

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΙΩΑΝΝΙΝΩΝ
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ - ΤΜΗΜΑ ΦΥΣΙΚΗΣ
ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
“ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΕΠΙΣΤΗΜΕΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ”



ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Τίτλος :

*Τύποι καιρού στην ευρύτερη περιοχή της
Ν. Βαλκανικής και το φαινόμενο της
Αστικής Θερμικής Νήσου.*

ΓΙΑΝΝΗΣ ΚΙΣΣΑΣ

Ιωάννινα 2021

Επιβλέπων καθηγητής: Κασσωμένος Παύλος



ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	σελ. 4
ABSTRACT.....	σελ.5
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	σελ. 6
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	σελ. 7
ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΣΧΗΜΑΤΩΝ / ΕΙΚΟΝΩΝ.....	σελ. 8

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγικά στοιχεία για τη ταξινόμηση τύπων καιρού

1.1. Εισαγωγή.....	σελ. 11
1.2. Ιστορική αναδρομή στη ταξινόμηση τύπων καιρού.....	σελ. 12
1.3. Ανάλυση παλαιότερων ειδών συνοπτικής ταξινόμησης τύπων καιρού.....	σελ. 14
1.4. Το εξελιγμένο σύστημα ταξινόμησης GWTC.....	σελ. 20

Κεφάλαιο 2: Ταξινόμηση τύπων καιρού μέσω του GWTC στην ευρύτερη περιοχή της Ν.Βαλκανικής

2.1. Εισαγωγή.....	σελ. 26
2.2. Επεξεργασία δεδομένων.....	σελ. 27
2.3. Ανάλυση δεδομένων.....	σελ. 31
2.3.1. Συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού στη Ν.Βαλκανική.....	σελ. 33
2.3.2. Συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού για τη περίπτωση της Αττικής.....	σελ. 38
2.3.3. Συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού για τη περίπτωση της Θεσσαλονίκης.....	σελ. 42
2.3.4. Συμπεράσματα.....	σελ. 45

Κεφάλαιο 3: Αστική Θερμική Νησίδα

3.1. Ορισμός και είδη Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ).....	σελ. 47
3.1.1. Αστική θερμική νησίδα επιφάνειας (Surface UHI).....	σελ. 49
3.1.2. Αστική θερμική νησίδα ατμόσφαιρας.....	σελ. 49
3.1.3. Ιστορική αναδρομή του φαινομένου της ΑΘΝ.....	σελ. 50
3.2. Γνωρίσματα της αστικής θερμικής νησίδας.....	σελ. 51
3.3. Τα αίτια δημιουργίας του φαινομένου της ΑΘΝ.....	σελ. 53
3.4. Επιπτώσεις του φαινομένου της ΑΘΝ.....	σελ. 59

3.5.	Στρατηγικές μείωσης του φαινομένου της ΑΘΝ.....σελ.	61
3.6.	Υπολογισμός του φαινομένου ΑΘΝ.....σελ.	64
3.7.	Το φαινόμενο της ΑΘΝ σε παγκόσμια κλίμακα.....σελ.	65
3.7.1.	ΑΘΝ στην Αμερική.....σελ.	66
3.7.2.	ΑΘΝ στην Ασία.....σελ.	67
3.7.3.	ΑΘΝ στην Αυστραλία.....σελ.	69
3.7.4.	ΑΘΝ στην Αφρική.....σελ.	70
3.7.5.	ΑΘΝ στην Ευρώπη.....σελ.	71
3.8.	Η εμφάνιση της ΑΘΝ στην Ελλάδα.....σελ.	74
3.8.1.	Περιγραφή κλίματος της Ελλάδας και τοπικού κλίματος Αθήνας και Θεσ/νίκης.....σελ.	74
3.8.2.	Εμφάνιση της ΑΘΝ στην Αθήνα.....σελ.	76
3.8.3.	Εμφάνιση ΑΘΝ στη Θεσσαλονίκη.....σελ.	77

Κεφάλαιο 4: Σύνδεση της ΑΘΝ με τους τύπους καιρού του συστήματος GWTC

4.1.	Εισαγωγή.....σελ.	79
4.2.	Η περίπτωση της Αθήνας.....σελ.	80
4.2.1.	Η διαφορά θερμοκρασίας (ΔΤ) μεταξύ αστικού κέντρου και υπαίθρου.....σελ.	80
4.2.2.	Συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού (Weather types).....σελ.	82
4.2.3.	Αστική θέρμανση/ψύξη στην Αθήνα και τύποι καιρού (WTs).....σελ.	85
4.2.4.	Εσωτερική κατανομή της αέριας μάζας (WT) σε σχέση με την ΑΘΝ στην Αθήνα.....σελ.	90
4.3.	Συμπεράσματα για τη περίπτωση της Αθήνας.....σελ.	101
4.4.	Η περίπτωση της Θεσσαλονίκης.....σελ.	102
4.4.1.	Η διαφορά θερμοκρασίας (ΔΤ) μεταξύ αστικού κέντρου και υπαίθρου.....σελ.	102
4.4.2.	Συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού (Weather types).....σελ.	104
4.4.3.	Αστική θέρμανση/ψύξη στη Θεσσαλονίκη και τύποι καιρού (WTs).....σελ.	107
4.4.4.	Εσωτερική κατανομή της αέριας μάζας (WT) σε σχέση με την ΑΘΝ στη Θεσ/νίκη.....σελ.	113
4.5.	Συμπεράσματα για τη περίπτωση της Θεσσαλονίκης.....σελ.	124
4.6.	Σύγκριση συμπερασμάτων των περιπτώσεων Αθήνας και Θεσ/νίκης.....σελ.	125

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....σελ.	127
-----------------------	-----



Κύριος σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διπλωματικής εργασίας, είναι η σύνδεση των τύπων καιρού του συστήματος ταξινόμησης Gridded Weather Typing Classification (GWTC) στην ευρύτερη περιοχή της Νοτίου Βαλκανικής, με το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νήσου. Αρχικά για τον σκοπό αυτό, επιλέχθηκε η περιοχή μελέτης της Ν. Βαλκανικής με 765 σημεία πλέγματος και με βάση το σύστημα ταξινόμησης GWTC, δόθηκαν οι επικρατέστεροι τύποι καιρού ανά σημείο όλων των ημερών, για τη χρονοσειρά 1979 έως 2018. Ευρέθησαν οι συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού, ο μέσος αριθμός των ημερών που εμφανίζεται κάθε τύπος καιρού ανά έτος καθώς και εξήχθησαν χάρτες που αποτυπώνουν τη συνεισφορά αυτών. Έπειτα, επιλέχθηκαν οι δύο ευρύτερες περιοχές της Αττικής και της Θεσσαλονίκης και μελετήθηκαν κατά τον ίδιο τρόπο, ώστε να γίνει γνωστή η συμβολή των τύπων καιρού σε αυτές.

Εν συνεχεία, μελετήθηκε το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας στα δύο πολυπληθέστερα αστικά κέντρα της Ελλάδας, την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη. Για την Αθήνα η μελέτη αφορούσε τη περιοχή του Αστεροσκοπείου Αθηνών (αστικό κέντρο) και του Μαρκόπουλου Μεσογαίας (υπαίθρια περιοχή), για τη χρονοσειρά 2000 έως 2018, λαμβάνοντας δεδομένα θερμοκρασιών 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους από μετεωρολογικούς σταθμούς. Βρέθηκε η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ των δύο περιοχών και μελετήθηκαν κατά κύριο λόγο οι μέγιστες διαφορές θερμοκρασίας (ΔT_{max}), οι οποίες συμβάλουν και σε μεγαλύτερης έντασης επεισόδια του φαινομένου. Ειδικότερα πραγματοποιήθηκε έρευνα για το ανώτερο και κατώτερο ολόημερο καθώς και νυχτερινό 5% ΔT_{max} . Γνωρίζοντας τις ημέρες που συνέβη το ανώτερο 5% ΔT_{max} (ολόημερο και νυχτερινό) και συνάμα ποιοι τύποι καιρού επικρατούσαν εκείνες τις ημέρες, έγινε η σύνδεση αυτών με το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, ώστε να διαπιστωθεί ποιοι από τους τύπους καιρού συνεισφέρουν περισσότερο στην ένταση του.

Η ίδια διαδικασία μελέτης, πραγματοποιήθηκε και για τη πόλη της Θεσσαλονίκης, μεταξύ των περιοχών Εγνατία οδού (αστικό κέντρο) και περιοχή Μίκρας του αερολιμένα “Μακεδονία”, για τη χρονοσειρά 2004 έως 2009. Για τις δύο αυτές διαδικασίες εξήχθησαν συμπεράσματα που προέκυψαν από τη μελέτη.



ABSTRACT



The main objective of this master's thesis is to connect the weather types of the classification system of the Gridded Weather Typing Classification (GWTC) with the phenomenon of the Urban Heat Island (UHI), in the wider region of the Southern Balkans. Initially for this purpose, the study area of the Southern Balkans was selected with 765 grid points and based on the GWTC classification system, the prevailing weather types were given per point of all days, for the time series 1979 to 2018. The occurrence frequencies of the weather types were found, the average number of days that each type of weather appears per year, as well as maps were recorded that reflect their contribution. Then, the two wider areas of Attica and Thessaloniki were selected and studied in the same way, in order to know the contribution of the weather types to them.

Then, the phenomenon of the Urban Heat Island was studied in the two most populous urban centers of Greece, Athens and Thessaloniki. For Athens, the study concerned the area of the Athens Observatory (urban center) and Markopoulo Mesogaias (outdoor area), for the time series 2000 to 2018, receiving temperature data 2m above the ground from meteorological stations. The temperature difference between the two regions was found and especially the maximum temperature differences (ΔT_{max}) were studied, which also contribute to higher intensity episodes of the phenomenon. In particular, a survey was conducted for the upper and lower all-day as well as nighttime 5% ΔT_{max} . Knowing the days when the upper 5% ΔT_{max} (all day and nighttime) occurred and at the same time what weather types prevailed in those days, they were linked to the Urban Heat Island phenomenon, to determine which of them contribute the most to its intensity.

The same study process was carried out for the city of Thessaloniki, between the areas of Egnatia Odos (urban center) and Mikra area of the airport "Macedonia", for the time series 2004 to 2009. For these two procedures, conclusions were drawn from the study.

*... Στον Ηλία, τον καλύτερο
συνοδοιπόρο...*



- ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1:** Βασικά χαρακτηριστικά των τύπων καιρού (Weather Types, WTs) του GWTC.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1:** Χαρακτηριστικές τιμές επιπέδου εμπιστοσύνης και πλήθους εμπιστοσύνης.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2:** Ετήσια αλλαγή της εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) για κάθε τύπο καιρού, Ν.Βαλκανική.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3:** Ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) για κάθε τύπο καιρού, Αττική.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4:** Ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) για κάθε τύπο καιρού, Θεσ/νίκη.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5:** Συγκριτικός πίνακας των περιοχών ως προς την ετήσια αλλαγή των ημερών των WTs.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1:** Τα χαρακτηριστικά των δύο ειδών Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ).
- ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2:** Τιμές albedo ορισμένων υλικών.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1:** (%) διαφορά μεταξύ ολοήμερου ανωτ. 5% ΔT_{max} & overall συχνοτήτων εμφάνισης.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2:** (%) διαφορά μεταξύ νυχτερινού ανωτ. 5% ΔT_{max} & overall συχνοτήτων εμφάνισης.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3:** (%) διαφορά μεταξύ ολοήμερου κατωτ. 5% ΔT_{max} & overall συχνοτήτων εμφάνισης.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4:** (%) διαφορά μεταξύ νυχτερινού κατωτ. 5% ΔT_{max} & overall συχνοτήτων εμφάνισης.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5:** Ημερομηνίες των 3 ανώτερων ΔT_{max} (ολοήμερου) στα αντίστοιχα WTs, Αθήνα.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6 :** Ημερομηνίες των 3 ανώτερων ΔT_{max} (νυχτερινό) στα αντίστοιχα WTs, Αθήνα.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7:** (%) διαφορά μεταξύ ολοήμερου ανωτ. 5% ΔT_{max} & overall συχνοτήτων εμφάνισης.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8:** (%) διαφορά μεταξύ νυχτερινού ανωτ. 5% ΔT_{max} & overall συχνοτήτων εμφάνισης.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9:** (%) διαφορά μεταξύ ολοήμερου κατ. 5% ΔT_{max} & overall συχνοτήτων εμφάνισης.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10:** (%) διαφορά μεταξύ νυχτερινού κατ. 5% ΔT_{max} & overall συχνοτήτων εμφάνισης.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11:** Ημερομηνίες των 3 ανώτερων ΔT_{max} (ολοήμερου) στα αντίστοιχα WTs, Θεσ/νίκη.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12 :** Ημερομηνίες των 3 ανώτερων ΔT_{max} (νυχτερινού) στα αντίστοιχα WTs, Θεσ/νίκη.
- ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13:** Συγκεντρωτικός πίνακας WTs που συμβάλλουν στην αύξηση της έντασης της ΑΘΝ.



ΕΙΚΟΝΕΣ

- Εικόνα 1.1:** Τα βασικά βήματα για την ανάπτυξη του συστήματος SSC.
- Εικόνα 1.2:** Συνολικά οι 11 τύποι καιρού (Weather Types, WTs) του συστήματος ταξινόμησης GWTC.
- Εικόνα 2.1:** Αρχικά βήματα για την επιλογή φόντου του χάρτη.
- Εικόνα 2.2:** Επιλογή συντεταγμένων της περιοχής (domain) για τη δημιουργία του χάρτη.
- Εικόνα 2.3:** Η περιοχή μελέτης (domain) των 765 σημείων του πλέγματος.
- Εικόνες 2.4:** Ιστογράμματα τύπων καιρού (WTs) για τη Ν. Βαλκανική, χρονοσειράς 1979 έως 2018.
- Εικόνες 2.5:** Χάρτες απεικόνισης επί τοις (%) μεταβολή του ετήσιου ποσού συχνότητας εμφάνισης των 11 WTs.
- Εικόνα 2.6:** Η υπό-περιοχή της Αττικής που επιλέχθηκε από το βασικό domain.
- Εικόνες 2.7:** Ιστογράμματα τύπων καιρού (WTs) για την Αττική, χρονοσειρά 1979 έως 2018.
- Εικόνα 2.8:** Η υπό-περιοχή της Θεσσαλονίκης που επιλέχθηκε από το βασικό domain.
- Εικόνες 2.9:** Ιστογράμματα τύπων καιρού (WTs) για τη περιοχή της Θεσσαλονίκης, χρονοσειρά 1979 έως 2018.
- Εικόνα 3.1:** Σύγκριση μεταβολών θερμοκρασίας επιφάνειας και αέρα σε διαφορετικούς τύπους αστικών και αγροτικών περιοχών.
- Εικόνα 3.2:** Σύγκριση συμπεριφοράς της εξατμισοδιαπνοής σε αστικές και υπαίθριες περιοχές.
- Εικόνα 3.3:** Αιτίες διαδικασίας σχηματισμού της ΑΘΝ.
- Εικόνα 3.4:** Επιπτώσεις του φαινομένου της ΑΘΝ.
- Εικόνα 3.5:** Τρόποι αντιμετώπισης και στρατηγικές μετριασμού του φαινομένου της ΑΘΝ.
- Εικόνα 4.1:** Χάρτης θερμοκρασίας (°C) σε ύψος 2m στις 14/3/2008 12Z UTC.
- Εικόνα 4.2:** Χάρτης θερμοκρασίας (°C) στη στάθμη 850hPa στις 14/3/2008 12Z UTC.
- Εικόνα 4.3:** Χάρτης πίεσης (hPa) και γεωδ.ύψους στη στάθμη 500hPa στις 14/3/2008 12Z UTC.
- Εικόνα 4.4:** Χάρτης θερμοκρασίας (°C) σε ύψος 2m στις 16/4/2018 00Z UTC.
- Εικόνα 4.5:** Χάρτης θερμοκρασίας (°C) στη στάθμη 850hPa στις 16/4/2018 00Z UTC.
- Εικόνα 4.6:** Χάρτης πίεσης (hPa) και γεωδ.ύψους στη στάθμη 500hPa στις 16/4/2018 00Z UTC.
- Εικόνα 4.7:** Χάρτης θερμοκρασίας (°C) σε ύψος 2m στις 15/8/2006 12Z UTC.
- Εικόνα 4.8:** Χάρτης θερμοκρασίας (°C) στη στάθμη 850hPa στις 15/8/2006 12Z UTC.
- Εικόνα 4.9:** Χάρτης πίεσης (hPa) και γεωδ.ύψους στη στάθμη 500hPa στις 15/8/2006 12Z UTC.
- Εικόνα 4.10:** Χάρτης θερμοκρασίας (°C) σε ύψος 2m στις 26/8/2007 00Z UTC.
- Εικόνα 4.11:** Χάρτης θερμοκρασίας (°C) στη στάθμη 850hPa στις 26/8/2007 00Z UTC.
- Εικόνα 4.12:** Χάρτης πίεσης (hPa) και γεωδ.ύψους στη στάθμη 500hPa στις 26/8/2006 00Z UTC.

ΣΧΗΜΑΤΑ

- Σχήμα 4.1:** Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της συχνότητας εμφάνισης κατά το $\Delta T_{\text{daytime}}$, Αθήνα.
- Σχήμα 4.2:** Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της συχνότητας εμφάνισης κατά το $\Delta T_{\text{nighttime}}$, Αθήνα.
- Σχήμα 4.3:** Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά 2000-2018.
- Σχήμα 4.4:** Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού ανά έτος για την Αθήνα.
- Σχήμα 4.5:** (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Άνοιξη, Αθήνα.
- Σχήμα 4.6:** (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Χειμώνα, Αθήνα.
- Σχήμα 4.7:** (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Καλοκαίρι., Αθήνα
- Σχήμα 4.8:** (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Φθινόπωρο, Αθήνα.
- Σχήμα 4.9:** (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} της Αθήνας.
- Σχήμα 4.10:** (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} της Αθήνας.
- Σχήμα 4.11:** (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολοήμερο κατώτερο 5% ΔT_{max} για την Αθήνα.
- Σχήμα 4.12:** (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό κατώτερο 5% ΔT_{max} για την Αθήνα.
- Σχήμα 4.13:** Εσωτερική κατανομή του H στο ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.
- Σχήμα 4.14:** Εσωτερική κατανομή του DW στο ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.
- Σχήμα 4.15:** Εσωτερική κατανομή του W στο ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.
- Σχήμα 4.16:** Εσωτερική κατανομή του HW στο ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.
- Σχήμα 4.17:** Εσωτερική κατανομή του HW στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.
- Σχήμα 4.18:** Εσωτερική κατανομή του W στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.
- Σχήμα 4.19:** Εσωτερική κατανομή του DW στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.
- Σχήμα 4.20:** Εσωτερική κατανομή του H στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.
- Σχήμα 4.21:** Ποσοστό επί τοις (%) της συχνότητας εμφάνισης του $\Delta T_{\text{daytime}}$, Θεσσαλονίκη.
- Σχήμα 4.22:** Ποσοστό επί τοις (%) της συχνότητας εμφάνισης του $\Delta T_{\text{nighttime}}$, Θεσσαλονίκη.
- Σχήμα 4.23:** Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά 2004-2009.
- Σχήμα 4.24:** Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού ανά έτος για τη Θεσσαλονίκη.
- Σχήμα 4.25:** (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Χειμώνας, Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.26:** (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Άνοιξη, Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.27:** (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Καλοκαίρι, Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.28:** (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Φθινόπωρο, Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.29:** (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} της Θεσσαλονίκης.
- Σχήμα 4.30:** (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} της Θεσσαλονίκης.
- Σχήμα 4.31:** (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολοήμερο κατώτερο 5% ΔT_{max} της Θεσσαλονίκης.
- Σχήμα 4.32:** (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό κατώτερο 5% ΔT_{max} της Θεσσαλονίκης.
- Σχήμα 4.33:** Εσωτερική κατανομή του D στο ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.

- Σχήμα 4.34:** Εσωτερική κατανομή του DW στο ολόήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.35:** Εσωτερική κατανομή του W στο ολόήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.36:** Εσωτερική κατανομή του CFP στο ολόήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.37:** Εσωτερική κατανομή του DW στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.38:** Εσωτερική κατανομή του W στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.39:** Εσωτερική κατανομή του D στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.40:** Εσωτερική κατανομή του DC στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.
- Σχήμα 4.41:** Εσωτερική κατανομή του CFP στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.



ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΩΝ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ

1.1. Εισαγωγή

Τις τελευταίες δεκαετίες, ειδικότερα από τις αρχές του 1970 λόγω μεγάλης ανάπτυξης της τεχνολογίας, το θέμα της κλιματικής αλλαγής έχει λάβει τεράστια προσοχή από επιστημονικούς, πολιτικούς αλλά και κοινωνικούς φορείς. Αυτό το γεγονός εξηγείται, κυρίως λόγω της διαπίστωσης ότι η μέση πλανητική θερμοκρασία έχει αυξηθεί περίπου κατά 0,85 °C (Pachauri et. al, IPCC 2014), με τη μεγαλύτερη επίπτωση να εμφανίζεται στους δύο πόλους της Γης (Αρκτική και Ανταρκτική) που διαθέτουν τους “χρόνιους” πάγους (Francis and Vanrus, 2012). Οι περισσότερες έρευνες για το κλίμα αλλά φυσικά και για τη κλιματική αλλαγή, επικεντρώνονται στις τάσεις μετρήσεων (μέσα, μέγιστα, ελάχιστα, άκρα κ.λπ.) των βασικών μετεωρολογικών μεταβλητών, όπως της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της υγρασίας καθώς και της ατμοσφαιρικής πίεσης στη στάθμη της θάλασσας.

Όμως, υπάρχουν και μέθοδοι ταξινόμησης τύπων καιρού που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, πάνω στον κλάδο της συνοπτικής κλιματολογίας. Η συνοπτική κλιματολογία, εξετάζει τη σχέση των τοπικών και περιφερειακών κλιματολογικών συνθηκών με την ατμοσφαιρική κυκλοφορία. Ουσιαστικά, συνοπτικά μετεωρολογικά δεδομένα (όπως θερμοκρασία, υγρασία, νεφοκάλυψη) χρησιμοποιούνται με σκοπό τη κατηγοριοποίηση επιλεγμένων χαρακτηριστικών της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας και των σχετικών καιρικών φαινομένων (Barry and Carleton, 2001). Αυτές οι κατηγοριοποιήσεις τύπων καιρού, είτε κατά το παρελθόν είτε οι σημερινές, έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμες στην εφαρμοσμένη κλιματολογική έρευνα, καθώς εξετάζεται η μεταβλητότητα πολλών παραμέτρων που σχετίζονται με το κλίμα (Lee and Sheridan, 2018) . Επίσης, κύριος σκοπός τους σε αρκετές έρευνες, αποτελεί η ανακάλυψη της συνεισφοράς των καιρικών συνθηκών στην ανθρώπινη υγεία, τη νοσηρότητα και τη θνησιμότητα (Lee and Sheridan, 2018). Παρακάτω, αναλύεται εκτενέστερα η ταξινόμηση των τύπων καιρού και τα συστήματα “εφαρμογής” τους.

1.2. Ιστορική αναδρομή στη ταξινόμηση τύπων καιρού

Στις αρχές του 20^{ου} αιώνα ο Durst όρισε την επιστήμη της κλιματολογίας ως ‘‘Η σύνθεση του καιρού’’ (Huschke, 1959). Οι κλιματολογικές συνθήκες σε οποιαδήποτε τοποθεσία, καθορίζονται πλήρως από τη σωρευτική επίδραση των καιρικών συστημάτων που έχουν παρέλθει από αυτή τη περιοχή ανά τα χρόνια. Επομένως, η πλήρης αναπαράσταση του κλίματος μιας περιοχής δεν είναι απλώς μόνο οι μακροπρόθεσμες ακραίες τιμές της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, αλλά καθορίζονται από το σύνολο των καιρικών στοιχείων που αλληλεπιδρούν τόσο με τον χώρο όσο και με τον χρόνο (Kalkstein and Davis, 1990). Ένας από τους σημαντικούς στόχους, ώστε να επιτευχθεί η καταγραφή του κλίματος σε μια περιοχή, είναι η λογική κατηγοριοποίηση των καιρικών συστημάτων σε χωροχρονική κλίμακα. Σε αυτό το πεδίο συμβάλει σημαντικά η συνοπτική κλιματολογία (synoptic climatology), η οποία δεν είχε γίνει σημαντική πτυχή της κλιματολογίας μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1970, λόγω της μη διαθεσιμότητας υπολογιστών υψηλής ταχύτητας για τον χειρισμό μεγάλων και πολυμεταβλητών δεδομένων. Μελετώντας προσεκτικά τις αλλαγές στα πρότυπα της ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, τη συχνότητα και τον χαρακτήρα των αερίων μαζών αλλά και τη σημασία των ακραίων καιρικών φαινομένων, οι συνοπτικοί κλιματολόγοι μπορούν να βελτιώσουν τη κατανόηση πάνω στο πεδίο του κλίματος μιας περιοχής (Kalkstein and Davis, 1990).

Ο γενικός στόχος οποιασδήποτε συνοπτικής κλιματολογικής μεθοδολογίας, είναι 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. Ένα σημαντικό αποτέλεσμα της συνοπτικής προσέγγισης είναι ότι η περιβαλλοντική παράμετρος που μελετάτε δε σχετίζεται απλώς με αλλαγές σε ένα μεμονωμένο καιρικό στοιχείο, αλλά με το σύνολο των καιρικών στοιχείων ή την ονομαζόμενη συνοπτική καιρική κατάσταση (Kalkstein and Davis, 1990).

Η συνοπτική κλιματολογική έρευνα μπορεί να χωριστεί σε δύο διαφορετικές κατηγορίες, με βάση τη μέθοδο που επιλέγει ο ερευνητής να διακρίνει αυτές τις συνοπτικές κατηγορίες:

A) Προσεγγίσεις που αφορούν τύπους καιρού (Weather typing approaches).

B) Προσεγγίσεις που αφορούν την αέρια μάζα (Air mass based approaches).

A) Η ταξινόμηση των καιρικών συνθηκών σε τύπους καιρού, βασίζεται μόνο σε δεδομένα ροής (επιφανειακή πίεση ή / και ύψος αέρα). Συνήθως οι καιρικοί τύποι που προκύπτουν, σχετίζονται στενά με τη κατεύθυνση του ανέμου που επικρατεί ή με παρόμοια μοτίβα ατμοσφαιρικής ροής (Kalkstein and Davis, 1990). Αν και υπάρχει μία σχέση μεταξύ των προτύπων πίεσης και ορισμένων μετεωρολογικών στοιχείων, αυτά τα στοιχεία δε χρησιμοποιούνται ως κριτήρια για την ανάπτυξη και δημιουργία των τύπων καιρού. Για παράδειγμα, ένας τύπος καιρού σε μία περιοχή που χαρακτηρίζεται από χαμηλή επιφανειακή ατμοσφαιρική πίεση και ισχυρούς Βορειοανατολικούς (BA) ανέμους, θα σχετίζεται γενικότερα με χαμηλότερες από τις κανονικές θερμοκρασίες αέρα, υψηλότερη σχετική υγρασία και νεφοκάλυψη. Αν και αυτές οι μεταβλητές δε χρησιμοποιούνται ρητά στο καθορισμό και στη δημιουργία των τύπων καιρού, στις περισσότερες συνοπτικές ταξινομήσεις όμως είναι αρκετά συνεπείς για κάθε τύπο καιρού (Kalkstein and Davis, 1990).

Η ταξινόμηση των τύπων καιρού, έχει αποδειχθεί αρκετά χρήσιμη στη περιβαλλοντική ανάλυση. Η πρώτη διαδικασία αναπτύχθηκε περίπου το 1963 από τον Lund, με βάση συσχετισμούς που έκανε μεταξύ πεδίων πίεσης και είχε εφαρμοστεί με επιτυχία στη συνέχεια και από άλλους ερευνητές (Overland and Heister 1980 - Yarnal, 1984). Μία διαφορετική προσέγγιση, βασισμένη στις τροχιές του αέρα (air trajectories) αναπτύχθηκε από τον Muller (1977) και εφαρμόστηκε σε προβλήματα όπως ο έλεγχος της ποιότητας του αέρα.

B) Σε αντίθεση οι μέθοδοι / προσεγγίσεις με βάση τη μάζα αέρα, χρησιμοποιούν μια ποικιλία μετεωρολογικών στοιχείων για να αναπτύξουν μια κατηγορία που έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά καιρού, αλλά δυνητικά διαφορετικά μοτίβα πίεσης, δεδομένου ότι η πίεση δεν είναι το μοναδικό κριτήριο που χρησιμοποιείται για την ανάπτυξη της ταξινόμησης (Kalkstein and Davis, 1990). Μία από τις πρώτες σημαντικές μελέτες με βάση τη μάζα αέρα μετά τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο, πραγματοποιήθηκε από τον Bryson (1966), ο οποίος χρησιμοποίησε τη μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία ως βασικό αναγνωριστικό της αέριας μάζας.

1.3 Ανάλυση παλαιότερων ειδών συνοπτικής ταξινόμησης τύπων καιρού

Οι ταξινομήσεις των τυπικών μετεωρολογικών προτύπων των αερίων μαζών και των τύπων καιρού, έχουν χρησιμοποιηθεί εδώ και αρκετά χρόνια για να εξετάσουν τη καθημερινή σχέση μεταξύ του καιρού και ενός πλήθους διαφορετικών επιφανειακών φαινομένων (Yarnal, 1993). Χρησιμοποιούνται ώστε να εξεταστεί ένα πλήθος μετεωρολογικών μεταβλητών σε μια συγκεκριμένη τοποθεσία και τελικά να ταξινομηθεί κάθε μέρα σε έναν από τους διάφορους μετεωρολογικούς τύπους (Lee, 2015). Τα βασικότερα είδη της συνοπτικής ταξινόμησης τύπων καιρού αναφέρονται παρακάτω.

TSI (Temporal Synoptic Index)

Μία από τις πρώτες συνοπτικές διαδικασίες ταξινόμησης, υπήρξε ο δείκτης TSI (Temporal Synoptic Index) που χρησιμοποιήθηκε αρχικά από τον Kalkstein το έτος 1979. Ο δείκτης TSI όταν εμφανίστηκε, ήταν ο πρώτος αυτοματοποιημένος δείκτης ταξινόμησης με βάση τη μάζα του αέρα και υπήρξε μια μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιήθηκε για τη ταξινόμηση του ημερήσιου τύπου καιρού σε ένα συγκεκριμένο σταθμό. Κατά την ανάπτυξη του δείκτη TSI, δεδομένα από 7 μεταβλητές (θερμοκρασία αέρα, θερμοκρασία σημείου δρόσου, πίεση στη στάθμη της θάλασσας, ορατότητα, νεφοκάλυψη και οι δύο οριζόντιες συνιστώσες της ταχύτητας του ανέμου), παρατηρήθηκαν 4 φορές την ημέρα για την εκάστοτε τοποθεσία και συλλέχθηκαν, ώστε να υπάρχει μεγαλύτερη ακρίβεια. Εν συνεχεία τα δεδομένα αυτά διαμορφώνονται μέσω ενός πίνακα συσχέτισης (correlation matrix), ο οποίος εκφράζει τη σχέση των συντελεστών μεταξύ των 28 (4*7) μεταβλητών (Kalkstein and Davis, 1990). Χρησιμοποιώντας την ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA, Principal Components Analysis), υπολογίζεται ο αριθμός των συνιστωσών για κάθε ημέρα και συγκεντρώνονται σε ομάδες που αντιπροσωπεύουν συνοπτικές τάξεις (synoptic classes), διασφαλίζοντας ότι σε κάθε τάξη είναι 28 μεταβλητές σχετικά ομοιογενείς (Kalkstein and Davis, 1990).

