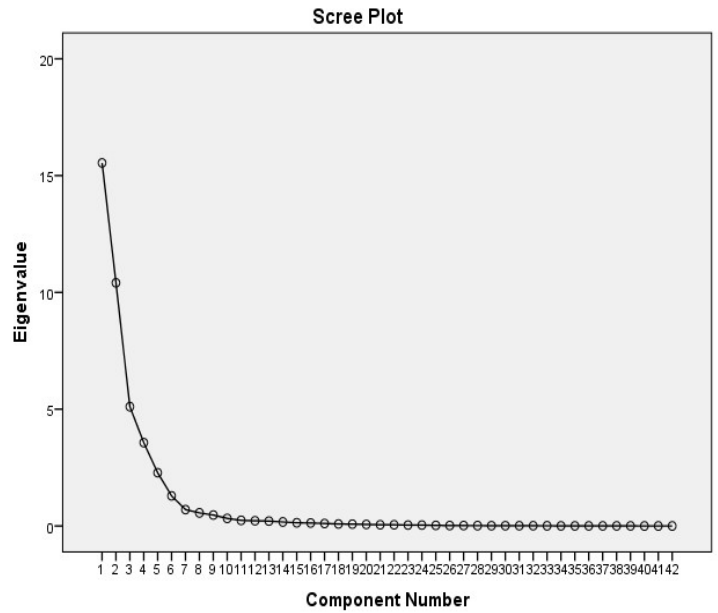
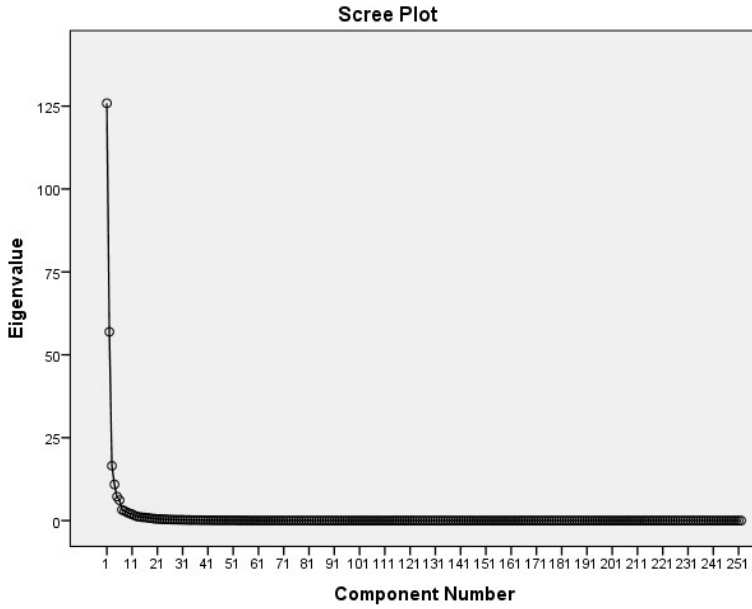
Κατά την διάρκεια της νύχτας έχουμε την εμφάνιση των τύπων καιρού που επικρατούν την ημέρα WT6, WT1, WT7 με την προσθήκη του WT5. Ωστόσο, το ποσοστό εμφάνισης του WT6 μειώνεται από το 79,2% σε 68,5% ενώ των WT1 και WT7 αυξάνεται από 16,3% σε 18,8% και από 4,5% σε 9% αντιστοίχως. Επιπλέον, η επίδραση στην θερμοκρασία όλων των τύπων καιρού είναι μεγαλύτερη την νύχτα από την ημέρα. Πιο συγκεκριμένα, ο WT6 από 5,5°C σε 6,1°C, ο WT1 από 5,4°C σε 6°C και ο WT7 από 4,9°C σε 5,8°C (Σχήμα 3.22).



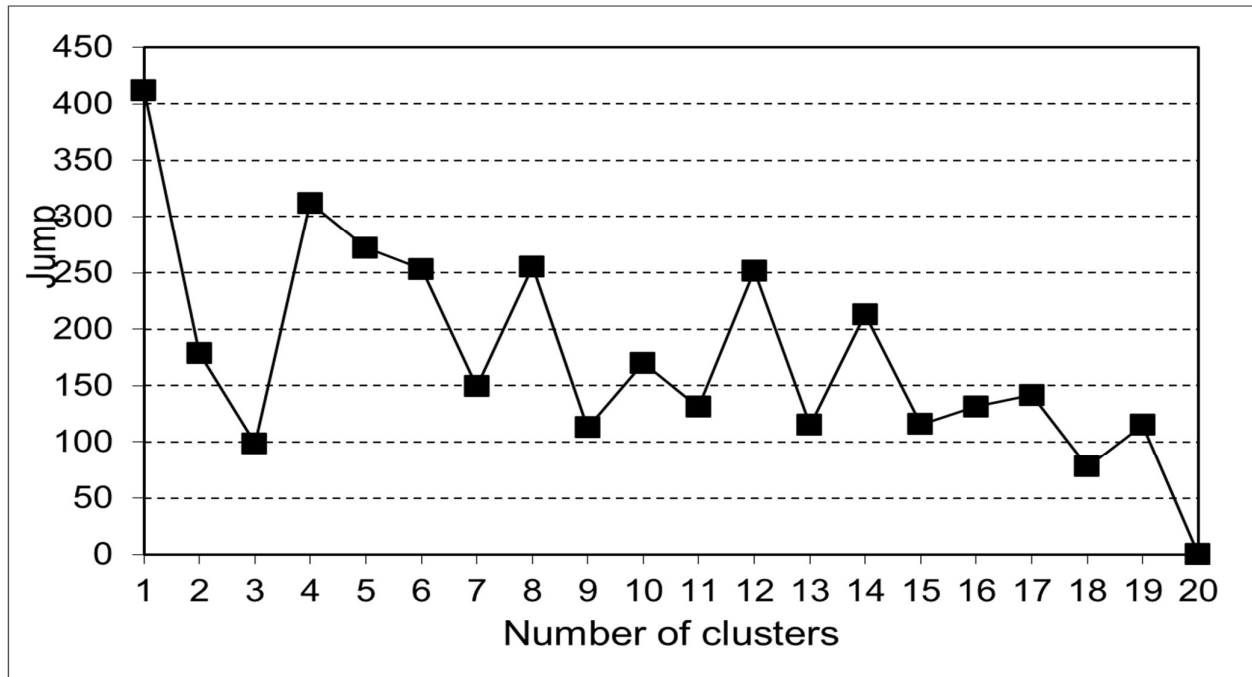
Σχήμα 3.22 Συσχέτιση του ανώτατου 5% των ημερήσιων τιμών ΔT (°C) (αριστερά) και νυχτερινών (δεξιά) με τους επικρατούντες τύπους καιρού για την περιοχή της Βαρκελώνης.

3.2 Η περίπτωση του Λουξεμβούργου

Για το Λουξεμβούργο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.22, όπου παρουσιάζονται τα διαγράμματα Scree για κάθε γεωγραφική περιοχή και υπο-περιοχή (μεγάλο και μικρό domain), η εφαρμογή της PCA στις ημερήσιες τιμές των 4 μετεωρολογικών παραμέτρων οδηγεί σε 6 παράγοντες PCs που ερμηνεύουν το 91% της συνολικής διακύμανσης για το μεγάλο domain και 7 παράγοντες που ερμηνεύουν το 87% της συνολικής διακύμανσης για το μικρό domain. Έπειτα από την εφαρμογή της CA στις χρονοσειρές των 13 PCs (6+7) καταλήγουμε σε 8 ομοιογενείς συστάδες. Για την επιλογή του αριθμού των συστάδων, εκτός από τη μέθοδο Άλματος (Jump method) (Σχήμα 3.23) λαμβάνεται υπόψιν και η φυσική υπόσταση και ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Για αυτό αν και το άλμα είναι μεγαλύτερο στις 4 και 5 συστάδες η προτιμήθηκαν οι 8 συστάδες. Κάθε μία από τις 7 συστάδες αποτελείται από ημερομηνίες οι οποίες χαρακτηρίζονται από παρόμοιες καιρικές/συνοπτικές συνθήκες και επομένως ορίζουν έναν συγκεκριμένο WT. Στα Σχήματα (3.24-3.40) παρουσιάζονται οι μέσοι χάρτες των γεωδυναμικών υψών των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 1000hPa, καθώς και τα αντίστοιχα ραβδογράμματα των μηνιαίων (%) συχνότητων των 8 WTs (τύπων καιρού) και της συχνότητας εμφάνισης των τύπων καιρού ολόκληρης της χρονοσειράς (overall) από το έτος 1980-2020.



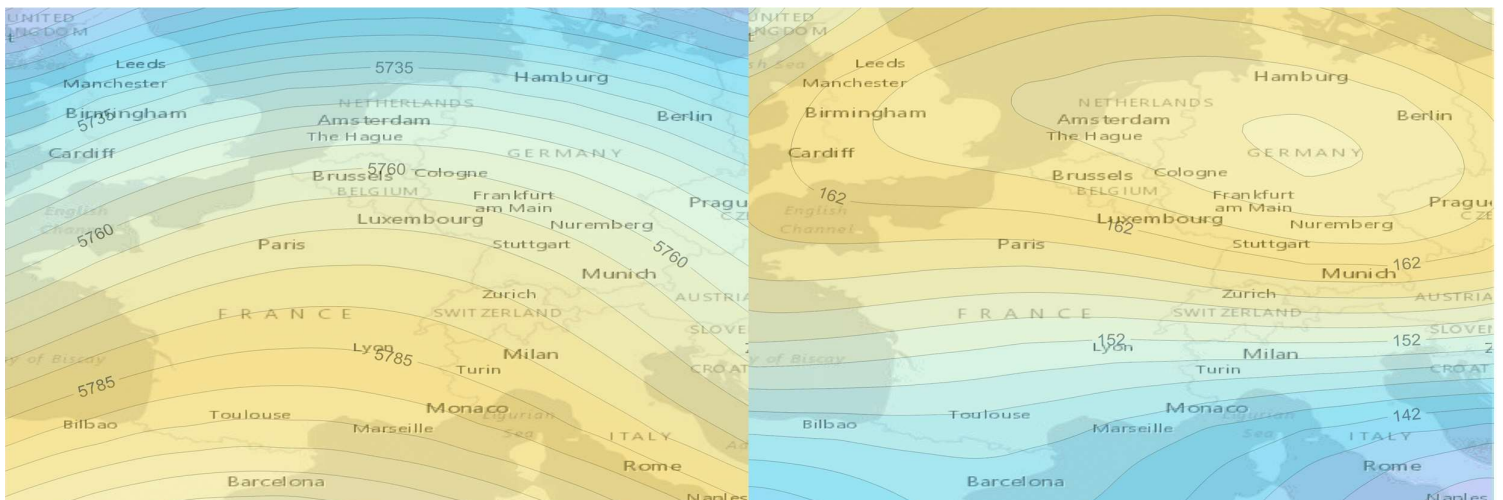
Σχήμα 3.22 Το διάγραμμα Scree που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των PCs για την μικρή γεωγραφική περιοχή (αριστερά) και για την μεγάλη (δεξιά).



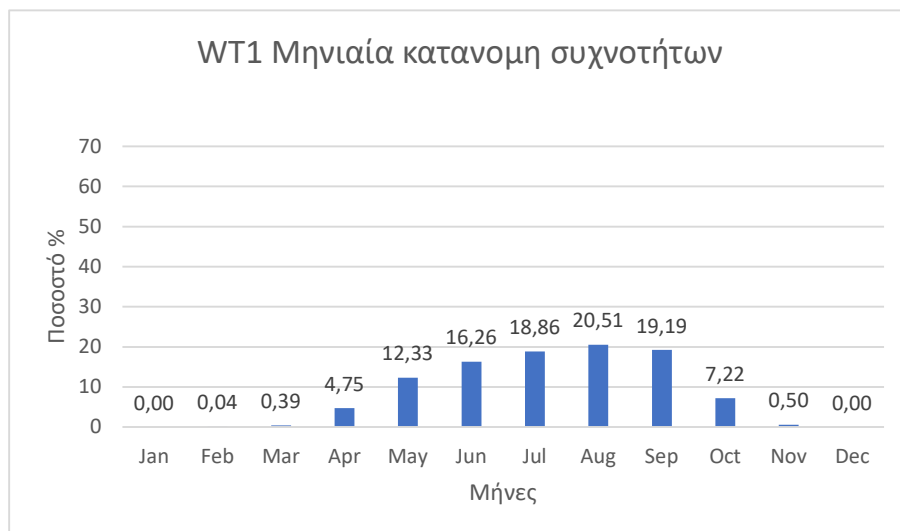
Σχήμα 3.23 Το διάγραμμα του Αλματος (Jump) που χρησιμοποιείται για την επιλογή του αριθμού των συστάδων.

3.2.1 Ορισμός τύπων καιρού

- Ο WT1 (Σχήμα 3.25) είναι ένας WT της θερμής περιόδου του έτους, καθώς επικρατεί από τον Απρίλιο έως και τον Οκτώβριο με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης τον Αύγουστο. Κατά τη διάρκεια της επικράτησης του WT1 στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000hPa, κυριαρχούν αντικυκλωνικές συνθήκες στην κεντρική Ευρώπη (Γερμανία) και κυκλώνικες πάνω από την Ιταλία με αποτέλεσμα μιας ανατολικής ροής στο Λουξεμβούργο (Σχήμα 3.24).

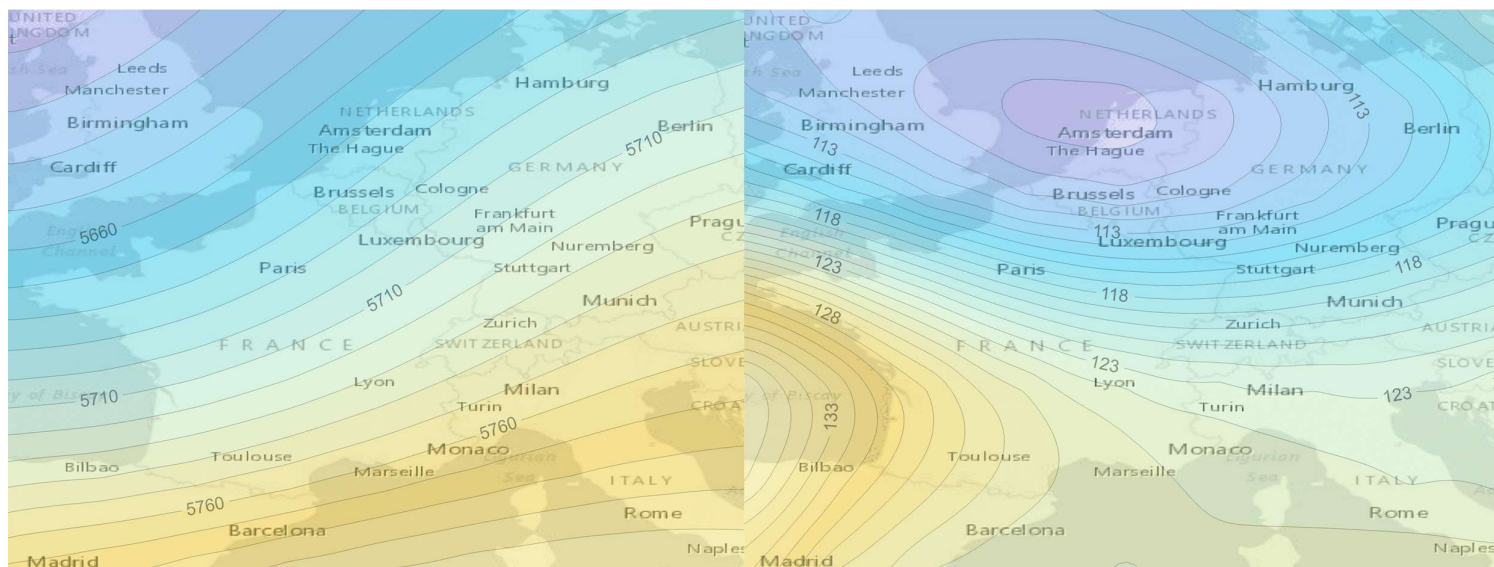


Σχήμα 3.24 WT1 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

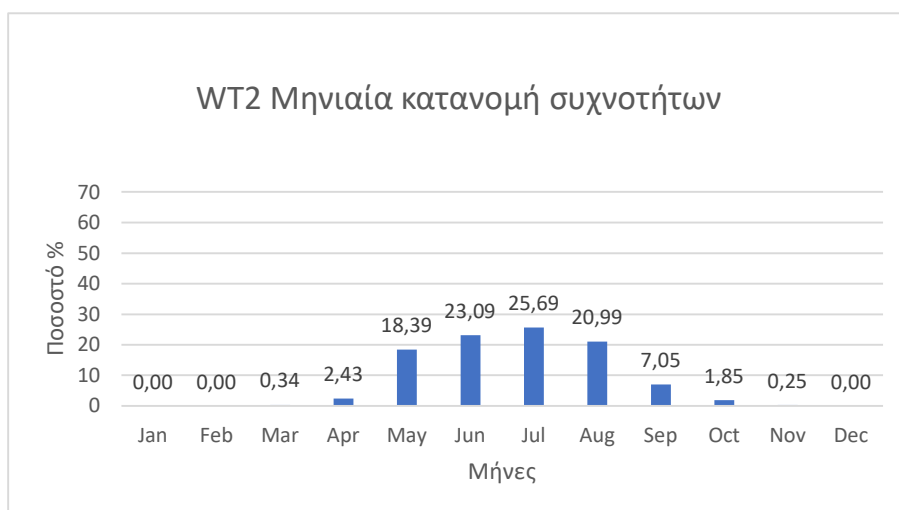


Σχήμα 3.25 Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT1 ανά μήνα.

- Ο WT2 (Σχήμα 3.26) χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία ενός ισχυρού χαμηλού βαρομετρικού επιφανείας με επίκεντρο πάνω από την Ολλανδία, προκαλώντας μια δυτική-νοτιοδυτική ροή ανέμου στην κεντρική Ευρώπη. Ο WT2 είναι ο δεύτερος τύπου καιρού που εμφανίζεται την θερμή περίοδο του έτους μετά τον WT1. Εμφανίζεται από τον Μάιο έως και τον Οκτώβριο με μέγιστη συχνότητα κατά το θέρους Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο (Σχήμα 3.27).

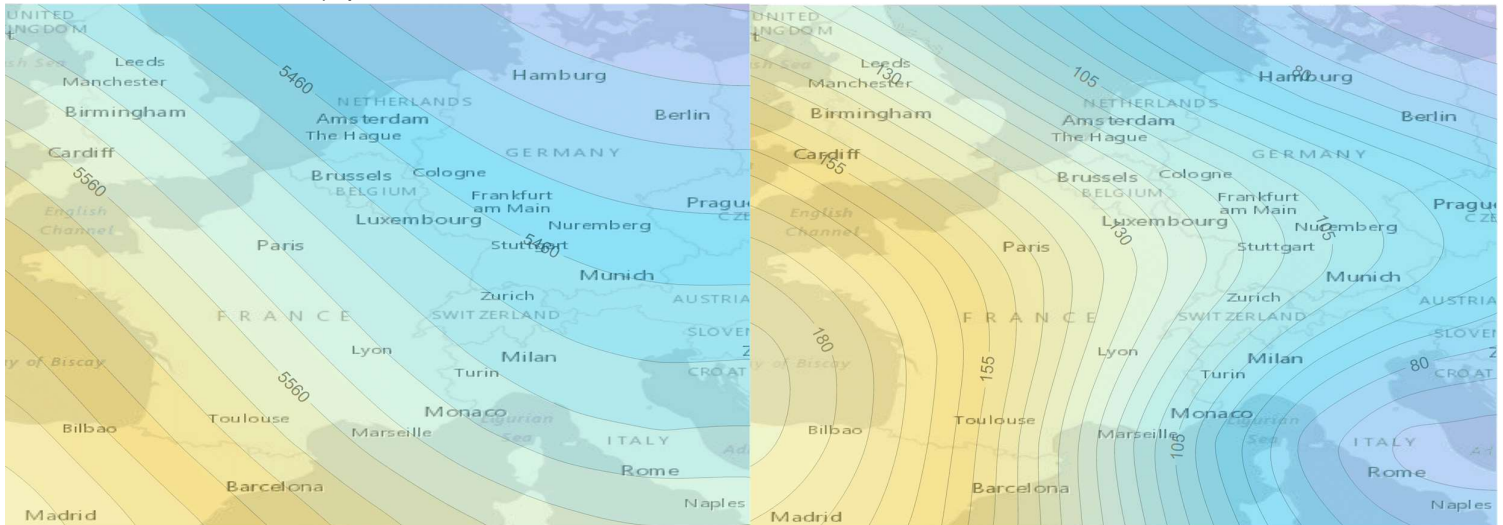


Σχήμα 3.26 WT2 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

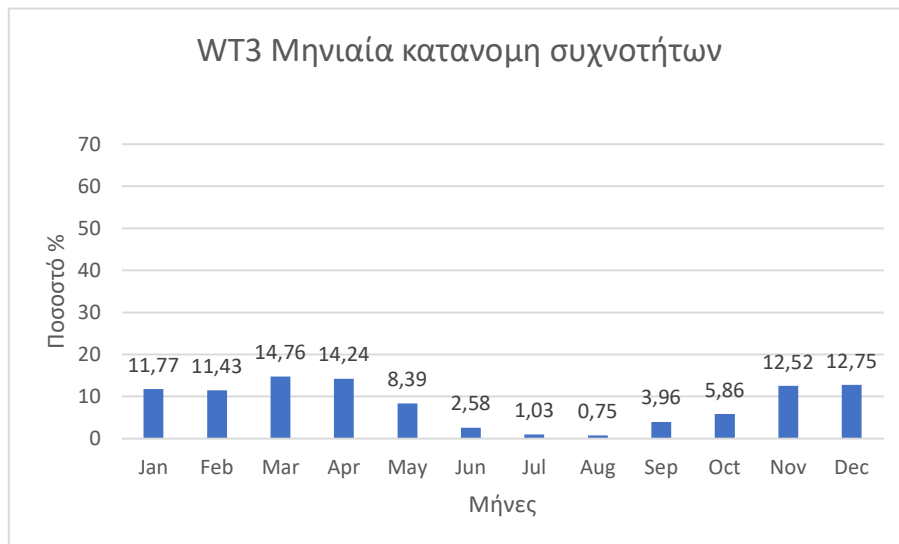


Σχήμα 3.27 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT2 ανά μήνα.

- Ο WT3 (Σχήμα 3.28) σχετίζεται με την ύπαρξη ενός επιφανειακού ανέμου βορειοδυτικής διεύθυνσης στην κεντρική Ευρώπη που είναι απόρροια της συνύπαρξης μίας σκάφης υψηλών πιέσεων (ridge) πάνω από την Γαλλία ενός χαμηλού βαρομετρικού στην Αδριατική θάλασσα. Ο WT3 μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας WT της ψυχρής περιόδου καθώς σύμφωνα με την ενδοετήσια διακύμανση της συχνότητάς (Σχήμα 3.29) του εμφανίζεται κυρίως κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Μαΐου με παρόμοια ποσοστά εμφάνισης ανά μήνα.

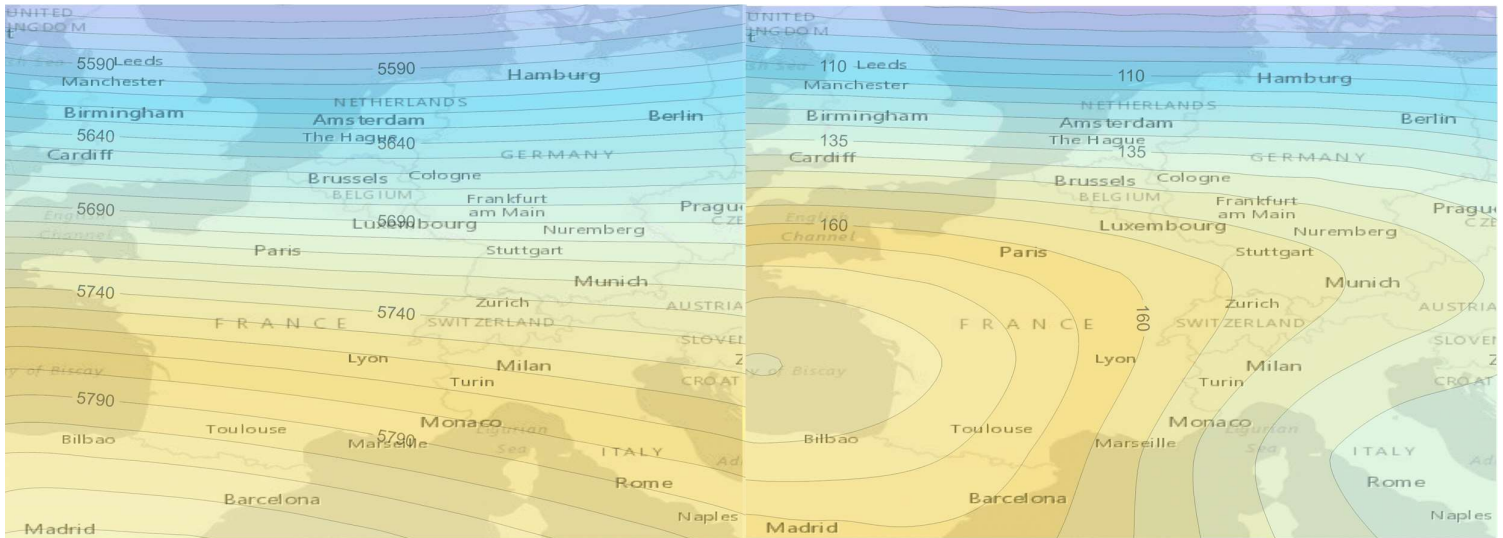


Σχήμα 3.28 WT3 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

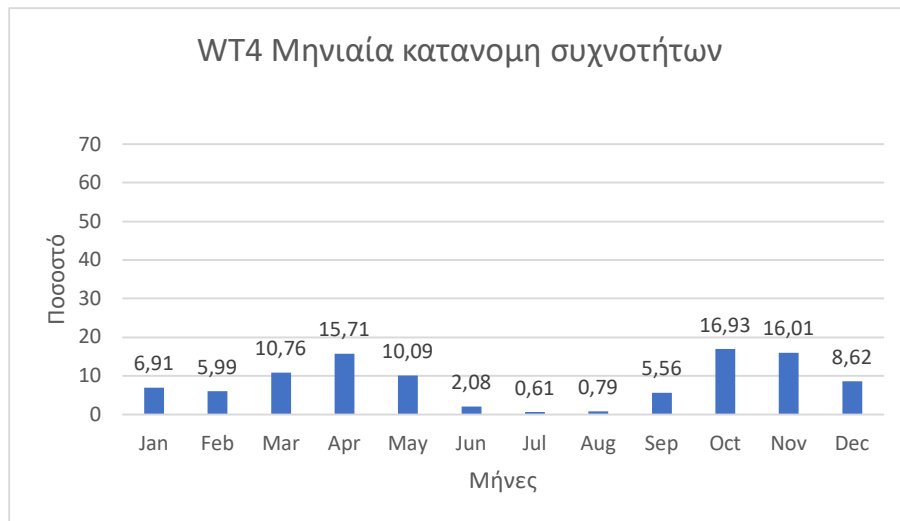


Σχήμα 3.29 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT3 ανά μήνα.

- Ο WT4 (Σχήμα 3.31) όπως και ο WT3 είναι γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου, ο οποίος παρουσιάζει υψηλή συχνότητα εμφάνισης από το Σεπτέμβριο έως και τον Μάιο. Ωστόσο, τις μεγαλύτερες συχνότητες εμφάνισης βρίσκονται τις μεταβατικές εποχές τους έτους (άνοιξη-φθινόπωρο). Ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων είναι ορατό στην ισοβαρική επιφάνεια 500hPa στην Μεγάλη Βρετανία, ενώ στην επιφάνεια ο συνδυασμός ενός συστήματος υψηλής πίεσης στην Ανατολική Μεσόγειο και ενός συστήματος χαμηλής πίεσης στη βορειοδυτική Ευρώπη οδηγεί στην επικράτηση μιας νοτιοδυτικής ροής στην περιοχή του Λουξεμβούργου (Σχήμα 3.30)

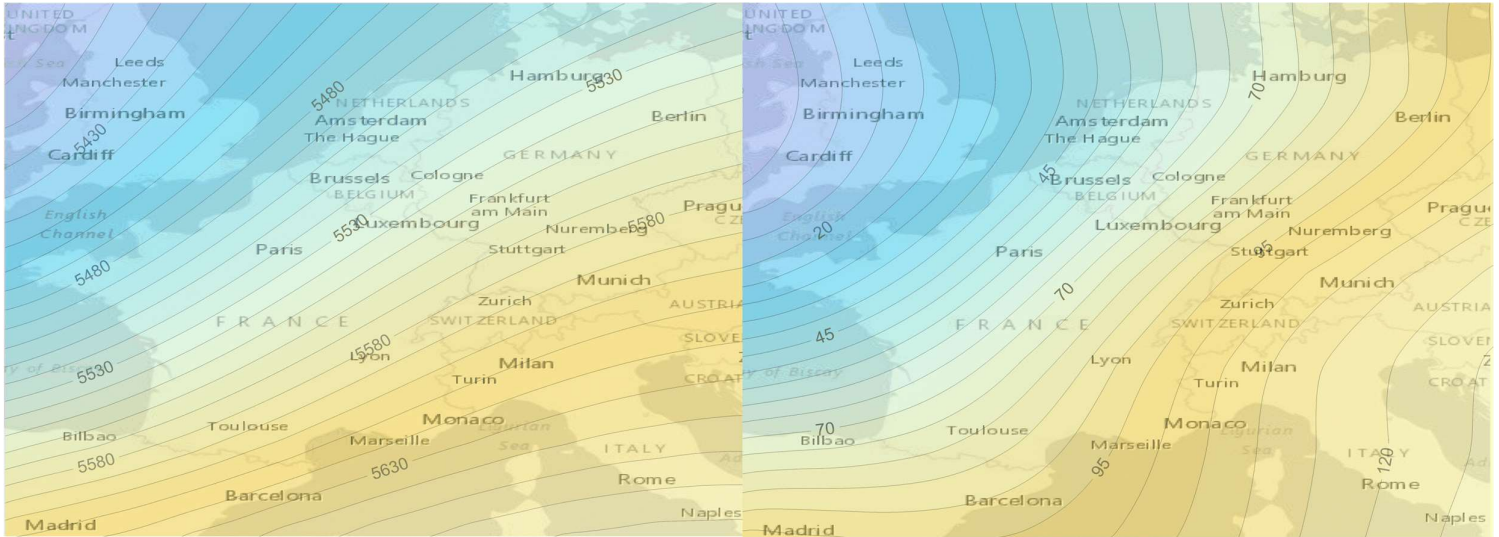


Σχήμα 3.30 WT4 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

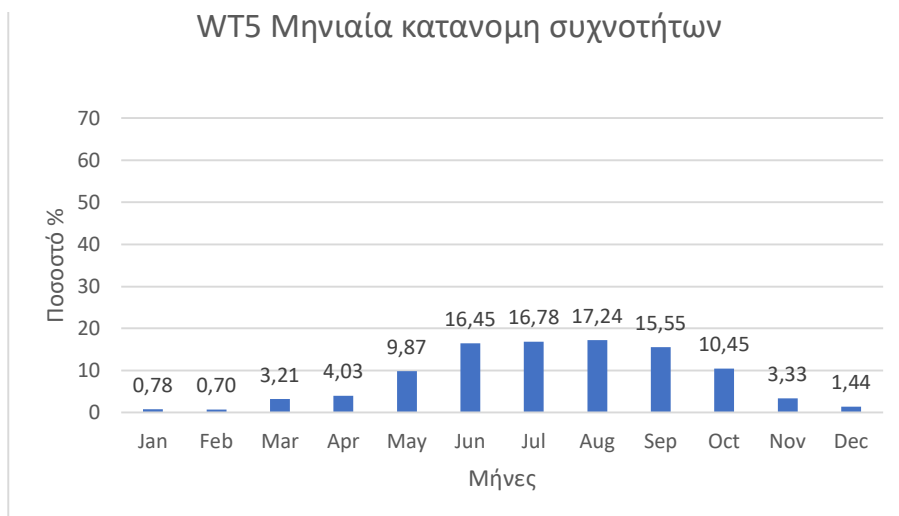


Σχήμα 3.31 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT4 ανά μήνα.

- Ο WT5 (Σχήμα 3.33) είναι ο τρίτος WT που εμφανίζεται τη θερμή περίοδο του έτους (ο άλλος είναι ο WT1 και WT2) και παρουσιάζει υψηλή συχνότητα εμφάνισης από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο. Οι μέγιστες συχνότητες εμφανίζονται τους 4 θερινούς μήνες (Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο-Σεπτέμβριο) επομένως πρόκειται για έναν αμιγώς θερινό τύπο καιρού. Κατά την επικράτηση του ένα υψηλό βαρομετρικό σύστημα είναι εμφανές στον χάρτη επιφανείας πάνω από την Ιβηρική χερσόνησο που προκαλεί μια νοτιοδυτική ροή στην περιοχή του Λουξεμβούργου (Σχήμα 3.32).