Αξίζει να αναφερθούν περιληπτικά μερικά λόγια την ανάλυση των κύριων συνιστωσών, που αναφέρθηκε παραπάνω. Η ανάλυση κύριων συνιστωσών (PCA), είναι μία στατιστική διαδικασία η οποία μετατρέπει μία ομάδα τιμών (παρατηρήσεων) δυναμικά συσχετιζόμενων μεταβλητών, σε μία ομάδα νέων τιμών μη γραμμικά συσχετιζόμενων μεταβλητών, οι οποίες καλούνται κύριες συνιστώσες. Ο αριθμός των νέων μεταβλητών που προκύπτει είναι ίσος ή και συχνότερα πολύ μικρότερος από τον αριθμό των αρχικών μεταβλητών. Η μετάβαση αυτή πραγματοποιείται με τέτοιο τρόπο ώστε, η πρώτη συνιστώσα να εξηγεί τη μέγιστη δυνατή διακύμανση που αναπτύσσεται μεταξύ των αρχικών

μεταβλητών, η δεύτερη, μη συσχετιζόμενη με την πρώτη, να εξηγεί ένα σημαντικό μέρος αυτής αλλά πάντα μικρότερο της πρώτης και ούτω καθεξής (Πετρίδης, 2015).

Ο δείκτης TSI, βασίζεται στο γεγονός ότι το κλίμα σε μια δεδομένη τοποθεσία είναι συνάρτηση των μοτίβων επαναλαμβανόμενων καιρικών συνθηκών που περιέχουν διακριτικές ικανότητες. Μια μάζα αέρα, η οποία έχει εξ ορισμού σχετικά ομοιογενείς θερμικές ιδιότητες αλλά και ομοιογενείς ιδιότητες όσον αφορά την υγρασία, σε μια οριζόντια εγκάρσια διατομή (Barry and Perry, 1973) είναι εύκολο να αναγνωριστεί ενώ διατηρεί αυτές τις ιδιότητες. Ωστόσο, καθώς μια μάζα αέρα ‘μεταναστεύει’ από τη περιοχή προέλευσης της και κινείται σε διαφορετικές περιοχές μπορεί να υποστεί θέρμανση, ψύξη, αλλά ακόμη και προσθήκη ή απομάκρυνση υγρασίας (υδρατμών) λόγω ορεογραφικής ανάβασης ή κατάβασης. Έτσι τα χαρακτηριστικά της αέριας μάζας μπορεί να διαφέρουν αρκετά όταν φτάνει σε μια δεδομένη τοποθεσία, απ ότι όταν άφησε για πρώτη φορά τη περιοχή προέλευσης της (Kalkstein and Davis, 1990). Γι αυτό το λόγο, η διαδικασία του δείκτη TSI παρουσίαζε μερικούς περιορισμούς κυρίως λόγω του ότι αναφέρεται συγκεκριμένα για ένα τόπο, μιας και τα μετεωρολογικά δεδομένα συλλέγονται από ένα και μοναδικό σταθμό για την δημιουργία ενός συστήματος ταξινόμησης, και έτσι οι αέριες μάζες καθορίζονται χωρίς να λαμβάνονται υπόψη άλλες περιοχές.

Η μεθοδολογία αυτού του συνοπτικού δείκτη ταξινόμησης, υποθέτει ότι κάθε φορά που η αέρια μάζα με παρόμοιες αρχικές συνθήκες, ταξιδεύει σε παρόμοια διαδρομή και με παρόμοια ταχύτητα για να φτάσει σε μια καθορισμένη τοποθεσία, οι καιρικές συνθήκες θα είναι παρόμοιες. Ο συγκεκριμένος δείκτης, χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στο Wilmington του Delaware των ΗΠΑ, για την εύρεση της κακής ποιότητας του αέρα και συγκεκριμένα για τη διακύμανση της συγκέντρωσης του διοξειδίου του θείου (SO₂) (Kalkstein and Corrigan, 1986).

SSI (Spatial Synoptic Index)

Ο δείκτης TSI με τη πάροδο των πρώτων ετών της δημιουργίας του, υπέστη μια τροποποίηση χρησιμοποιώντας την Cluster Analysis, με αποτέλεσμα να προκύψει ο καινούργιος δείκτης SSI (Spatial Synoptic Index), με πρωταρχικό στόχο να βελτιωθεί η συμβατότητα μεταξύ των σταθμών που παρήχθησαν τα δεδομένα (Lee, 2014). Αξίζει να αναφερθεί ότι η Cluster Analysis (Συσταδοποίηση) είναι η διαδικασία καταμερισμού ενός ετερογενούς πληθυσμού σε ένα σύνολο περισσότερων ετερογενών συστάδων (clusters). Τα δεδομένα ομαδοποιούνται με βάση την ομοιότητα που παρουσιάζουν μεταξύ τους. Μετέπειτα, εξαρτάται από τον χρήστη αλλά και από το προσδοκώμενο αποτέλεσμα η σημασία που δίνεται στις προκύπτουσες συστάδες. Η διαδικασία αυτή ακολουθείτε από την επιλογή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων (attributes), την επιλογή του αλγορίθμου

συσταδοποίησης, την επικύρωση αποτελεσμάτων και τέλος την ερμηνεία και παρουσίαση αποτελεσμάτων (Κουρής, 2006).

Ο προκύπτων και βελτιωμένος χωρικός συνοπτικός δείκτης SSI, μέσω της ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PCA), δημιούργησε μια δειγματοληπτική κατανομή στοιχείων των μετεωρολογικών σταθμών κατά την οποία καμία περιοχή δεν υπολογίστηκε υπερβολικά ή δεν υποεκπροσωπήθηκε. Διασφαλίστηκε με αυτόν τον τρόπο η ομοιόμορφη χωρική κάλυψη (Kalkstein and Davis, 1990). Η κύρια ιδέα της χωρικής συνοπτικής ταξινόμησης (Spatial Synoptic Classification, SSC) βασίστηκε στον ορθό προσδιορισμό του χαρακτήρα κάθε τύπου καιρού για μια συγκεκριμένη τοποθεσία. Αυτό το γεγονός επιτυγχάνεται με την επιλογή των βασικών ημερών ή ημέρες σπόρου, όπως ονομάζονται στη διεθνή βιβλιογραφία (Seed days) (Sheridan, 2002). Για να γίνει πιο κατανοητό, η βασική ημέρα ή ημέρα σπόρου είναι στη πραγματικότητα μια ημέρα που περιέχει τα τυπικά μετεωρολογικά χαρακτηριστικά ενός συγκεκριμένου τύπου καιρού στη συγκεκριμένη τοποθεσία. Προκειμένου να προσδιοριστούν οι βασικές ημέρες για κάθε τοποθεσία και για κάθε σεζόν, πρώτα θα πρέπει να προσδιοριστούν τα τυπικά μετεωρολογικά χαρακτηριστικά (Sheridan, 2002). Έτσι, προσδιορίζονται σειρές μετεωρολογικών μεταβλητών και με βάση ορισμένα μαθηματικά υπολογιστικά προγράμματα, εξάγονται όλες οι ημέρες κατά τη διάρκεια μιας συγκεκριμένης περιόδου του έτους που πληρούν αυτά τα κριτήρια. Εάν φυσικά οι ημέρες θεωρηθούν ως μη αντιπροσωπευτικές, τα κριτήρια της βασικής ημέρας θα προσαρμοστούν και θα επαναληφθεί ξανά η διαδικασία. Αξίζει ακόμα δε να σημειωθεί ότι τα κριτήρια της βασική ημέρας (seed day) καθορίστηκαν ξεχωριστά για κάθε τοποθεσία (Sheridan, 2002). Οι βασικές μεταβλητές/καιρικά στοιχεία που συμπεριλήφθηκαν στην έρευνα ώστε να επιτευχθεί η χωρική συνοπτική ταξινόμηση (Spatial Synoptic Classification, SSC) με βάση τον δείκτη SSI είναι οι παρακάτω:

- ✓ *Θερμοκρασία αέρα 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (°C).*
- ✓ *Θερμοκρασία σημείου δρόσου (°C).*
- ✓ *Πίεση στη στάθμη της θάλασσας (mbar).*
- ✓ *Οριζόντια συνιστώσα ανέμου (u) (knots).*
- ✓ *Οριζόντια συνιστώσα ανέμου (v) (knots).*
- ✓ *Νεφοκάλυψη (tenths of sky covered).*

Χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις φορές οι ημερήσιες παρατηρήσεις των παραπάνω 6 μεταβλητών, ώστε να δημιουργηθεί η ταξινόμηση σε ημερήσια βάση των τύπων καιρού στις εκάστοτε τοποθεσίες (Lee, 2015). Αρχικά, η θερμοκρασία του αέρα αλλά και η θερμοκρασία του σημείου δρόσου (dew point

temperature), αποτελούν τυπικούς (standard) δείκτες μιας αέριας μάζας και καθορίζουν σε μεγάλο βαθμό τις θερμικές ιδιότητες καθώς και τις ιδιότητες υγρασίας της αέριας μάζας (Kalkstein and Davis, 1990). Η θερμοκρασία του σημείου δρόσου επιλέχθηκε κυρίως έναντι των άλλων μεταβλητών υγρασίας, διότι είναι συντηρητικό σε σχέση με τις αλλαγές στη θερμοκρασία. Από την άλλη μεριά, η ατμοσφαιρική πίεση και ο άνεμος είναι ενδεικτικά των προτύπων ροής επιφανείας, τα οποία είναι αρκετά διακριτά μεταξύ των διαφορετικών συνοπτικών καταστάσεων (Kalkstein and Davis, 1990). Ακόμη, η παράμετρος της νεφοκάλυψης συμπεριλήφθηκε καθώς περιέχει ένδειξη υγρασίας στα ανώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα και σχετίζεται και με την εισερχόμενη ηλιακή ακτινοβολία. Μία σύγκριση που έγινε μεταξύ των αποτελεσμάτων που υπολογίστηκαν με και χωρίς τη παράμετρο της νεφοκάλυψης, έδειξε σαφώς βελτιωμένη συνοπτική κατηγοριοποίηση όταν αυτή η μεταβλητή χρησιμοποιήθηκε στη ταξινόμηση (Kalkstein and Davis, 1990). Αντίθετα, η ορατότητα δε συμπεριλήφθηκε στον παρόντα δείκτη, όπως είχε γίνει με τον δείκτη TSI, δεδομένου ότι μείωνε τη χωρική ομοιογένεια της προκύπτουσας ταξινόμησης.

Έτσι λοιπόν, με βάση τις παραπάνω 6 μεταβλητές πραγματοποιήθηκε η ταξινόμηση κάθε ημέρας στους αντίστοιχους τύπους καιρού. Καθώς η ταξινόμηση της κάθε ημέρας επηρεάζεται άμεσα από τα χαρακτηριστικά θερμοκρασίας και υγρασίας, προέκυψαν οι επτά ακόλουθοι τύποι καιρού (Lee, 2015):

- 1) Ξηρός πολικός (Dry Polar DP)
- 2) Ξηρός μέτριος (Dry Moderate DM)
- 3) Ξηρός τροπικός (Dry Tropical DT)
- 4) Υγρός πολικός (Moist Polar MP)
- 5) Υγρός μέτριος (Moist Moderate MM)
- 6) Υγρός τροπικός (Moist Tropical MT)
- 7) Μεταβατικός (Transitional TR)

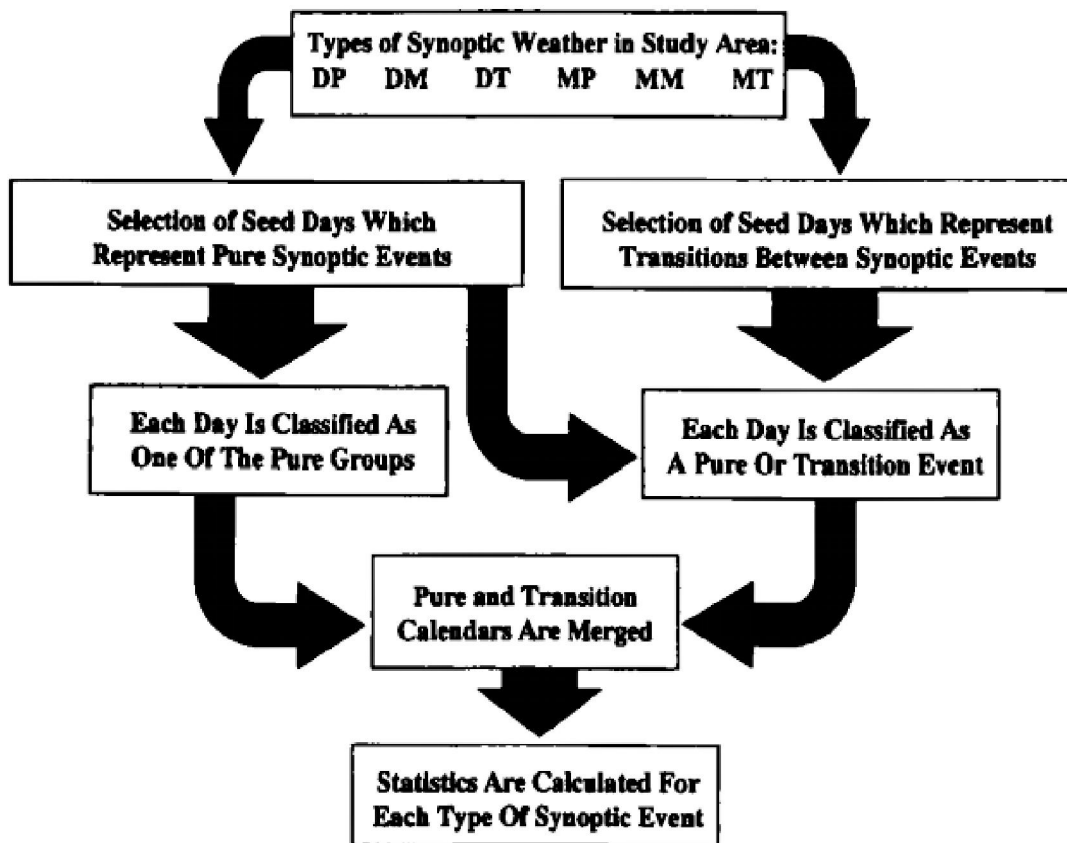
Σύμφωνα με τον Sheridan (2002), ο οποίος συνέβαλε στη δημιουργία της χωρικής συνοπτικής ταξινόμησης (SSC), έδωσε τους παρακάτω ορισμούς για τους ακόλουθους τύπους καιρού. Αρχικά, ο τύπος καιρού Dry Polar (DP) χαρακτηρίζεται από δροσερό ή από ψυχρό ξηρό αέρα και γενικότερα από Βόρειους ανέμους. Δεν απαντάται η νεφοκάλυψη σε αυτόν τον τύπο καιρού ή τουλάχιστον ελάχιστα, ανάλογα ορισμένες περιπτώσεις. Ο Dry Moderate (DM), χαρακτηρίζεται με τη σειρά του από ήπιο και ξηρό αέρα και εμφανίζεται συνήθως με υψηλή ροή. Ακόμη, ο Dry Tropical (DT)

σχετίζεται με τις πιο θερμές και ξηρότερες συνθήκες. Μπορεί επίσης να χαρακτηριστεί και από βίαιους ανέμους, όπου η γρήγορη θέρμανση υπό συμπίεση μπορεί να παράξει παρόμοιες συνθήκες.

Από την άλλη πλευρά, ο Moist Polar (MP) τύπος χαρακτηρίζεται από καιρικές συνθήκες οι οποίες είναι δροσερές και συνάμα υγρές και συνδέονται από νεφοκάλυψη, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε βροχόπτωση. Ο συγκεκριμένος τύπος καιρού μπορεί να εμφανιστεί και μέσω οριζόντιας μεταφοράς της ατμόσφαιρας (advection). Επίσης, μπορεί να προκύψει όταν μια αέρια μάζα εμπλουτίζεται με υδρατμούς, καθώς διασχίζει μια ψυχρή αέρια υδάτινη επιφάνεια (π.χ. θάλασσα). Ο τύπος καιρού Moist Moderate (MM), είναι πιθανό να χαρακτηρίζεται από νεφοκάλυψη, αλλά ακόμη να είναι πιο θερμός και πιο υγρός από τον αέρα του τύπου MP. Μπορεί να σχηματιστεί κοντά σε ένα θερμό μέτωπο (Warm Front), όπως επίσης και να σχηματιστεί κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού επηρεάζοντας ημέρες όπου χαρακτηρίζονται σχετικά από υψηλή νεφοκάλυψη. Ο Moist Tropical (MT), αντιπροσωπεύεται από θερμό και συνάμα πολύ υγρό αέρα, από νεφοκάλυψη κυρίως το χειμώνα και χαρακτηρίζεται νεφελώδης τη διάρκεια του καλοκαιριού. Τέλος, ο τύπος καιρού Transitional (TR) αποτελεί έναν μεταβατικό τύπο καιρού ο οποίος αντιπροσωπεύει μια κατάσταση όπου κατά τη διάρκεια μιας ημέρας, μπορεί να αποδοθεί σε δύο τύπους καιρού. Μπορεί να υπάρξει δηλαδή συγχώνευση των καιρικών χαρακτηριστικών και όχι καλή διάκριση.

Η παραπάνω ταξινόμηση είχε τροποποιηθεί εκ νέου, ώστε να μπορεί να ταξινομεί τις ημέρες καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου, και επεκτάθηκε, περιλαμβάνοντας περισσότερους από 300 σταθμούς σε όλη την Αμερική και τον Καναδά. Η τροποποιημένη αυτή χωρική ταξινόμηση αναφέρεται ως SSC2 και έχει λεπτομερώς περιγραφεί από τον Sheridan (2002).

Στη παρακάτω εικόνα, σκιαγραφούνται τα βασικά βήματα της λογικής που ακολουθείτε για την ανάπτυξη του συστήματος της χωρικής συνοπτικής ταξινόμησης (SSC), τα οποία περιγράφηκαν με συντομία παραπάνω.



Εικόνα 1.1: Τα βασικά βήματα για την ανάπτυξη του συστήματος SSC.

Πηγή: Kalkstein et al., 1996.

Η χωρική συνοπτική ταξινόμηση (SSC), έχει χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς εκτενέστατα και με επιτυχία, σε μια σειρά εφαρμογών και ερευνών, όπως οι καταγίδες που προκαλούνται σε αστικές περιοχές (Ashley et al., 2012), αποδίδοντας μια πολύτιμη εικόνα των κλιματολογικών επιπτώσεων, σχετικά με αυτά τα αποτελέσματα. Επίσης, χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι έρευνες στη βιομετεωρολογία, που εξετάζουν τις καιρικές επιπτώσεις στην ανθρώπινη υγεία και ειδικότερα εκείνες που σχετίζονται με τη θνησιμότητα λόγω της θερμοπληξίας (Lee, 2015). Επιπλέον, για την Αθήνα, ο Kassomenos et al., (2001;2007) χρησιμοποιώντας την συνοπτική κλιματολογική προσέγγιση, παρατήρησε για το καλοκαίρι έξι τύπους αέριων μαζών που σχετίζονται με υψηλά ποσοστά θνησιμότητας. Ακόμη, πέρα από τη βιομετεωρολογία, το σύστημα SSC έχει εφαρμοστεί ευρέως και στην έρευνα σχετικά με τις επιπτώσεις των Αστικών Θερμικών Νησίδων (ΑΘΝ) που παρατηρούνται στα μεγάλα και πολυπληθή αστικά κέντρα (Brazel et al., 2007).

1.4. Το εξελιγμένο σύστημα ταξινόμησης GWTC

Το πεδίο της εφαρμοσμένης κλιματολογίας, έχει αυξηθεί σημαντικά τις τελευταίες δεκαετίες από τότε που το σύστημα ταξινόμησης SSC αναπτύχθηκε εκ νέου (Lee, 2014). Ειδικότερα, αναπτύχθηκε η ‘‘πρόεκταση’’ του συστήματος SSC, το οποίο ονομάστηκε Gridded Weather Typing Classification (GWTC). Το συγκεκριμένο σύστημα ταξινόμησης, σχεδιάστηκε ώστε να ενσωματώνει μερικά από τα πιο επιτυχημένα γνωρίσματα του SSC αλλά συνάμα να ξεπερνά και μερικούς από τους περιορισμούς αυτού (Lee, 2014). Αναπτύχθηκε ώστε να ενσωματώνει μια σειρά από νέα χαρακτηριστικά, με βασικό στόχο να :

- Δημιουργεί μια ταξινόμηση τύπων καιρού, με βάση το πλέγμα σημείων (gridded).
- Δημιουργεί μια ταξινόμηση, όπου να βελτιώνει την χωρική ανάλυση των υπαρχόντων ταξινομήσεων.
- Δημιουργεί μια πιο αυτοματοποιημένη μεθοδολογία ταξινόμησης, εξαλείφοντας μεγάλο κομμάτι χρόνου που καταναλώνονταν για τις προηγούμενες ταξινομήσεις, ώστε να δημιουργηθούν οι εκάστοτε τύποι καιρού (weather types) και επιπρόσθετα ακόμη να μπορεί εύκολα να επαναληφθεί η διαδικασία από άλλους ερευνητές.
- Δημιουργεί μια ταξινόμηση που σχετίζεται καθαρά από την εποχή του έτους και τη τοποθεσία.
- Δημιουργεί μια ταξινόμηση η οποία προσδιορίζει τη φύση των μεταβατικών τύπων καιρού.
- Δημιουργεί μια ταξινόμηση που έχει επαρκή συχνότητα για κάθε βασικό τύπο καιρού σε όλες τις τοποθεσίες και ημέρες του έτους, διασφαλίζοντας ότι οι βασικοί τύποι καιρού μπορούν να εμφανίζονται σε κάθε ημερολογιακό μήνα σε όλες τις τοποθεσίες.

Αρχικά, το σύστημα GWTC σχεδιάστηκε και εφαρμόστηκε για τη περιοχή των Ηνωμένων Πολιτειών της Αμερικής, στη συνέχεια στην ευρύτερη περιοχή της Βόρειας Αμερικής και πλέον έχει καλύψει τη ταξινόμηση σε παγκόσμια κλίμακα μέσω του εξελιγμένου GWTC2 (Lee, 2020). Τα κλιματολογικά δεδομένα για τη ταξινόμηση μέσω του GWTC, ελήφθησαν από το National Centers for

Environmental Prediction (NCEP) του North American Regional Reanalysis (NARR) (Mesinger et al., 2006). Ως πρωταρχικός και κύριος στόχος του GWTC, υπήρξε η καλύτερη δυνατή χωρική ανάλυση σε σχέση με τα προηγούμενα συστήματα ταξινόμησης, γι αυτό και χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από το NARR, λόγω ότι διέθεταν μεγαλύτερη χωρική ανάλυση (Lee, 2014). Το NARR αποτελείται από ένα σει πλέγματος μετεωρολογικών δεδομένων, ενσωματωμένων από διάφορες πηγές παρατήρησης, όπως επιφανειακοί μετεωρολογικοί σταθμοί, βροχόμετρα κτλ. (Lee, 2015). Τα δεδομένα αυτά που αποτελούν περισσότερο μεταβλητές μοντέλου, παρά πραγματικές παρατηρήσεις, αφορούν τη χρονοσειρά από το έτος 1979 έως και το 2018 και θεωρούνται αντιπροσωπευτικά για την έρευνα.

Τα δεδομένα που επιλέχθηκαν για την επίτευξη της ταξινόμησης μέσω του GWTC, ήταν με βάση τις παρακάτω έξι μεταβλητές, όμοιες με αυτές του SSC, αλλά οι οποίες ελήφθησαν 8 φορές ημερησίως (Lee, 2015):

- ✓ *Θερμοκρασία αέρα 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους (°C).*
- ✓ *Θερμοκρασία σημείου δρόσου (°C).*
- ✓ *Πίεση στη στάθμη της θάλασσας (hPa).*
- ✓ *Οριζόντια συνιστώσα ανέμου (u) (m/s).*
- ✓ *Οριζόντια συνιστώσα ανέμου (v) (m/s).*
- ✓ *Ποσοστό νεφοκάλυψης.*

Η επεξεργασία αυτών των παρατηρήσεων, βασίστηκε στη προηγούμενη διαδικασία του συστήματος SSC, με μικρές διαφοροποιήσεις. Καθώς όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο κύριος στόχος της ταξινόμησης GWTC, ήταν η διαισθητική κατηγοριοποίηση των τύπων καιρού μέσω της χωρικής εξομάλυνσης που αφορά μόνο την εποχή του έτους και τη συγκεκριμένη τοποθεσία. Έτσι η μεγάλη διαφορά μεταξύ του συστήματος GWTC και των προηγούμενων, αποτέλεσε το γεγονός ότι η συχνότητα του κάθε τύπου καιρού που προέκυψε είναι πιο ισορροπημένη για κάθε μία τοποθεσία και ανά χρονική στιγμή του έτους (Lee, 2014). Τα ονόματα των προκυπτουσών τύπων καιρού δεν περιλαμβάνουν γεωγραφικά συμπεράσματα όπως (ηπειρωτικό, θαλάσσιο, τροπικό, πολικό) αλλά βασίζονται αυστηρά στη θερμοκρασία και στην υγρασία και ως εκ τούτου αναφέρονται πάντα στις σχετικές καιρικές μεσοποιημένες συνθήκες της τοποθεσίας και της ημέρας (Lee, 2015).

Μέσω των σημαντικών στατιστικών μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν και για την ανάπτυξη του SSC, της ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PCA), της συσταδοποίησης (Cluster Analysis, CA), αλλά και της διακρίνουσας ανάλυσης (Discriminant Function Analysis, DFA) δημιουργήθηκε μια δειγματοληπτική κατανομή στοιχείων των μετεωρολογικών μεταβλητών. Η DFA ανάλυση, αποτελεί

μια τεχνική μείωσης δεδομένων ιδιαίτερα χρήσιμη για την εφαρμοσμένη έρευνα και συμβάλλει στη καλύτερη δυνατή κατηγοριοποίηση. Επομένως η χρήση της, βοηθά στη διασφάλιση ότι οι ημέρες με πολύ κοντινές τιμές θερμοκρασίας ή και υγρασίας που είναι προσκείμενες σε παραπάνω από έναν τύπο καιρού, θα χωριστούν στη πιο αντιπροσωπευτική κατηγορία με βάση τις τιμές των άλλων μετεωρολογικών μεταβλητών εκείνης της ημέρας (Lee, 2015).

Τα δεδομένα έδειξαν ότι οι μέσες χωρικές αποκλίσεις είναι αρκετά μικρές, δηλαδή μπορούν να θεωρηθούν ακόμα και αμελητέες, σε σύγκριση με τις παρατηρήσεις που βασίζονται σε προηγούμενες ταξινομήσεις (Lee, 2015). Φυσικά, η ανάπτυξη της μεθοδολογίας για τη τελική ταξινόμηση, υποβλήθηκε σε πολλά στάδια δοκιμών και σφαλμάτων, ώστε να βελτιωθεί. Με αυτό τον τρόπο, ορισμένες ημέρες ταξινομήθηκαν στη **“μεσαία/μέτρια” κατηγορία**, δηλαδή ανήκουν σε κατάσταση μέσης-μετριασμένης υγρασίας ή/και σε μέτρια θερμοκρασία. Οι τύποι καιρού που προέκυψαν για αυτή τη κατηγορία ήταν 5 και πιο συγκεκριμένα ονομάζονται παρακάτω :

- 1) **Average cool as Cool (C):** Μέσος ψυχρός ως ψυχρός
- 2) **Average warm as Warm (W):** Μέσος θερμός ως θερμός
- 3) **Humid moderate as Humid (H):** Υγρός μέτριος ως υγρός
- 4) **Dry moderate as Dry (D):** Ξηρός μέτριος ως ξηρός
- 5) **Average moderate as Seasonal (S):** Μέσος μέτριος ως εποχικός

Ο τύπος καιρού Seasonal (S) χαρακτηρίζεται τόσο από θερμοκρασία όσο και από υγρασία που είναι φυσιολογικές οι τιμές τους για την εκάστοτε τοποθεσία και την εκάστοτε χρονική στιγμή (ημέρα) του έτους.

Όσες ημέρες όμως δεν χαρακτηρίζονταν ούτε από τιμές θερμοκρασίας ούτε από τιμές υγρασίας που ταξινομήθηκαν στη παραπάνω κατηγορία, ανήκουν στην **“ακραία” κατηγορία** που αναφέρεται σε εντονότερες (είτε πιο θερμές, είτε πιο ψυχρές από το μέσο) συνθήκες θερμοκρασίας ή υγρασίας από τα συνηθισμένα για τη περιοχή και το εκάστοτε έτος (Lee, 2015). Οι τύποι καιρού που προέκυψαν για αυτή τη κατηγορία ήταν 4 και πιο συγκεκριμένα ονομάζονται παρακάτω :

- 6) **Humid Cool (HC):** Υγρός ψυχρός
- 7) **Humid Warm (HW):** Υγρός θερμός
- 8) **Dry Cool (DC):** Ξηρός ψυχρός

9) Dry Warm (DW): Ξηρός θερμός

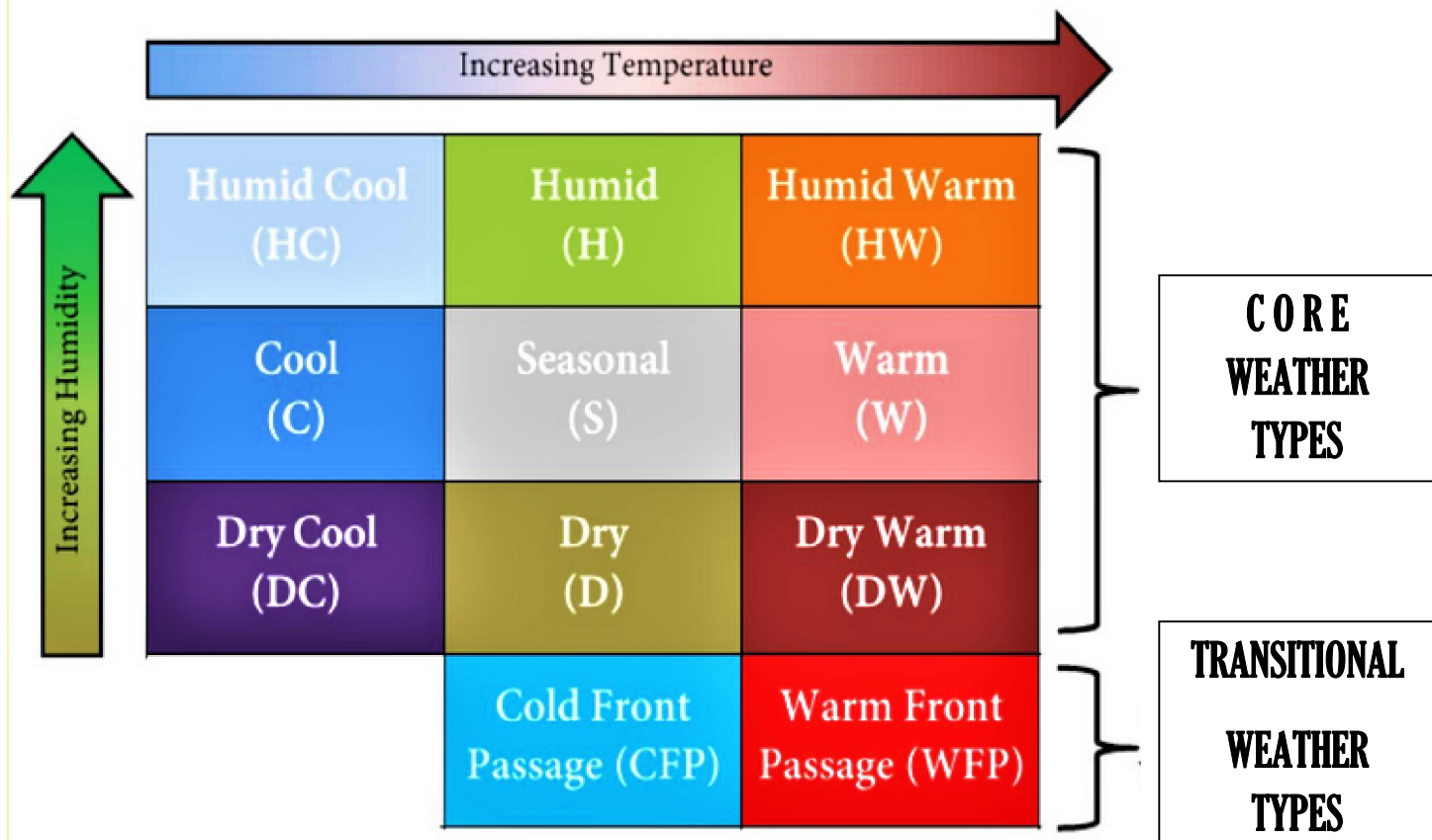
Οι παραπάνω τέσσερις “ακραίοι” τύποι καιρού (HC, HW, DC, DW), μαζί με τους πέντε “μεσαίους/μέτριους” (C, W, H, D, S), σχηματίζουν τους εννέα βασικούς τύπους καιρού (Core Weather Types) του συστήματος ταξινόμησης GWTC (Lee, 2015).