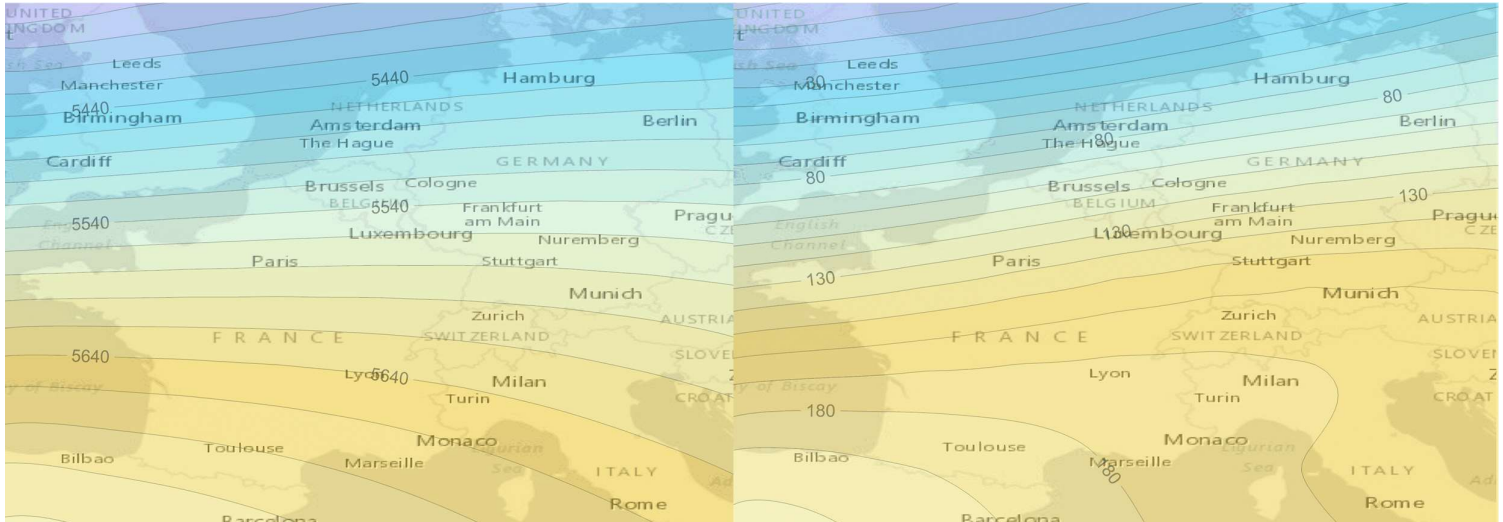


Σχήμα 3.32 WT5 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

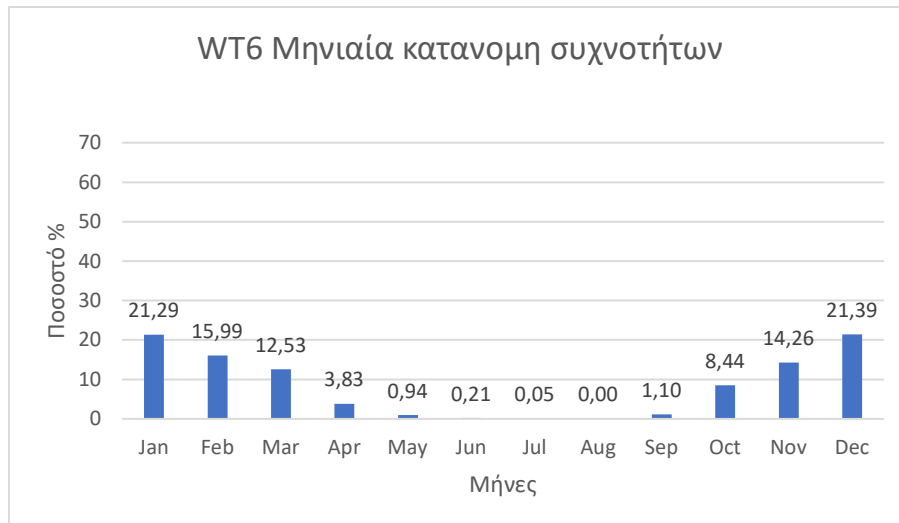


Σχήμα 3.33 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT5 ανά μήνα.

- Ο WT6 (Σχήμα 3.35), σύμφωνα με την ενδοετήσια διακύμανση της συχνότητάς του, είναι γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου του έτους που επικρατεί κυρίως από τον Οκτώβριο έως τον Μάιο με τις ακραίες τιμές εμφάνισης του το δίμηνο Δεκεμβρίου-Ιανουαρίου. Από τους χάρτες των γεωδυναμικών υψών των ισοβαρικών επιφανειών φαίνεται ένας αντικυκλώνας πάνω από την Ιβηρική χερσόνησο στα 500hPa ο οποίος μετατοπίζεται ανατολικότερα στην επιφάνεια (Σχήμα 3.34).

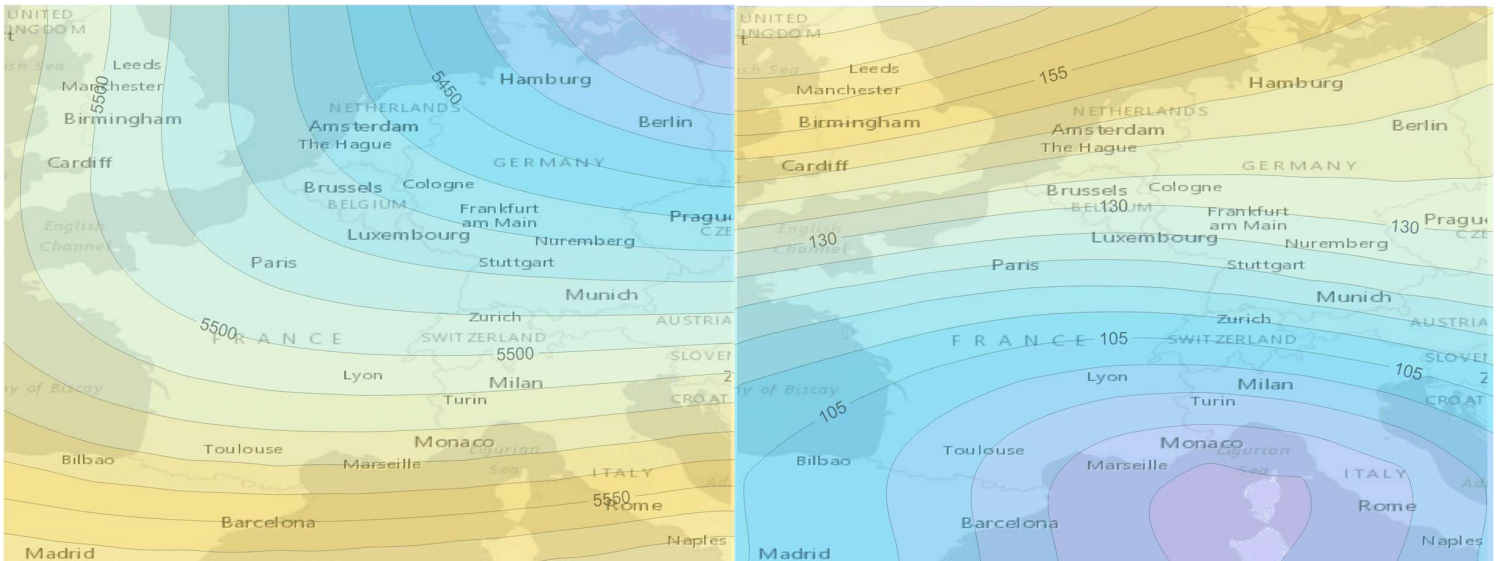


Σχήμα 3.34 WT6 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

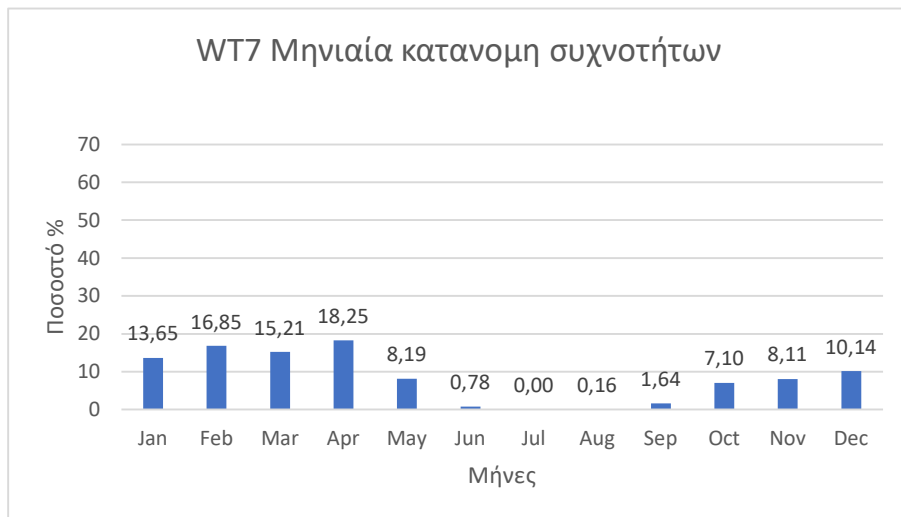


Σχήμα 3.35 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT6 ανά μήνα.

- Ο WT7 (Σχήμα 3.36) χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία ενός συστήματος χαμηλής πίεσης δυτικά της Ιταλίας. Ως αποτέλεσμα, βορειοδυτικοί άνεμοι επικρατούν στη δυτική Μεσόγειο, ενώ η κεντρική και η ανατολική Μεσόγειος βρίσκεται υπό την επίδραση νότιων ανέμων. Ο WT7 είναι ένας WT που επικρατεί την ψυχρή περίοδο Οκτώβριο έως Μάιο και οριακά στις αρχές της θερμής περιόδου με μεγαλύτερη συχνότητα τον Απρίλιο (Σχήμα 3.37).

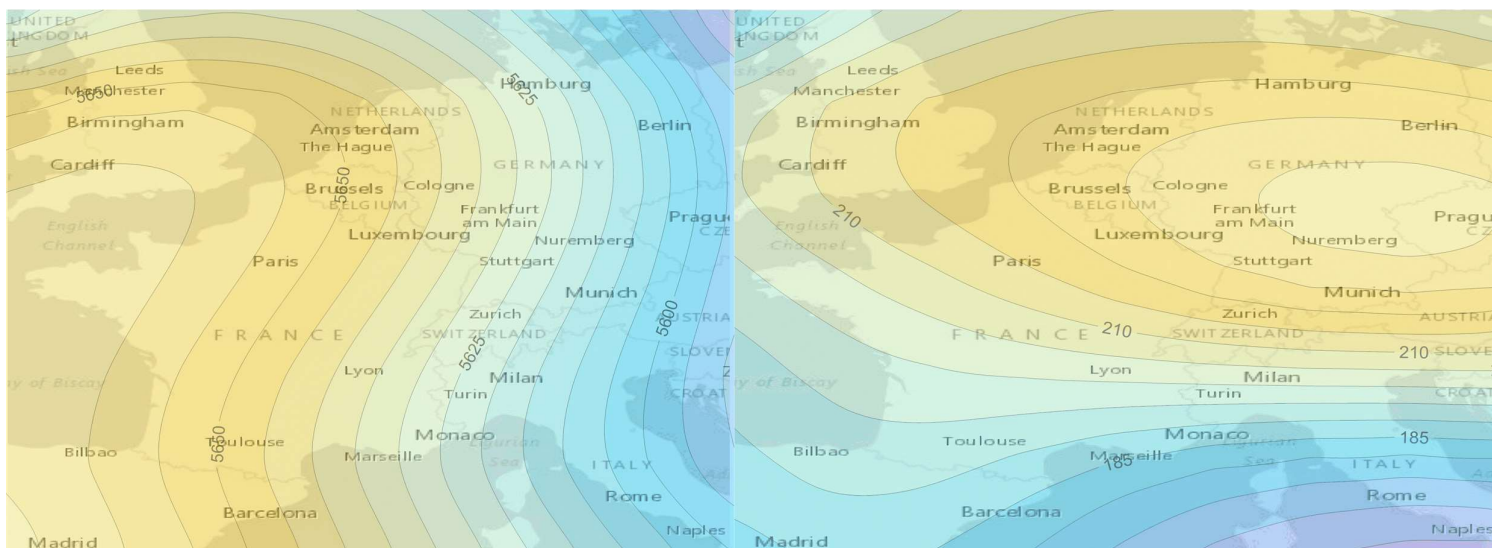


Σχήμα 3.36 WT7 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

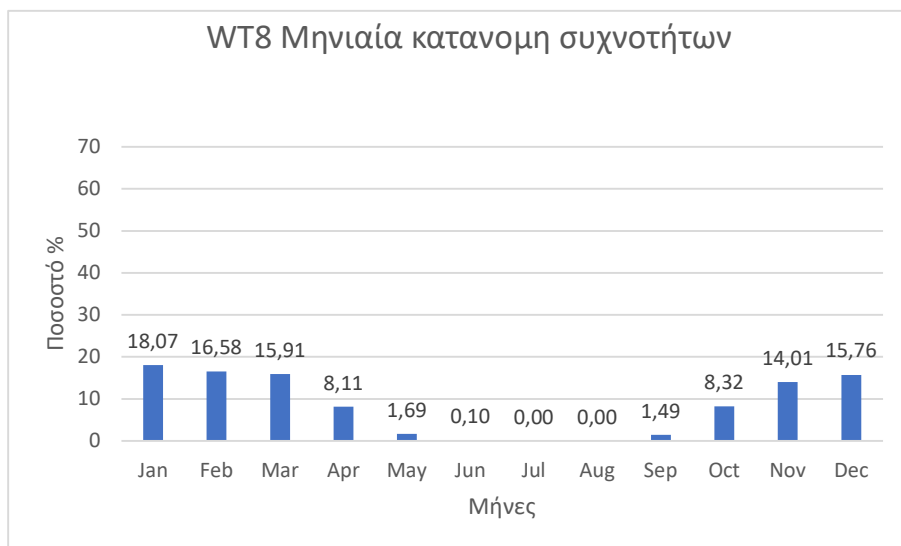


Σχήμα 3.37 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT6 ανά μήνα.

- Τέλος, ο WT8 (Σχήμα 3.39) θεωρείται γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου, ο οποίος εμφανίζει μέγιστο συχνότητας τον Ιανουάριο. Χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός ισχυρού αντικυκλώνα πάνω από την κεντρική Ευρώπη και μιας ύφεσης πάνω από την νότια Ιταλία. Ως αποτέλεσμα, μια νοτιοανατολική ροή επικρατεί στην ευρύτερη περιοχή του Λουξεμβούργου (Σχήμα 3.38).



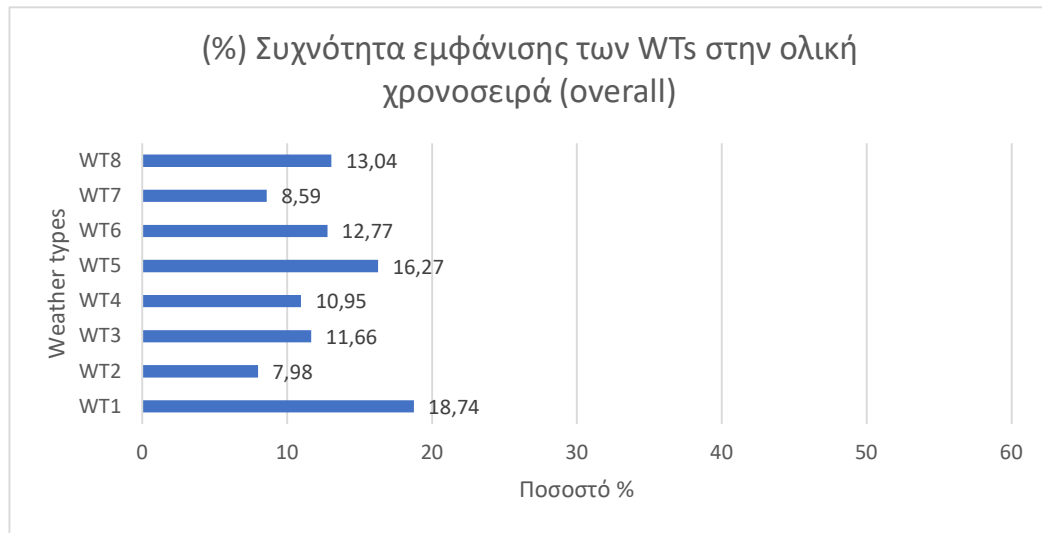
Σχήμα 3.38 WT8 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).



Σχήμα 3.39 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT6 ανά μήνα.

Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των συνοπτικών αερίων μαζών, δηλαδή των τύπων καιρού (Weather Types), για τη περιοχή του Λουξεμβούργου φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί, όπου απεικονίζεται την επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού (WTs) ολόκληρης της χρονοσειράς (overall) από το έτος 1980-2020. Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος καιρού 1 (WT1) είναι ο πιο συχνός τύπος καιρού σε όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς με ποσοστό 18,74% και ακολουθούν οι WT5 με 16,27% και

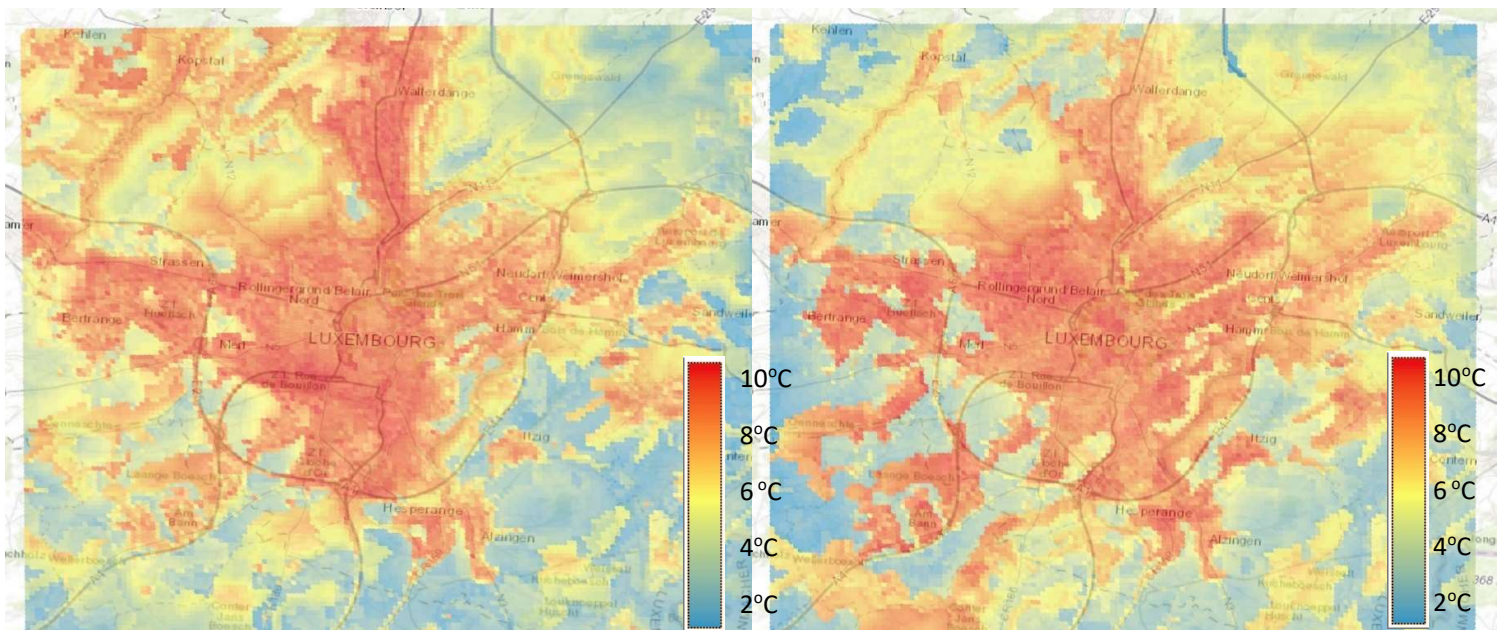
WT 8 με 13,04%, WT 6 με 12,77%, WT 3 με 11,66%, WT 4 με 10,95%, WT 7 με 8,59% και τέλος ο WT 2 με 7,98% (Σχήμα 3.40).