Όμως, υπάρχουν και μεταβατικές ημέρες, αυτές ουσιαστικά που παρουσιάζουν αρκετές αυξομειώσεις όσον αφορά τις καιρικές μεταβλητές και μπορεί να περιλαμβάνουν παραπάνω από έναν τύπο καιρού, όπως συνέβαινε με τον τύπο καιρού Transitional (TR) του συστήματος SSC. Ενώ στην ιδανική περίπτωση, κάθε μέρα ταιριάζει σωστά σε έναν από τους εννέα βασικούς (Core) τύπους καιρού, οι μετεωρολογικές συνθήκες και γενικότερα ο καιρός είναι επιρρεπής σε γρήγορες αλλαγές, ειδικά για παράδειγμα αν προσεγγίζει τη περιοχή ένας κυκλώνας (βαρομετρικό χαμηλό σύστημα) (Lee, 2015). Βέβαια αν γίνει αυτό εντός μίας νύχτας, η ταξινόμηση μπορεί να λειτουργήσει καλά, αλλά αυτό δε συμβαίνει πάντα. Έτσι λοιπόν, υπάρχουν ημέρες όπου ο καιρός μεταβαίνει γρήγορα σε διαφορετικές συνθήκες, με αποτέλεσμα ένας τύπος καιρού να αποδίδεται σε έναν άλλον (Lee, 2015). Δημιουργήθηκαν λοιπόν δύο μεταβατικοί τύποι καιρού (Transitional Weather Types) και ονομάστηκαν :

10) Cold Front Passage (CFP): Ψυχρό διερχόμενο μέτωπο

11) Warm Front Passage (WFP): Θερμό διερχόμενο μέτωπο

Σύμφωνα με τους Hondula and Davis (2011), τα ψυχρά μέτωπα (cold front) συχνά συνοδεύονται από μειωμένες τιμές θερμοκρασίας, σημείων δρόσου και αυξανόμενες τιμές πίεσης, ενώ τα θερμά μέτωπα (warm front) χαρακτηρίζονται από την αύξηση θερμοκρασίας, τιμών σημείου δρόσου και πτώση της πίεσης, καθώς ένα βαρομετρικό χαμηλό σύστημα πλησιάζει/προσεγγίζει μία περιοχή. Στην ακόλουθη εικόνα, φαίνονται συνολικά και οι 11 τύποι καιρού (Core Weather Types and Transitional Weather Types) του συστήματος ταξινόμησης Gridded Weather Typing Classification (GWTC) αλλά και η σχέση τους με τη θερμοκρασία και την υγρασία.



Εικόνα 1.2: Συνολικά οι 11 τύποι καιρού (Weather Types, WTs) του συστήματος ταξινόμησης GWTC.

Πηγή: <https://www.personal.kent.edu/~cclee/gwtc.html>

Τέλος, στον παρακάτω πίνακα συνοψίζονται τα βασικά χαρακτηριστικά κάθε τύπου καιρού (WTs) του συστήματος ταξινόμησης Gridded Weather Typing Classification (GWTC), με βάση τον Lee (2015):

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1: Βασικά χαρακτηριστικά των τύπων καιρού (Weather Types, WTs) του GWTC.

No	Κατηγορία	Τύπος	Συντομογραφία	Περιγραφή
1	Ακραία WTs	Humid Cool	HC	Ψυχρότερες και πιο υγρές από τις κανονικές (μέσες) συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και ημέρα του έτους.
2		Humid Warm	HW	Θερμότερες και πιο υγρές από τις κανονικές (μέσες) συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και ημέρα του έτους.
3		Dry Cool	DC	Ψυχρότερες και ξηρότερες από τις κανονικές (μέσες) συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και ημέρα του έτους.
4		Dry Warm	DW	Θερμότερες και ξηρότερες από τις κανονικές (μέσες) συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και ημέρα του έτους.
5	WTs μετριασμένα ως προς τη θερμοκρασία	Humid	H	Πιο υγρές από τις κανονικές (μέσες) συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και ημέρα του έτους.
6		Dry	D	Ξηρότερες από τις κανονικές (μέσες) συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και ημέρα του έτους.
7	WTs μετριασμένα ως προς την υγρασία	Cool	C	Ψυχρότερες από τις κανονικές (μέσες) συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και ημέρα του έτους.
8		Warm	W	Θερμότερες από τις κανονικές (μέσες) συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και ημέρα του έτους.
9	WT μετριασμένο ως προς τη θερμοκρασία και την υγρασία	Seasonal	S	Σχεδόν κανονικές/φυσιολογικές συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και ημέρα του έτους.
10	Μεταβατικά WTs	Cold Front Passage	CFP	Μεταβατική ημέρα που συνδέεται συχνά με πτώση θερμοκρασίας και σημείου δρόσου και αύξηση πίεσης στη στάθμη της θάλασσας.
11		Warm Front Passage	WFP	Μεταβατική ημέρα που συνδέεται συχνά με αύξηση θερμοκρασίας και σημείου δρόσου και πτώση πίεσης στη στάθμη της θάλασσας.



ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΥΠΩΝ ΚΑΙΡΟΥ ΜΕΣΩ ΤΟΥ GWTC ΣΤΗΝ ΕΥΡΥΤΕΡΗ ΠΕΡΙΟΧΗ ΤΗΣ ΝΟΤΙΑΣ ΒΑΛΚΑΝΙΚΗΣ

2.1. Εισαγωγή

Στη παρούσα μελέτη, επιλέχθηκε ως περιοχή έρευνας (domain) η ευρύτερη περιοχή της Νότιας Βαλκανικής Χερσονήσου. Τα δεδομένα των τύπων καιρού, μέσω του συστήματος ταξινόμησης GWTC, πάρθηκαν από τη βάση δεδομένων Gridded Weather Typing Classification Data και συγκεκριμένα από τον ιστότοπο (<https://www.personal.kent.edu/~cclee/gwtcdata.html>). Επιλέχθηκαν 765 σημεία/συντεταγμένες (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος) πλέγματος της ερευνητικής περιοχής (domain) που περιείχαν τον επικρατέστερο τύπο καιρού (Weather Type, WT) της ημέρας για καθένα από τα σημεία και αφορούσαν τη χρονοσειρά των ετών 1979 έως 2018.

Μέσω του υπολογιστικού συστήματος Microsoft Excel και ορισμένων προεκτάσεων του (XLStat 2014), τα δεδομένα αρχικά υπέστησαν τον μη παραμετρικό έλεγχο Mann-Kendall Test, ώστε να ελεγχθούν οι ετήσιες αλλαγές κάθε ενός από τους 11 τύπος καιρού του GWTC και να δειχθεί εάν είναι στατιστικά σημαντικές. Ουσιαστικά στόχος αυτής της διαδικασίας υπήρξε η εύρεση της ποσοτικής αλλαγής (αύξηση-μείωση) ανά έτος για κάθε τύπο καιρού. Εν συνεχεία επιτεύχθηκε και η μέθοδος Sen's Estimate of Slope, η οποία χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις όπου τα δεδομένα χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη γραμμικής τάσης.

Βρέθηκαν οι συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού για την περιοχή της ευρύτερης Ν. Βαλκανικής (domain) στη χρονοσειρά 1979 έως 2018 και έπειτα για τα δύο μεγαλύτερα αστικά κέντρα τις Ελλάδας, την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη, διαλέγοντας τις αντίστοιχες 2 υπό-περιοχές του βασικού domain. Τέλος, συγκρίθηκαν μεταξύ τους με στόχο την εξαγωγή συμπερασμάτων.

2.2. Επεξεργασία δεδομένων

Λόγω των ιδιαιτεροτήτων και των δυσχερειών των δεδομένων, τα συμπεράσματα που προκύπτουν από την εφαρμογή της κλασικής στατιστικής σε ημερήσιους μέσους όρους, όπως τα γενικά δεδομένα που χρησιμοποιούνται για την εύρεση συσχετίσεων ή για την εφαρμογή ελέγχου υποθέσεων, είναι ενδεικτικά και χρησιμεύουν για την εύρεση των κατευθύνσεων προς τις οποίες μπορούν να εφαρμοστούν ειδικές στατιστικές αναλύσεις για την εξαγωγή επιστημονικά τεκμηριωμένων συμπερασμάτων. Ακόμη γίνεται αντιληπτή η αναγκαιότητα των στατιστικών τεχνικών που υπερβαίνουν τα προβλήματα και τις ιδιαιτερότητες των περιβαλλοντικών ή ατμοσφαιρικών δεδομένων.

Τα περιβαλλοντικά δεδομένα, παρουσιάζουν ιδιαιτερότητες που δυσχεραίνουν τη στατιστική τους ανάλυση και την εξαγωγή ουσιωδών και αξιόπιστων συμπερασμάτων με τις κλασικές στατιστικές μεθόδους (π.χ. έλεγχοι υποθέσεων με προαπαιτούμενη γνώση της κατανομής, μοντέλα χρονολογικών σειρών κτλ). Αυτό το γεγονός οφείλεται κυρίως στις ονομαζόμενες “missing values” ή κενά μετρήσεων, στις ακραίες τιμές αλλά καθώς και στις τιμές σε όρια που δεν ανιχνεύονται πάντα με ακρίβεια. Τα παραπάνω προβλήματα είναι ιδιαίτερα συχνά στα περιβαλλοντικά ή ατμοσφαιρικά δεδομένα, εξ αιτίας κυρίως της δυσκολίας που παρουσιάζει η μέτρηση και η συλλογή τους. Αυτό συμβαίνει λόγω εμφάνισης παραγόντων, όπως η ευαισθησία των οργάνων μέτρησης, η ασυνέχεια στις μετρήσεις λόγω βλαβών ή ακόμη η δημιουργία νέων σταθμών μέτρησης.

Η απαίτηση για την εφαρμογή νέων τεχνικών οδήγησε σε προτάσεις νέων μεθόδων ή έστω προσαρμογές παλαιότερων που βασίζονται κυρίως σε μη παραμετρικές μεθόδους, οι οποίες είναι οι κατάλληλες να εφαρμόζονται και σε μικρά σετ δεδομένων (π.χ. ετήσιες τιμές ρύπων) οδηγώντας σε αξιόπιστα αποτελέσματα. Οι παραπάνω τεχνικές είναι πρακτικές, εύκολα εφαρμόσιμες καθώς δεν απαιτούν τη γνώση της συγκεκριμένης κατανομής των δεδομένων. Επίσης, δεν επηρεάζονται από τα συνήθη κενά μετρήσεων (missing values), λάθος μετρήσεις αλλά και ακραίες τιμές που πολύ συχνά εμφανίζονται κατά τις μετρήσεις των ρύπων αλλά και των εκάστοτε παραμέτρων που τις επηρεάζουν όπως μετεωρολογικές ή γεωγραφικές. Ο κυριότερος και πιο διαδεδομένος στατιστικός έλεγχος που εφαρμόζεται στα δεδομένα που αφορούν το περιβάλλον και την ατμόσφαιρα είναι ο έλεγχος Mann-Kendall Test. Πραγματοποιήθηκε λοιπόν στα δεδομένα της χρονοσειράς, μέσω του XLStat, που αποτελεί ένα εργαλείο/προέκταση του υπολογιστικού προγράμματος Excel Microsoft και στη συνέχεια επίσης εφαρμόστηκε και η μέθοδος Sen’s Estimate of Slope με βάση το ίδιο.

Έλεγχος Mann – Kendall

Ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall βρίσκει εφαρμογή όταν υπάρχει η αντίληψη ότι τα δεδομένα μπορεί να αποτελούν χρονολογική σειρά με τάση αύξουσα ή φθίνουσα, όπως στη συγκεκριμένη περίπτωση έρευνας που καταπιάνεται με ατμοσφαιρικά / περιβαλλοντικά δεδομένα. Ο Kendall (1938) εισήγαγε και εφάρμοσε το μέτρο ταυ (tau), έτσι ώστε να προσδιορίσει το μέγεθος της μονοτονικής σχέσης μεταξύ x και y . Από την άλλη πλευρά, ο Mann πρότεινε την αξιοποίηση του ελέγχου σημαντικότητας (significant test) του ταυ (tau) του Kendall, όπου η μία εκ των δύο μεταβλητών είναι ο χρόνος. Αυτός λοιπόν ο έλεγχος είναι ο ονομαζόμενος Mann-Kendall, που είναι αποτελεσματικός για την εύρεση και εξακρίβωση συγκεκριμένων τάσεων. Για τη περιγραφή του ελέγχου, στη βάση της μηδενικής υπόθεσης H_0 ισχύει ότι η σειρά x_1, x_2, \dots, x_n προέρχεται από έναν πληθυσμό όπου οι μεταβλητές είναι ανεξάρτητες και με παρόμοιο τρόπο κατανομημένες. Ουσιαστικά ο έλεγχος γίνεται μεταξύ της ισχύος της μηδενικής υπόθεσης H_0 και της εναλλακτικής υπόθεσης H_1 :

H_0 : οι παρατηρήσεις είναι τυχαία κατανομημένες στο χρόνο.

H_1 : υπάρχει τάση στα δεδομένα (αύξουσα ή φθίνουσα).

Η στατιστική συνάρτηση που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο υποθέσεων εξαρτάται από το πλήθος των δεδομένων και από την τυχόν έντονη αλληλεξάρτηση τους (δηλαδή πολύ κοντινές τιμές):

A) Πλήθος δεδομένων $n < 10$: Το στατιστικό του Mann-Kendall δίνεται από την ακόλουθη σχέση:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^n \text{sgn}(x_j - x_k) \quad (\text{σχέση 2.1})$$

Όπου, x_j και x_k παρατηρήσεις που αντιπροσωπεύουν τις ετήσιες τιμές παρατηρήσεων της χρονοσειράς μελέτης, ενώ j και k τα έτη αντίστοιχα με $j > k$, καθώς και S η στατιστική τιμή του ελέγχου. Επίσης, ο όρος εντός του διπλού αθροίσματος είναι ο ακόλουθος:

$$\text{sgn}(x_j - x_k) = \begin{cases} +1, & (x_j - x_k) > 0 \\ 0, & (x_j - x_k) = 0 \\ -1, & (x_j - x_k) < 0 \end{cases} \quad (\text{σχέση 2.2})$$

Οι τιμές οι οποίες προκύπτουν από τη παραπάνω εξίσωση, συσχετίζονται με εκείνες της κανονικής κατανομής Z , σε επίπεδο εμπιστοσύνης α . Σημειώνεται ότι θετικές τιμές της στατιστικής συνάρτησης

Z υποδηλώνουν αύξουσα τάση, ενώ οι αρνητικές την ύπαρξη φθίνουσας τάσης. Άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι όσο αυξάνει το εύρος των παρατηρήσεων n, τόσο πιο ακριβής γίνεται ο έλεγχος. Πιο συγκεκριμένα, παρατίθεται ο ακόλουθος πίνακας:

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1: Χαρακτηριστικές τιμές επιπέδου εμπιστοσύνης και πλήθους εμπιστοσύνης.

Επίπεδο εμπιστοσύνης α	Πλήθος εμπιστοσύνης n
0.1	≥ 4
0.05	≥ 5
0.01	≥ 6
0.001	≥ 7

Επίσης, ο συντελεστής ταυ (tau-t) του Kendall υπολογίζεται από τη σχέση : $\tau = \frac{2S}{n(n-1)}$ (σχέση 2.3)

B) Πλήθος δεδομένων $n \geq 10$: Ο Kendall (1975) έδειξε ότι η διασπορά του S, η οποία συμβολίζεται με Var (S), στη περίπτωση που υπάρχουν τα ονομαζόμενα ties, δηλαδή ίσες τιμές στα x δεδομένα, δίνεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$\sigma_s^2 = \frac{1}{18} [N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^m t_i(t_i-1)(2t_i+5)] \quad (\text{σχέση 2.4})$$

Όπου το m: είναι ο αριθμός των ομάδων ties μέσα στο σύνολο τιμών.

t_i : είναι ο αριθμός των τιμών στο i-οστό γκρουπ των ties.

Υπό τη συγκεκριμένη μηδενική υπόθεση, η στατιστική συνάρτηση Z που ορίζεται στην αμέσως επόμενη εξίσωση είναι κατά τη προσέγγιση κανονικά κατανομημένη ακόμα και για δείγμα μόλις δέκα τιμών:

$$Z = \begin{cases} (S-1)/\sigma_s & \text{εάν } S > 0 \\ 0 & \text{εάν } S = 0 \\ (S+1)/\sigma_s & \text{εάν } S < 0 \end{cases} \quad (\text{σχέση 2.5})$$

Sen's Estimate of Slope

Η μέθοδος Sen's Estimate of Slope (ή απλά Sen's Slope) χρησιμοποιείται σε ορισμένες περιπτώσεις οι οποίες χαρακτηρίζονται από την ύπαρξη γραμμικής τάσης. Ουσιαστικά σε μια τέτοια περίπτωση τα δεδομένα θα πρέπει να ακολουθούν την παρακάτω εξίσωση της συνάρτησης f , η οποία σχετίζεται με τον χρόνο:

$$f(t) = Q(t) + B \quad (\text{σχέση 2.6})$$

Όπου η τιμή της μεταβλητής Q αντικατοπτρίζει τη κλίση της τάσης και η σταθερά B αποτελεί τη σταθερά της εξίσωσης. Η συγκεκριμένη μέθοδος, αξίζει να σημειωθεί ότι είναι αρκετά εύχρηστη και χρήσιμη σε περιπτώσεις που παρατηρούνται ελλείπουσες τιμές ή ακόμη και κενά στα δεδομένα, καθώς δεν επηρεάζεται από ακραίες τιμές αλλά και τυχόν μεγάλες αποκλίσεις αυτών. Για τον υπολογισμό της κλίσης Q της παραπάνω εξίσωσης, αρχικά πρέπει να υπολογιστούν οι κλίσεις όλων των τιμών των ζευγών παρατήρησης της χρονοσειράς μελέτης σύμφωνα με την παρακάτω μαθηματική σχέση:

$$Q_i = \frac{(x_j - x_k)}{(j - k)} \quad (\text{σχέση 2.7})$$

Όπου για τα j και k ισχύει $j > k$. Αξίζει να σημειωθεί ότι αν υπάρχουν n τιμές στην χρονοσειρά, τότε αντίστοιχα θα υπολογιστεί ο αριθμός $N = n(n-1)/2$ κλίσεων Q_i . Συγκεκριμένα, η μέθοδος εκτίμησης κλίσης της τάσης Sen's, αποτελεί μια διάμεσο όλων των επιμέρους τιμών Q_i , με αύξουσα σειρά με βάση την ακόλουθη σχέση:

$$\begin{cases} Q_m = Q\left[\left(\frac{N+1}{2}\right)\right] & \text{για περιττές τιμές του } N. \\ Q_m = \frac{[Q\left(\frac{N}{2}\right) + Q\left[\left(\frac{N+2}{2}\right)\right]]}{2} & \text{για άρτιες τιμές του } N. \end{cases}$$

Έτσι λοιπόν, η κλίση υπολογίζεται έπειτα από τη σύγκριση και την αποτίμηση των τιμών Q_m με τις αντίστοιχες τιμές του δίπλευρου ελέγχου για $100(1-\alpha)\%$ του διαστήματος εμπιστοσύνης.

2.3. Ανάλυση δεδομένων

Ύστερα από την επεξεργασία των δεδομένων με βάση τους άνωθεν προαναγγελλόμενους ελέγχους, πρωταρχικός στόχος υπήρξε η εύρεση της συχνότητας εμφάνισης κάθε τύπου καιρού (WT) στην ευρύτερης περιοχής της Ν. Βαλκανικής και η δημιουργία των αντίστοιχων γραφημάτων και χαρτών. Δύο βασικά υπολογιστικά προγράμματα συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της διαδικασίας. Το Microsoft Excel για το μαθηματικό σκέλος και την εξαγωγή των γραφημάτων, καθώς και το πρόγραμμα ArcGIS για τη δημιουργία χαρτών και την ανάλυση των χωρικών τους δεδομένων.

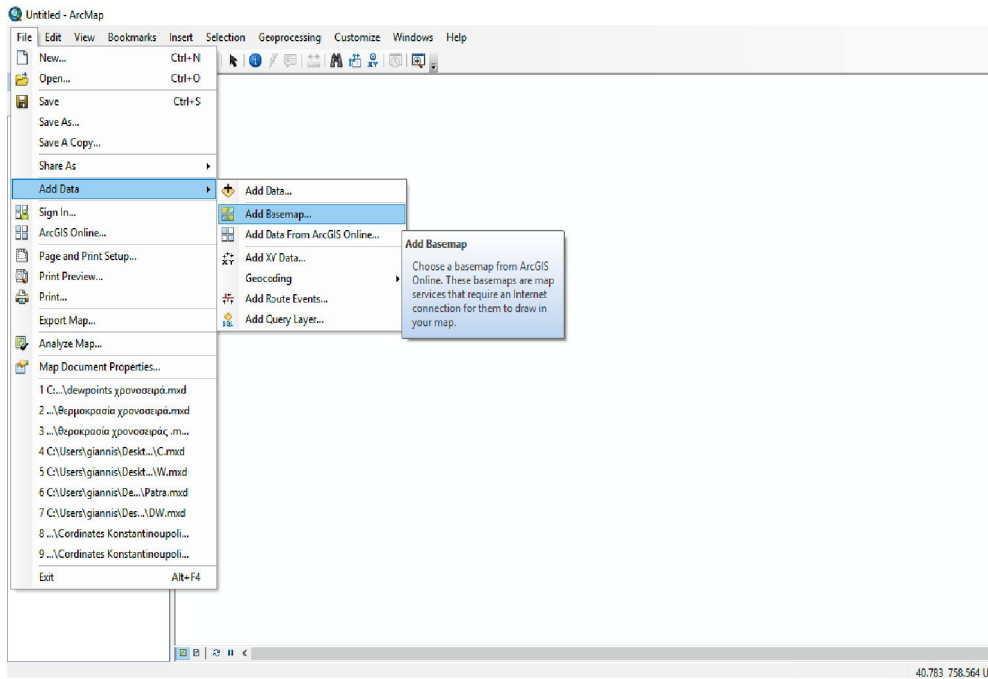
Εισαγωγή στο περιβάλλον ArcGIS

Το περιβάλλον του ArcGIS και συγκεκριμένα το μοντέλο ArcMap 10.7.1 που χρησιμοποιήθηκε στη παρούσα εργασία, είναι μία εφαρμογή Γεωγραφικού Συστήματος Πληροφοριών (ΓΣΠ), με βάση την οποία μπορούν να παραχθούν αλλά και να αναλυθούν χωρικά δεδομένα και σχέσεις με αποτέλεσμα τη δημιουργία χαρτών καθώς και τη μορφοποίησή τους. Το περιβάλλον του ArcGIS παρέχει στους χρήστες τρεις βασικές δυνατότητες, οι οποίες είναι:

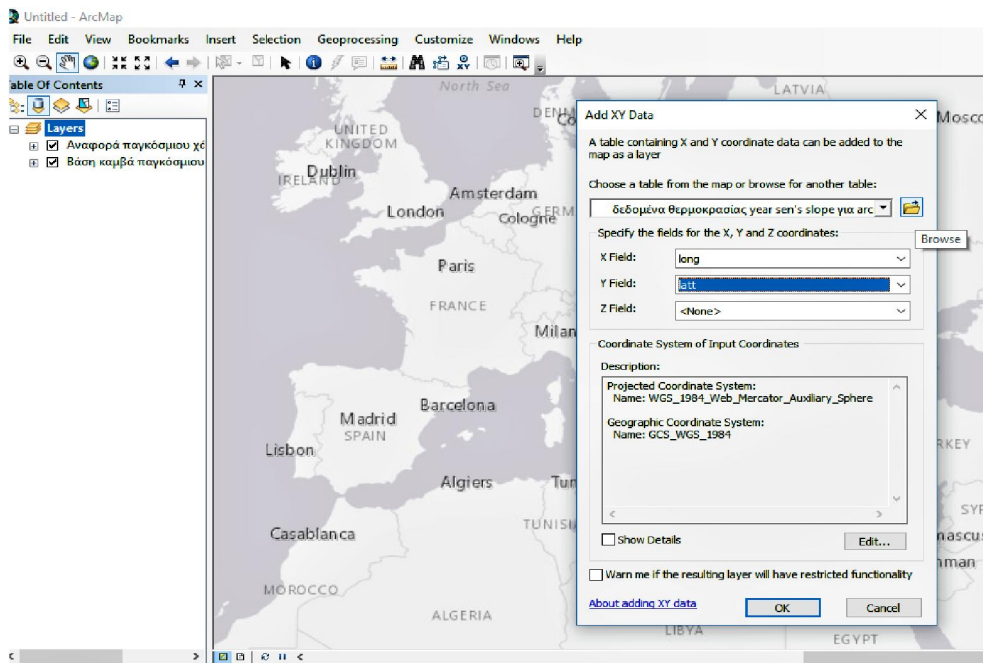
- ArcMap: είναι η εφαρμογή που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία, τη τροποποίηση, την ανάλυση αλλά και την αποτύπωση των γεωγραφικών δεδομένων σε χάρτες.
- ArcCatalog: η εφαρμογή ArcCatalog χρησιμοποιείται για τη πλοήγηση και τη διαχείριση των γεωγραφικών δεδομένων. Με το ArcCatalog παρέχεται η δυνατότητα προσπέλασης και προεπισκόπησης δεδομένων τα οποία είναι αποθηκευμένα στο τοπικό υπολογιστικό σύστημα, σε δίκτυο ή ακόμα και στο διαδίκτυο.
- ArcToolbox: η εφαρμογή ArcToolbox παρέχει εξειδικευμένα εργαλεία επεξεργασίας δεδομένων. Σε γενικές γραμμές αυτά είναι εργαλεία μετατροπών δεδομένων καθώς και εργαλεία διαχείρισης.

Η πλοήγηση στο πρόγραμμα μπορεί να επιτευχθεί μέσω του μενού Customize στο πάνω μέρος της κύριας σελίδας και κατ'επέκταση να πραγματοποιηθεί η ενεργοποίηση πρόσθετων εφαρμογών (Extensions), ώστε να καθοριστούν τα κύρια χαρακτηριστικά για έναν χάρτη. Επίσης, από το μενού Bookmarks μπορεί να αποθηκευτούν οι ιδιότητες του χάρτη, όπως για παράδειγμα η κλίμακα και να είναι εύκολη η μετάβαση σε συγκεκριμένες θέσεις ενδιαφέροντος (Εικόνα 2.1). Ακόμη, το ArcMap διαθέτει τη δυνατότητα εξαγωγής χαρτών εντάσσοντας κίολας επίπεδα χωρικής πληροφορίας (layers) για την ακριβή δημιουργία τους. Η απεικόνιση των δεδομένων πάνω σε ένα χάρτη πραγματοποιείται με βάση τις συντεταγμένες του εκάστοτε σημείου. Οι συντεταγμένες εισάγονται σε ένα αρχείο .csv (τιμών διαχωρισμένων με κόμμα του Microsoft Office Excel) και τοποθετούνται στο χώρο ώστε να

διατηρούνται οι πληροφορίες. Στον x άξονα (X Field → long) τοποθετείται το γεωγραφικό μήκος και στον y άξονα (Y Field → latt) τοποθετείται το γεωγραφικό πλάτος (Εικόνα 2.2). Ενδεικτικά, παρατίθενται δύο εικόνες από το περιβάλλον ArcMap.



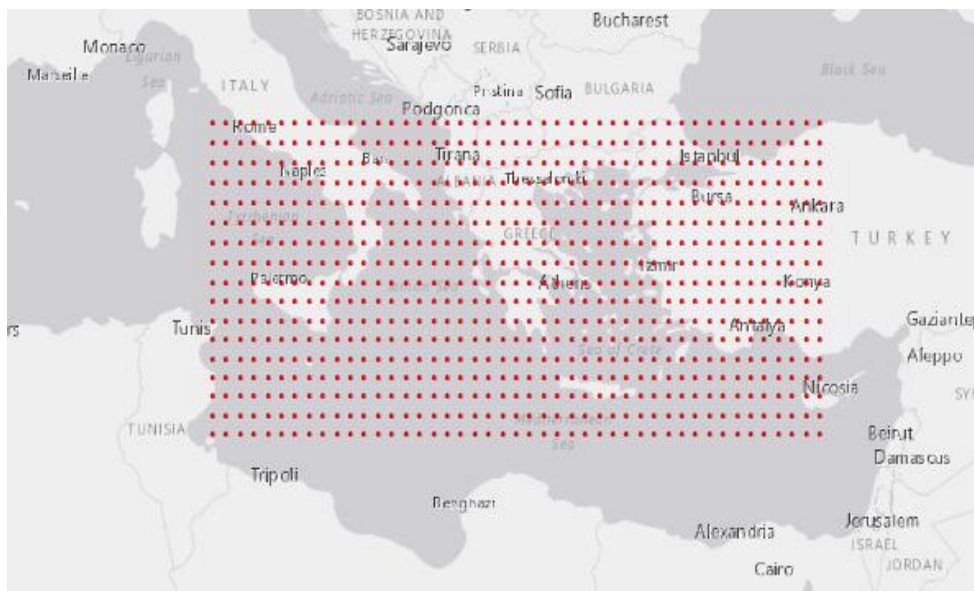
Εικόνα 2.1: Αρχικά βήματα για την επιλογή φόντου του χάρτη.



Εικόνα 2.2: Επιλογή συντεταγμένων της περιοχής (domain) για τη δημιουργία του χάρτη.

2.3.1. Συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού στη Ν.Βαλκανική

Με βάση τα δεδομένα, που όπως αναφέρθηκε και στην εισαγωγή, περιείχαν τον επικρατέστερο τύπο καιρού (Weather Type, WT) της ημέρας για καθένα από τα 765 σημεία της Ν. Βαλκανικής για τη χρονοσειρά 1^η Ιανουαρίου 1979 έως 31^η Δεκεμβρίου 2018, βρέθηκαν οι ποσοστιαίες (%) συχνότητες εμφάνισης ανά έτος των 11 τύπων καιρού του συστήματος ταξινόμησης GWTC και η ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) σε κάθε σημείο και για κάθε τύπο καιρού. Τέλος, βρίσκεται και η επί τοις (%) μεταβολή του ετήσιου ποσού συχνότητας εμφάνισης αυτών και δημιουργούνται οι αντίστοιχοι χάρτες. Η περιοχή μελέτης (domain) αναπαραστάθηκε μέσω του ArcMap στη κάτωθεν εικόνα:



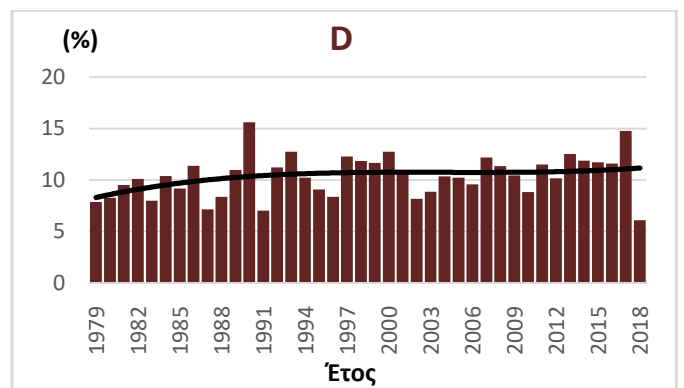
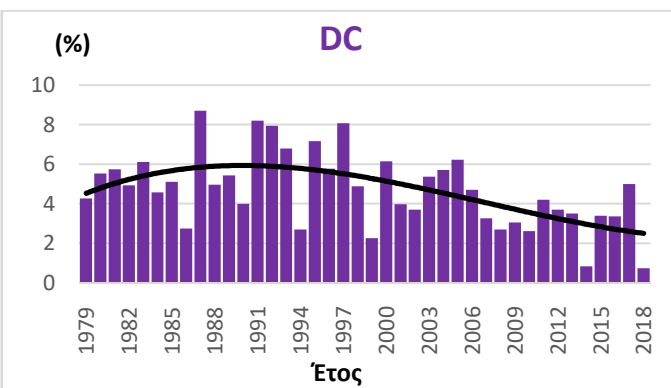
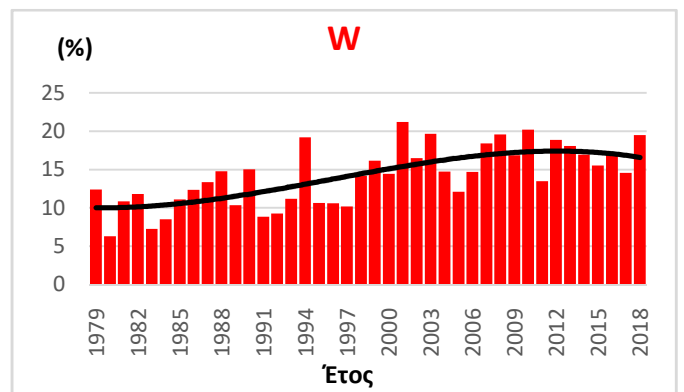
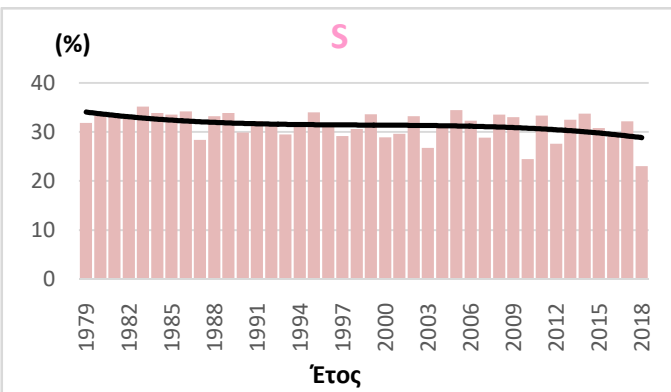
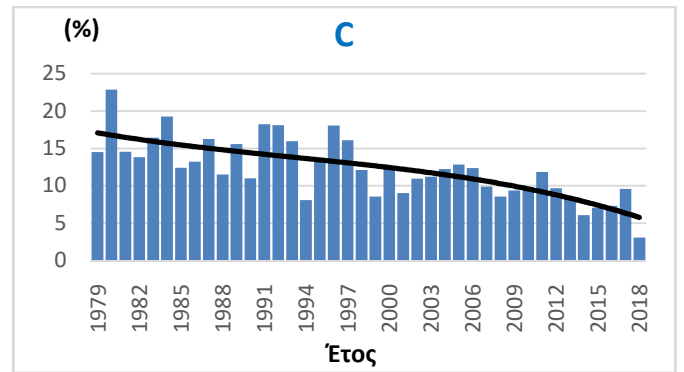
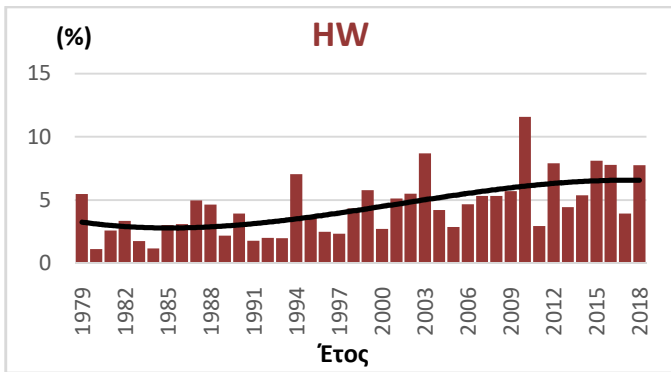
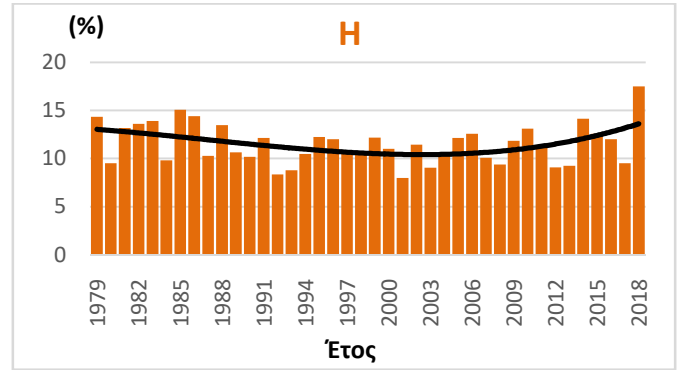
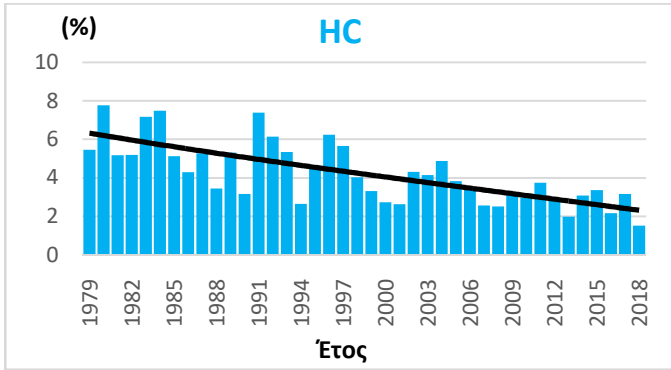
Εικόνα 2.3: Η περιοχή μελέτης (domain) των 765 σημείων του πλέγματος.

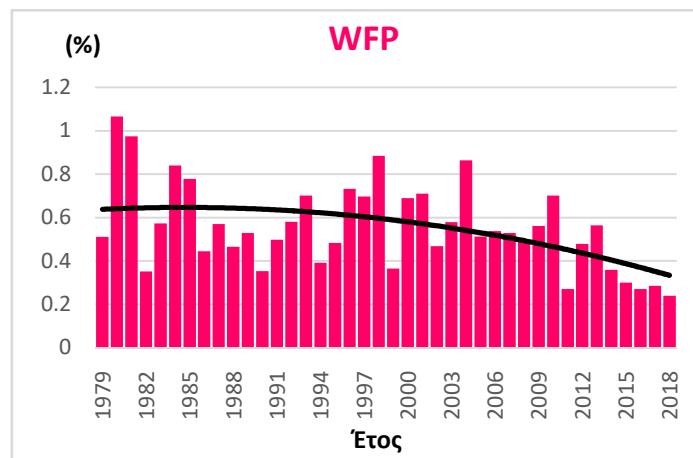
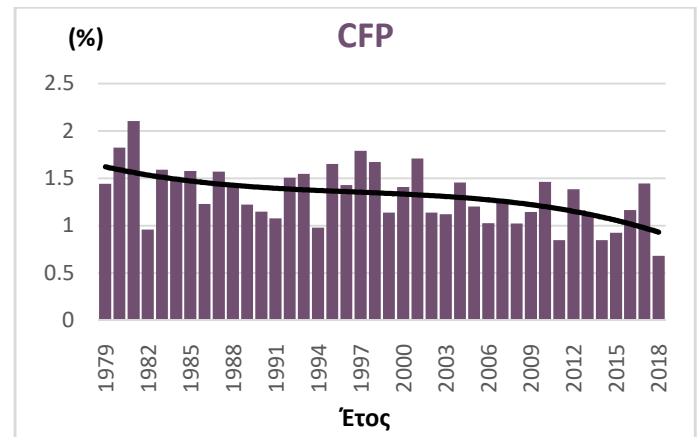
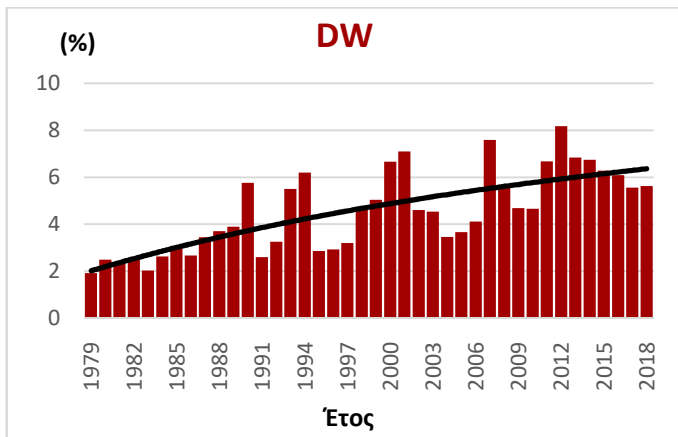
Αρχικά για την εύρεση της ποσοστιαίας (%) συχνότητας εμφάνισης ανά έτος, των 11 τύπων καιρού (Weather Types, WTs) του GWTC, υπολογίστηκε μέσω του Microsoft Excel η τιμή εμφάνισης των ημερών για το κάθε WT και έπειτα βρέθηκε το ποσοστό. Αυτό επιτεύχθηκε μέσω της μεθοδολογίας:

$$\frac{\text{τιμή εμφάνισης ημερών για το εκάστοτε WT}}{\text{ημέρες έτους (365)}} \rightarrow \text{σύνολο σημείων πλέγματος (765)}$$

$$P \% \rightarrow 100$$

Με αυτό τον τρόπο, δημιουργήθηκαν τα παρακάτω ιστογράμματα για κάθε ποσοστιαία εμφάνιση των WTs ανά έτος, για τη χρονοσειρά 1^η Ιανουαρίου 1979 έως 31^η Δεκεμβρίου 2018 και τοποθετήθηκε επίσης η πολυωνυμική τάση, για να δειχθεί η κύμανση κάθε WT σε αυτή.





Εικόνες 2.4: Ιστογράμματα τύπων καιρού (WTs) για τη Ν. Βαλκανική, χρονοσειράς 1979 έως 2018.

Εφόσον βρέθηκε η ποσοστιαία (%) συχνότητα εμφάνισης του εκάστοτε τύπου καιρού (WT) ανά έτος, στη συνέχεια μέσω του XLStat πραγματοποιήθηκε ο μη παραμετρικός έλεγχος Mann-Kendall Test και ακόμη εξήχθησαν οι τιμές Sen's Slope με βάση αυτόν, για καθένα από τα 765 σημεία του domain και για το εκάστοτε WT. Έπειτα, για κάθε WT βρέθηκαν οι τιμές του year Sen's Slope, που ουσιαστικά αποτελούσαν τη τιμή Sen's Slope κάθε σημείου πολλαπλασιασμένη με τον ολικό αριθμό ετών (39) της χρονοσειράς, 1979 έως 2018. Ακόμη, υπολογίζεται ο μέσος όρος (average) του year Sen's Slope για κάθε ένα από τους 11 τύπους καιρού.

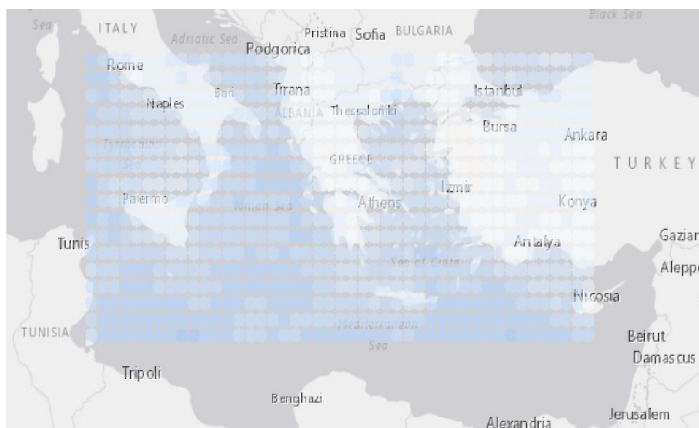
Ακολούθως, βρίσκεται η ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) για κάθε τύπο καιρού και σε κάθε σημείο. Αυτό επιτυγχάνεται, πολλαπλασιάζοντας τη τιμή κάθε μέσου όρου year Sen's Slope των WTs με το σύνολο των ημερών ενός έτους (365) και διαιρώντας το με το 100. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα της αλλαγής των ημερών ανά έτος για κάθε τύπο καιρού. Τα πιο σκούρα κόκκινα υποδηλώνουν σταδιακά πιο θετικές αλλαγές, σε αντίθεση με τα πιο σκούρα μπλε που υποδηλώνουν σταδιακά πιο αρνητικές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2: Ετήσια αλλαγή της εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) για κάθε τύπο καιρού, Ν.Βαλκανική.

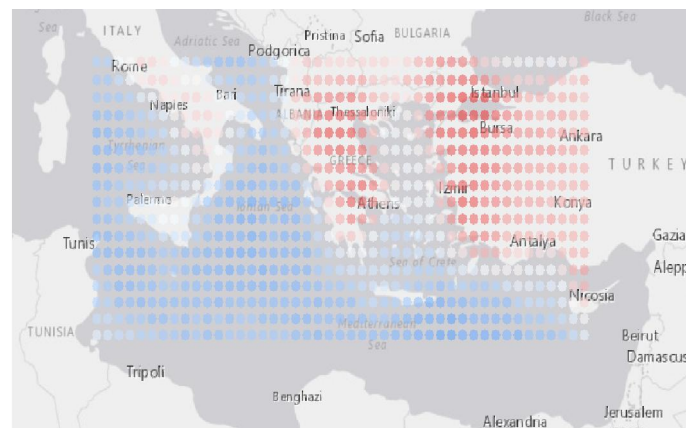
ΠΕΡΙΟΧΗ	HC	H	HW	C	S	W	DC	D	DW	CFP	WFP
Ν. Βαλκανική (Domain)	-19	-17	14	-37	-5	43	-12	12	23	-1	-1

Τέλος, για την ευρύτερη περιοχή της Ν. Βαλκανικής δημιουργούνται οι χάρτες των επί τοις (%) ποσοστιαίων μεταβολών του ετήσιου ποσού συχνότητας εμφάνισης των 11 τύπων καιρού για τη χρονοσειρά 1979 έως 2018, όπως εξηγήθηκε παραπάνω. Οι χάρτες παρακάτω, κατασκευάστηκαν μέσω του προγράμματος ArcMap και απεικονίζουν θέσεις στατιστικής σημασίας $p\text{-value} < 0,05$. Φαίνεται και η χρωματική μπάρα εύρους (color bar), δείχνοντας την επί τοις (%) ποσοστιαία μεταβολή του ετήσιου ποσού συχνότητας εμφάνισης των 11 τύπων καιρού.

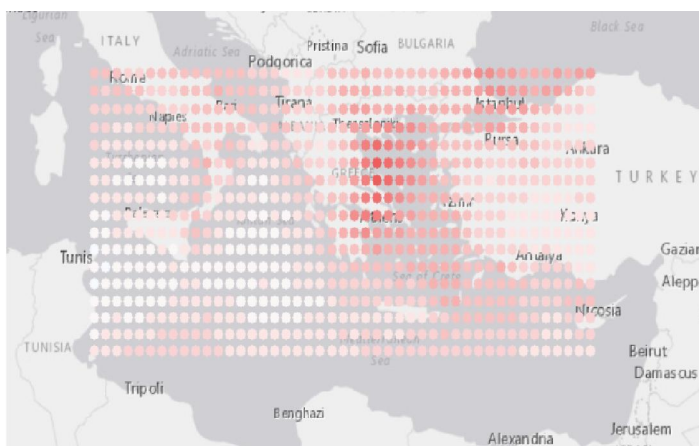
Humid Cool (HC)



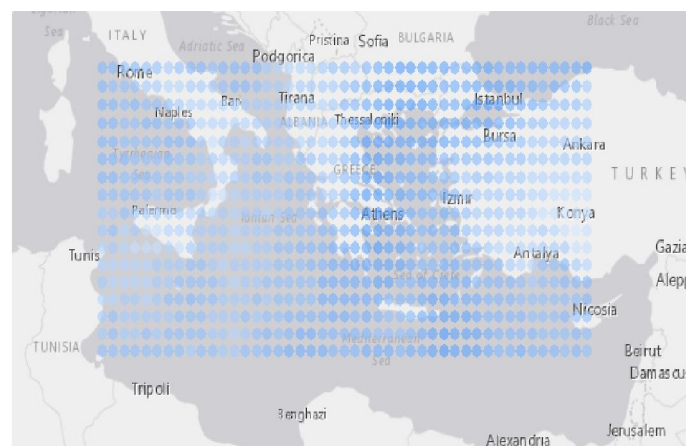
Humid (H)



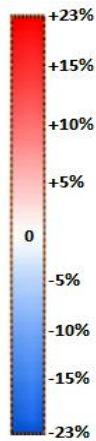
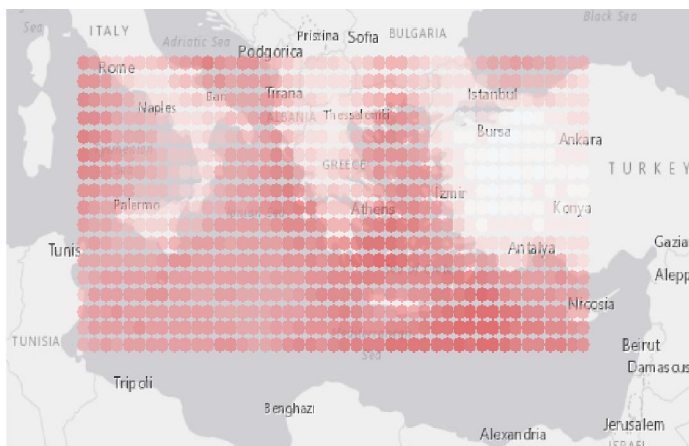
Humid Warm (HW)



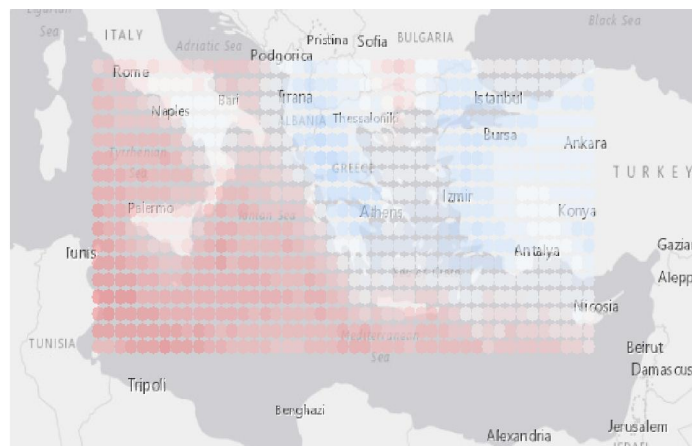
Cool (C)



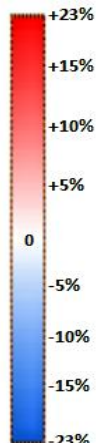
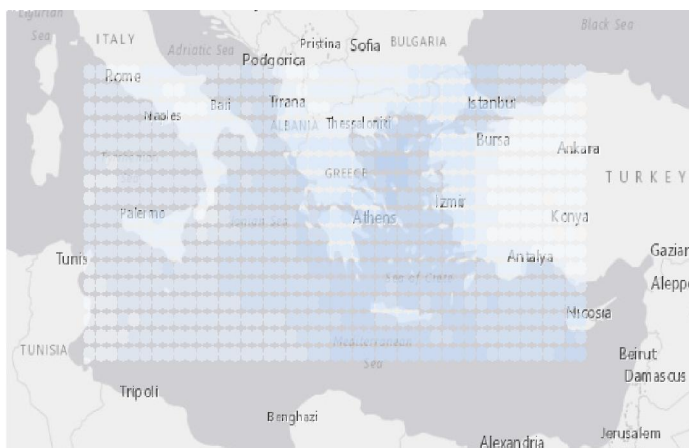
Warm (W)



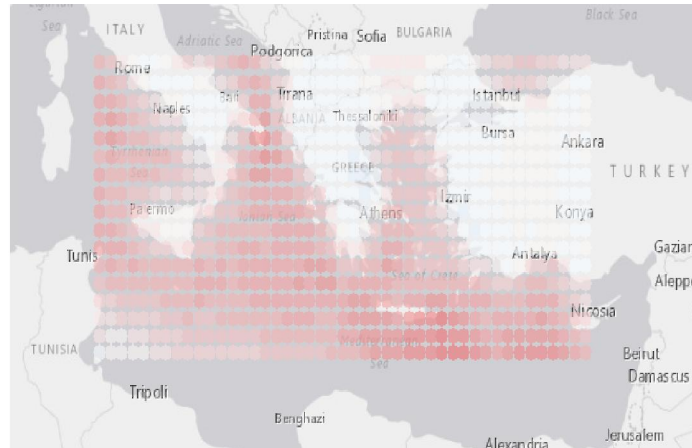
Dry (D)



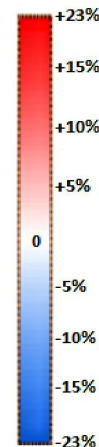
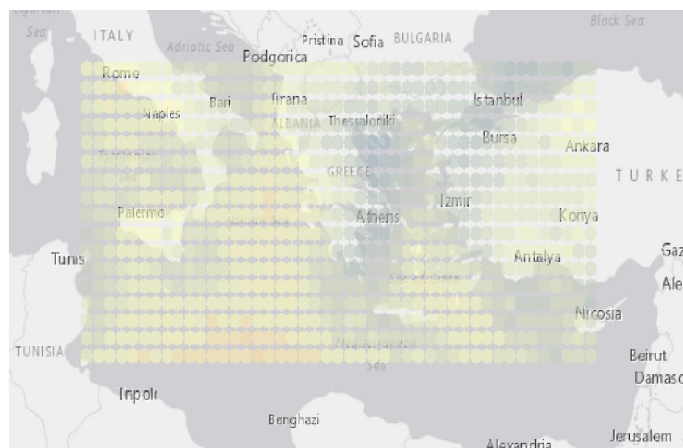
Dry Cool (DC)



Dry Warm (DW)

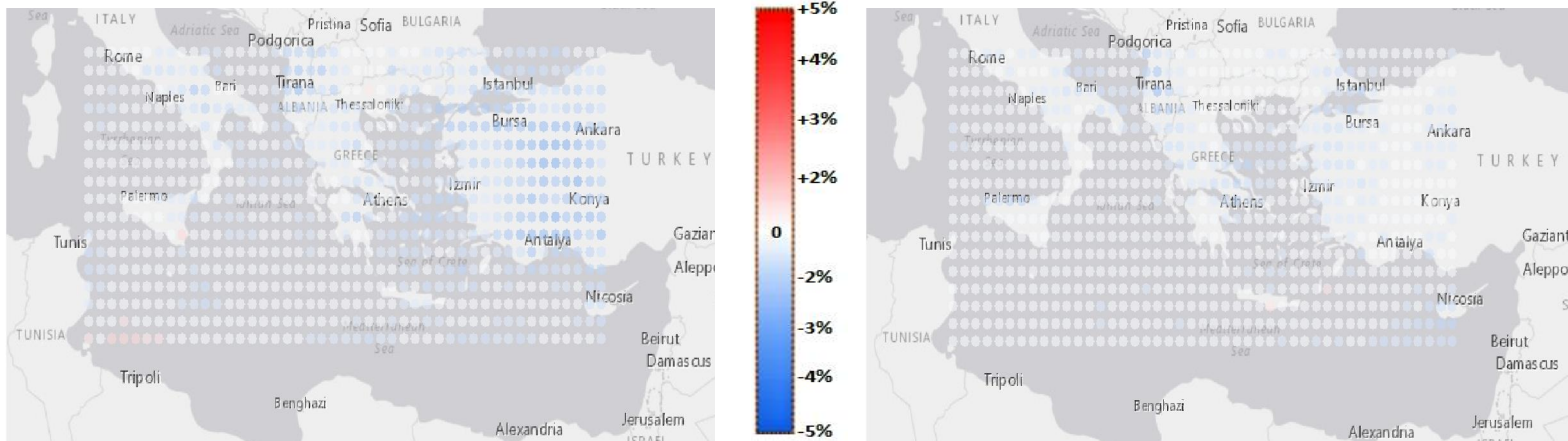


Seasonal (S)



Cold Front Passage (CFP)

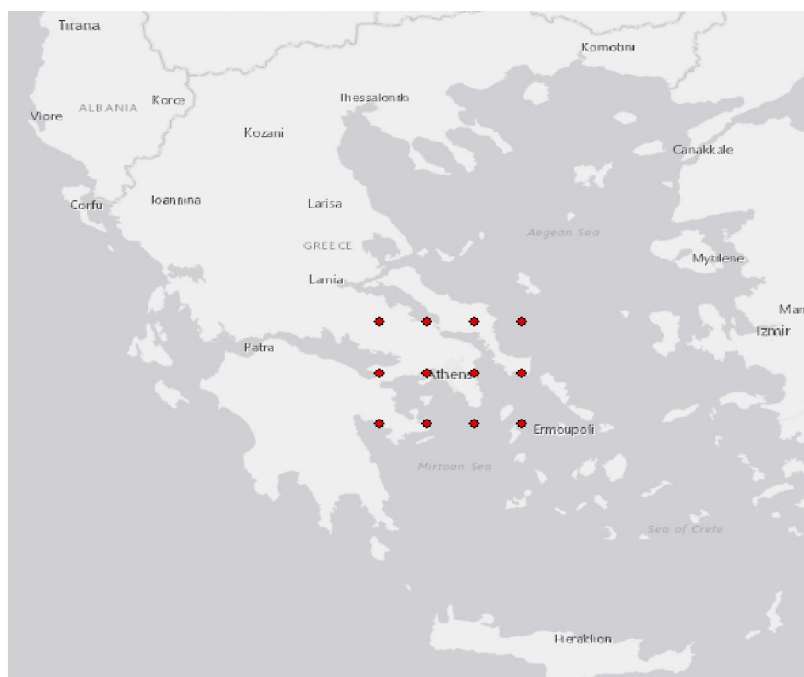
Warm Front Passage (WFP)



Εικόνες 2.5: Χάρτες απεικόνισης επί τοις (%) μεταβολή του ετήσιου ποσού συχνότητας εμφάνισης των 11 WTs.

2.3.2. Συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού για τη περίπτωση της Αττικής

Όπως περιγράφηκαν οι διεργασίες για την εύρεση των διάφορων παραμέτρων, που πραγματοποιήθηκαν για το βασικό domain (N. Βαλκανικής), με τον ίδιο τρόπο επετεύχθησαν και στη περίπτωση της Αττικής. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν τα δεδομένα μιας υπό-περιοχής του βασικού domain, που περιείχαν τον επικρατέστερο τύπο καιρού (WT) της ημέρας για κάθε σημείο αυτής στη χρονοσειρά από το 1979 έως το 2018. Αυτή η υπό-περιοχή κάλυπτε την ευρύτερη περιοχή της Αττικής (Εικόνα 2.6) με 12 σημεία του πλέγματος.