Σχήμα 3.40 Η επί τοις εκατό (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά 1980-2020.

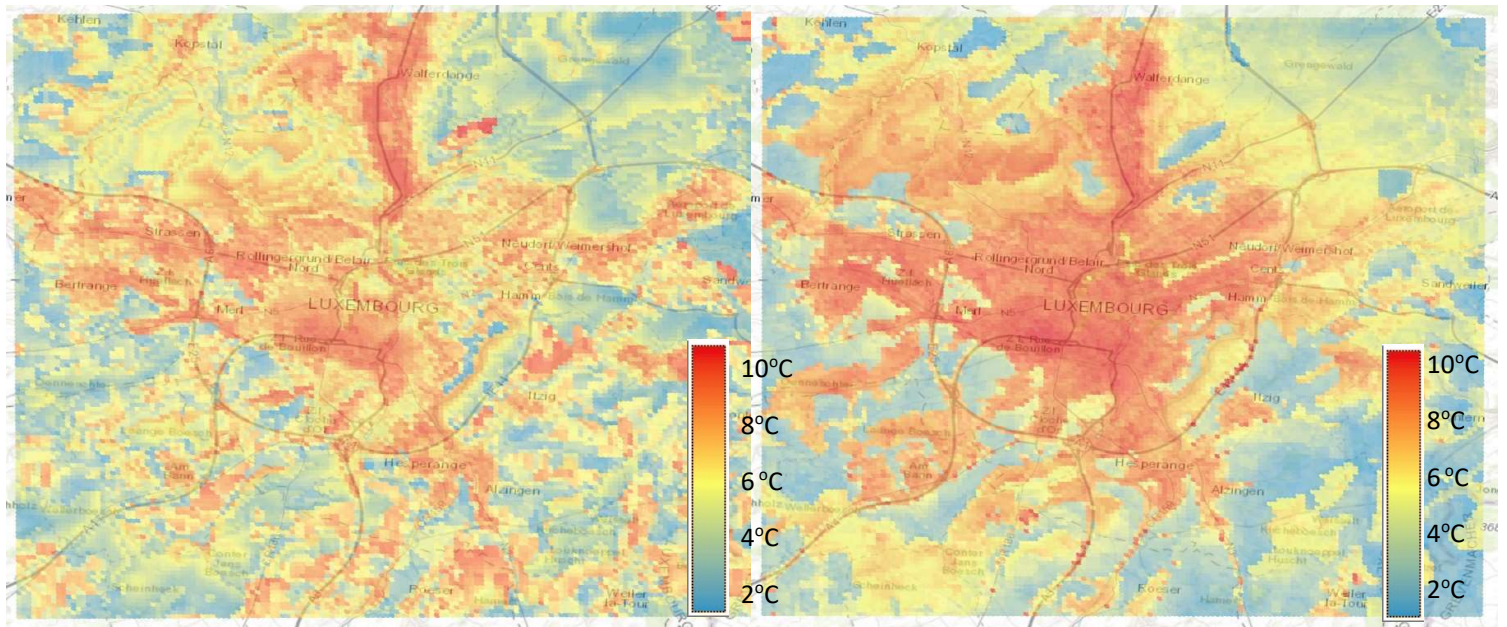
3.2.2 Χωρική κατανομή αστικής υπερθέρμανσης

- Τον Ιούνιο το φαινόμενο της αστικής υπερθέρμανσης κατά την διάρκεια της ημέρας είναι περισσότερο εντοπισμένο στο κέντρο της πόλης. Αντίθετα την νύχτα υψηλές τιμές του φαινομένου υπάρχουν σε εκτενέστερη περιοχή από ότι την μέρα. Όμως, την ημέρα οι τιμές του φαινομένου είναι μεγαλύτερες από την νύχτα (Σχήμα 3.41)



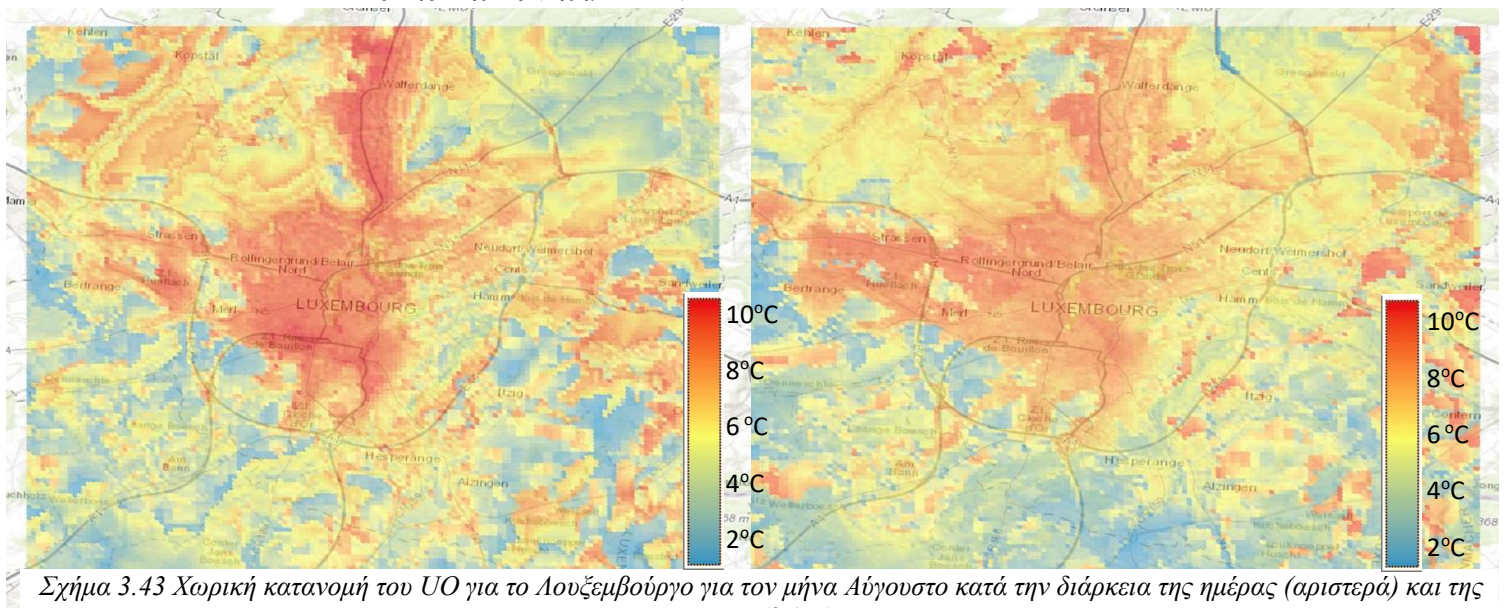
Σχήμα 3.41) Χωρική κατανομή του UO για το Λουξεμβούργο για τον μήνα Ιούνιο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

- Για τον Ιούλιο τόσο το ολόημερο όσο και το νυχτερινό διάστημα τιμές υπερθέρμανσης υπάρχουν σε όλη την αστική περιοχή. Ωστόσο, οι μέγιστες διαφορές θερμοκρασίας αν και εδώ εντοπίζονται στο κέντρο της πόλης, είναι υψηλότερες κατά την διάρκεια της νύχτας από αυτές της μέρας (Σχήμα 3.42).



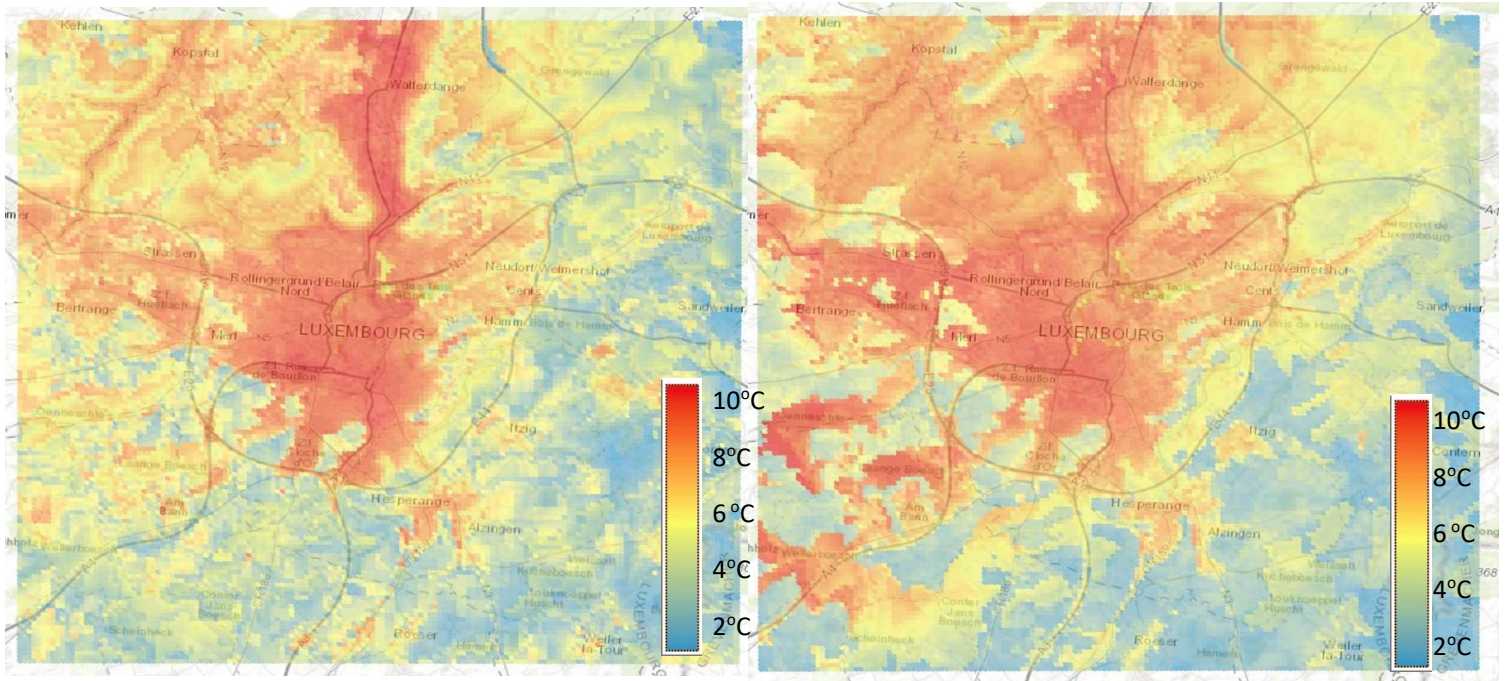
Σχήμα 3.42 Χωρική κατανομή του UO για το Λουξεμβούργο για τον μήνα Ιούλιο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

- Για τον μήνα Αύγουστο εμφανίζονται τιμές υπερθέρμανσης σε όλη την ευρύτερη περιοχή του Λουξεμβούργου τόσο την μέρα όσο και την νύχτα. Οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στο κέντρο της πόλης ωστόσο αυτές οι μέγιστες διαφορές θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερες κατά την διάρκεια της ημέρας από αυτές της νύχτας (Σχήμα 3.43).



Σχήμα 3.43 Χωρική κατανομή του UO για το Λουξεμβούργο για τον μήνα Αύγουστο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

- Τον Σεπτέμβριο κατά την διάρκεια της νύχτας το φαινόμενο είναι πιο εκτεταμένο από ότι την μέρα πέραν του κέντρου του Λουξεμβούργου. Όμως οι τιμές που εμφανίζονται στο κέντρο του αστικού ιστού την ημέρα είναι μεγαλύτερες από ότι την νύχτα (Σχήμα 3.44).



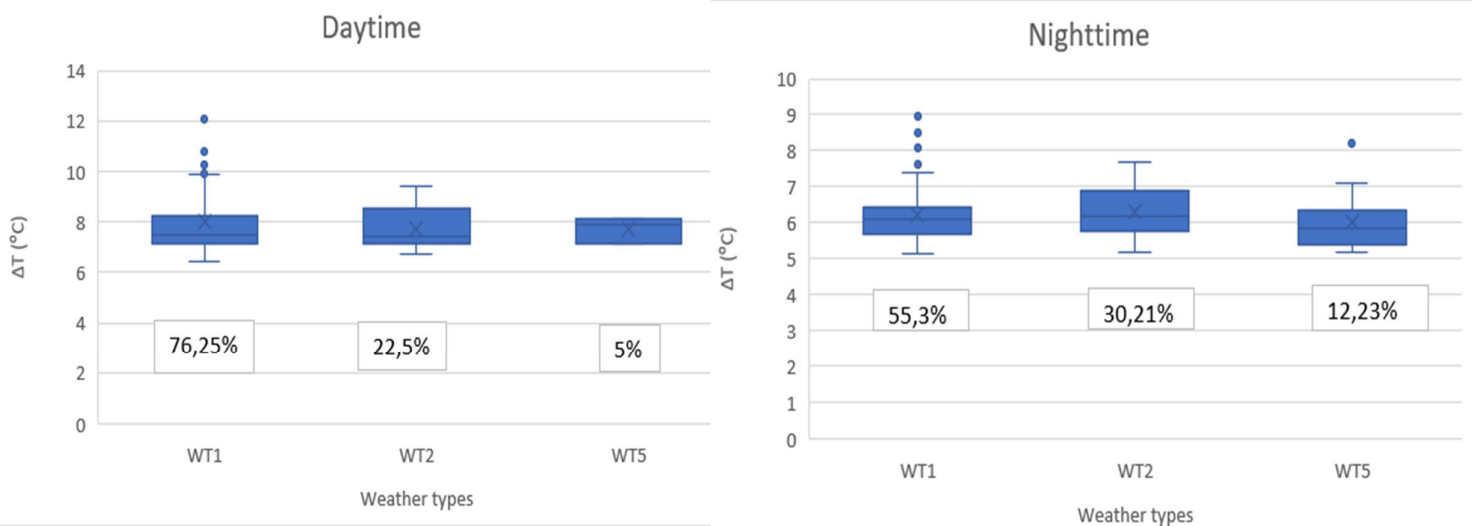
Σχήμα 3.44 Χωρική κατανομή του UO για το Λουξεμβούργο για τον μήνα Σεπτέμβριο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

3.2.3 Συσχέτιση αστικής υπερθέρμανσης με τους τύπους καιρού

Η συσχέτιση μεταξύ των ημερήσιων τύπων καιρού και της αστικής υπερθέρμανσης υπολογίστηκε το 5% των υψηλότερων διαφορών θερμοκρασίας $5\% \Delta T_{\max}$ τόσο κατά την διάρκεια της νύχτας (nighttime) όσο και κατά την διάρκεια της ημέρας (daytime). Έπειτα, η ημερομηνία εμφάνισης κάθε τιμής αντιστοιχήθηκε με τον επικρατούντα τύπο καιρού την εκάστοτε μέρα. Για την πόλη του Λουξεμβούργου παρουσιάζονται οι συσχετίσεις της αστικής υπερθέρμανσης με τους τύπους καιρού τόσο κατά την διάρκεια της νύχτας (nighttime) όσο και κατά την διάρκεια της ημέρας (daytime).

Κατά την διάρκεια της ημέρας, τις ημερομηνίες που εμφανίζεται αστική υπερθέρμανση επικρατούν οι τύποι καιρού WT1, WT2 και WT5. Ο κυρίαρχος με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης 76,25% καθώς και την μεγαλύτερη θερμοκρασιακή επίδραση 8°C είναι ο WT1 (Σχήμα 3.45).