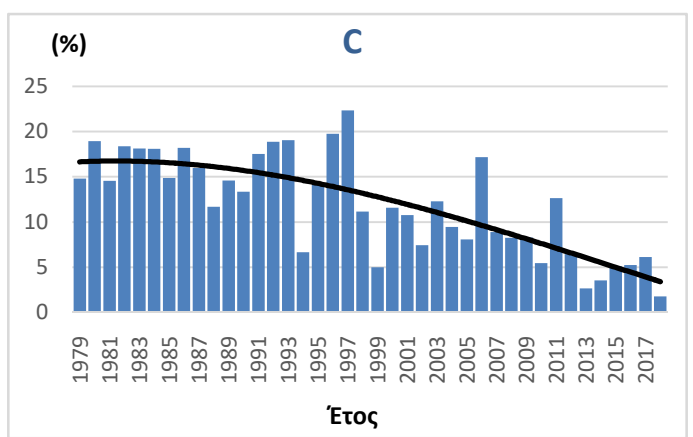
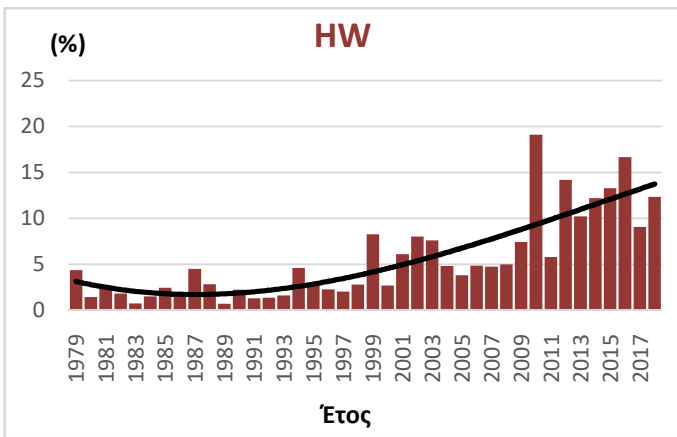
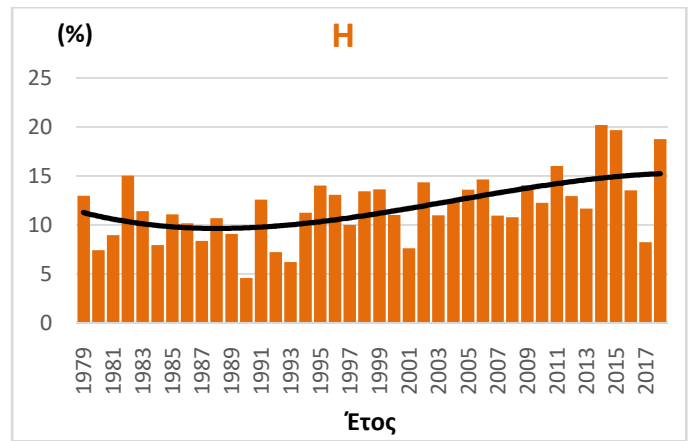
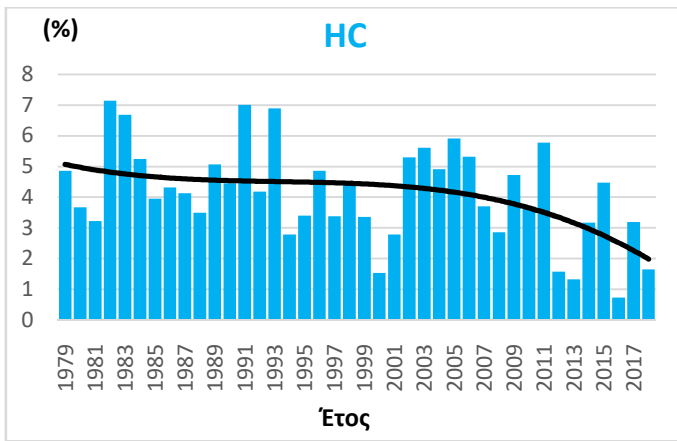


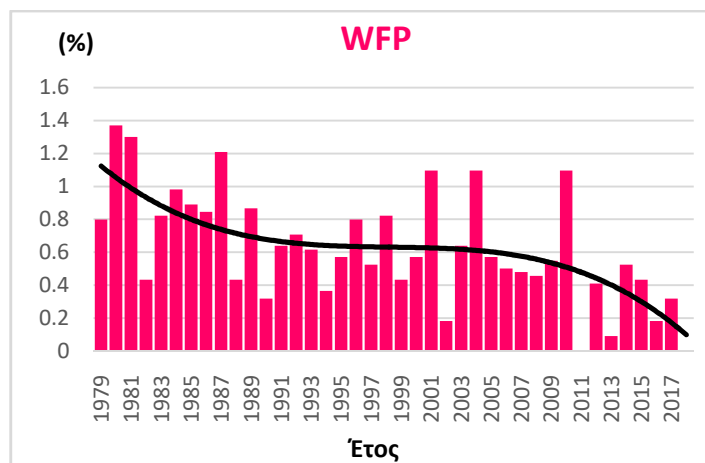
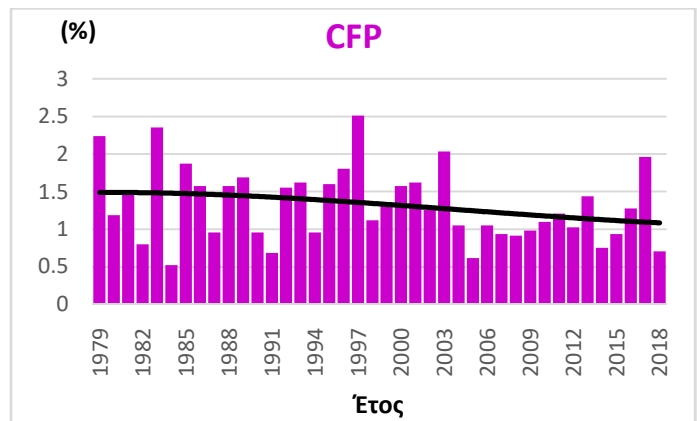
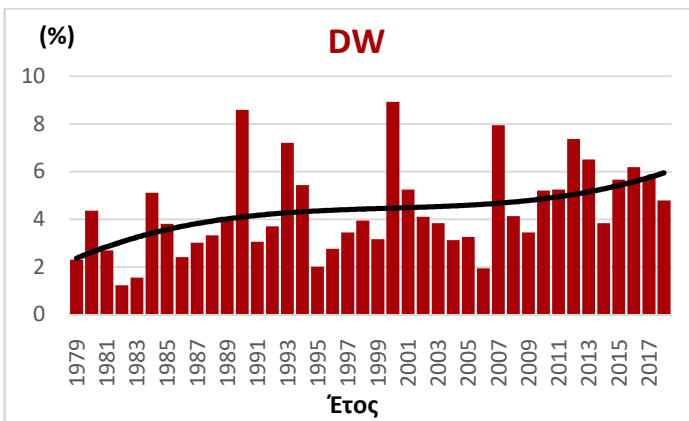
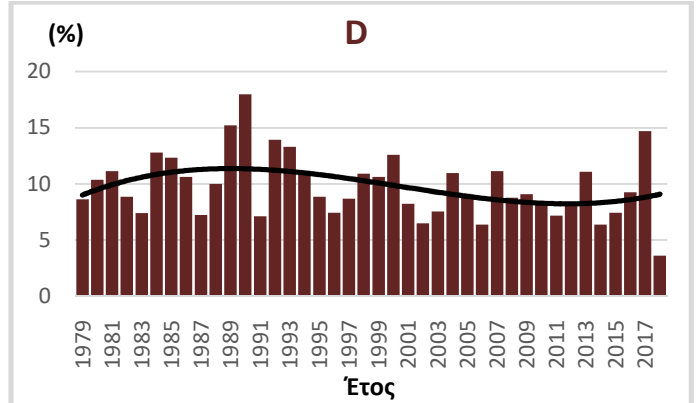
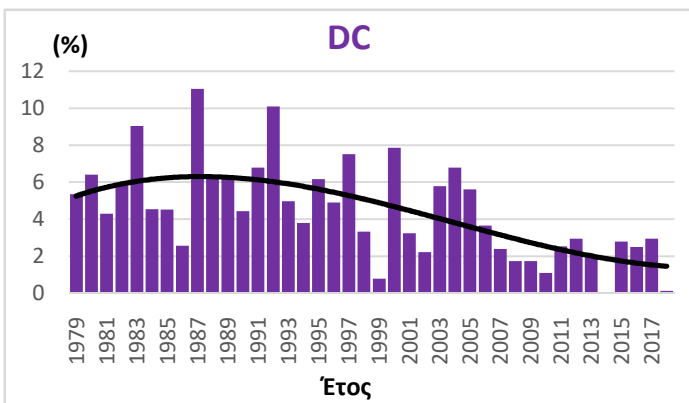
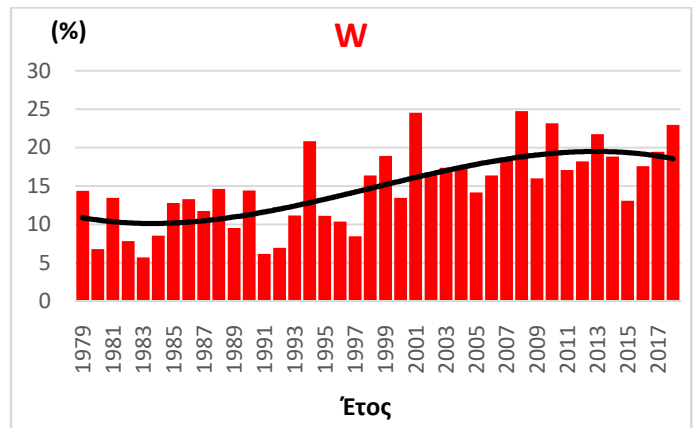
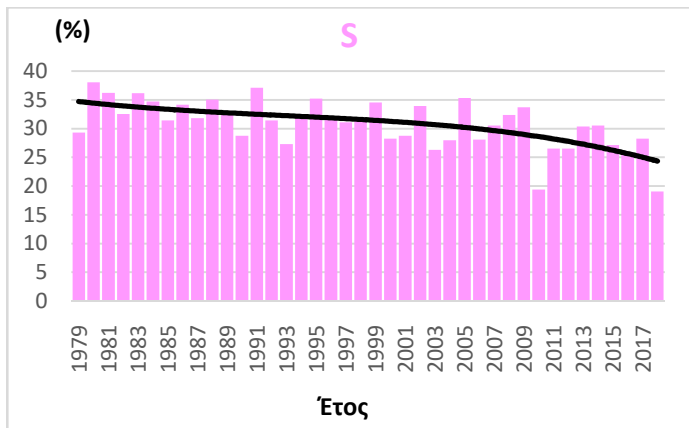
Εικόνα 2.6 : Η υπό-περιοχή της Αττικής που επιλέχθηκε από το βασικό domain.

ΤΑ 12 ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ

Latitude	38.5	38	37.5	38.5	38	37.5	38.5	38	37.5	38.5	38	37.5
Longitude	23	23	23	23.5	23.5	23.5	24	24	24	24.5	24.5	24.5

Για αυτή τη περιοχή, βρέθηκαν οι ποσοστιαίες (%) συχνότητες εμφάνισης ανά έτος των 11 τύπων καιρού του συστήματος ταξινόμησης GWTC και η ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) σε κάθε σημείο και για κάθε τύπο καιρού. Πραγματοποιήθηκαν με τον ίδιο τρόπο όπως στο βασικό domain. Στα κάτωθεν ιστογράμματα παριστάνεται η ποσοστιαία (%) εμφάνιση των WTs ανά έτος, για τη χρονοσειρά 1^η Ιανουαρίου 1979 έως 31^η Δεκεμβρίου 2018. Ακόμη τοποθετήθηκε η γραμμή πολωνυμική τάσης, για να δειχθεί η κύμανση κάθε WT στη χρονοσειρά.





Εικόνες 2.7: Ιστογράμματα τύπων καιρού (WTs) για την Αττική, χρονοσειρά 1979 έως 2018.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) για κάθε τύπο καιρού και σε κάθε σημείο. Αυτό επιτυγχάνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο, όπως είχε γίνει και στο βασικό domain. Εφόσον έχει βρεθεί η τιμή κάθε μέσου όρου year Sen's Slope των WTs, πολλαπλασιάζεται με το σύνολο των ημερών ενός έτους (365) και έπειτα διαιρείται η προκύπτουσα τιμή με το 100. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα της αλλαγής των ημερών ανά έτος για κάθε τύπο καιρού. Τα πιο σκούρα κόκκινα υποδηλώνουν σταδιακά πιο θετικές αλλαγές, σε αντίθεση με τα πιο σκούρα μπλε που υποδηλώνουν σταδιακά πιο αρνητικές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.3: Ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) για κάθε τύπο καιρού, Αττική.

ΠΕΡΙΟΧΗ	HC	H	HW	C	S	W	DC	D	DW	CFP	WFP
Αττική	-8	22	35	-53	-31	43	-18	-10	9	-2	-2

2.3.3. Συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού για τη περίπτωση της Θεσσαλονίκης

Ακριβώς η ίδια διαδικασία ακολουθήθηκε και για τη περιοχή Θεσσαλονίκης. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν τα δεδομένα 12 σημείων μιας υπό-περιοχής του βασικού domain (Εικόνα 2.8), που περιείχαν τον επικρατέστερο τύπο καιρού (WT) της ημέρας για κάθε σημείο στη χρονοσειρά από το 1979 έως το 2018.

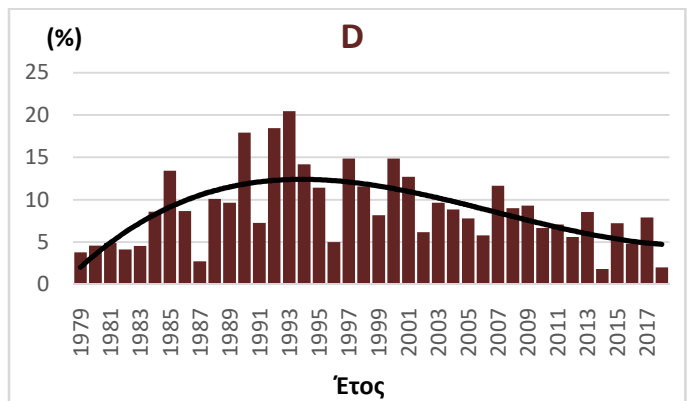
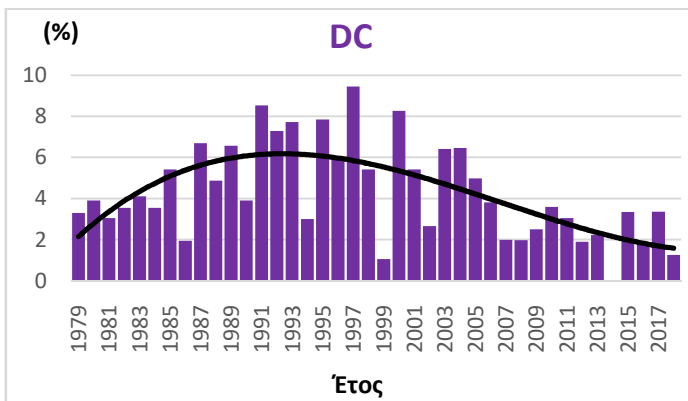
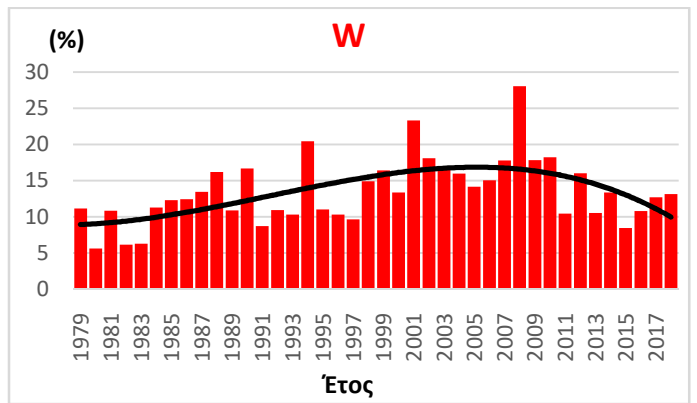
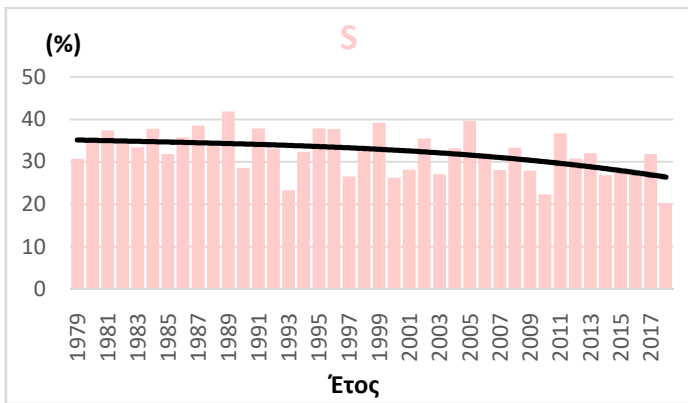
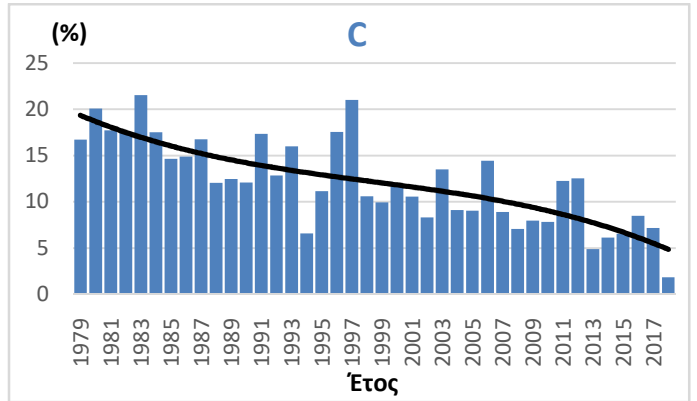
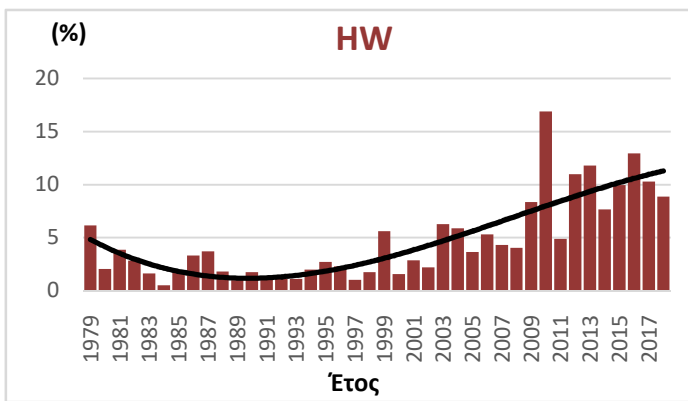
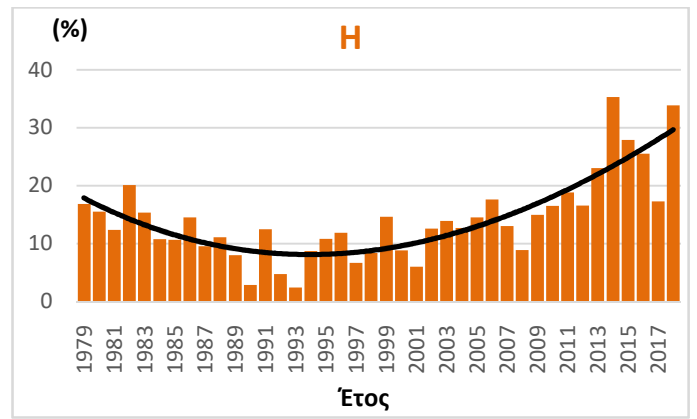
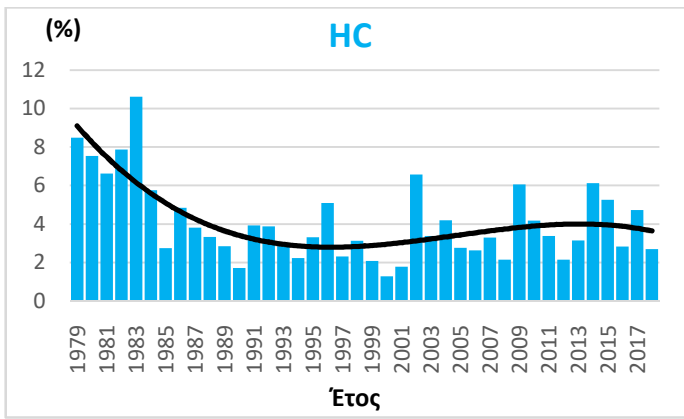


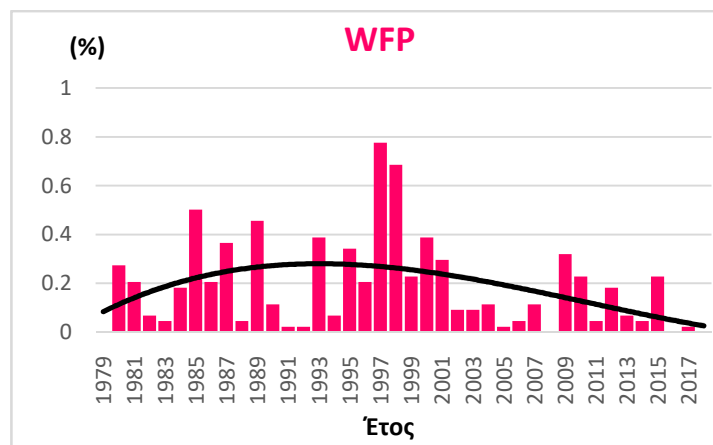
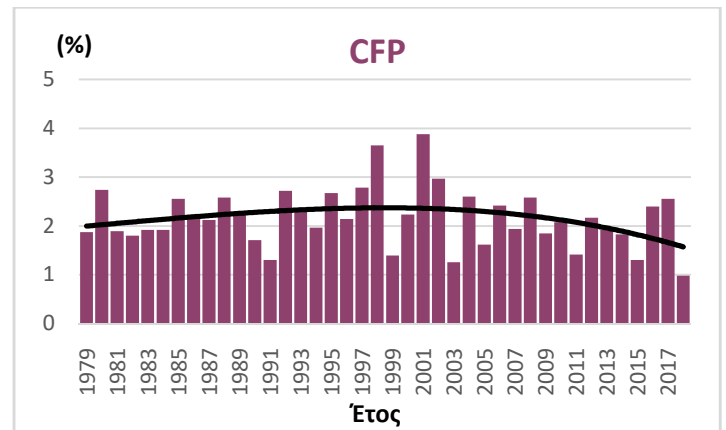
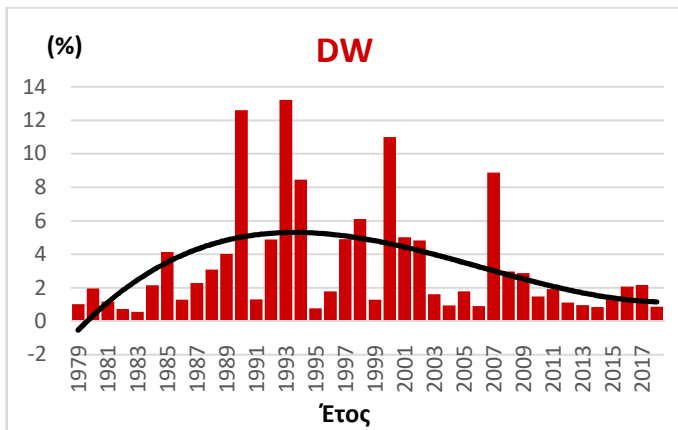
Εικόνα 2.8 : Η υπό-περιοχή της Θεσσαλονίκης που επιλέχθηκε από το βασικό domain.

ΤΑ 12 ΣΗΜΕΙΑ ΤΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΘΕΣ/ΝΙΚΗΣ

Latitude	41	40.5	40	41	40.5	40	41	40.5	40	41	40.5	40
Longitude	22	22	22	22.5	22.5	22.5	23	23	23	23.5	23.5	23.5

Για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, βρέθηκαν οι ποσοστιαίες (%) συχνότητες εμφάνισης ανά έτος των 11 τύπων καιρού του συστήματος ταξινόμησης GWTC και η ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) σε κάθε σημείο και για κάθε τύπο καιρού. Στα κάτωθεν ιστογράμματα παριστάνεται η ποσοστιαία (%) εμφάνιση των WTs ανά έτος, για τη χρονοσειρά 1^η Ιανουαρίου 1979 έως 31^η Δεκεμβρίου 2018. Ακόμη τοποθετήθηκε η γραμμή πολωνυμική τάσης, για να δειχθεί η κύμανση κάθε WT στη χρονοσειρά.





Εικόνες 2.9: Ιστογράμματα τύπων καιρού (WTs) για τη περιοχή της Θεσσαλονίκης, χρονοσειρά 1979 έως 2018.

Στη συνέχεια υπολογίζεται η ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) για κάθε τύπο καιρού και σε κάθε σημείο. Αυτό επιτυγχάνεται ακριβώς με τον ίδιο τρόπο, όπως είχε γίνει και στο βασικό domain αλλά και στη περιοχή της Αθήνας. Παρακάτω φαίνεται ο πίνακας με τα αποτελέσματα της αλλαγής των ημερών ανά έτος για κάθε τύπο καιρού. Τα πιο σκούρα κόκκινα υποδηλώνουν σταδιακά πιο θετικές αλλαγές, σε αντίθεση με τα πιο σκούρα μπλε που υποδηλώνουν σταδιακά πιο αρνητικές.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.4: Ετήσια αλλαγή του αριθμού εμφάνισης των ημερών (ανά έτος) για κάθε τύπο καιρού, Θεσ/νίκης.

ΠΕΡΙΟΧΗ	HC	H	HW	C	S	W	DC	D	DW	CFP	WFP
Θεσσαλονίκη	-8	40	28	-44	-30	20	-9	-8	-1	-1	-1

2.3.4. Συμπεράσματα

Σύμφωνα με τον συγκριτικό **Πίνακα 2.5**, σε όλο το domain αλλά και στις δύο υπό-περιοχές αυτού, την Αττική και την Θεσσαλονίκη, παρατηρείται σημαντική μείωση στην εμφάνιση των “ψυχρών” τύπων καιρού (DC, C, HC), σε αντίθεση με τους “θερμούς” (DW, W, HW) που παρουσιάζουν αυξημένη εμφάνιση για ολόκληρη τη χρονοσειρά 1979 έως 2018. Αρκετά μικρότερη είναι η συχνότητα εμφάνισης των δύο μεταβατικών τύπων καιρού CFP και WFP.

Ειδικότερα για την ευρύτερη περιοχή της Ν. Βαλκανικής, από τους θερμούς τύπους καιρού, ο Warm (W) εμφανίζει τη μεγαλύτερη αύξηση +43 ημέρες/έτος και ύστερα ακολουθεί ο Dry Warm (DW), ο οποίος εμφανίζει αύξηση +23 ημέρες/έτος. Από την άλλη πλευρά, για τους ψυχρούς τύπους καιρού ο Cool (C) εμφανίζει μεγαλύτερη μείωση με -37 ημέρες/έτος και ακολουθεί στη συνέχεια ο Humid Cool (HC) με μείωση -19 ημέρες/έτος. Τα στοιχεία αυτά αφορούν ολόκληρη τη χρονοσειρά από το 1979 έως το 2018. Τέλος, σε ολόκληρο το domain της Ν. Βαλκανικής και οι 3 θερμοί τύποι καιρού συνολικά παρουσιάζουν αύξηση +80 ημέρες/έτος, ενώ οι ψυχροί τύποι καιρού μείωση -68 ημέρες/έτος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.5: Συγκριτικός πίνακας των περιοχών ως προς την ετήσια αλλαγή των ημερών των WTs.

ΠΕΡΙΟΧΕΣ	HC	H	HW	C	S	W	DC	D	DW	CFP	WFP
Αττική	-8	22	35	-53	-31	43	-18	-10	9	-2	-2
Θεσσαλονίκη	-8	40	28	-44	-30	20	-9	-8	-1	-1	-1
Domain (N.Βαλκανική)	-19	-17	14	-37	-5	43	-12	12	23	-1	-1

Για τη περιοχή της Αττικής, από τους θερμούς τύπους καιρού ο Warm (W) εμφανίζει τη μεγαλύτερη αύξηση +43 ημέρες/έτος, όπως συνέβη και στο βασικό domain και ύστερα ακολουθεί ο Humid Warm (HW), ο οποίος εμφανίζει αύξηση +35 ημερών/έτος. Για τους ψυχρούς τύπους καιρού ο Cool (C) εμφανίζει τη μεγαλύτερη μείωση με -53 ημέρες/έτος και ακολουθεί στη συνέχεια ο Dry Cool (DC) με μείωση -18 ημέρες/έτος. Ακόμη, στη περιοχή της Αττικής και οι 3 θερμοί τύποι καιρού συνολικά παρουσιάζουν αύξηση +87 ημέρες / έτος, ενώ οι ψυχροί τύποι καιρού συνολική μείωση -79 ημέρες/έτος. Τα στοιχεία αυτά αφορούν ολόκληρη τη χρονοσειρά από το 1979 έως το 2018.

Τέλος, για την ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης, από τους θερμούς τύπους καιρού ο Humid Warm (HW) εμφανίζει τη μεγαλύτερη αύξηση +28 ημέρες/έτος και μετέπειτα ακολουθεί ο Warm (W),

ο οποίος εμφανίζει αύξηση +20 ημερών/έτος. Είναι άξιο αναφοράς να σημειωθεί ότι ο W δεν εμφάνιζε τη μεγαλύτερη αύξηση, όπως στη περιοχή της Ν.Βαλκανικής και της Αττικής. Από την άλλη πλευρά για τους ψυχρούς τύπους καιρού στη περιοχή της Θεσσαλονίκης, ο Cool (C) εμφανίζει τη μεγαλύτερη μείωση με -44 ημέρες/έτος και ακολουθεί στη συνέχεια ο Dry Cool (DC) με μείωση -9 ημέρες/έτος. Επιπρόσθετα και οι 3 θερμοί τύποι καιρού συνολικά παρουσιάζουν αύξηση +47 ημέρες/έτος, ενώ οι ψυχροί τύποι καιρού μείωση -61 ημέρες/έτος. Τα στοιχεία αυτά αφορούν ολόκληρη τη χρονοσειρά από το 1979 έως το 2018. Επίσης, ο τύπος καιρού Dry Warm (DW) για τη περιοχή της Θεσσαλονίκης εμφανίζει μείωση -1 ημέρα/έτος, κάτι το οποίο δεν συνέβαινε στη Αττική αλλά ούτε και σε ολόκληρο το domain (Ν. Βαλκανική). Διαπιστώνεται λοιπόν, ότι η περιοχή της Αττικής εμφανίζει ισχυρότερη τάση προς τους θερμούς τύπους καιρού (DW, W, HW) σε σχέση με τη Θεσσαλονίκη.

Κλείνοντας, αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι ο Lee (2015), διαπίστωσε ότι ο τύπος καιρού Dry Cool (DC) κατά την εμφάνιση του στη διάρκεια του χειμώνα, στην περιοχή της Β. Αμερικής και συγκεκριμένα στις ΗΠΑ και στον Καναδά, σχετίζεται με αυξημένη θνησιμότητα, σε αντίθεση με τους τύπους καιρού Dry Warm (DW) και Humid Warm (HW) που εμφάνισαν μειωμένα ποσά θνησιμότητας για το χειμώνα. Ωστόσο το καλοκαίρι οι επιπτώσεις ήταν αντίθετες, με τους τύπους DW και HW να σχετίζονται με τη θνησιμότητα.



ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ

3.1. Ορισμός και είδη Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ).

Η αστική θερμική νησίδα (ΑΘΝ ή Urban Heat Island) είναι ένα ατμοσφαιρικό φαινόμενο το οποίο αναφέρεται στην υπερβολική θέρμανση των αστικών κέντρων (πόλεων) σε σύγκριση με τις γύρω υπαίθριες / αγροτικές περιοχές (Arnfield, 2003 - Christen and Vogt, 2004). Ουσιαστικά, ορίζεται ως η διαφορά της θερμοκρασίας του αέρα που παρατηρείται στις πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές και είναι υψηλότερη σε σχέση με την αντίστοιχη των γειτονικών ημιαστικών περιοχών (Voogt, 2002). Αναγνωρίζεται ως το πιο εμφανές χαρακτηριστικό του αστικού κλίματος και σε αυτό έχει συμβάλει το φαινόμενο της πλανητικής θέρμανσης.

Το φαινόμενο της ΑΘΝ είναι ίσως το πιο αντιπροσωπευτικό περιβαλλοντικό πρόβλημα που προκύπτει από τις τοπικές κλιματικές τροποποιήσεις λόγω του αυξανόμενου ρυθμού αστικοποίησης (Santamouris, 2007). Κατά κύριο λόγο, δημιουργείται στη διάρκεια μιας καθαρής και ήρεμης νύχτας και είναι αποτέλεσμα καθυστερημένου δρόσου της πόλης σε σχέση με τις γύρω αγροτικές περιοχές (Barrington et al., 1985). Όμως μπορεί να εμφανιστεί και κατά τη διάρκεια μια ημέρας, με το χωροχρονικό πλαίσιο έκτασης του φαινομένου να εξαρτάται στενά με τα χαρακτηριστικά κάθε αστικής περιοχής (Santamouris, 2007).

Η διάκριση του φαινομένου αυτού γίνεται σε δύο σημαντικά είδη, με βάση τη θερμοκρασία επιφανείας και τη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα, σύμφωνα με τους Voogt and Oke (2003). Έτσι, διακρίνονται σε ΑΘΝ επιφανείας και ατμόσφαιρας αντίστοιχα. Ειδικότερα, αυτοί οι δύο τύποι αστικών θερμικών νησίδων διαφέρουν στον τρόπο με τον οποίο σχηματίζονται, τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό και τη μέτρησή τους, τις επιπτώσεις τους και μέχρι ενός ορισμένου βαθμού, τις διαθέσιμες μεθόδους για την εξομάλυνση τους (Τζαβαλή, 2015). Τα χαρακτηριστικά των δύο ειδών ΑΘΝ φαίνονται στον παρακάτω πίνακα αναλυτικά:

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1: Τα χαρακτηριστικά των δύο ειδών Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ).

Χαρακτηριστικά	ΑΘΝ Επιφάνειας	ΑΘΝ Ατμόσφαιρας
Παροδική ανάπτυξη	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Παρούσα όλες τις ώρες ημέρας και νύχτας. ▪ Μεγαλύτερη ένταση κατά τη διάρκεια της ημέρας το καλοκαίρι. 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μικρότερη ή καθόλου κατά τη διάρκεια της ημέρας. ▪ Μεγαλύτερη ένταση τη νύχτα ή πριν το ξημέρωμα και το χειμώνα.
Κορυφαία ένταση (εντονότερες συνθήκες ΑΘΝ)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Περισσότερο χωρική και χρονική διακύμανση <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ημέρα: 10°C -15 °C ✓ Νύχτα: 5°C -10 °C 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Μικρότερη διακύμανση <ul style="list-style-type: none"> ✓ Ημέρα: 1°C -3 °C ✓ Νύχτα: 7°C -12 °C
Μέθοδος τυπικού προσδιορισμού	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Έμμεση μέτρηση <ul style="list-style-type: none"> ✓ Απομακρυσμένη αίσθηση 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Άμεση μέτρηση <ul style="list-style-type: none"> ✓ Σταθεροί μετεωρ. σταθμοί . ✓ Ευέλικτες μετακινήσεις.
Τυπική απεικόνιση	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Θερμική απεικόνιση 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ισοθερμικός χάρτης. ▪ Γράφημα θερμοκρασίας.

Πηγή: Oke, 1987 • Roth et al., 1989 • Oke, 1997 • Voogt & T.R. Oke, 2003 [Τζαβαλή, 2015 (διδακτορική διατριβή)].

3.1.1. Αστική θερμική νησίδα επιφάνειας (Surface UHI).

Η αστική θερμική νησίδα επιφάνειας (Surface UHI) σύμφωνα με τον Oke (1982) εμφανίζεται σε όλες τις ώρες κατά τη διάρκεια της ημέρας και παρουσιάζει μεγαλύτερη ένταση το καλοκαίρι κατά τη διάρκεια της ημέρας. Χαρακτηρίζεται από μεγαλύτερη χωρική αλλά και χρονική διακύμανση, πιο συγκεκριμένα η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών είναι της τάξης 10 °C έως 15 °C την ημέρα, ενώ τη νύχτα 5 °C έως 10 °C (Roth et al., 1989). Το φαινόμενο αυτό μελετάται κυρίως με βάση τις παρατηρήσεις απομακρυσμένων αισθητήρων, μέσω της μεθόδου της τηλεπισκόπησης, που βασίζεται σε θερμικά υπέρυθρα δεδομένα (Parlow et al., 2014). Ο δορυφορικός αισθητήρας αντιλαμβάνεται την εκπομπή υπέρυθρων κυμάτων που εκπέμπει η επιφάνεια και άρα τη θερμοκρασία αυτής και όχι τη θερμοκρασία του αέρα. Η θερμοκρασία του αέρα δεν ακολουθεί απαραίτητα το χωρικό μοτίβο των επιφανειακών θερμοκρασιών (Parlow, 2011). Πιο συγκεκριμένα, οι δορυφορικοί αισθητήρες μέσης ανάλυσης με μεγέθη πλέγματος 60 m έως 120 m, ενσωματώνουν το σήμα πάνω από 3600 m² έως 14000 m² αντίστοιχα, γεγονός που σημαίνει ότι ένα μεμονωμένο δορυφορικό εικονοστοιχείο (pixel) περιέχει πληροφορίες από διαφορετικούς τύπους κάλυψης γης όπως στέγες, δρόμους, αστικούς χώρους, βλάστηση υδάτινες επιφάνειες κτλ. (Parlow et al. 2014). Έτσι λοιπόν, διάφορες μελέτες για το φαινόμενο της επιφανειακής αστικής θερμικής νησίδας, δείχνουν ότι οι αστικές επιφάνειες εμφανίζουν συχνά υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις επιφάνειες στο περιβάλλον της υπαίθρου.

3.1.2. Αστική θερμική νησίδα ατμόσφαιρας.

Η αστική θερμική νησίδα ατμόσφαιρας σύμφωνα με τον Oke (1982) είναι μικρότερη κατά τη διάρκεια της ημέρας ή σε ορισμένες περιπτώσεις δεν εμφανίζεται καθόλου. Παρουσιάζεται κυρίως με μεγαλύτερη ένταση τη διάρκεια της νύχτας ή λίγο πριν το ξημέρωμα κατά τη περίοδο του χειμώνα. Χαρακτηρίζεται από μικρότερη χωρική αλλά και χρονική διακύμανση σε σχέση με την επιφανειακή ΑΘΝ, πιο συγκεκριμένα η θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών είναι της τάξης 1 °C έως 3 °C την ημέρα, ενώ τη νύχτα 7 °C έως 12 °C (Roth et al., 1989). Βασίζεται κυρίως σε επί τόπου μετρήσεις (σταθεροί μετεωρολογικοί σταθμοί) της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα και μπορεί να θεωρηθεί ως ο κλασσικός τρόπος εύρεσης και αξιολόγησης του φαινομένου της ΑΘΝ (Parlow et al., 2014). Με βάση τον Oke (1982), η αστική θερμική νησίδα ατμόσφαιρας διακρίνεται σε δύο είδη, ανάλογα με το ύψος παρατήρησης:

- **Αστική θερμική νησίδα στρώματος θόλου (Canopy layer):** Είναι η πιο συχνή μορφή ΑΘΝ ατμόσφαιρας, που βασίζεται σε παρατηρήσεις θερμοκρασίας αέρα κάτω από το στρώμα που ζουν οι άνθρωποι. Εκτείνεται από το έδαφος στο επίπεδο του δρόμου, μέχρι και τις κορυφές των δέντρων ή των στεγών.
- **Αστική θερμική νησίδα οριακού στρώματος (Boundary layer):** Βασίζεται σε παρατηρήσεις θερμοκρασίας του αέρα που ξεκινούν από οροφές των κτηρίων και φτάνουν περίπου μέχρι περίπου 1.5 km. Ουσιαστικά το ύψος του ατμοσφαιρικού οριακού στρώματος.

3.1.3. Ιστορική αναδρομή του φαινομένου της ΑΘΝ.

Ο όρος της αστικής θερμικής νησίδας ανάγεται για πρώτη φορά στις αρχές του 19ου αιώνα. Ειδικότερα, το 1820 ο πρωτοπόρος της μελέτης του αστικού κλίματος, Howard (1772-1864), δημοσίευσε το άρθρο ‘ Το κλίμα του Λονδίνου’, στο οποίο ανέλυσε τις μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα στο Λονδίνο και στα γύρω αγροτικά περίχωρα. Ο Howard ανακάλυψε ότι κατά τη διάρκεια της νύχτας οι θερμοκρασίες του αέρα ήταν υψηλότερες στη πόλη του Λονδίνου σε σύγκριση με τις αγροτικές περιοχές και ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας ήταν ακριβώς το αντίθετο (Parlow et al., 2014). Στη συνέχεια εν έτη 1833, διαπίστωσε ότι η αύξηση της θερμοκρασίας στο αστικό κέντρο του Λονδίνου, οφειλόταν στην επίδραση των ανθρώπων σε αυτό αλλά και της χρησιμοποίησης διάφορων καυσίμων (κυρίως ξύλα) για τη θέρμανση τους. Ο Renou (1855, 1862 και 1868) κάνει όμοιες διαπιστώσεις για τη πόλη του Παρισιού της Γαλλίας και συγκεκριμένα ότι η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αστικού ιστού και εξοχής είναι περίπου 1 °C. Κατ’έπекταση τον 20^ο αιώνα, ο Schmidt (1917-1929) για τη Βιέννη της Αυστρίας. Τέλος οι μελέτες του φαινομένου αυτού ξεκίνησαν στην Αμερική την δεκαετία του ’50 (Mitchell 1953 ; 1961).

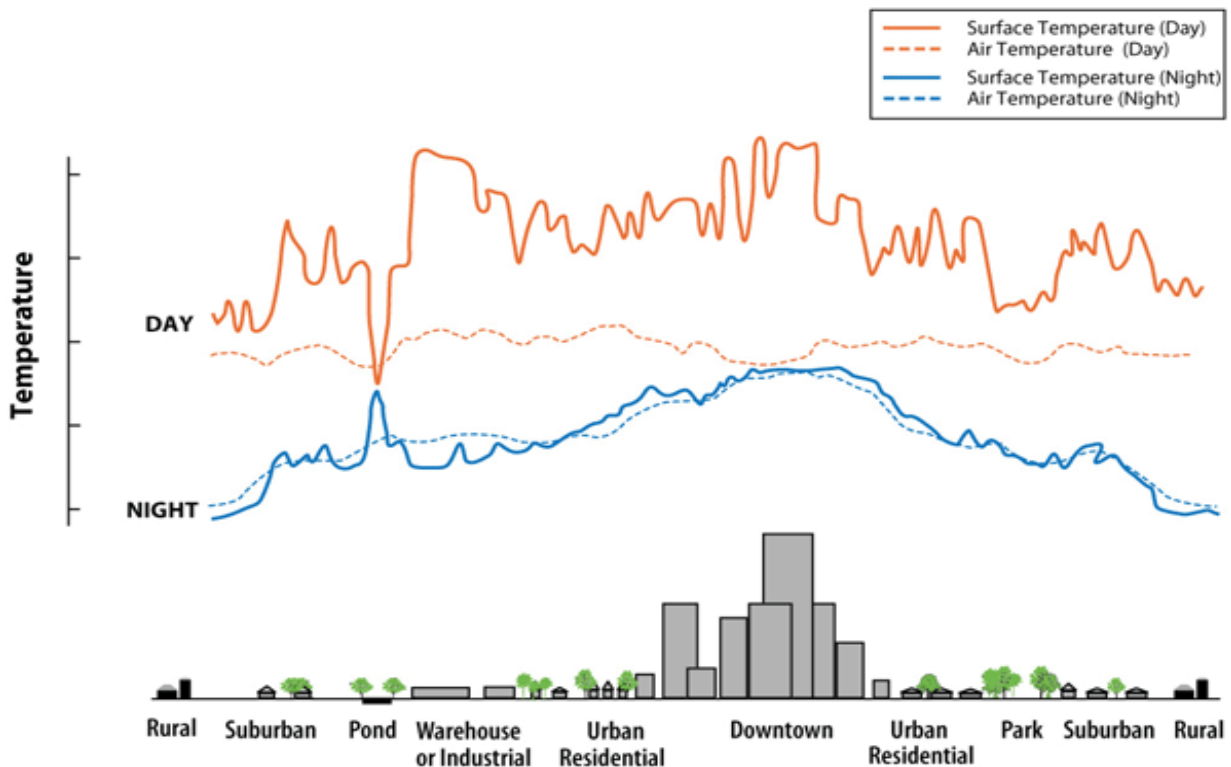
Οι πρώτες μελέτες του φαινομένου με τη μέθοδο της τηλεπισκόπησης, κυρίως για την επιφανειακή αστική θερμική νησίδα ανάγονται στο έτος 1972 (Rao, 1972). Από εκεί και έπειτα η μελέτη του φαινομένου έγινε εκτενέστερη και συγκεκριμένα ο Nichol (1998) και ο Tal (2001), χρησιμοποίησαν πολυφασματικές τεχνικές ώστε να εξάγουν δορυφορικά δεδομένα θερμοκρασιών με βάση θερμικές εικόνες για τις διάφορες επιφάνειες κάλυψης γης. Ο Torok et al. (2001) καταλήγει στο συμπέρασμα ότι το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας μπορεί να βρεθεί στις περισσότερες πόλεις του

κόσμου και ότι εμφανίζεται ακόμη και σε μικρότερες πόλεις με πληθυσμό κάτω από 100.000 κατοίκους.

3.2. Γνωρίσματα της αστικής θερμικής νησίδας.

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας (είτε ατμόσφαιρας είτε επιφάνειας) παρουσιάζει τέσσερα σημαντικά γνωρίσματα/χαρακτηριστικά:

1. **Θερμοκρασία ατμοσφαιρικού αέρα και επιφάνειας:** Οι τιμές της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα, μετρούνται στα αστικά κέντρα και στις περιοχές υπαίθρου (μη αστικές) και συγκρίνονται μεταξύ τους. Το ίδιο συμβαίνει και για τις τιμές θερμοκρασίας των επιφανειών. Στη πρώτη περίπτωση οι μετρήσεις λαμβάνονται συνήθως με σταθερούς μετεωρολογικούς σταθμούς, ενώ στη δεύτερη κυρίως από δορυφόρους. Με βάση τις μελέτες που έγιναν με τα χρόνια για το φαινόμενο της ΑΘΝ, διαγνώστηκε ότι οι θερμοκρασίες του αέρα καθορίζονται από τις θερμοκρασίες των αστικών επιφανειών, καθώς πολλές ανθρωπογενείς επιφάνειες απορροφούν μεγαλύτερο μέρος ηλιακής ακτινοβολίας απ'ότι οι φυσικές επιφάνειες με βλάστηση (Τζαβαλή, 2015). Η θερμοκρασία επιφάνειας έχει έμμεση αλλά σημαντική επίδραση στις θερμοκρασίες του αέρα, ειδικά στο στρώμα θόλου (canopy layer) που βρίσκεται πλησιέστερα στην επιφάνεια (Τζαβαλή, 2015). Στο παρακάτω σχήμα φαίνονται ποιοτικά οι μεταβολές θερμοκρασίας ατμοσφαιρικού αέρα και επιφάνειας σε διαφορετικούς τύπους αστικών και αγροτικών περιοχών κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας.



Εικόνα 3.1: Σύγκριση μεταβολών θερμοκρασίας επιφάνειας και αέρα σε διαφορετικούς τύπους αστικών και αγροτικών περιοχών. Πηγή: Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate in context of Urban Heat Island Effect, The Energy and Resources Institute, Bangalore India, 2017.

2. **Μετεωρολογικές συνθήκες:** Οι μετεωρολογικές συνθήκες επηρεάζουν τη δημιουργία καθώς και την ανάπτυξη του φαινομένου της ΑΘΝ και έχουν συντελέσει αντικείμενο σημαντικής έρευνας (Johnson et al., 1991, Morris et al., 2001). Η ταχύτητα του ανέμου και η νεφοκάλυψη ειδικότερα, είναι δύο παράγοντες σημαντικοί που επηρεάζουν την ΑΘΝ και πιο συγκεκριμένα φαίνεται να είναι ισχυρότερο το φαινόμενο όταν υπάρχει μικρή νεφοκάλυψη ή καθόλου και χαμηλός άνεμος (Mihalakakou et al., 2002).
3. **Δομική ανάπτυξη αστικής περιοχής:** Ένα από τα πιο ζωτικής σημασίας χαρακτηριστικά του φαινομένου, είναι η μεγάλη ποσότητα συσσωρευμένων επιφανειών που χρησιμοποιούνται σε αστικά κέντρα όπως το σκυρόδεμα που έχει μεγάλη θερμοχωρητικότητα (heat capacity) (Akbari et al., 2001). Επίσης, περιοχές με ελάχιστη βλάστηση και υπερβολική δομική ανάπτυξη τείνουν να είναι θερμότερες και οι θερμικές νησίδες τείνουν να γίνονται εντονότερες καθώς οι πόλεις διογκώνονται (Gartland, 2008). Μεγάλη συνεισφορά στην επιδείνωση του φαινομένου της ΑΘΝ έχει και ο ακατάλληλος σχεδιασμός των πόλεων (Li et al., 2012).

4. **Θερμικές αναστροφές:** Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό της ΑΘΝ είναι η θερμική αναστροφή του αέρα (Gartland, 2008), δηλαδή θερμός αέρας πάνω από κρύο, με αποτέλεσμα να μην πραγματοποιείται κανονική κυκλοφορία του αέρα. Συχνά, δημιουργούνται μεγάλες στήλες θερμού αέρα πάνω από τις πόλεις και συγκεκριμένα παρατηρείται θερμότερος αέρας στο οριακό στρώμα (boundary layer) (Τζαβαλή, 2015).

3.3. Τα αίτια δημιουργίας του φαινομένου της ΑΘΝ

Τα αίτια που συμβάλουν στη δημιουργία του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) είναι τα ακόλουθα που αναλύονται διεξοδικά παρακάτω:

- ✓ **Ιδιότητες δομικών υλικών:** Σημαντικό και καθοριστικό ρόλο στην ανάπτυξη της ΑΘΝ, κατέχουν ορισμένα υλικά που δομούν τις πόλεις και εμφανίζουν ιδιαιτερότητες έναντι των υλικών που βρίσκονται στην ύπαιθρο χώρα. Σύμφωνα με τον Gartland (2008), τα περισσότερα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τη δόμηση των κτηρίων στα μεγάλα αστικά κέντρα είναι υδατοστεγή και αδιάβροχα. Με αυτό τον τρόπο, το νερό της βροχής απομακρύνεται μη καταφέροντας να απομακρύνει και τη θερμότητα με εξάτμιση ή εξατμισοδιαπνοή (evapotranspiration), όπως όταν υπάρχουν φυτά. Επίσης, τα δομικά υλικά των πόλεων απορροφούν και κατά συνέπεια συγκρατούν μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας, αυξάνοντας με αυτό τον τρόπο τη θερμοκρασία τους σε σχέση με τα υλικά τα οποία απαντώνται στη φύση (Τζαβαλή, 2015). Αυτό εξηγείται λόγω της λευκαύγειας ή albedo. Σύμφωνα με τον Bouyer (2009), η λευκαύγεια είναι ο λόγος της ανακλώμενης ηλιακής ενέργειας (ακτινοβολίας) προς τη προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια (ακτινοβολία). Αυτός ο λόγος εξαρτάται από την εν γένει δομή/διάταξη των υλικών και φυσικά από το χρώμα. Συνεπώς, οι σκουρότερες επιφάνειες τείνουν να έχουν χαμηλότερες τιμές albedo, σε αντίθεση με τις ανοιχτόχρωμες. Τα υλικά τα οποία δομούν τη πόλη και εμφανίζουν χαμηλό albedo είναι αυτά τα οποία περιέχονται στο οδόστρωμα (πίσσα), στις επιστρώσεις (πέτρα) αλλά και στην οικοδόμηση όπως το σκυρόδεμα (τσιμέντο, χάλυβας). Το albedo μιας πόλης συνολικά ποικίλει όμως ανάλογα με διάφορους παράγοντες, όπως ο επιφανειακός προσανατολισμός της και η ετερογένεια των υλικών που την αποτελούν (Bouyer et al., 2009).

Έτσι λοιπόν, το albedo μιας αστικής επιφάνειας που κατά κανόνα είναι πιο χαμηλό από εκείνο των υλικών που βρίσκονται στις αγροτικές περιοχές (άμμος, γλόη κτλ.), κατακρατεί και

αποθηκεύει μεγαλύτερο ποσό ηλιακής ενέργειας (ακτινοβολίας) και αυξάνει τη θερμοκρασία της. Με βάση τον Gartland (2008), οι υψηλότερες θερμοκρασίες επιφάνειας οδηγούν σε υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα, ειδικά κατά τη διάρκεια της νύχτας, καθώς οι θερμές επιφάνειες ψυχραίνονται αργά θερμαίνοντας έτσι τον αέρα που υπάρχει γύρω από αυτές. Επομένως, οι σκουρόχρωμες επιφάνειες των δρόμων, των στεγών αλλά και των πεζοδρομίων, κατά τη διάρκεια της ημέρας απορροφούν σημαντικά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας και κατά τη διάρκεια της νύχτας τα επανεκπέμπουν ως υπέρυθρη/γήινη ακτινοβολία επιβραδύνοντας με αυτό τον τρόπο τον ρυθμό ψύξης των αστικών κέντρων (Synnefa et al., 2006). Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται ενδεικτικές τιμές albedo ορισμένων υλικών που απαντώνται στα αστικά κέντρα αλλά και στην ύπαιθρο περιοχή.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2: Τιμές albedo ορισμένων υλικών.

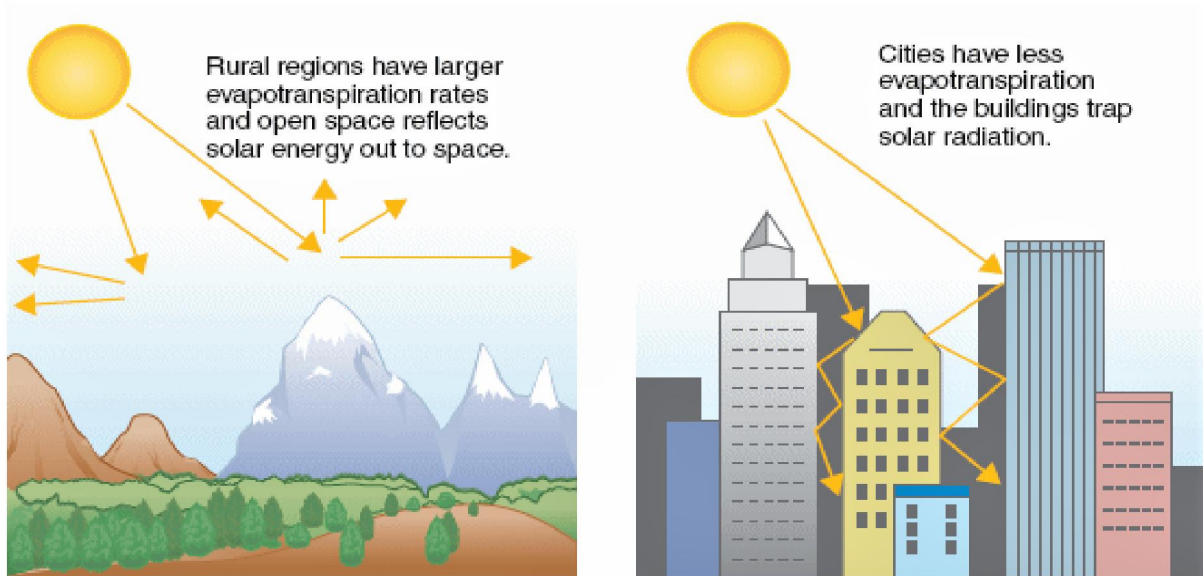
Υλικά / Επιφάνειες	Τιμές λευκότητας (albedo) (α)
Λιβάδια και καλλιεργήσιμες εκτάσεις	0,1 - 0,25
Ξηρό αμμώδες χώμα	0,25 - 0,45
Άμμος	0,2 - 0,4
Γρανίτης	0,3 - 0,35
Φρέσκο χιόνι	0,9
Ξύλο	0,4
Άσφαλτος	0,05
Τούβλο	0,20

Πηγή : Albedo, Endre Dobos , University of Miskolc, Miskolc-Egyetemvaros, Hungary 2003.

Ακόμη μία σημαντική ιδιότητα των υλικών, είναι η θερμοχωρητικότητα (capacity) που αποτελεί το πηλίκο του ποσού της θερμότητας που προσφέρεται σε ένα σώμα ώστε να προκληθεί μεταβολή της θερμοκρασίας του σώματος κατά 1 °C. Ουσιαστικά, αναφέρεται ως η ικανότητα να αποθηκεύει θερμότητα το σώμα. Τα περισσότερα υλικά που χρησιμοποιούνται στις υποδομές μια πόλης (για παράδειγμα χάλυβας, πέτρες, τσιμέντο κ.λπ.) εμφανίζουν μεγαλύτερη θερμοχωρητικότητα απ' ό,τι το ξηρό χώμα και η άμμος που βρίσκονται κυρίως στις υπαίθριες περιοχές (Κασσωμένος, 2017). Έτσι λοιπόν οι στέγες και οι δρόμοι που περιέχουν τέτοια υλικά, απορροφούν την ηλιακή ενέργεια, προκαλώντας αύξηση στην επιφανειακή θερμοκρασία των αστικών δομών κατά 10°C έως και 20 °C σε σχέση με την θερμοκρασία του αέρα (Taha et al., 1997). Το γεγονός αυτό, έχει ως συνέπεια οι επιφάνειες των αστικών κέντρων να γίνονται θερμότερες και η συνολική θερμοκρασία αυτών να αυξάνεται έναντι των αγροτικών περιοχών (Oke, 1987).

- ✓ **Έλλειψη βλάστησης:** Μία ακόμη σημαντική παράμετρος για τη δημιουργία και την ενίσχυση του φαινομένου της ΑΘΝ, είναι η μειωμένη βλάστηση των αστικών κέντρων. Επειδή τα μεγάλα αστικά κέντρα χαρακτηρίζονται από αδιαπέραστες και σκληρές επιφάνειες και λόγω της ραγδαίας και αυξανόμενης τάσης της αστικοποίησης, γίνεται κατανοητό ότι δεν υπάρχει προβλεπόμενος χώρος για βλάστηση σε αυτά. Προφανώς λοιπόν, μειώνεται η σκίαση αλλά και η υγρασία, τα οποία αποτελούν στοιχεία απαραίτητα για τη διατήρηση του δρόσου. Σύμφωνα με τον Santamouris (2007), παρατηρείται χαμηλή ποσότητα εξατμισοδιαπνοής (evapotranspiration) λόγω της λιγοστής βλάστησης στα αστικά κέντρα. Με αυτόν τον τρόπο επέρχεται αύξηση θερμοκρασίας τόσο της επιφάνειας όσο και του αέρα, καθώς εξατμίζεται λιγότερο νερό.

Επίσης, για να καλυφθεί η ζήτηση διάφορων αστικών εγκαταστάσεων, ακόμη και οι όποιες περιοχές βλάστησης καταστρέφονται σε μεγάλη κλίμακα. Αυτό συνεπάγεται ότι δεν απορροφάται ένα μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας από δέντρα και φυτά για τη φωτοσύνθεση τους ούτε όμως και εκπομπές διοξειδίου του άνθρακα (CO₂), με αποτέλεσμα να αυξάνεται συνεχώς η θερμοκρασία των αστικών ιστών (Akbari et al., 2001). Τέλος, προφανώς επηρεάζεται και το ενεργειακό ισοζύγιο λόγω της έλλειψης πρασίνου στα αστικά κέντρα και της περιορισμένης ποσότητας εξατμισοδιαπνοής, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω που δεν οδηγεί σε γρήγορη ψύξη αυτών (Santamouris et al., 2001).



Εικόνα 3.2: Σύγκριση συμπεριφοράς της εξατμισοδιαπνοής σε αστικές και υπαίθριες περιοχές.

Πηγή: (<http://cimss.ssec.wisc.edu/climatechange/globalCC/lesson7/UHI2.html>).

- ✓ **Αστική γεωμετρία:** Ένας επιπρόσθετος παράγοντας που διαμορφώνει και ενισχύει αρκετά το φαινόμενο της ΑΘΝ είναι η αστική γεωμετρία, η οποία επηρεάζει το φαινόμενο κυρίως κατά τη διάρκεια της νύχτας. Η αστική γεωμετρία αναφέρεται κατά κύριο λόγο στις διαστάσεις των κτηρίων, μέσα στο αστικό κέντρο αλλά και τη χωροθέτηση τους σε αυτό. Μερικά από τα βασικά της γνωρίσματα είναι η μεγάλη επιρροή που ασκεί στη ροή του ανέμου, στην απορρόφηση της ενέργειας και στην ικανότητα μιας δεδομένης επιφάνειας να εκπέμπει πίσω στο διάστημα την ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος (Κασσωμένος, 2017). Σε αρκετές ανεπτυγμένες χώρες, οι αστικές δομές και ιδιαίτερα εκείνες που περιλαμβάνουν μεγάλες επιφάνειες, παρεμποδίζονται συχνά από αντικείμενα, όπως τα γειτονικά κτήρια και με αυτό τον τρόπο λειτουργούν ως μεγάλες θερμικές μάζες, οι οποίες κατ επέκταση δεν μπορούν να απελευθερώσουν με γρήγορο ρυθμό τη θερμότητα τους εξαιτίας αυτών των εμποδίων. Έτσι λοιπόν, κατά τη διάρκεια της νύχτας οι ατμοσφαιρικές θερμικές νησίδες εφόσον συνδυαστούν με καύσωνες κατά τη περίοδο του καλοκαιριού, είναι ικανές να προκαλέσουν σοβαρές επιπτώσεις στην υγεία των κατοίκων των αστικών κέντρων.

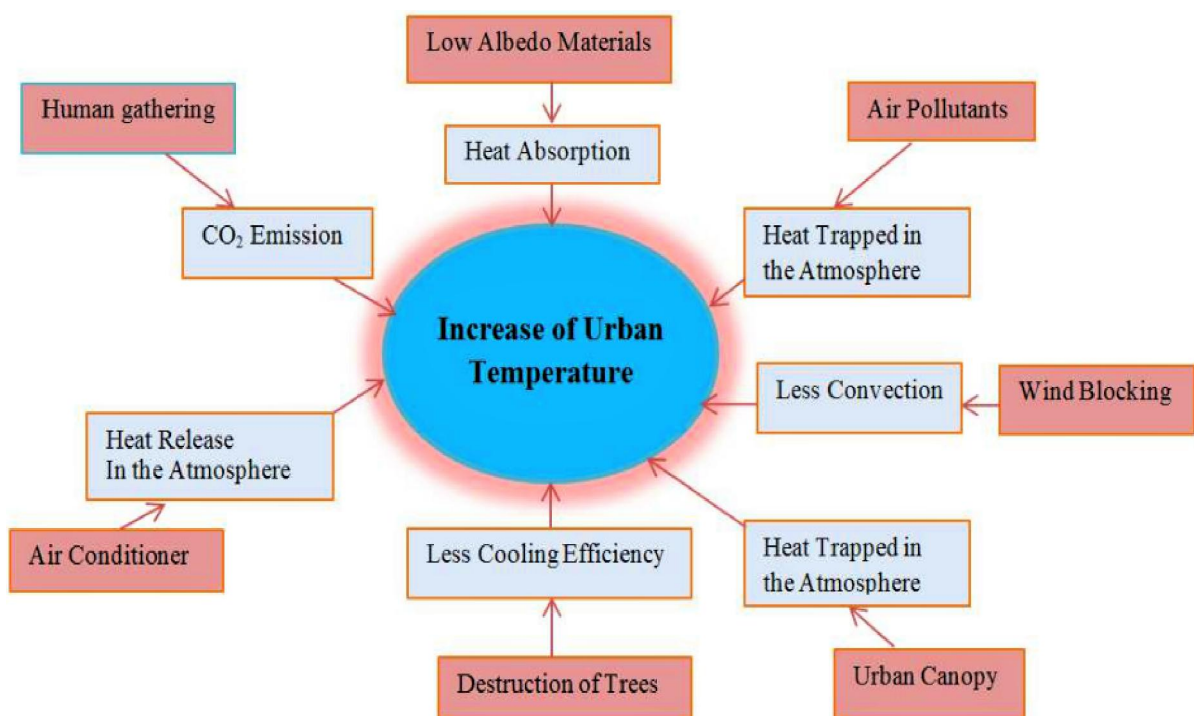
Επίσης, αρκετά σημαντικό και ουσιαστικό ρόλο φαίνεται ότι κατέχουν και οι οδικές χαράδρες, οι οποίες δημιουργούνται σε μια αστική περιοχή καθώς ένας σχετικά στενός δρόμος περιορίζεται από υψηλά κτήρια εκατέρωθεν (Κασσωμένος, 2017). Στη διάρκεια της ημέρας, οι οδικές χαράδρες δρουν ανταγωνιστικά. Από τη μία πλευρά, τα υψηλά κτήρια μπορούν να

προκαλέσουν σκιάσεις περιορίζοντας με αυτό τον τρόπο τη θερμαινόμενη δομημένη επιφάνεια και συνεπώς τη θερμοκρασία του αέρα. Όμως, από την άλλη πλευρά, όταν το ηλιακό φώς προσπίπτει σε επιφάνειες μέσα στην οδική χαράδρα, η ηλιακή ενέργεια ανακλάται και συνεπώς απορροφάται από τους τοίχους των κτηρίων, με αποτέλεσμα να ελαττώνεται ταυτόχρονα και η συνολική ανακλαστικότητα της πόλης και άρα να αυξάνεται η θερμοκρασία του αέρα. Τη νύχτα οι οδικές χαράδρες γενικά συμβάλουν στην εμπόδιση της ψύξης, καθώς τα κτήρια και οι αστικές δομές μπορούν να εμποδίσουν τη μετάδοση της θερμότητας, η οποία απελευθερώνεται από τις αστικές υποδομές (Μανολόπουλος, 2008).