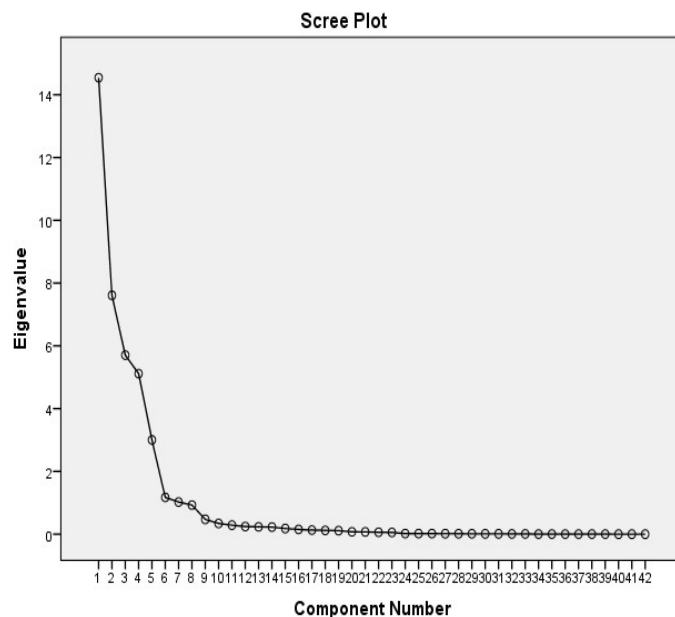
Κατά την διάρκεια της νύχτας έχουμε την εμφάνιση των τύπων καιρού που επικρατούν την ημέρα WT1, WT2, WT5 όμως τα ποσοστά εμφάνισης επί των ημερών αστικής υπερθέρμανσης αλλάζουν. Το ποσοστό εμφάνισης του WT1 μειώνεται από το 79,25% σε 55,3% ενώ των WT2 και WT5 αυξάνονται από 22,5% σε 30,21% και από 5% σε 12,23% αντιστοίχως. Επιπλέον, η επίδραση στην θερμοκρασία όλων των τύπων καιρού είναι μικρότερη κατά την διάρκεια της νύχτας από την ημέρα (Σχήμα 3.45).



Σχήμα 3.45 Συσχέτιση του ανώτατου 5% των ημερήσιων τιμών ΔT ($^{\circ}\text{C}$) (αριστερά) και νυχτερινών (δεξιά) με τους επικρατούντες τύπους καιρού για την περιοχή της Λουξεμβούργου.

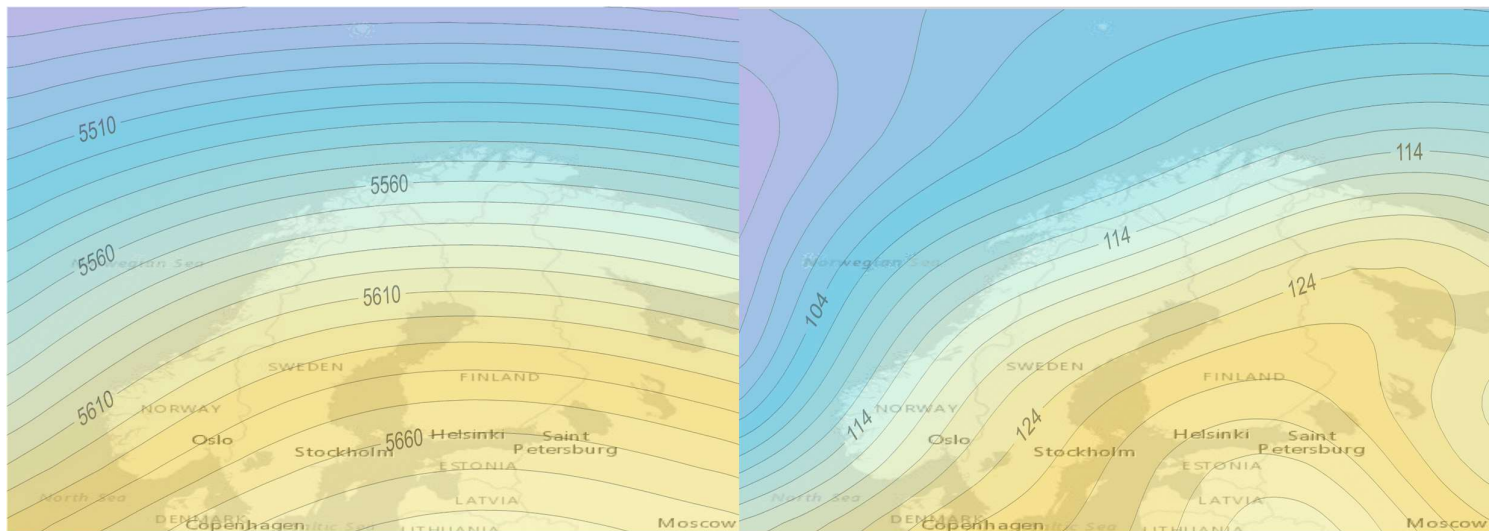
3.3 Η περίπτωση του Ελσίνκι

Για το Ελσίνκι, όπως φαίνεται στο (Σχήμα 3.46), όπου παρουσιάζονται τα διαγράμματα Scree για κάθε γεωγραφική περιοχή και υπο-περιοχή (μεγάλο και μικρό domain), η εφαρμογή της PCA στις ημερήσιες τιμές των 4 μετεωρολογικών παραμέτρων οδηγεί σε 7 παράγοντες PCs που ερμηνεύουν το 90% της συνολικής διακύμανσης για το μεγάλο domain και 6 παράγοντες που ερμηνεύουν το 85,6% της συνολικής διακύμανσης για το μικρό domain. Έπειτα από την εφαρμογή της CA στις χρονοσειρές των 13 PCs (7+6) καταλήγουμε σε 6 ομοιογενείς συστάδες. Η επιλογή του κατάλληλου αριθμού των συστάδων λαμβάνεται από τη μέθοδο Άλματος (Jump method) (Σχήμα 3.47) Σχήμα όπου φαίνεται το μέγιστο άλμα στις 6 συστάδες. Κάθε μία από τις 6 συστάδες αποτελείται από ημερομηνίες οι οποίες χαρακτηρίζονται από παρόμοιες καιρικές/συνοπτικές συνθήκες και επομένως ορίζουν έναν συγκεκριμένο WT. Στα Σχήματα (3.48-3.60) παρουσιάζονται οι μέσοι χάρτες των γεωδυναμικών υψών των ισοβαρικών επιφανειών 500hPa και 1000hPa, καθώς και τα αντίστοιχα ραβδογράμματα των μηνιαίων (%) συχνοτήτων των 8 WTs (τύπων καιρού) και της συχνότητας εμφάνισης των τύπων καιρού ολόκληρης της χρονοσειράς (overall) από το έτος 1980-2020.

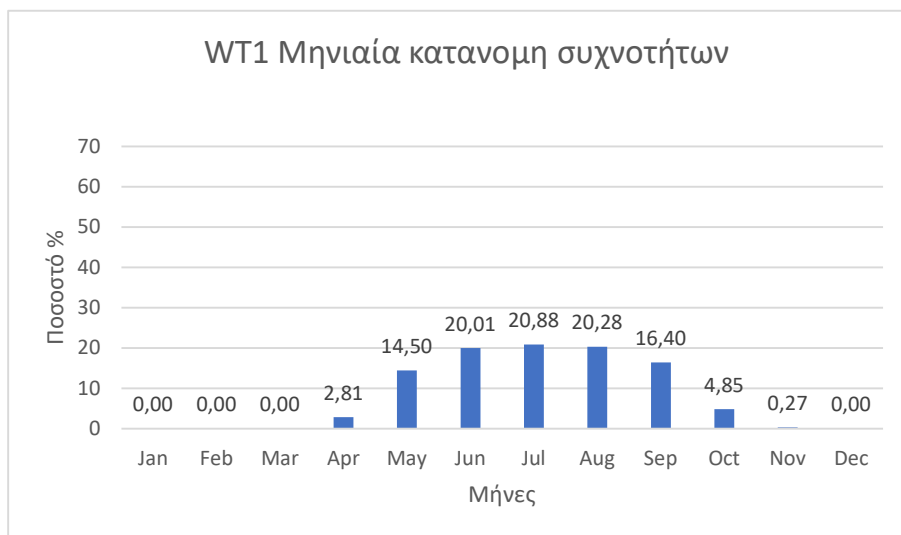


3.3.1 Ορισμός των τύπων καιρού

- Ο WT1 (Σχήμα 3.49) είναι ένας WT της θερμής περιόδου του έτους, καθώς επικρατεί από τον Μάιο έως τον Οκτώβριο με μέγιστη συχνότητα εμφάνιση κατά τους 3 θερινούς μήνες Ιούνιο- Ιούλιο-Αύγουστο. Κατά τη διάρκεια της επικράτησης του WT1, κυριαρχούν αντικυκλωνικές συνθήκες πάνω από την ανατολική Ευρώπη ενώ, ένα χαμηλό πάνω από την Ισλανδία είναι ορατό. Η επικράτηση του υψηλού προκαλεί μια νότια-νοτιοδυτική ροή στην ευρύτερη περιοχή της πόλης του Ελσίνκι (Σχήμα 3.48).

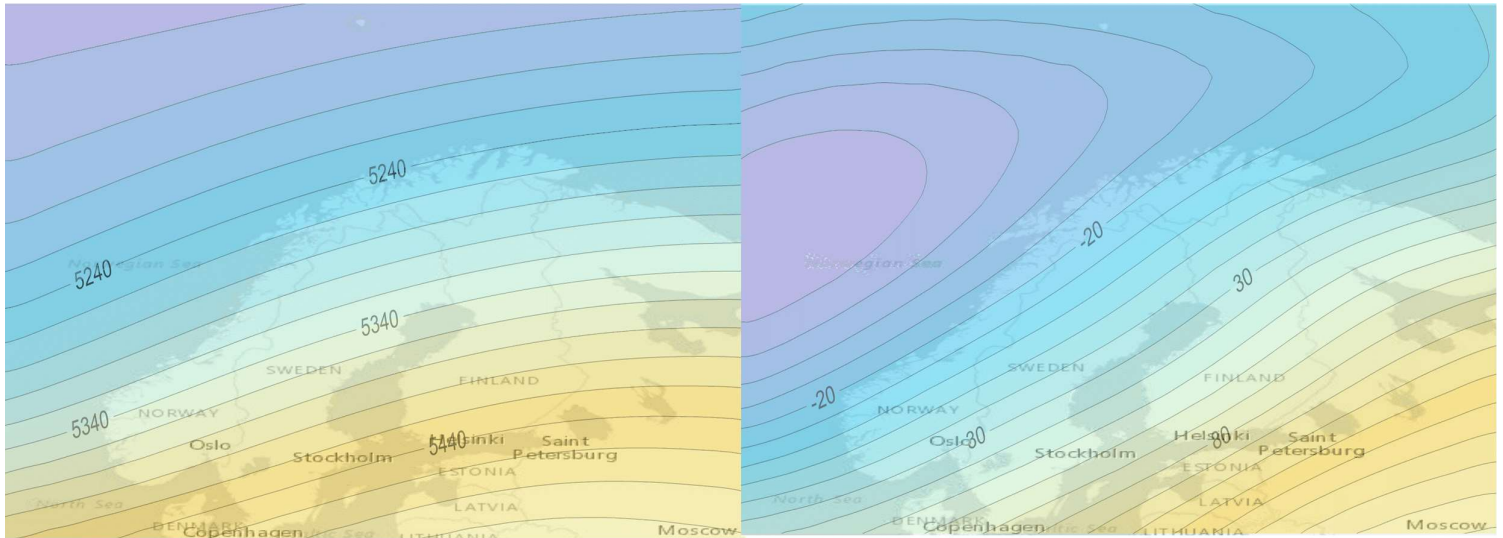


Σχήμα 3.48 WT1 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

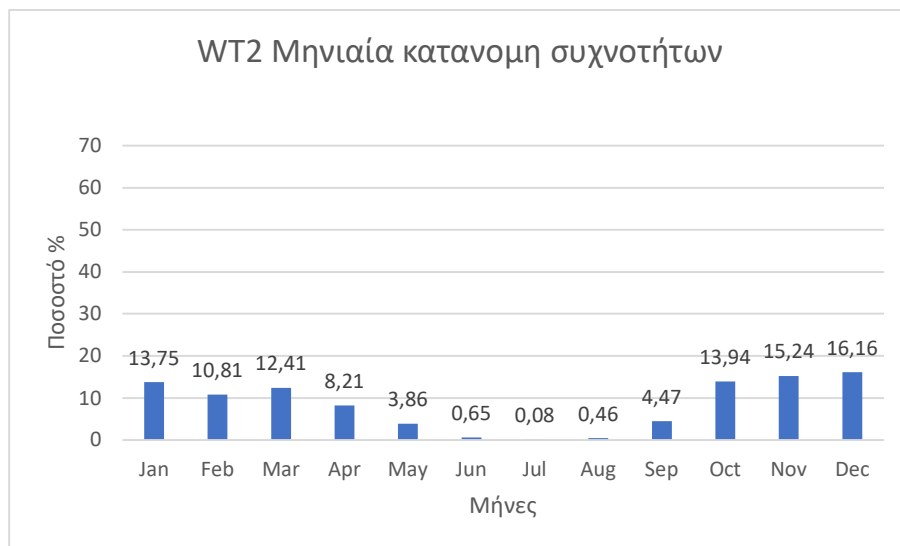


Σχήμα 3.49 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT1 ανά μήνα.

- Ο WT2 (Σχήμα 3.50) χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία ενός ισχυρού χαμηλού στη Νορβηγική θάλασσα που οδηγεί στην επικράτηση μιας νοτιοδυτικής ροής στην Σκανδιναβική χερσόνησο. Ο WT2 είναι γενικά ένας τύπος καιρού της ψυχρής περιόδου του έτους, καθώς εμφανίζεται από τον Σεπτέμβριο έως τον Μάιο με μέγιστη συχνότητα κατά το δίμηνο Νοεμβρίου-Δεκεμβρίου (Σχήμα 3.51).

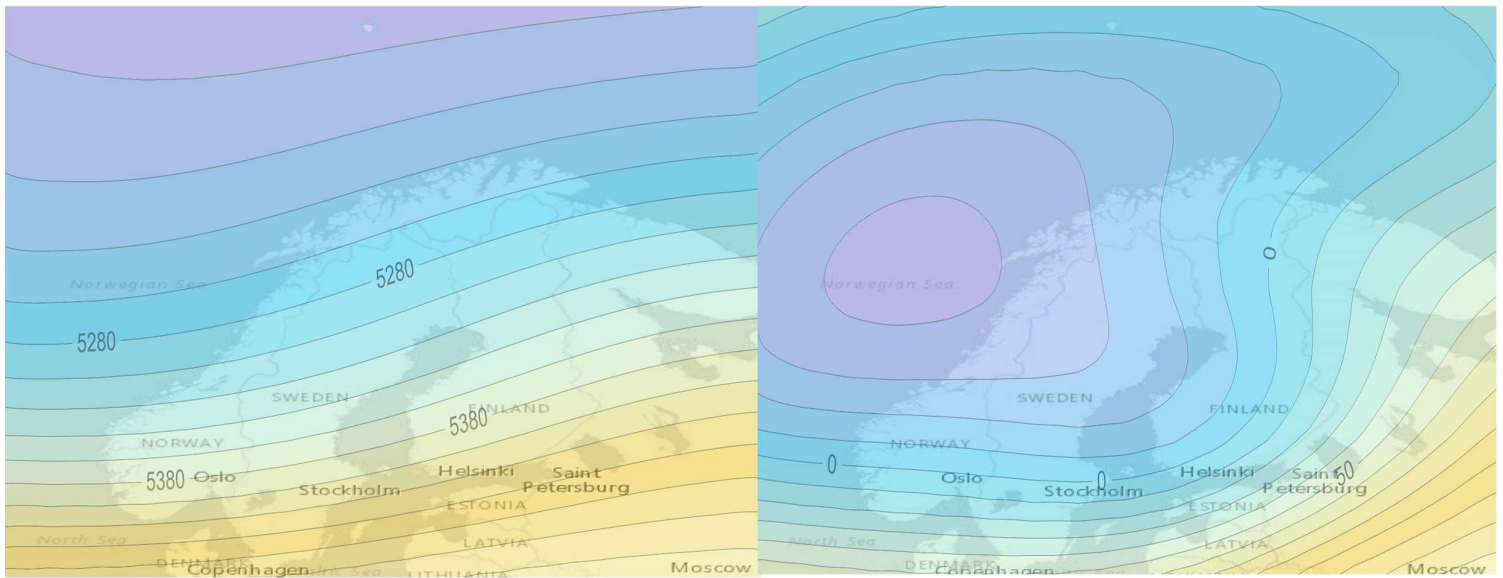


Σχήμα 3.50 WT2 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

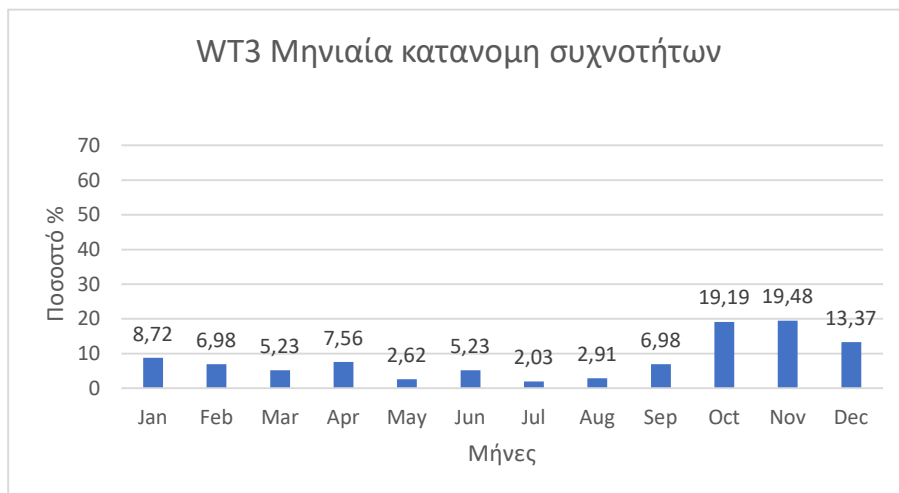


Σχήμα 3.51 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT2 ανά μήνα.