- ✓ **Ανθρωπογενής θερμότητα:** Μία ακόμη σημαντική αιτία επιδείνωσης του φαινομένου της ΑΘΝ, αποτελεί και η ανθρωπογενής θερμότητα. Ουσιαστικά, είναι η θερμότητα η οποία πηγάζει από διάφορες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως είναι η θέρμανση, η ψύξη, η χρήση συσκευών, η κυκλοφορία των οχημάτων αλλά και η βιομηχανική δραστηριότητα. Σύμφωνα με τον Voogt (2002), η ανθρωπογενής θερμότητα ποικίλλει ανάλογα με την αστική δραστηριότητα και υποδομή, πάντως με τη παραγωγή μεγαλύτερης θερμότητας να γίνεται από κτήρια και μεταφορές. Μελέτες δείχνουν ότι η θερμότητα αυτή, είναι μεγαλύτερη τον χειμώνα σε πυκνοδομημένες αστικές περιοχές και συνεπώς συνεισφέρει σημαντικά στο σχηματισμό αστικής θερμικής νησίδας (Κασσωμένος, 2017). Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί και η αυξημένη χρήση κλιματιστικών, ώστε να παρέχει άνεση στο βιοτικό επίπεδο των ανθρώπων, είτε κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, είτε κατά το χειμώνα. Τα κλιματιστικά χρησιμοποιούνται μαζικά, ιδιαίτερα το καλοκαίρι για να διατηρήσουν ένα κτήριο δροσερό στο εσωτερικό του, οδηγώντας όμως με αυτόν τον τρόπο στην αύξηση της θερμοκρασίας του ατμοσφαιρικού αέρα στο εξωτερικό (Okwen, 2011).
- ✓ **Μετεωρολογικές παράμετροι:** Καθοριστικό ρόλο για την όξυνση του φαινομένου της ΑΘΝ, κατέχουν οι μετεωρολογικές συνθήκες και έχουν αποτελέσει αντικείμενο σημαντικής έρευνας (Johnson et al., 1991). Δύο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την ΑΘΝ είναι η ταχύτητα του ανέμου αλλά και η νεφοκάλυψη, με μελέτες να δείχνουν ότι το φαινόμενο είναι περισσότερο έντονο όταν επικρατεί αντικυκλωνική κυκλοφορία με ασθενείς ανέμους και ανέφελο ουρανό (Mihalakakou et al., 2004). Πιο συγκεκριμένα, ο ανέφελος ουρανός συμβάλλει στη μεγιστοποίηση του ποσού της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στις αστικές επιφάνειες και προφανώς έτσι μεγεθύνεται η αστική θερμική νησίδα. Αντίθετα οι ισχυροί

άνεμοι αλλά και η νεφοκάλυψη περιστελλουν τις αστικές θερμικές νησίδες. Επίσης, η τοποθεσία του αστικού κέντρου είναι άκρως σημαντική. Μεγάλες μάζες νερού που μπορεί να βρίσκονται στη περιφέρεια μιας πόλης, όπως για παράδειγμα λίμνες και ποτάμια, περιορίζουν τη θερμοκρασία και μπορούν να αποκαταστήσουν ανέμους που μεταφέρουν τη θερμότητα μακριά από αυτή (Κασσωμένος, 2017). Τέλος, όταν εμφανίζονται καύσωνες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, το φαινόμενο της ΑΘΝ ενισχύεται και μπορεί να αποβεί αρκετά επικίνδυνο για τη ζωή των κατοίκων των μεγάλων αστικών κέντρων.

- ✓ **Ατμοσφαιρική ρύπανση:** Τελευταίος, αλλά εξίσου σημαντικός παράγοντας για την άμβλυνση του φαινομένου της ΑΘΝ είναι ατμοσφαιρική ρύπανση. Στα μεγάλα αστικά κέντρα, η ρύπανση είναι εμφανής. Βιομηχανικοί ρύποι εκλύονται συνεχώς στην ατμόσφαιρα καθώς και καυσαέρια από αρκετές μηχανές καύσης, ακόμη και από οχήματα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα στα αστικά κέντρα (Bousse, 2009). Κύριοι ρύποι που απελευθερώνονται στην ατμόσφαιρα είναι σωματίδια PM, NO_x, CO, SO₂ και φυσικά CO₂ το οποίο συμβάλει αρκετά στην κλιματική αλλαγή. Στο παρακάτω σχήμα συνοψίζονται συνολικά οι αιτίες που δημιουργούν το φαινόμενο της ΑΘΝ.



Εικόνα 3.3: Αιτίες διαδικασίας σχηματισμού της ΑΘΝ. Πηγή: Urban Heat Island: Causes, effects and mitigation measures-A review, Md Nuruzzaman, Curtin University, 2015.

3.4. Επιπτώσεις του φαινομένου της ΑΘΝ

Το φαινόμενο της ΑΘΝ έχει αρκετές επιπτώσεις, τόσο στην ανθρώπινη υγεία όσο και στο περιβάλλον. Ειδικότερα όταν αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια του θέρους, φαίνονται οι αρνητικές επιπτώσεις του να εντείνονται. Παρακάτω αναλύονται τέσσερις βασικές από αυτές :

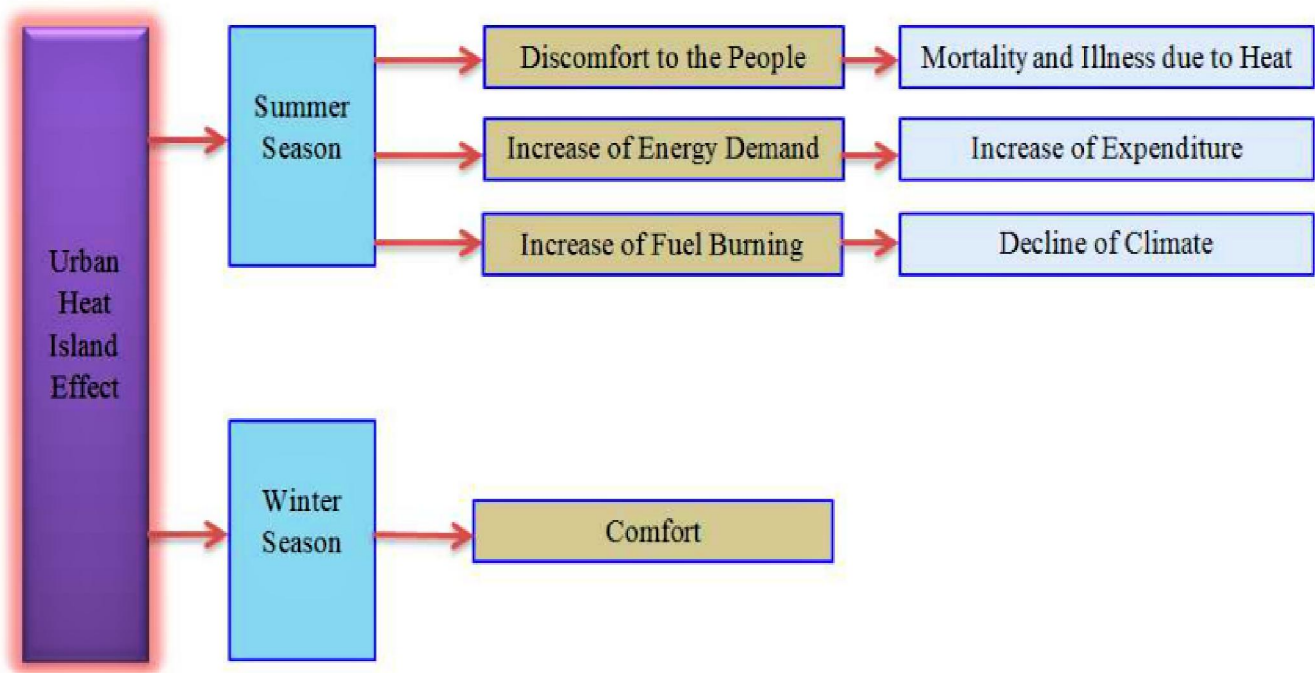
- **Ανθρώπινη υγεία:** Οι επιπτώσεις μεγάλης κλίμακας, όπως η υπερθέρμανση του πλανήτη, σε συνδυασμό με μικρότερης κλίμακας επιπτώσεις, όπως είναι η ραγδαία αστικοποίηση και το φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας, μπορούν να κάνουν πιο ευάλωτους τους κατοίκους των πόλεων σε επίπεδο υγείας, απέναντι στις δυσμενείς συνέπειες των ακραίων θερμικών συνθηκών (Giannaros et al., 2017). Σύμφωνα με τον (Shahmohamadi et al., 2011), αρκετά προβλήματα προκαλούνται λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας του αέρα, ειδικά τους θερινούς μήνες. Καθώς αυξάνεται η θερμοκρασία, το σώμα ξοδεύει πρόσθετη ενέργεια για να το διατηρεί δροσερό. Η πιο άμεση συνέπεια εφόσον αυξηθεί η θερμοκρασία του σώματος πάνω από 41 °C, είναι η θερμοπληξία. Το γεγονός αυτό έχει ως απόρροια, τη διαταραχή του μηχανισμού ρύθμισης της θερμοκρασίας του σώματος και την εκδήλωση πυρετού, αλλά ακόμη και την αίσθηση ξηρού και θερμού σώματος όπως επίσης και γρήγορο σφυγμό. Ακόμη, το φαινόμενο της ΑΘΝ, μπορεί να επιδεινώσει πολλές από τις ήδη υπάρχουσες καταστάσεις υγείας, όπως καρδιαγγειακές και εγκεφαλοαγγειακές παθήσεις, πνευμονία και άσθμα (Shahmohamadi et al., 2011).

Έτσι λοιπόν η θνησιμότητα από τέτοιες ασθένειες, ειδικά σε ηλικιωμένα ή εξασθενημένα άτομα, αυξάνεται δραματικά σε περιόδους ασυνήθιστα ζεστού καιρού. Το φαινόμενο της ΑΘΝ, μπορεί να συνδυαστεί και να επιδεινώσει τα θερμικά κύματα (heat waves) κατά τη διάρκεια του θέρους, τα οποία διακρίνονται από υψηλές θερμοκρασίες και υγρασία. Σύμφωνα με τον Taha et al., (2004) στα μέσα Ιουλίου του έτους 1995, ένα κύμα θερμότητας προκάλεσε περισσότερους από 1000 θανάτους στη πολιτεία του Midwest.

- **Υπερκατανάλωση ενέργειας:** Η συνεχής και ολοένα εντατικοποιημένη αστικοποίηση, σε συνδυασμό με την αύξηση της θερμοκρασίας των αστικών επιφανειών και του αέρα λόγω του φαινομένου της ΑΘΝ, έχει οδηγήσει στην αλλαγή ροής των πόρων ενέργειας στα μεγάλα αστικά κέντρα (Li et al., 2016). Σύμφωνα με τους Akbari et al., (2001) η ζήτηση της

ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται από 2 έως 4% για κάθε αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1 °C. Έστω λοιπόν ότι, η διαφορά θερμοκρασίας μιας τυπικής πόλης με τις γύρω αγροτικές περιοχές μπορεί να είναι γύρω στους 2.5 °C σε μια ζεστή συνηθισμένη καλοκαιρινή μέρα. Το γεγονός αυτό μπορεί να προκαλέσει επιπλέον 5 έως 10 % αύξηση της ηλεκτρικής ενέργειας στο τοπικό δίκτυο (Akbari et al., 2001).

- **Ατμοσφαιρική ρύπανση:** Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η αύξηση της θερμοκρασίας στα αστικά κέντρα, συνδέεται με τη μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας για τη ψύξη των εσωτερικών κατοικήσιμων χώρων ιδιαίτερα τους θερινούς μήνες. Εφόσον όμως αυξάνεται η ζήτηση της ηλεκτρικής ενέργειας, περισσότερα ορυκτά καύσιμα χρησιμοποιούνται, με συνέπεια να προκαλούν μεγάλες εκπομπές θερμοκηπικών αερίων (CO₂, NO_x, CO, SO₂ κτλ.), τα οποία συμβάλουν στο ανθρωπογενές φαινόμενο του θερμοκηπίου, καθώς απορροφούν την γήινη ακτινοβολία και την επανεκπέμπουν (Addina, 2009). Αυτό το γεγονός έχει ως αποτέλεσμα να υπερθερμαίνονται τα κατώτερα ατμοσφαιρικά στρώματα και φυσικά τα πολυπληθή αστικά κέντρα. Στην εικόνα 3.4 φαίνονται σχηματικά οι κυριότερες επιπτώσεις/επιδράσεις του φαινομένου της ΑΘΝ.
- **Υποβάθμιση ποιότητας νερού:** Ακόμη μία επίπτωση της ΑΘΝ, αν και λιγότερο αναγνωρίσιμη από τις παραπάνω τρείς, είναι και η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Η αστική θερμική νησίδα επιφάνειας, υποβιβάζει τη ποιότητα νερού κυρίως λόγω της θερμικής ρύπανσης (Roe-Espinoza et al., 2003). Μετρήσεις έδειξαν ότι η απορροή του νερού από της αστικές περιοχές, ήταν περίπου 11 °C με 17 °C θερμότερη από την απορροή μιας κοντινής αγροτικής περιοχής κατά τις ημέρες του θέρους, όταν οι θερμοκρασίες πεζοδρομίου το μεσημέρι ήταν 11 °C με 19 °C υψηλότερες από εκείνες του αέρα (Roe-Espinoza et al., 2003).



Εικόνα 3.4: Επιπτώσεις του φαινομένου της ΑΘΝ. Πηγή: Urban Heat Island: Causes, effects and mitigation measures-A review, Md Nuruzzaman, Curtin University, 2015.

3.5. Στρατηγικές μείωσης του φαινομένου της ΑΘΝ

Σύμφωνα με τον Sailor (2006), ο μετριασμός αλλά και η μείωση του φαινομένου της ΑΘΝ γίνεται πρωτίστως με δύο βασικούς τρόπους. Ο πρώτος είναι η αύξηση της λευκαύγειας (albedo ή ανακλαστικότητα) των υλικών που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή των αστικών επιφανειών, όπως υλικά οικοδόμησης και ασφαλτόστρωσης. Ο δεύτερος τρόπος είναι η αύξηση του ποσού της εξατμισοδιαπνοής (evapotranspiration), η οποία επιτυγχάνεται με τη βλάστηση και τη κάλυψη των αστικών κέντρων με ‘πράσινο’ (Nuruzzaman, 2015). Παρακάτω παρατίθενται ορισμένοι τρόποι:

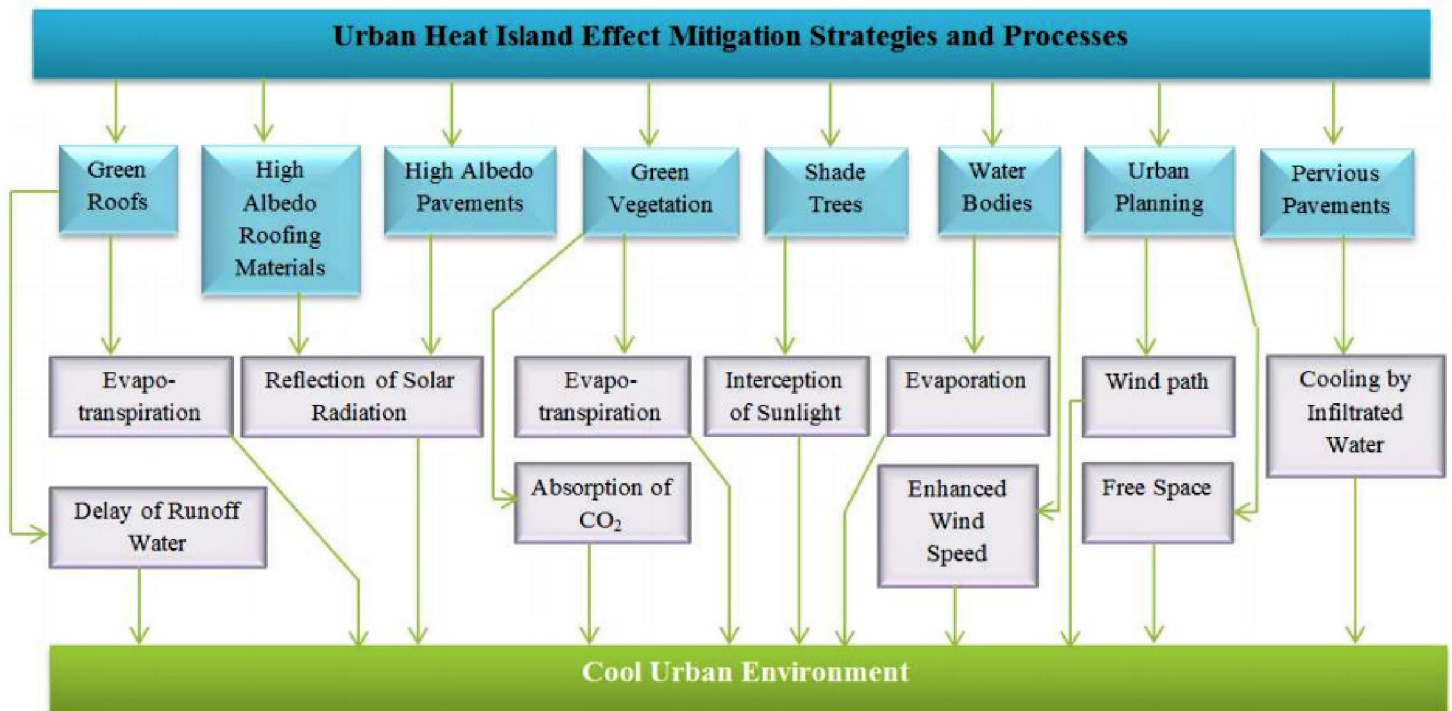
1. **Υλικά υψηλού albedo για τις στέγες:** Οι σκουρόχρωμες στέγες μερικών κτηρίων του αστικού ιστού, απορροφούν θερμότητα από την ακτινοβολία του ήλιου και με αυτό τον τρόπο, οι κατοικίες γίνονται πιο θερμές. Αντίθετα, οι ανοιχτόχρωμες στέγες με παρόμοιες ιδιότητες μόνωσης δεν θερμαίνονται σημαντικά ανακλώντας την ηλιακή ακτινοβολία (Akbari et al., 2011). Συνεπώς, μπορεί να αντιληφθεί κάποιος ότι ακόμα και αυτή η απλή επιλογή του

χρώματος της στέγης μπορεί να συμβάλει μαζικά στη μείωση της θερμοκρασίας του αστικού κέντρου και άρα και στο μετριασμό του φαινομένου της ΑΘΝ. Γίνεται αντιληπτό λοιπόν, ότι τα υλικά των στεγών με χαμηλό albedo απορροφούν την θερμότητα λόγω του ήλιου και συντελούν στη περαιτέρω θέρμανση του σπιτιού, με αποτέλεσμα να έχει ως αντίκτυπο αυτό το γεγονός την υψηλότερη κατανάλωση ενέργειας για κλιματισμό κατά τη διάρκεια του θέρους (Nuruzzaman, 2015). Ο Sailor (2006) προτείνει τη χρήση λευκών υλικών που έχουν τιμές albedo μεγαλύτερο από 0.6 αντί για μαύρα υλικά με albedo μεταξύ 0.05 έως 0.1 που κάλλιστα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υλικά στέγης. Οι Akbari et al. (1998), παρατήρησαν την αποτελεσματικότητα του albedo, χρησιμοποιώντας υλικά στέγης διαφορετικών τιμών που κυμαίνονταν από 0.2 έως 0.6. Διαπίστωσαν ότι η θερμοκρασία της στέγης μειώθηκε κατά 25 °C για υλικά τιμών albedo 0.6 σε σύγκριση με εκείνα των 0.2. Όμως ένα από τα προβλήματα που προκύπτουν στις ανακλαστικές στέγες είναι ότι η ικανότητα της ανάκλασης μειώνεται με το πέρασμα των χρόνων λόγω της αιθάλης (Nuruzzaman, 2015).

2. **Υλικά υψηλού albedo για πεζοδρόμια:** Περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία θα μπορούσε να ανακλάται εάν το οδόστρωμα των αυτοκινητόδρομων ή των πεζοδρομίων ήταν από υλικά υψηλού albedo (Akbari et. al, 2001). Έτσι η σωστή επιλογή υλικών οδοστρώματος μπορεί να συμβάλει στη μείωση του φαινομένου της ΑΘΝ. Οι Levison και Akbari (2002), πρότειναν τη χρήση ενός σκυροδέματος για τα πεζοδρόμια και το οδόστρωμα, το οποίο προήλθε από τη μίξη ορισμένων υλικών με albedo το οποίο κυμαινόταν από 0.41 έως 0.77. Όμως είναι λογικό ότι με το πέρασμα των χρόνων, λόγω της κυκλοφορίας των οχημάτων, θα επέλθει φθορά στο οδόστρωμα και σύντομα θα χαθεί η ανακλαστικότητά του (Nuruzzaman, 2015).
3. **Βλάστηση:** Η αύξηση ποσότητας της βλάστησης είναι μία από τις πιο αποτελεσματικές στρατηγικές για το μετριασμό των επιπτώσεων του αστικού μικροκλίματος και συνεπώς της ΑΘΝ (Synnefa et al., 2008). Αυτό το γεγονός μπορεί να επιτευχθεί με τη φύτευση δέντρων στα οικιστικά περιβάλλοντα, καθώς τα δέντρα αλλά και γενικότερα το “πράσινο” συμβάλλουν στη μείωση της ΑΘΝ μέσω της εξατμισοδιαπνοής (evapotranspiration) (Akbari et al., 2001). Ακόμη, τα δέντρα έχουν άμεση επίδραση στη μείωση της θερμοκρασίας, καθώς απορροφούν το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Όσο ο πληθυσμός των ανθρώπων αυξάνεται στα αστικά κέντρα, ανάλογα αυξάνεται και η εκπομπή

του CO₂ σε αυτά, το οποίο συμβάλει στην αύξηση της θερμοκρασίας τους μέσω του θερμοκηπικού φαινομένου (Nuruzzaman, 2015).

4. **Ορθός σχεδιασμός πόλεων (urban planning):** Ζωτικής σημασίας είναι και ο σωστός πολεοδομικός σχεδιασμός για τη μείωση της έντασης της ΑΘΝ. Ο Yamamoto (2006), πρότεινε τη κατασκευή των κτηρίων, όσο το δυνατόν γίνεται πιο κοντά και εφόσον υπάρχουν, σε ποταμούς μικρής ροής, ώστε να είναι δυνατό ο δροσερός αέρας να πνέει από τον ποταμό προς τη πόλη με αποτέλεσμα την μείωση του φαινομένου. Χρειάζεται τα κτήρια να είναι σχεδιασμένα με τέτοιο τρόπο, ώστε να επηρεάζουν το δυνατό λιγότερο τη ροή του αέρα εντός του αστικού ιστού, για να μειώνεται η θερμοκρασία του.



Εικόνα 3.5: Τρόποι αντιμετώπισης και στρατηγικές μετριασμού του φαινομένου της ΑΘΝ. Πηγή: Urban Heat Island: Causes, effects and mitigation measures-A review, Md Nuruzzaman, Curtin University, 2015.

3.6. Υπολογισμός του φαινομένου ΑΘΝ

Όπως είχε αναφερθεί και παραπάνω, με βάση τον Parlow et al., (2014), για τη μέτρηση και τον υπολογισμό της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ, χρησιμοποιούνται τόσο η θερμοκρασία του αέρα σε ύψος 2 m από την επιφάνεια του εδάφους μέσω μετεωρολογικών σταθμών (ΑΘΝ ατμόσφαιρας), όσο και θερμικά υπέρυθρα δεδομένα μέσω αισθητήρων με βάση τη μέθοδο της τηλεπισκόπησης (ΑΘΝ επιφάνειας). Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας μπορεί να ποσοτικοποιηθεί με βάση τη μέγιστη διαφορά μεταξύ αστικής θερμοκρασίας και της αντίστοιχης στην αγροτική/ύπαιθρο περιοχή, το οποίο ορίζεται ως ένταση της ΑΘΝ (intensity of UHI ή UHI) (Oke, 1987). Ο μαθηματικός τύπος που δίνει την ένταση της ΑΘΝ είναι ο ακόλουθος:

$$\Delta T_{\max} = (T_{\text{urban}} - T_{\text{rural}})_{\max}, \text{ σε } ^\circ\text{C}$$

Η ένταση της ΑΘΝ εξαρτάται άμεσα από το μέγεθος και τον πληθυσμό του αστικού κέντρου, τη βιομηχανική δραστηριότητα αλλά και τη γενικότερη ανάπτυξη της πόλης, τα υλικά επιφάνειας και τη τοπογραφία, καθώς και το γενικό κλίμα της περιοχής σε συνδυασμό με τις μετεωρολογικές συνθήκες (Assimakopoulos et al., 2006). Με βάση τον Santamouris et al., (1999) τα αποτελέσματα της ΑΘΝ εμφανίζονται τόσο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού όσο και κατά το χειμώνα, με μέση ημερήσια ένταση που κυμαίνεται μεταξύ 6 °C έως 12 °C για τη κύρια κεντρική περιοχή. Συγκεκριμένα στο στρώμα του θόλου (canopy layer) όπως ονομάζεται, το οποίο και οριοθετείται κάτω από τη κορυφή των δέντρων και των κτηρίων, ο αστικός αέρας μπορεί να είναι περίπου 6 °C θερμότερος από τον αέρα της υπαίθριας περιοχής (Gartland, 2008). Επίσης, ο Oke (1982) υποστηρίζει ότι υπό κατάλληλες συνθήκες που ευνοούν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, η ένταση της μπορεί να φτάσει ακόμη έως 10 °C έως 15 °C. Ακόμη τις ζεστές ηλιόλουστες καλοκαιρινές ημέρες, ο ήλιος θερμαίνει τις ξηρές, εκτεθειμένες και αδιαπέραστες αστικές επιφάνειες, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία πολλών απ αυτές να γίνεται 27 °C με 50 °C θερμότερες από το ατμοσφαιρικό αέρα, ενώ οι σκιασμένες ή υγρές επιφάνειες (που απαντώνται συνήθως σε αγροτικό περιβάλλον) να παραμένουν κοντά στη θερμοκρασία του ατμοσφαιρικού αέρα (Berdahl and Bretz, 1997).

Σύμφωνα ξανά με τον Oke (1987), το ανώτερο σημείο έντασης της θερμνησίδας λαμβάνει χώρα 3 με 5 ώρες έπειτα από τη δύση του ηλίου, αν και ορισμένες φορές μπορεί να καθυστερεί και μέχρι το ξημέρωμα (Gartland, 2008). Ο Lowry (1977), κάνει ορισμένες παρατηρήσεις για τη μέτρηση της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ, οι οποίες πρέπει να τηρούνται ώστε να μελετηθεί σωστά και είναι οι ακόλουθες (Τζαβαλή, 2015):

A) Τόσο οι αστικοί όσο και οι αγροτικοί σταθμοί θα οφείλουν να βρίσκονται στην ίδια απόσταση από διαφορετικά καιρικά φαινόμενα.

B) Η επίδραση του τοπίου τόσο στον αστικό σταθμό όσο και στον αγροτικό/υπαίθριο, να είναι η ελάχιστη δυνατή.

Γ) Ο αγροτικός σταθμός δεν πρέπει να περιέχει κανένα αστικό στοιχείο.

Πρόσθετα, η ένταση της ΑΘΝ μπορεί να οριστεί και να υπολογιστεί ως η μεταβολή της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια του χρόνου (Τζαβαλή, 2015). Ως χρονικό διάστημα μπορεί να αποτελεί μήνες, ημέρες αλλά και ένας χρόνος. Σύμφωνα με τον Velazquez-Lozada et al., (2006), μπορεί να προσδιοριστεί με βάση τη σύγκριση της μέσης και της μέγιστης θερμοκρασίας μεταξύ αστικών και αγροτικών/υπαίθριων περιοχών αναφερόμενη ως μέση και μέγιστη ένταση ΑΘΝ αντιστοίχως. Ακόμη όμως, έχουν γίνει και μελέτες που εστιάζουν στην ωριαία αξιολόγηση της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ αστικής και υπαίθριας περιοχής, όπου στη διεθνή βιβλιογραφία ονομάζεται ως Urban Thermal Signal (UTS) (Oliveira et al., 2021)

3.7. Το φαινόμενο της ΑΘΝ σε παγκόσμια κλίμακα

Με όσα κατέστησαν γνωστά παραπάνω, απορρέει το συμπέρασμα ότι το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας κατέχει σημαντικό ρόλο για το μικροκλίμα των αστικών κέντρων και κατά συνέπεια για την κλιματική αλλαγή του πλανήτη. Είναι λοιπόν μείζονος σημασίας, να γίνει μία καταγραφή του φαινομένου σε παγκόσμια κλίμακα και να δειχθούν οι παράμετροι και τα ευρήματα ανά ήπειρο, με βάση μελέτες που διεξήχθησαν στο παρελθόν. Παρακάτω παρατίθενται ορισμένα ενδεικτικά παραδείγματα ανά ήπειρο.

3.7.1. ΑΘΝ στην Αμερική

Ο Karl et al., (1988) μελέτησε τη σχέση που υπάρχει μεταξύ της αστικοποίησης και του κλίματος στις Ηνωμένες Πολιτείες της Αμερικής και κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η αστικοποίηση έχει επηρεάσει εμφανώς τα κλιματικά δεδομένα ακόμη και μικρών πόλεων των ΗΠΑ. Μελετώντας τους μηνιαίους μέσους όρους θερμοκρασίας, αλλά και μέσους όρους μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας για ένα δίκτυο 1219 σταθμών, η μέση ετήσια θερμοκρασία βρέθηκε ότι είναι μεγαλύτερη κατά 0,11 °C σε αστικά κέντρα 10.000 κατοίκων, 0,32 °C σε αστικά κέντρα 100.000 κατοίκων και τέλος 0,91 °C σε αστικά κέντρα 1.000.000 κατοίκων (Tzavali et al., 2015). Ακόμη ο Jones et al., (1990), διαπίστωσε ότι η επίδραση της αστικοποίησης στη θερμοκρασία συναρτίζεται του χρόνου, ήταν 0,05 °C ανά 100 χρόνια για μεγάλο μέρος του βορείου ημισφαιρίου (Βόρεια Αμερική).

Ο Stone (2007), ο οποίος βασίστηκε στις έρευνες του Hansen et al., (2001) και Peterson (2003), μελέτησε δεδομένα θερμοκρασιών από αστικούς και υπαίθριους μετεωρολογικούς σταθμούς επιφανείας για 50 μητροπολιτικές περιοχές των ΗΠΑ. Με βάση αυτά, ανέλυσε τον μέσο δεκαετή ρυθμό μεταβολής στις αστικές και στις αγροτικές θερμοκρασίες, αλλά ακόμη και στην ένταση της ΑΘΝ σε μεγάλες πόλεις των ΗΠΑ για περίπου πέντε δεκαετίες (1951-2000). Η μέση δεκαετής διαφορά μεταξύ αστικών και υπαίθριων θερμοκρασιών ήταν 0,05 °C ανά δεκαετία. Επίσης για την ίδια χρονοσειρά σε 29 πόλεις των ΗΠΑ, ο ρυθμός αύξησης θερμοκρασίας αγροτικών περιοχών ήταν 0,12 °C ανά δεκαετία σε αντίθεση με τον ρυθμό αύξησης των αστικών κέντρων που άγγιζε τους 0,31 °C ανά δεκαετία, αποδίδοντας με αυτό τον τρόπο ένα μέσο δεκαετή ρυθμό αύξησης στην ένταση της ΑΘΝ (Tzavali et al., 2015).

Πιο συγκεκριμένα, οι Winkler et al., (1981) ανέλυσαν χωρικά το φαινόμενο της ΑΘΝ για την πόλη της Minnesota (Minneapolis-St Paul) στο Midwest των ΗΠΑ, χρησιμοποιώντας προσαρμοσμένα αλλά και μη προσαρμοσμένα δεδομένα από 21 μετεωρολογικούς σταθμούς σε έκταση 18000 km², για τη χρονοσειρά 1967-1976. Σύμφωνα με την μελέτη τους, η μέση ετήσια διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ αστικής και αγροτικής περιοχής ήταν 0,5 °C (με βάση τα μη προσαρμοσμένα δεδομένα) ενώ ήταν 1 °C (με βάση τα προσαρμοσμένα δεδομένα). Επίσης ο Todhunter (1996), μελέτησε για την ίδια πόλη και για τη 40ετή χρονοσειρά 1950-1990, τη μέση ένταση της ΑΘΝ και τη βρήκε 2,1 °C, αντλώντας δεδομένα από το National Weather Service (NWS), από τον τοπικό πανεπιστημιακό σταθμό, από ένα συνεταιρικό δίκτυο σταθμών και 13 μετεωρολογικούς σταθμούς με μέγιστη διαφορά μεταξύ δύο σταθμών να είναι 119 μέτρα (σύνολο 26 σταθμοί) (Tzavali et al., 2015).