- Ο WT3 (Σχήμα 3.52) σχετίζεται με μια ζώνη ισχυρής δυτικής ροής πάνω από την Σκανδιναβία και το Ελσίνκι. Οι συνοπτικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν τον WT3 περιλαμβάνουν ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων πάνω από την Νορβηγική θάλασσα και μια σκάφη χαμηλών πιέσεων πάνω από την Φινλανδία. Ο WT3 μπορεί να χαρακτηριστεί ως ένας WT της ψυχρής περιόδου καθώς εμφανίζεται κυρίως κατά την περίοδο Οκτωβρίου-Απριλίου αλλά μικρές τιμές εμφάνισης υπάρχουν και τους θερινούς μήνες (Σχήμα 3.53).

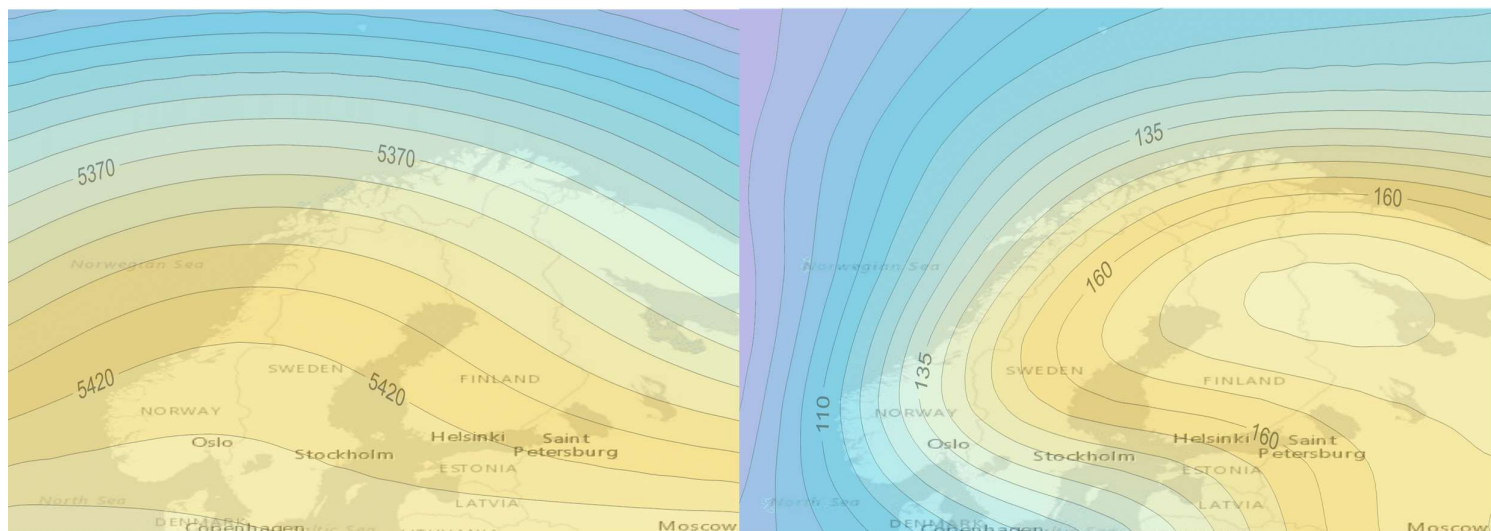


Σχήμα 3.52 WT3 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

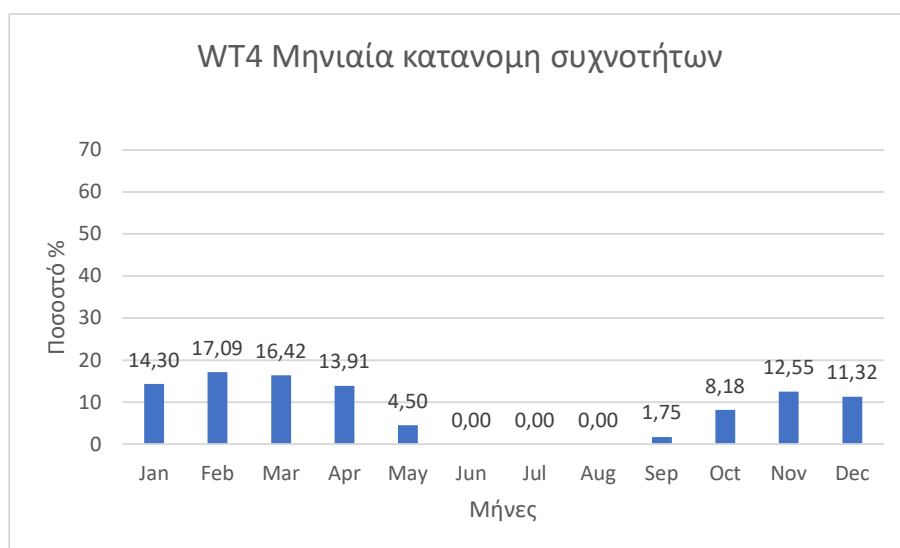


Σχήμα 3.53 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT3 ανά μήνα.

- Ο WT4 (Σχήμα 3.55) είναι ένας WT αμιγώς της ψυχρής περιόδου καθώς παρουσιάζει υψηλή συχνότητα εμφάνισης από το Οκτώβριο έως τον Μάιο και μηδενική κατά την διάρκεια του καλοκαιριού. Στην επιφάνεια ένα σύστημα υψηλής πίεσης κυριαρχεί πάνω από την Φινλανδία που οδηγεί στην επικράτηση μιας ανατολικής ροής στην περιοχή (Σχήμα 3.54).

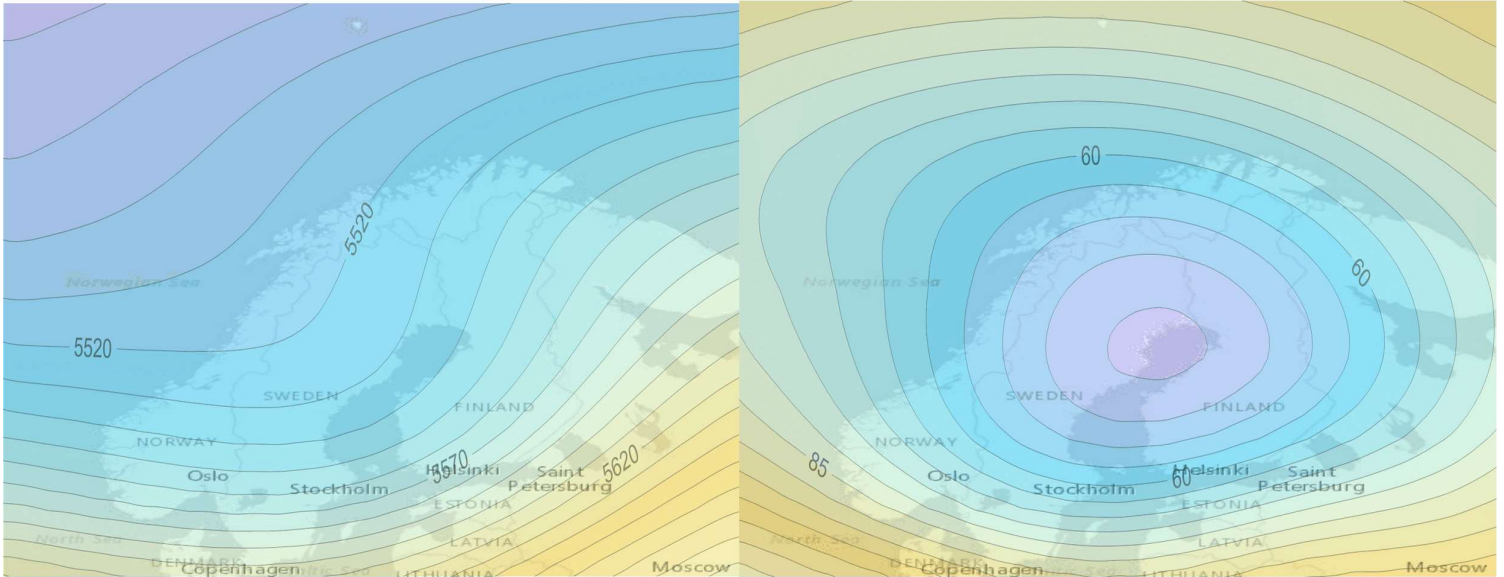


Σχήμα 3.54 WT4 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

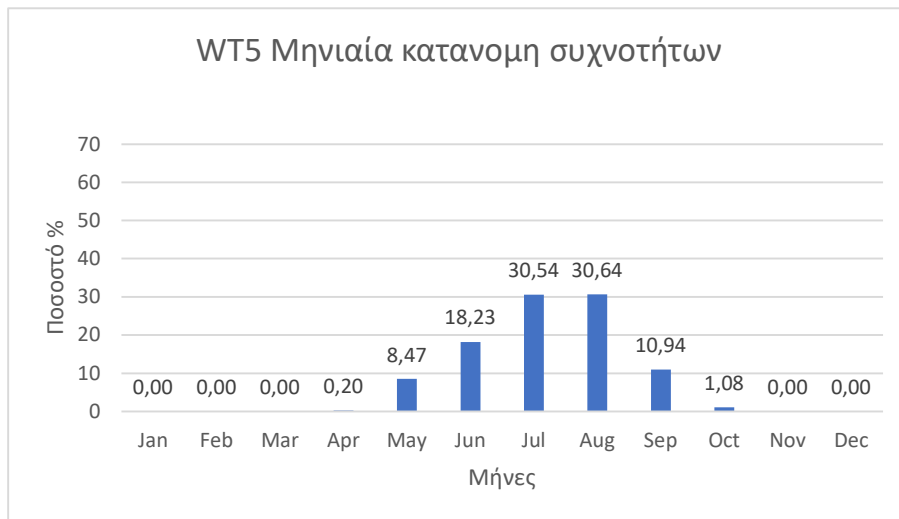


Σχήμα 3.55(%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT4 ανά μήνα.

- Ο WT5 (Σχήμα 3.57) είναι ο δεύτερος WT που εμφανίζεται τη θερμή περίοδο του έτους (ο άλλος είναι ο WT1) και παρουσιάζει υψηλή συχνότητα εμφάνισης από τον Μάιο έως και τον Σεπτέμβριο. Οι συνοπτικές συνθήκες που αντιστοιχούν σε αυτόν τον WT, χαρακτηρίζονται από την επικράτηση ενός χαμηλού βαρομετρικού βόρεια της βαλτικής θάλασσας έχοντας σαν συνέπεια την επικράτηση μια νοτιοδυτικής ροής στο Ελσίνκι, η οποία είναι πιο ισχυρή στο ανατολικό τμήμα (Σχήμα 3.56)

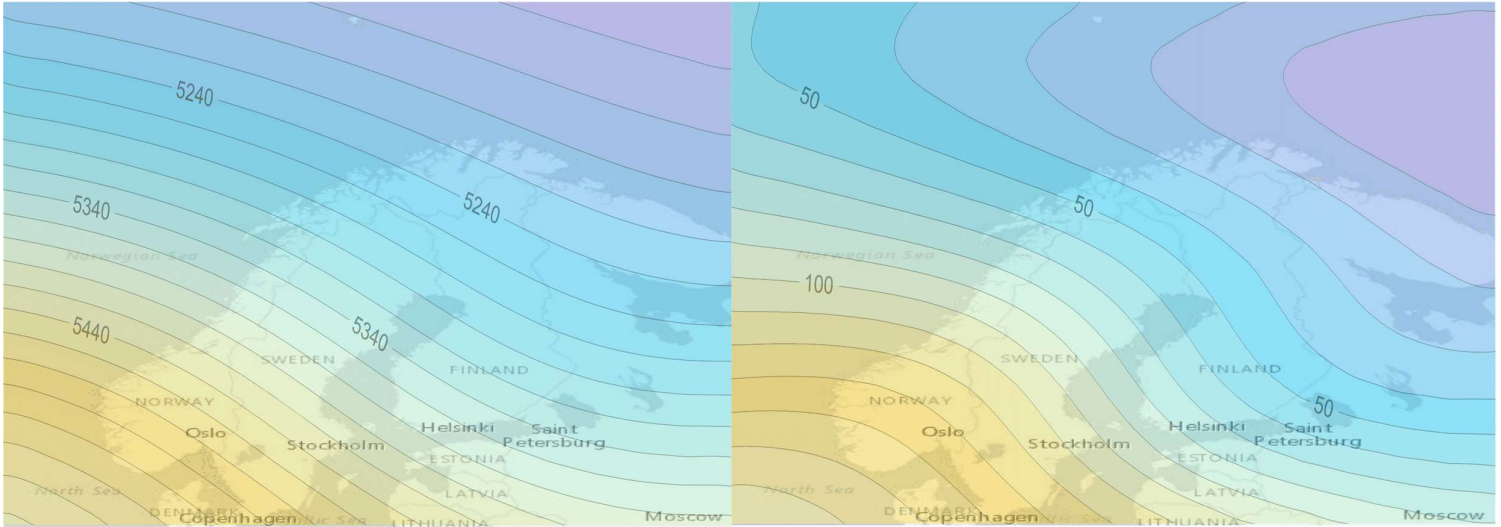


Σχήμα 3.56 WT5 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).

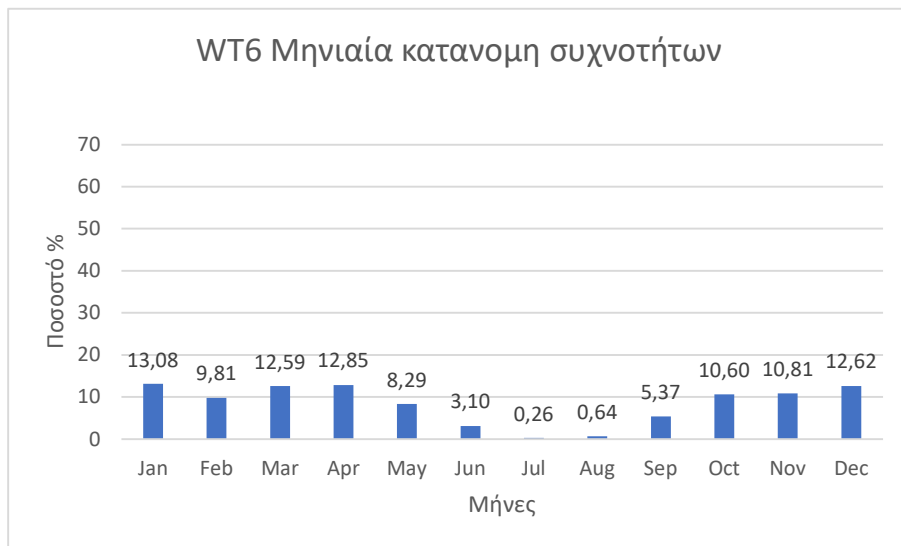


Σχήμα 3.57 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT5 ανά μήνα.

- Ο WT6 (Σχήμα 3.59), σύμφωνα με την ενδοετήσια διακύμανση της συχνότητάς του, είναι γενικά ένας WT της ψυχρής περιόδου του έτους που επικρατεί κυρίως από τον Οκτώβριο έως τον Μάιο. Χαρακτηρίζεται από την παρουσία ενός αντικυκλώνα πάνω από την Βόρεια θάλασσα και μιας ύφεσης πάνω από τη θάλασσα του Μπάρεντς (Σχήμα 3.58).

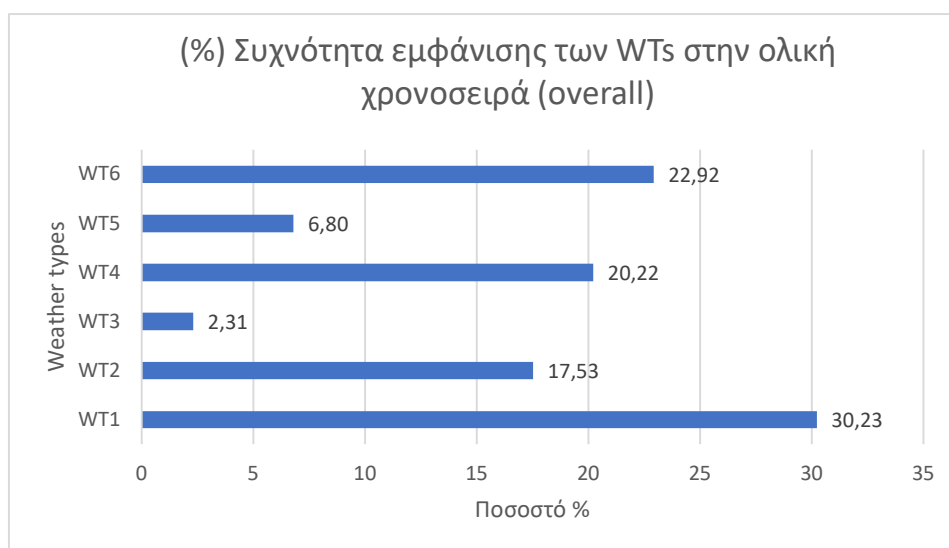


Σχήμα 3.58 WT6 - Χάρτες των μέσων χωρικών κατανομών του γεωδυναμικού ύψους (gpm) των 500hPa (αριστερά) και 1000hPa (δεξιά).



Σχήμα 3.59 (%) Ενδο-ετήσια διακύμανση της συχνότητα εμφάνισης του WT6 ανά μήνα.

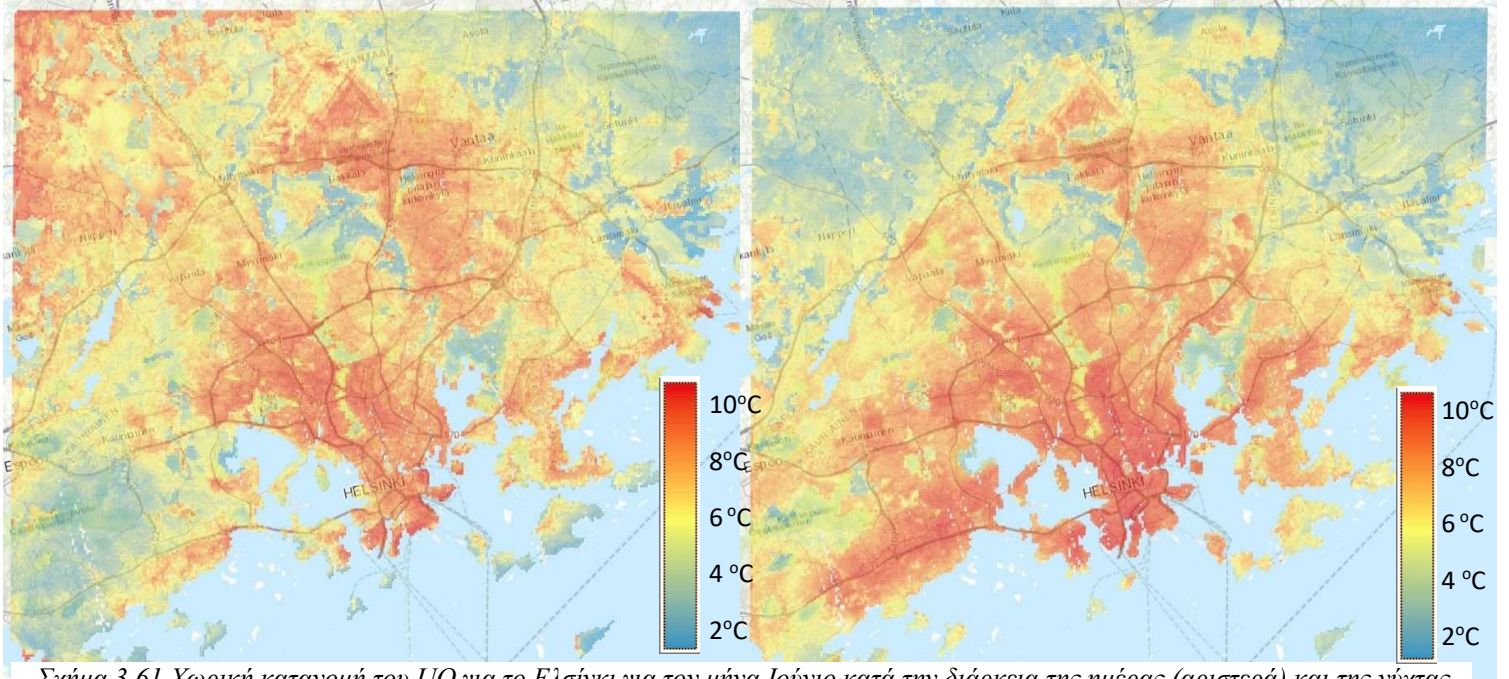
Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των συνοπτικών αερίων μαζών, δηλαδή των τύπων καιρού (Weather Types), για τη περιοχή του Λουξεμβούργου φαίνεται στο γράφημα που ακολουθεί, όπου απεικονίζει την επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού (WTs) ολόκληρης της χρονοσειράς (overall) από το έτος 1980-2020. Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος καιρού 1 (WT1) είναι ο πιο συχνός τύπος καιρού σε όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς με ποσοστό 30,23% και ακολουθούν οι WT6 με 22,92% και WT 4 με 20,22%, WT 2 με 17,53%, WT 5 με 6,80% και τέλος ο WT 3 με 2,31% (Σχήμα 3.60).



Σχήμα 3.60 Η επί τοις εκατό (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά 1980-2020.

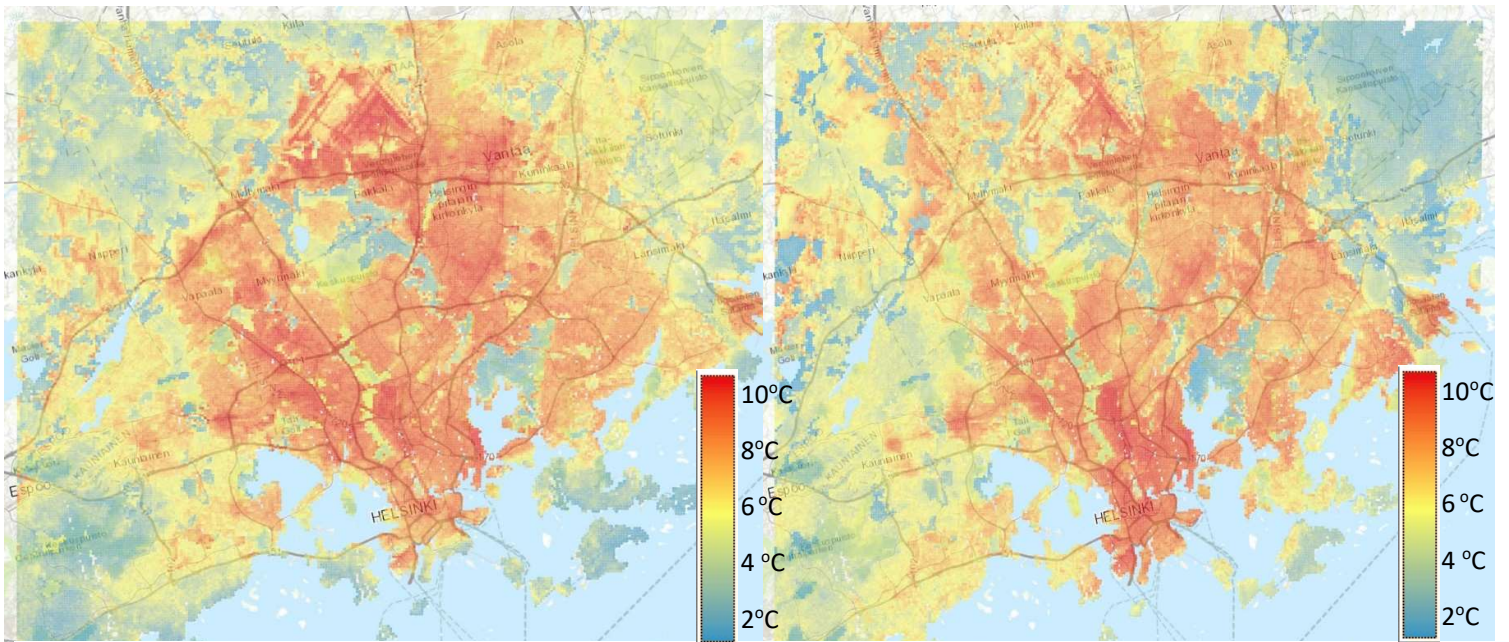
3.3.2 Χωρική κατανομή αστικής υπερθέρμανσης

- Την ημέρα για τον μήνα Ιούνιο υψηλές τιμές υπερθέρμανσης εντοπίζονται στο κέντρο της πόλης και στα δυτικά. Την νύχτα οι τιμές υπερθέρμανσης του κέντρου είναι υψηλότερες από ότι την ημέρα όμως είναι αρκετά πιο εντοπισμένες περίξ του κέντρου. Ακόμα αν και υπάρχουν τιμές υπερθέρμανσης σε όλο το πλέγμα οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στη βόρεια ηπειρωτική πλευρά της πόλης (Σχήμα 3.61).



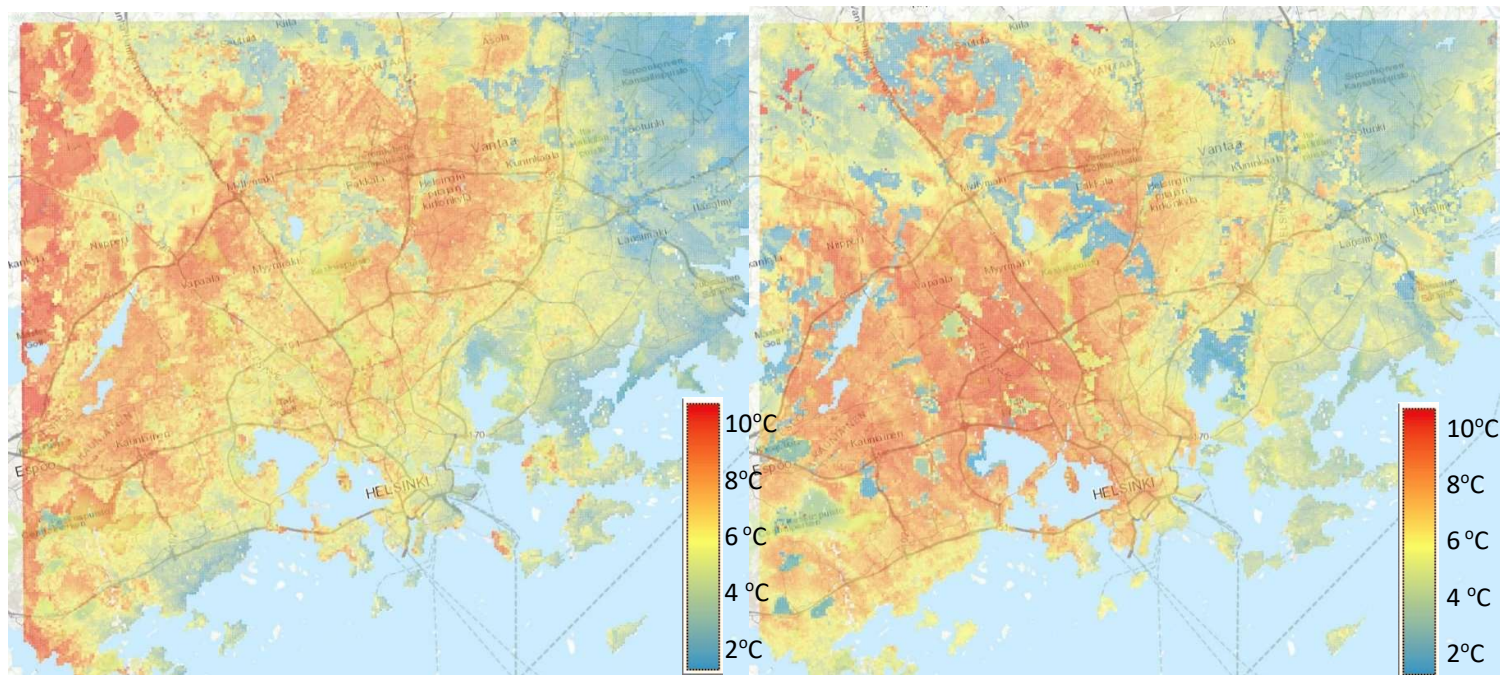
Σχήμα 3.61 Χωρική κατανομή του UO για το Ελσίνκι για τον μήνα Ιούνιο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

- Τον Ιούλιο οι υψηλότερες τιμές του φαινομένου κατά την διάρκεια της ημέρας συγκεντρώνονται στο κέντρο της πόλης όντας όμως πιο εκτεταμένες χωρικά στο βόρειο κομμάτι της πόλης από ότι την νύχτα. Οι παραθαλάσσιες περιοχές κατά την διάρκεια της ημέρας σημειώνουν χαμηλότερες τιμές αστικής υπερθέρμανσης από ότι την νύχτα όπου οι έντονα υψηλές τιμές του φαινομένου φτάνουν ως την θάλασσα (Σχήμα 3.62).



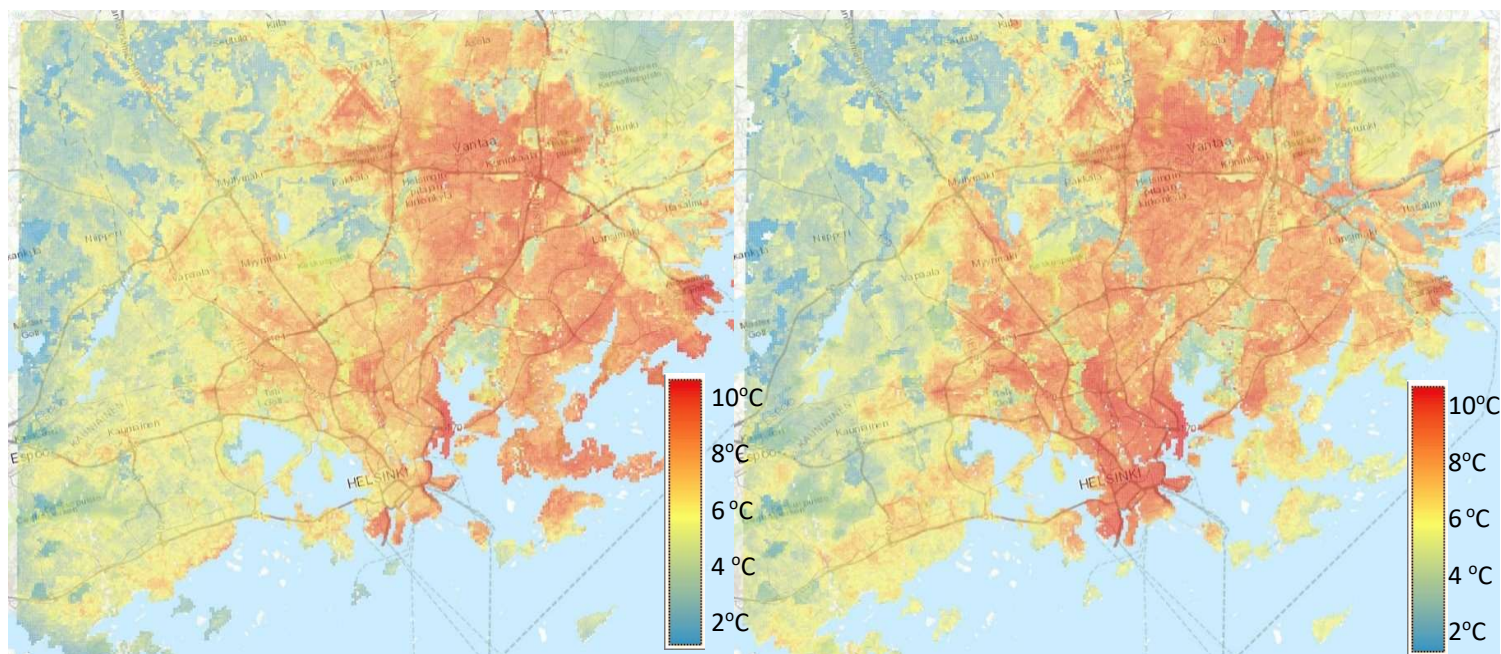
Σχήμα 3.62 Χωρική κατανομή του UO για το Ελσίνκι για τον μήνα Ιούλιο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

- Τον Αύγουστο κατά την διάρκεια της ημέρας το επίκεντρο του φαινομένου δηλαδή οι υψηλότερες τιμές της διαφοράς θερμοκρασίας εντοπίζονται στο δυτικό κομμάτι του αστικού ιστού με τις χαμηλότερες στο ανατολικό. Την νύχτα η έκταση των υψηλών τιμών του φαινομένου εξασθενεί και περιορίζεται πλησίον του αστικού κέντρου σε αντίθεση με την μέρα που είναι πιο εκτεταμένη (Σχήμα 3.63).



Σχήμα 3.63 Χωρική κατανομή του UO για το Ελσίνκι για τον μήνα Αύγουστο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

- Την νύχτα για τον Σεπτέμβριο σημειώνονται υψηλότερες τιμές του φαινομένου από ότι την ημέρα. Όμως, οι τιμές αυτές βρίσκονται στο αστικό κέντρο αντιθέτως την ημέρα μετατοπίζονται ανατολικότερα του κέντρου. Επιπλέον, οι περιοχές των χαμηλότερων τιμών ημέρας και νύχτας ταυτίζονται με την διαφορά ότι την νύχτα είναι μικρότερες (Σχήμα 3.64).



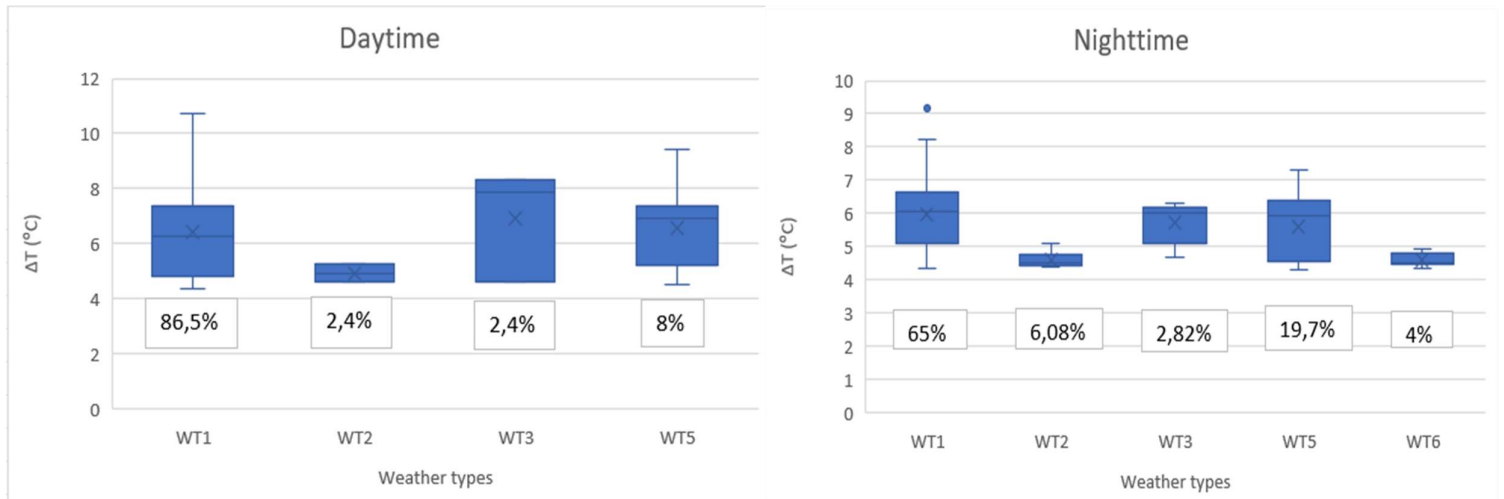
Σχήμα 3.64 Χωρική κατανομή του UO για το Ελσίνκι για τον μήνα Σεπτέμβριο κατά την διάρκεια της ημέρας (αριστερά) και της νύχτας (δεξιά).

3.3.3 Συσχέτιση αστικής υπερθέρμανσης με τους τύπους καιρού

Η συσχέτιση μεταξύ των ημερήσιων τύπων καιρού και της αστικής υπερθέρμανσης τόσο κατά την διάρκεια της νύχτας (nighttime) όσο και κατά την διάρκεια της ημέρας (daytime) παρουσιάζεται στο Σχήμα .Η ημερομηνία εμφάνισης κάθε τιμής αστικής υπερθέρμανσης αντιστοιχίστηκε με τον επικρατούντα τύπο καιρού την εκάστοτε μέρα. Για την πόλη του Ελσίνκι παρουσιάζονται οι συσχετίσεις της αστικής υπερθέρμανσης με τους τύπους καιρού τόσο κατά την διάρκεια της νύχτας (nighttime) όσο και κατά την διάρκεια της ημέρας (daytime).

Κατά την διάρκεια της ημέρας, τις ημερομηνίες που εμφανίζεται αστική υπερθέρμανση επικρατούν οι τύποι καιρού WT1, WT2, WT3 και WT5. Ο κυρίαρχος με την μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης 86,5% επί των ημερών αστικής υπερθέρμανσης είναι ο WT1. Όμως τόσο ο WT3 όσο και ο WT5 έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασιακή με επίδραση έχοντας υψηλότερες μέσες τιμές με μικρότερη συχνότητα εμφάνισης (Σχήμα 3.65).

Κατά την διάρκεια της νύχτας έχουμε την εμφάνιση των τύπων καιρού που επικρατούν την ημέρα WT1, WT2, WT3, WT5 με την προσθήκη του WT6. Ωστόσο, το ποσοστό εμφάνισης του WT1 μειώνεται από το 86,5% σε 65% ενώ των WT2, WT3 και WT5 αυξάνεται από 2,4% σε 6,08%, από 2,4% σε 2,82% και από 8% σε 19,7% αντιστοίχως. Επιπλέον, η επίδραση στην θερμοκρασία όλων των τύπων καιρού είναι μικρότερη την νύχτα από την ημέρα (Σχήμα 3.65)



Σχήμα 3.65 Συσχέτιση του ανώτατου 5% των ημερήσιων τιμών ΔT ($^{\circ}\text{C}$) (αριστερά) και ολονύχτιων (δεξιά) με τους επικρατούντες τύπους καιρού για την περιοχή της Ελσίνκι.

Κεφάλαιο 4^ο Συμπεράσματα-Σύνοψη

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκε το φαινόμενο τη αστικής θερμικής νησίδας (UHI) με την χρήση δεδομένων από την Υπηρεσία Κλιματικής Αλλαγής Copernicus (Copernicus Climate Change Service) κατά την θερινή περίοδο, για τα αστικά κέντρα της Βαρκελώνης, του Λουξεμβούργου και του Ελσίνκι. Ακόμη, για τις ίδιες πόλεις βρέθηκαν οι βέλτιστοι τύποι καιρού που περιγράφουν τις συνοπτικές συνθήκες για κάθε μέρα από το 1980-2020. Τέλος, συσχετίστηκαν οι επικρατούντες τύποι καιρού με την αστική υπερθέρμανση κάθε πόλης.

Η περίπτωση της Βαρκελώνης

- Η ευρύτερη περιοχή της Βαρκελώνης για την χρονοσειρά 1980-2020 περιγράφεται καταλληλότερα από 7 τύπους καιρού.
- Από τους 7 τύπους καιρού οι 4 αναφέρονται στην θερμή και οι 3 στην ψυχρή περίοδο του έτους.
- Τις περισσότερες μέρες της χρονοσειράς επικρατούν τύποι καιρού που ανήκουν στην θερμή περίοδο του έτους.
- Η αστική υπερθέρμανση είναι χωρικά εκτενέστερη τον Ιούλιο.
- Ο WT6 επικρατεί κυρίως τις ημέρες αστικής υπερθέρμανσης κατά την διάρκεια του καλοκαιριού και δευτερεύοντος ο WT1.
- Συνοπτικά τα χαρακτηριστικά του WT6, αφορούν έναν γενικά WT που έχει αξιοσημείωτες συχνότητες εμφάνισης τόσο την θερμή όσο και την ψυχρή περίοδο του έτους ωστόσο οι μεγαλύτερες τιμές του εμφανίζονται τους θερινούς μήνες. Χαρακτηρίζεται από την εκτεταμένη παρουσία του αντικυκλώνα των Αζορών πάνω από τον δυτική Ευρώπη και μίας σκάφης υψηλών πιέσεων στην επιφάνεια της ιβηρικής χερσονήσου.
- Ο WT 1 από την άλλη είναι ένας WT της θερμής περιόδου του. Υπό την επικράτηση του συγκεκριμένου τύπου καιρού εντοπίζεται στην επιφάνεια ένα σύστημα χαμηλών πιέσεων πάνω από την Βαρκελώνη. Ακόμη, στην επιφάνεια ο μόνιμος αντικυκλώνας των Αζορών εμφανίζεται αρκετά εκτεταμένος και αρκετά κοντά στις ακτές της Πορτογαλίας-Μαρόκου.

Η περίπτωση του Λουξεμβούργου

- Η μητροπολιτική περιοχή του Λουξεμβούργου για την χρονοσειρά 1980-2020 περιγράφεται ιδανικά από 8 τύπους καιρού.
- Οι 8 τύποι καιρού που εμφανίζονται στην περιοχή χωρίζονται σε 3 της θερμής περιόδου και σε 5 της ψυχρής.
- Οι θερμοί τύποι καιρού επικρατούν λιγότερες ημέρες από τους ψυχρούς.
- Η αστική υπερθέρμανση είναι χωρικά ευρύτερη τον Ιούνιο.
- Ο WT1 είναι ο κυρίαρχος τύπος καιρού τις ημέρες αστικής υπερθέρμανσης κατά την διάρκεια της ημέρας ενώ την νύχτα σημαντικό ρόλο έχει και ο WT2.
- Υπό την κυριαρχία του WT1 στην ισοβαρική επιφάνεια των 1000hPa, κυριαρχούν αντικυκλωνικές συνθήκες στην κεντρική Ευρώπη (Γερμανία) και κυκλώνικες πάνω από την Ιταλία με αποτέλεσμα μιας ανατολικής ροής στο Λουξεμβούργο. Είναι ένας WT της θερμής περιόδου του έτους, καθώς επικρατεί από τον Απρίλιο έως και τον Οκτώβριο με μέγιστη συχνότητα εμφάνισης τον Αύγουστο

- Ο WT2 ευνοεί την υπερθέρμανση χαρακτηρίζεται από την κυριαρχία ενός ισχυρού χαμηλού βαρομετρικού επιφανείας με επίκεντρο πάνω από την Ολλανδία, προκαλώντας μια δυτική-νοτιοδυτική ροή ανέμου στην κεντρική Ευρώπη. Εμφανίζεται από τον Μάιο έως και τον Οκτώβριο με μέγιστη συχνότητα κατά το θέρους Ιούνιο-Ιούλιο-Αύγουστο.

Η περίπτωση του Ελσίνκι

- Οι μέρες της χρονοσειράς 1980-2020 κατανέμονται καταλληλότερα από 6 τύπους καιρούς.
- Οι 6 τύποι καιρού χωρίζονται σε 4 ψυχρής και 2 της θερμής περιόδου.
- Οι ψυχροί τύποι καιρού κυριαρχούν τις περισσότερες μέρες της χρονοσειράς.
- Τον Ιούνιο η αστική υπερθέρμανση είναι χωρικά εντονότερη.
- Κατά την διάρκεια της νύχτας ακραίες τιμές υπερθέρμανσης καταλαμβάνουν μεγαλύτερη έκταση στον αστικό ιστό από ότι την μέρα.
- Την διάρκεια της ημέρας οι τιμές αστικής υπερθέρμανσης οφείλονται στην επικράτηση του WT1. Όμως την νύχτα αξιοσημείωτη εμφάνιση έχει και ο WT5.
- Τα συνοπτικά χαρακτηριστικά του WT1 αφορούν την κυριαρχία αντικυκλωνικών συνθήκων πάνω από την ανατολική Ευρώπη ενώ, ένα χαμηλό πάνω από την Ισλανδία είναι ορατό. Η επικράτηση του υψηλού προκαλεί μια νότια-νοτιοδυτική ροή στην ευρύτερη περιοχή της πόλης του Ελσίνκι
- Οι συνοπτικές συνθήκες που αντιστοιχούν στον WT5 χαρακτηρίζονται από την επικράτηση ενός χαμηλού βαρομετρικού βόρεια της βαλτικής θάλασσας έχοντας σαν συνέπεια την επικράτηση μια νοτιοδυτικής ροής στο Ελσίνκι, η οποία είναι πιο ισχυρή στο ανατολικό τμήμα.

Η παρούσα μελέτη επικεντρώθηκε στην θερινή περίοδο του έτους όπου η αστική θερμική νησίδα έχει αρνητική επίδραση στα αστικά κέντρα τόσο λόγω αυξημένης κατανάλωσης ενέργειας όσο και λόγω δυσφορίας των κατοίκων. Επομένως, τα αποτελέσματα της εργασίας μπορούν να αξιοποιηθούν από επιστημονικούς οργανισμούς υγείας και ενέργειας ποικιλοτρόπως.

Η εργασία παρουσιάζει προοπτικές για την μελέτη του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και για άλλα Ευρωπαϊκά αστικά κέντρα και για την ψυχρή περίοδο του έτους. Επιπλέον, η συσχέτιση της αστικής υπερθέρμανσης μπορεί να γίνει και με άλλες παραμέτρους πέραν των τύπων καιρού. Για παράδειγμα, με παραμέτρους υγείας όπως δείκτες θνησιμότητας, ποιότητας αέρα, δυσφορίας κ.α.

Βιβλιογραφική λίστα αναφορών

- Arnfield, A.J., (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *Int. J. Climatol.*, 23, 1–26.
- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar energy*, 70(3), 295-310.
- Barring, L., Mattsson, J.O. and Lindqvist, S. (1985). Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmo. *Swede. J. of Climatology*, 5, 433-444.
- Berdahl, P. and Bretz, S. (1997) Preliminary survey of the solar reflectance of cool roofing materials. *Energy and Buildings*, 25, 149-158.
- Bottyan, Z., Kircsi, A., Szegebi, S. and Nosunger, J. (2005) The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. *International Journal of Climatology*, 25, 405-418.
- Bousse, Y. S. (2009). Mitigating the urban heat island effect with an intensive green roof during summer in Reading, UK. Dissertação de Mestrado, University of Reading.
- Coutts, A.M., Beringer, J., Jimi, S. and Tapper, N.J. (2007) Impact of Increasing Urban Density on Local Climate: Spatial and Temporal Variations in the Surface Energy Balance in Melbourne, Australia. *American Meteorological Society*, 46, 477- 493.
- Davis R.E. and Walker D.R. (1992). An Upper-Air Synoptic Climatology of the Western United States. *Journal of Climate*, 5(12): 1449-1467.
- Giannaros C., Nenes A., Giannaros T.M., Kourtidis K., Melas D. (2018). A comprehensive approach for the simulation of the Urban Heat Island effect with the WRF/SLUCM modeling system: The case of Athens (Greece). *Atmospheric Research* 201, 86–101.
- Golden, J.S. (2004) The built environment induced Urban Heat Island effect in rapidly urbanizing arid regions – a sustainable urban engineering complexity. *Environmental Sciences*, 00, 0, 1-33.
- Kalkstein LS, Corrigan PR. (1986). A synoptic climatological approach for geographical analysis: assessment of sulfur dioxide concentrations. *Ann. Assoc. Am. Geogr.* 76, 381–395.
- Kalkstein LS, Nichols MC, Barthel CD, Greene JS (1996) A new spatial synoptic classification: application to air mass analysis. *Int J Climatol*, 16, 983–1004
- Kassomenos P.A., Gryparis A., Katsouyanni K., (2007). On the association between daily mortality and air mass types in Athens, Greece during winter and summer. *Int. J. Biometeorol.* 51, 315–322, DOI 10.1007/s00484-006-0062-7.
- Lee Cameron C. (2015) The development of a gridded weather typing classification scheme. Royal Meteorological Society. *Int. J. Climatol*, 35, 641–659. DOI: 10.1002/joc.4010.

- Lee, C. C., & Sheridan, S. C. (2018). Trends in weather type frequencies across North America. *NPJ Climate and Atmospheric Science*, 1(1), 41; doi: 10.1038/s41612-018-0051-7.
- Levinson, R., & Akbari, H. (2002). Effects of composition and exposure on the solar reflectance of portland cement concrete. *Cement and Concrete Research*, 32(11), 1679-1698.
- Magee, N., Curtis, J. and Wendler, G. (1999) The urban heat island effect at fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*, 64, 39-47.
- Mihalakakou, G., Santamouris, M., Papanikolaou, N., Cartalis, C. and Tsangrassoulis, A. (2004) Simulation of the Urban Heat Island Phenomenon in Mediterranean Climates. *Pure and Applied Geophysics*, 161, 429-451.
- Morris, K. I., Salleh, S. A., Chan, A., Ooi, M. C. G., Abakr, Y. A., Oozeer, M. Y., & Duda, M. (2015). Computational study of urban heat island of Putrajaya, Malaysia. *Sustainable Cities and Society*, 19, 359–372.
- Oke T.R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 108, 1-24.
- Räsänen, A., Heikkinen, K., Piila, N., & Juhola, S. (2019). Zoning and weighting in urban heat island vulnerability and risk mapping in Helsinki, Finland. *Regional Environmental Change*, 19, 1481-1493.
- Santamouris M., Cartalis C., Synnefa A., (2015) Local urban warming, possible impacts and a resilience plan to climate change for the historical center of Athens, Greece. *Sustainable Cities and Society*, 19, 281–291.
- Sheridan S.C., (2002) The redevelopment of a weather-type classification scheme for North America. *Int. J. Climatol.*, 22, 51–68. DOI: 10.1002/joc.709.
- Sheridan S.C. 2003. North American weather-type frequency and teleconnection indices. *International Journal of Climatology*, 23(1): 27-45.
- Stathopoulou, M. and Cartalis, C. (2006) Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: an application to major cities in Greece. *Solar Energy*, 81, 35.
- Sugar C.A. and James G.M. (2003). Finding the Number of Clusters in a Dataset. *Journal of the American Statistical Association*, 98(463): 750-763.
- Taha H., S. Douglas & J. Haney (1997). Mesoscale Meteorological and Air Quality Impacts of Increased Urban Albedo and Vegetation. *Energy and Buildings*, 25, 169-177.
- Tsoka S., Tsikaloudaki K., Theodosiou T., (2017) Urban space's morphology and microclimatic analysis: A study for a typical urban district in the Mediterranean city of Thessaloniki, Greece. *Energy and Buildings*, 156, 96–108.
- Tzavali Anna, John P. Paravantis, Giouli Mihalakakou, Angeliki Fotiadi and Eleni Stigka (2015). URBAN HEAT ISLAND INTENSITY: A LITERATURE REVIEW. *Fresenius Environmental Bulletin, PSP*, 24, 12b. 2015.

Voogt, J. (2002). Urban Heat Island. In Munn, T. (ed.) Encyclopedia of Global Environmental Change, Vol. 3. Chichester: John Wiley and Sons.

Watkins, R., Palmer, J., Kolokotroni, M. and Littlefair, P. (2002) The balance of the annual heating and cooling demand within the London urban heat island. *Building Services Engineering Research Technology*, 23, 207-213.

Yarnal, B. (1993). Synoptic climatology in environmental analysis: a primer. UK, London: Belhaven.