Ο Comrie (2000), μελέτησε και ανέλυσε την ένταση του φαινομένου για την πόλη Tucson της Αριζόνα, η οποία γνώρισε μεγάλη ακμή τις τελευταίες δεκαετίες. Για το λόγο αυτό επιτεύχθηκε

σύγκριση χρονολογικών σειρών μεταξύ αστικής και αγροτικής θερμοκρασίας. Το συμπέρασμα ήταν ότι η ένταση της ΑΘΝ στη Tucson ήταν 0,2 °C ανά δεκαετία τα τελευταία τριάντα χρόνια, ξεκινώντας από το 1969 και καταλήγοντας στο 1998. Η μέση ετήσια τάση θέρμανσης του αστικού κέντρου ήταν 0,071 °C ανά έτος με το "ισχυρότερο" αποτέλεσμα τον Μάρτιο και το πιο "αδύναμο" τον Νοέμβριο (Tzavali et al., 2015).

Ο Golden (2004), μελέτησε και αυτός με τη σειρά του το φαινόμενο της ΑΘΝ για το Phoenix της Αριζόνα, συμπεραίνοντας προφανώς ότι οι θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια της ημέρας μεταξύ του αστικού κέντρου και του υπαίθριου περιβάλλοντος, επηρεάζονται άμεσα από την αστικοποίηση και την κατασκευή νέων κτηρίων στον αστικό ιστό του Phoenix (Balling and Brazel, 1989). Βρέθηκε ότι το αστικό μέρος είχε υψηλότερη μέγιστη, ελάχιστη αλλά και μέση θερμοκρασία και ότι επίσης τον 20ο αιώνα, οι μέσες ετήσιες θερμοκρασίες στο Phoenix είχαν αυξηθεί κατά 3,1 °C, γεγονός το οποίο όξυνε την ένταση της ΑΘΝ (Brazel et al., 2000).

Τέλος οι Magge et al., (1999), χρησιμοποιώντας δεδομένα από δύο μετεωρολογικούς σταθμούς στο Fairbanks της Αλάσκα, διαπίστωσαν ότι η ένταση της ΑΘΝ αυξήθηκε κατά 0,4 °C σε μέση ετήσια κλίμακα για τη περίοδο 49 ετών και συγκεκριμένα για τη χρονοσειρά 1949-1997. Στους χειμερινούς μήνες, παρουσιάστηκε μια πιο σημαντική αύξηση στην ένταση της ΑΘΝ της τάξης του 1 °C, κυρίως λόγω των επιφανειακών αναστροφών θερμοκρασίας που είναι συχνές κατά τη χειμερινή περίοδο του κάθε έτους (Tzavali et al., 2015).

Εν κατακλείδι, συνολικά μπορεί να επιβεβαιωθεί ότι υπάρχουν διαφορετικές τάσεις (trends) θερμοκρασίας μεταξύ αστικών κέντρων και υπαίθριων χώρων στις ΗΠΑ, με την ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ να συνδέεται με τον πληθυσμό και τις διαστάσεις κάθε πόλης (Tzavali et al., 2015).

3.7.2. ΑΘΝ στην Ασία

Μία από τις ενδιαφέρουσες περιπτώσεις του φαινομένου της ΑΘΝ στην Ασία, είναι η πόλη Kuala Lumpur της Μαλαισίας. Η πρώτη μελέτη που διερευνήθηκε για την εύρεση του φαινομένου στη πόλη της Kuala Lumpur ήταν από τον Sham το 1973 (Elsayed, 2012), όταν κατάλαβε ότι οι θερμοκρασίες ήταν υψηλότερες στις κεντρικές περιοχές της πόλης σε σύγκριση με τις γύρω αγροτικές περιοχές. Σε μία από τις πρόσφατες μελέτες που διεξήχθησαν, ο Ahmed et al., (2015) μελέτησε τη συμπεριφορά της επιφανειακής θερμοκρασίας και συνεπώς τις επιπτώσεις της έντασης του φαινομένου (Aflaki et al., 2017). Τα αποτελέσματα έδειξαν μια μέση ένταση της ΑΘΝ της τάξης των 2 °C κατά τη διάρκεια της

νύχτας (Aflaki et al., 2017). Στη συνέχεια οι Morris et al., (2015), πραγματοποίησαν μία μελέτη για την εύρεση της έντασης της ΑΘΝ στη πόλη Putrajaya της Μαλαισίας, η οποία βρίσκεται 25 km μακριά από τη Kuala Lumpur. Ανέπτυξαν ένα αριθμητικό μοντέλο μέσης κλίμακας για μετεωρολογική πρόγνωση και έρευνα (WRF, Weather Research and Forecasting) και ένα μοντέλο επιφανείας (Noah land surface), με τα αποτελέσματα αυτών να δείχνουν ότι η ένταση της ΑΘΝ διέφερε χρονικά και χωρικά, αυξάνοντας κατά τη διάρκεια της νύχτας σε μέγιστη τιμή 3,1 °C και στη συνέχεια μειώνεται το πρωί (Aflaki et al., 2017). Τέλος, μία ακόμη έρευνα διεξήχθη για τη πόλη Muar της Μαλαισίας, από τους Rajagopalan et al. (2014), που βρίσκεται σε απόσταση περίπου 180 km από τη Kuala Lumpur και είναι ευρέως γνωστή ως μία εκ των πιο αναπτυσσόμενων πόλεων του νότιου τμήματος της Μαλαισίας. Λόγω της αστικής γεωμετρίας της εμποδίζεται η ροή ανέμου, με αποτέλεσμα η μέση ένταση της ΑΘΝ στο κέντρο της πόλης να είναι 4 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 3,2 °C τη νύχτα (Aflaki et al., 2017).

Ενδιαφέρουσες μελέτες όμως έχουν πραγματοποιηθεί και για τη Singapore. Οι Jusuf et al., (2007), χρησιμοποιώντας δεδομένα από μεθόδους τηλεπισκόπησης αλλά και από το σύστημα γεωγραφικών πληροφοριών, ώστε να δημιουργήσουν μια ολοκληρωμένη εικόνα του αστικού κέντρου. Βρήκαν από τα αποτελέσματα τους ότι η θερμοκρασία του αστικού κέντρου και άρα η ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ στη περιοχή, επηρεάζεται άμεσα από τον τρόπο χρήσης της αστικής γης. Το γεγονός αυτό έρχεται να επαληθευτεί από τους Priyardashini and Wong (2007), που κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι σε εμπορικές περιοχές με έντονη κινητικότητα και παρουσία κατοίκων, η θερμοκρασία του τη διάρκεια της νύχτας αυξήθηκε κατά 2 °C. Από την άλλη πλευρά, οι Chow et al. (2016) εξέτασαν τη χρονική μεταβλητότητα του στρώματος θόλου (canopy layer, βλ. 3.6) της Singapore για διαφορετικές χρονικές κλίμακες βάσει παρατηρήσεων κατά τη διάρκεια μια περιόδου ενός έτους. Τα δεδομένα θερμοκρασίας αποκτήθηκαν κυρίως από την κεντρική εμπορική περιοχή (Central Business District, CBD) της Singapore, που είναι συγκρότημα υψηλών κτηρίων, και συγκρίθηκαν με θερμοκρασιακά δεδομένα υπαίθριων περιοχών. Διαπιστώθηκε ότι οι υψηλότερες εντάσεις ΑΘΝ εμφανίστηκαν κατά τη περίοδο των νοτιοδυτικών μουσώνων Μαΐου-Αυγούστου, με μέγιστο περίπου 7 °C, που παρατηρείται κυρίως στην εμπορική περιοχή υπό μετεωρολογικές συνθήκες που ευνοούν το φαινόμενο (Aflaki et al., 2017).

Ακόμη ένα σημαντικό και χαρακτηριστικό παράδειγμα για την Ασία αποτελεί η Κίνα. Πιο συγκεκριμένα, οι Li et al. (2012) μελέτησαν ως προς το φαινόμενο της ΑΘΝ, τη Shanghai που αποτελεί τη μεγαλύτερη πόλη της Κίνας. Κατά τη διάρκεια της ερευνητικής περιόδου από το 1997 έως και το 2008 η πόλη παρουσίασε μια άνευ προηγουμένου αστική ανάπτυξη. Υπήρξε απώλεια καλλιεργήσιμων εκτάσεων, δασών και θάμνων για τη δημιουργία χτισμένης/κατοικήσιμης έκτασης. Η κατοικήσιμη έκταση αυξήθηκε κατά 219,5%, ενώ οι καλλιεργήσιμες και πράσινες εκτάσεις

μειωθήκαν στο 50,5 % και 20,9 % αντίστοιχα. Η μέση ένταση της ΑΘΝ, μεταξύ αστικού κέντρου και υπαίθρου, είχε μέγιστο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού και ύστερα ακολουθούσε η άνοιξη (Tzavali et al., 2015). Επίσης οι Deng et al. (2002) ανέλυσαν τα χαρακτηριστικά της ΑΘΝ στη Shanghai, χρησιμοποιώντας δεδομένα θερμοκρασίας διαστήματος 30 λεπτών από έξι αυτόματους σταθμούς εγκατεστημένους στο αστικό δίκτυο της πόλης από τον Δεκέμβριο του 1997 έως τον Μάρτιο του 1999. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συχνότητα εμφάνισης της ΑΘΝ στη Shanghai ήταν 87,8% και ο μηνιαίος μέσος όρος έντασης της ΑΘΝ ήταν 0,8 °C. Η μέση ένταση εμφανίστηκε ισχυρότερη τη νύχτα και κατά τη διάρκεια του φθινοπώρου (Tzavali et al., 2015).

Ένα αξιοσημείωτο επεισόδιο ΑΘΝ παρατηρήθηκε κατά τη περίοδο ενός καύσωνα και συγκεκριμένα από 25 Ιουλίου μέχρι 1^η Αυγούστου 2007, στη Suzhou της Κίνας, μιας ταχέως αναπτυσσόμενης πόλης (Ning et al., 2011). Οι παρατηρήσεις επίγειων μετεωρολογικών σταθμών αλλά και δορυφορικών, μέσω MODIS, απέδειξαν ότι το μέγιστο της έντασης της ΑΘΝ είχε πολύ μεγαλύτερο εύρος για αυτό το χρονικό διάστημα και κυμαινόταν από 0,1 °C έως 2,2 °C σε σύγκριση με το εύρος του μέσου όρου έντασης του καλοκαιριού, που κυμαινόταν με τη σειρά του από 0,4 °C έως 1 °C (Tzavali et al., 2015).

Τέλος οι Kim and Baik (2005) διερεύνησαν τη περίπτωση της Seoul της Κορέας, αντλώντας θερμοκρασιακά δεδομένα κοντά στην επιφάνεια του εδάφους από 31 αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς για τη περίοδο ενός έτους (2001-2002). Διαπιστώθηκε ότι το φαινόμενο ήταν ισχυρότερο τη νύχτα απ ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας, καθώς μειωνόταν από τη νεφοκάλυψη και τη ταχύτητα των ανέμων (Tzavali et al., 2015). Ο μέσος όρος του μεγίστου της έντασης ήταν 2,2 °C σε αυτή τη χρονική περίοδο.

3.7.3. ΑΘΝ στην Αυστραλία

Ο Morris και Simmonds (2000), μελέτησαν την εμφάνιση του φαινομένου της ΑΘΝ στην Αυστραλία και συγκεκριμένα στη πόλη της Melbourne. Με βάση τα αποτελέσματα τους, έδειξαν ότι η ένταση του κυμαινόταν από ένα μέσο όρο 2 °C έως 4 °C με ημερήσια μέγιστα έως και 7 °C, ανάλογα πάντα με τις συνθήκες που επικρατούσαν αλλά και την ώρα. Για το έτος 1992, καταγράφηκε μέγιστη ένταση 7,1 °C κατά τη διάρκεια μιας νύχτας, συγκρίνοντας δεδομένα θερμοκρασιών μεταξύ κεντρικής εμπορικής περιοχής της Melbourne και της υπαίθρου (Coutts et al., 2007). Με βάση τον Coutts et al. (2009), διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές στην διαδικασία της εξατμισοδιαπνοής

(evapotranspiration) μεταξύ του κέντρου της Melbourne και τον γύρω υπαίθριων περιοχών που επηρεάζουν άμεσα την ένταση της ΑΘΝ.

Επίσης, μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και για τη πόλη του Sydney. Οι Sharifi και Lehmann (2014), υποστηρίζουν ότι το Sydney βιώνει έντονα την επίδραση της ΑΘΝ λόγω των πολυάριθμων έργων αστικής ανάπτυξης, αλλά και σε συνδυασμό με την αλλαγή του κλίματος του πλανήτη. Συνήχθη το συμπέρασμα σύμφωνα με τους Argueso et al. (2014), ότι μέχρι το έτος 2050 για το Sydney, ο συνδυασμός μεταξύ υπερθέρμανσης του πλανήτη (global warming) και της έντασης της ΑΘΝ, θα αυξήσει τη μέση θερμοκρασία του περίπου στους 3,7 °C (Tzavali et al., 2015).

3.7.4 ΑΘΝ στην Αφρική

Ο Goldreich (1992), έστρεψε τη προσοχή του στη μελέτη του φαινομένου για την Αφρική και ειδικότερα στη πόλη του Johannesburg (Νότια Αφρική). Τα δεδομένα της έρευνας του συλλέχθηκαν από μία κινητή μονάδα κατά τη περίοδο 1966-1967 και αφορούσαν τη θερμοκρασία κατά τη διάρκεια του μεσημεριού και πρωινές ώρες κοντά στην αυγή, καθώς και τις τιμές υγρασίας (Tzavali et al., 2015). Τα ευρήματα έδειξαν ότι κατά τη διάρκεια ισχυρής αναστροφής κυρίως τις χειμωνιάτικες νύχτες (ξηρή περίοδος), επικράτησαν ισχυρές εντάσεις ΑΘΝ καθώς το κέντρο της πόλης σε ορισμένες επιπτώσεις ήταν θερμότερο κατά 11 °C σε σχέση με τις βόρειες προαστιακές κοιλάδες (Tzavali et al., 2015).

Ακόμη μία ενδιαφέρουσα περίπτωση ΑΘΝ υπήρξε και το Cairo της Αιγύπτου, όπου ο Robaa (2003) μελέτησε το φαινόμενο για τη περίοδο 1995 έως 2000, αντλώντας δεδομένα από 3 μετεωρολογικούς σταθμούς. Ανακάλυψε ότι η ατμόσφαιρα του αστικού κέντρου ήταν πιο ξηρή ανά έτος σε σχέση με τα προάστια, και ακόμη ότι κατά τα απογεύματα η ατμόσφαιρα στις αστικές περιοχές υπήρξε πιο υγρή σε σχέση με αυτά. Τέλος, για την ίδια χρονική περίοδο σημείωσε ότι κατά τη διάρκεια της ψυχρής περιόδου (δηλαδή Οκτώβριο έως Ιανουάριο) η ένταση της ΑΘΝ ήταν περίπου 1 °C, ενώ από τον Φεβρουάριο έως τον Σεπτέμβριο (εκτός Μαΐου) η αστική περιοχή ήταν πιο ξηρή από την αγροτική και ο μηνιαίος μέσος όρος έντασης κυμαινόταν από 1 °C έως 2,2 °C (Tzavali et al., 2015).

Τέλος, ως προς το φαινόμενο της ΑΘΝ εξετάστηκε και η Κένυα και ειδικότερα η πρωτεύουσά της το Nairobi. Οι Makokha και Shisanya (2010), συνέλλεξαν δεδομένα θερμοκρασίας επιφανειακού αέρα για το έτος 2007 και συγκεκριμένα για τους μήνες Φεβρουάριο/Μάρτιο, Απρίλιο/Μάιο, Ιούλιο/Αύγουστο και Οκτώβριο/Νοέμβριο. Στις εκάστοτε αυτές τέσσερις περιόδους, η θέρμανση

έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της ημέρας και η ψύξη κατά τη διάρκεια της νύχτας. Οι ρυθμοί θέρμανσης και ψύξης επηρεάστηκαν τόσο από τις συνθήκες που επικρατούσαν γύρω από το σταθμό όσο και από την εποχή. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές του ρυθμού ψύξης ήταν μεγαλύτερες από μία ώρα πριν έως τρεις ώρες μετά το ηλιοβασίλεμα και το μέγιστο ήταν $-1,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Από την άλλη πλευρά, οι τιμές του ρυθμού θέρμανσης ήταν μεγαλύτερες πέντε με εννέα ώρες πριν το ηλιοβασίλεμα με μέγιστο $2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Tzavali et al., 2015). Οι υψηλότεροι ρυθμοί ψύξης και θέρμανσης εξήγησαν την ανάπτυξη της ΑΘΝ.

3.7.5. ΑΘΝ στην Ευρώπη

Φυσικά το φαινόμενο της ΑΘΝ έχει απασχολήσει και την επιστημονική κοινότητα της Ευρώπης, μελετώντας το σε αρκετά μεγάλα αστικά κέντρα. Παρακάτω δίνονται ορισμένα χαρακτηριστικά παραδείγματα για μητροπόλεις της Ευρώπης ανά χώρα.

Για το Λονδίνο έγιναν μελέτες του φαινομένου από τους Chandler (1965) και Landsberg (1981), από τα μέσα της δεκαετίας του 1960 έως και τις αρχές της δεκαετίας του 1980 και ανέδειξαν τη παρουσία έντασης της ΑΘΝ από $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια της νύχτας (Tzavali et al., 2015). Οι Watkins et al. (2002) αντλώντας και αναλύοντας τα δεδομένα από ένα σύνολο οκτώ σταθερών τοποθεσιών κατά τη περίοδο του καλοκαιριού του 1999, βρήκαν ότι η μέση ένταση της ΑΘΝ στο Λονδίνο για εκείνη τη περίοδο ήταν $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια της ημέρας και $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ κατά τη διάρκεια της νύχτας. Γενικά, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι το Λονδίνο στη διάρκεια του καλοκαιριού το έτος 1999, ήταν θερμότερο κατά $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ σε σχέση με τις υπαίθριες αγροτικές περιοχές για περίπου 15% στη διάρκεια της ημέρας (in daytime) και 58% στη διάρκεια της νύχτας (in nighttime). Από τη παραπάνω έρευνα, γίνεται σαφές ότι το φαινόμενο της ΑΘΝ στο Λονδίνο είναι κυρίως ένα νυχτερινό φαινόμενο με μέσες διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών περίπου $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ μετά τις 11 πμ και ανέρχονται στους $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ έως $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ κοντά στις 19 μμ (Tzavali et al., 2015).

Επίσης, και στη Σκωτία έχει ερευνηθεί το φαινόμενο και ειδικότερα στη μεγαλύτερη πόλη της, τη Γλασκώβη. Οι Kruger και Emmanuel (2013), μελέτησαν τις διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ αστικού και αγροτικού περιβάλλοντος, λαμβάνοντας δεδομένα από ένα σύνολο μετεωρολογικών σταθμών που κατέγραφαν τη θερμοκρασία αλλά και τη σχετική υγρασία ανά 5 λεπτά, από 26 Φεβρουαρίου 2011 έως 9 Σεπτεμβρίου 2011. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η νυχτερινή ένταση της ΑΘΝ μπορεί να

κυμαίνεται μεταξύ 2,9 °C έως 3,9 °C, με την υψηλότερη τιμή να επιτυγχάνεται υπό συνθήκες καθαρού, ανέφελου ουρανού.

Αρκετές μελέτες του φαινομένου έχουν πραγματοποιηθεί και σε ένα από τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Ευρώπης, το Παρίσι. Οι de Munck et al. (2013), προσομοίωσαν τις μετεωρολογικές συνθήκες του καύσωνα που επικράτησε στην Ευρώπη το καλοκαίρι του 2003, καθώς εκτιμάται ότι είναι αντιπροσωπευτικός για τη μέση θερμοκρασία όλων των καλοκαιριών του δεύτερου μισού του 21^{ου} αιώνα (Tzavali et al., 2015). Η ένταση της ΑΘΝ που παρατηρήθηκε στο κέντρο του Παρισιού, χαρακτηρίζεται από θερμοκρασίες 8 °C υψηλότερες απ ότι στην επαρχία, γεγονός που οφείλεται στην αύξηση του αστικού πληθυσμού. Συνεπώς κατά τη διάρκεια ενός παρόμοιου καύσωνα, όπως αυτός του 2003, θα αποφέρει μεγαλύτερη ανάγκη ψύξης των κτηρίων του Παρισιού και άρα λόγω της χρήσης των κλιματιστικών μέσων (Air Conditioning) μπορεί να αυξηθεί η θερμοκρασία του αέρα. Προφανώς αυτό θα έχει ως αποτέλεσμα την ενίσχυση της έντασης του ΑΘΝ.

Ο Bohm (1998), χρησιμοποίησε δεδομένα από τρεις αστικές γειτονίες, τρεις προαστιακούς σταθμούς αλλά και από τρεις αγροτικούς / υπαίθριους, ώστε να μελετήσει το φαινόμενο στη πρωτεύουσα της Αυστρίας, τη Βιέννη κατά τη διάρκεια 1951-1995. Συνήχθη το συμπέρασμα ότι η ένταση της ΑΘΝ επηρεάστηκε από το τοπικό περιβάλλον των αστικών γειτονιών (κτήρια, μετεωρολογικές συνθήκες) και κυμαινόταν από 0,2 °C έως 1,6 °C. Επίσης η μέση ένταση της ΑΘΝ ήταν μεγαλύτερη το χειμώνα (Tzavali et al., 2015).

Ακόμη, οι Montavez et al. (2000) μελέτησαν την ΑΘΝ για τη πόλη της Γρανάδα στην Ισπανία. Χρησιμοποίησαν τέσσερις πηγές δεδομένων (ετήσια σειρά θερμοκρασιών του παρατηρητηρίου της Cartuja, θερμοκρασιακά δεδομένα του αστικού δικτύου σταθμών της Ανδαλουσίας, του στρατιωτικού αεροδρομίου της Armilla και στιγμιαία δεδομένα θερμοκρασίας 84 σημείων γύρω από τη πόλη τη Γρανάδα), ώστε να ερευνήσουν το φαινόμενο κατά τη χρονοσειρά 1901 έως 1990, συγκρίνοντας τις διαφορές μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών. Συνειδητοποίησαν ότι η ένταση της ΑΘΝ ήταν ισχυρότερη στη διάρκεια του χειμώνα (πάνω από 3°C έως 7°C), με τη μέγιστη διαφορά να παρατηρείται νωρίς το πρωί. Η εξέταση των δεδομένων ανέδειξε την εξάρτηση της ΑΘΝ από της μετεωρολογικές συνθήκες, την αστική γεωμετρία της Γρανάδα καθώς και τη χρονική κλίμακα (Tzavali et al., 2015).

Το φαινόμενο της ΑΘΝ έχει μελετηθεί κατά καιρούς και στην Ιταλία. Οι Cellura et al. (2011), μελέτησαν το φαινόμενο το έτος 2008 στη πόλη του Παλέρμο, αντλώντας δεδομένα από το δίκτυο του τμήματος Ενεργειακών και Περιβαλλοντικών Ερευνών του πανεπιστημίου του Παλέρμο. Ποσοτικοποίησαν κατά μέσο όρο την ένταση του και βρήκαν ότι ήταν περίπου 3 °C κατά τη διάρκεια της νύχτας και 2 °C κατά τη διάρκεια της ημέρας. Επίσης, και στη πόλη της Πάντοβα

(Padua) στη βόρεια Ιταλία, οι Busato et al. (2014) μελέτησαν την ΑΘΝ για τη περίοδο 2010-2011, με βάση δεδομένα από σταθερούς μετεωρολογικούς σταθμούς (τουλάχιστον δύο, σε αστική και αγροτική ζώνες). Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η μέση ετήσια θερμοκρασία του αστικού μετεωρολογικού σταθμού ήταν 0,5 °C υψηλότερη από την μέση αγροτική και ότι η ΑΘΝ στη πόλη της Πάντοβα, είναι κυρίως καλοκαιρινό και συνάμα νυχτερινό φαινόμενο. Τέλος, η έντασή της κυμαινόταν από 1 °C έως 7 °C κατά τη διάρκεια του διαστήματος 9 με 12 μμ, ενώ περίπου από 0 °C έως 2 °C στη διάρκεια της ημέρας (Tzavali et al., 2015).

Όσον αφορά τη Γερμανία και το φαινόμενο της ΑΘΝ, οι Schlunzen et al. (2010) διερεύνησαν το φαινόμενο στη πόλη του Αμβούργου για τη χρονοσειρά 1891-2007, αντλώντας τα δεδομένα τους από το δίκτυο HH-Fuhlsbüttel του Αμβούργου και επιπλέον από 45 κλιματικούς σταθμούς. Η ανάλυσή τους έδειξε ότι η μέση θερμοκρασία της πόλης αυξήθηκε κατά 0,07 °C/δεκαετία από το 1891 έως το 2007, 0,19 °C/δεκαετία από το 1948 έως το 2007 και τέλος 0,6 °C/δεκαετία από το 1978 έως το 2007 αποδεικνύοντας με αυτό τον τρόπο την επιταχυνόμενη αύξηση της μέσης θερμοκρασίας. Η μέση τιμή της έντασης της ΑΘΝ ήταν 1,1 °C (Tzavali et al., 2015). Οι θερμοκρασίες του χειμώνα ήταν υψηλότερες σε όλη την αστική περιοχή του Αμβούργου σε σχέση με την ύπαιθρο (Schlunzen et al., 2010).

Οι Bottyan et al. (2005) εξέτασαν την επίδραση της ΑΘΝ στη πόλη Debrecen της Ουγγαρίας. Χρησιμοποίησαν δεδομένα μετεωρολογικών σταθμών για τη διάρκεια ενός έτους, από τον Μάρτιο 2002 έως τον Μάρτιο 2003. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν ότι η μέση μέγιστη τιμή της έντασης ήταν λίγο μεγαλύτερη από 2 °C κατά τη περίοδο του θέρμανσης (καλοκαιριού), και 2,5 °C κατά τη περίοδο μη θέρμανσης (χειμώνας) (Tzavali et al., 2015).

Τέλος, μελέτες έχουν πραγματοποιηθεί και για τη Μόσχα στη Ρωσία. Σύμφωνα με τον Lokoshchenko (2014), η μέση ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ ήταν 1 °C έως 2 °C κατά τον 20^ο αιώνα, με βάση το επίγειο μετεωρολογικό δίκτυο. Λόγω της έντονης ανάπτυξης της Μόσχας και της μεγάλης αστικοποίησής της, η θερμοκρασία του αέρα κατά μέσο όρο αυξήθηκε περίπου 2,5°C με 3 °C στο κέντρο της, ενώ 2 °C με 2,5 °C στις γύρω αγροτικές ζώνες κατά τη διάρκεια 110 χρόνων πριν το 1997 (Tzavali et al., 2015). Η μέση ένταση της ΑΘΝ στη Μόσχα είναι κατά κανόνα υψηλότερη τη διάρκεια της νύχτας (από αργά το βράδυ έως νωρίς το πρωί) και επίσης μεγαλύτερη κατά τον χειμώνα απ ότι το καλοκαίρι. Η μέγιστη τιμή της έχει παρατηρηθεί κοντά στους 14 °C κάτω από κατάλληλες ισχυρές αντικυκλωνικές συνθήκες που βοηθούν την ανάπτυξη του φαινομένου. Ακόμη, η ΑΘΝ στη Μόσχα φαίνεται να έχει θετικό αντίκτυπο στην πολική ζώνη σε μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, καθώς έχει παρατηρηθεί μείωση της ποσότητας καυσίμου που χρησιμοποιείται για τη θέρμανση των εκεί αστικών κέντρων τον χειμώνα (Tzavali et al., 2015).

3.8. Η εμφάνιση της ΑΘΝ στην Ελλάδα

3.8.1. Περιγραφή κλίματος της Ελλάδας και τοπικού κλίματος Αθήνας και Θεσσαλονίκης

Αρχικά, πριν γνωστοποιηθεί η μελέτη για την εμφάνιση και την ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ στον ελλαδικό χώρο, χρήσιμο θα ήταν να πραγματοποιηθεί μια ανασκόπηση του κλίματος της Ελλάδας. Το κλίμα της Ελλάδας διαμορφώνεται με βάση τα μετεωρολογικά στοιχεία που επικρατούν σε αυτή, στο σύνολο των ετών και σε συνδυασμό με το ανάγλυφό της.

Η ελληνική περιοχή αποτελεί το νότιο άκρο της τρίτης χερσονήσου της Ευρώπης, της Βαλκανικής. Περιβάλλεται από τη Μεσόγειο με τα πελάγη Αιγαίο, Ιόνιο και Λιβυκό. Συγκεκριμένα το Αιγαίο πέλαγος χωρίζει και συγχρόνως ενώνει τον ελλαδικό χώρο με την Ασία. Κλιματικά, κατά τη χειμερινή περίοδο, η ελληνική περιοχή βρίσκεται πάνω από την επίδραση ενός βαρομετρικού λαιμού μεταξύ υψηλών της Σιβηρίας και των Αζορών, αφενός, και των χαμηλών του βόρειου Ατλαντικού και της βορειανατολικής Αφρικής αφετέρου (Φλόκας, 1992). Μερικά δευτερεύοντα κλιματικά χαμηλά στη περιοχή, είναι το αποτέλεσμα των κινούμενων υφέσεων και των κυκλογενετικών εστιών της Μεσογείου από τα δυτικά προς τα ανατολικά.

Ο ελλαδικός χώρος, καθώς βρίσκεται στην εύκρατη ζώνη, επηρεάζεται απ όλες σχεδόν τις κατηγορίες των αερίων μαζών. Από διάφορες ερευνητικές εργασίες, που ασχολούνται με τη κατάταξη και τη συχνότητα εμφάνισης των αερίων μαζών πάνω από τον ελληνικό χώρο, προκύπτει ότι επικρατέστερες είναι οι πολικές (Φλόκας, 1992). Επίσης, η θερμοκρασία του αέρα αποτελεί ένα από τα βασικότερα κλιματικά στοιχεία, γι αυτό πολλές κλιματικές κατατάξεις χρησιμοποιούν αυτή τη παράμετρο για τον καθορισμό του τύπου κλίματος μιας περιοχής. Ενδεικτικά, αξίζει να αναφερθεί ότι η μέση ελάχιστη τιμή της θερμοκρασίας του αέρα κυμαίνεται από 5,6 °C μέχρι 16,3 °C, ενώ η μέγιστη ετήσια από 17 °C μέχρι 24,5 °C, με τη μεγαλύτερη τιμή να φτάνει τους 47,2 °C και να σημειώνεται στα Τρίκαλα Θεσσαλίας τον Αύγουστο του έτους 1958 (Φλόκας, 1992). Ακόμη όμως, ένας ουσιαστικός παράγοντας που διαμορφώνει το κλίμα είναι και το σύνολο των κατακρημνισμάτων που επηρεάζεται αρκετά από το έντονο ανάγλυφο. Ο κύριος άξονας των ορεινών όγκων της Ελλάδας εκτείνεται από τον βορρά προς τον νότο, δηλαδή είναι κάθετος στη μέση διεύθυνση των τροχιών των υφέσεων της Μεσογείου, με αποτέλεσμα την ύπαρξη πλούσιων ζωνών σε βροχή, τις οποίες διαδέχονται άλλες ζώνες με μέτρια ή λίγα ατμοσφαιρικά κατακρημνίσματα. Οι μέσες τιμές του αριθμού των ημερών υετού παρουσιάζουν απλή κύμανση, με χειμερινό μέγιστο (Ιανουάριος) και θερινό ελάχιστο (Αύγουστος) (Φλόκας, 1992). Πιο συγκεκριμένα, έχουν πραγματοποιηθεί και τοπικές

μελέτες για το κλίμα των δύο μεγαλύτερων αστικών κέντρων της Ελλάδας, την Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη.

Αθήνα

Η Αθήνα αποτελεί τη πρωτεύουσα της Ελλάδας και τη πολυπληθέστερη πόλη της, με πληθυσμό που ανέρχεται κοντά στα 4 εκατομμύρια με βάση την Ευρωπαϊκή Στατική Υπηρεσία (Eurostat, 2019). Το πολεοδομικό συγκρότημα των Αθηνών απλώνεται στο λεκανοπέδιο της Αττικής, το οποίο περικλείεται από τα βουνά της Πάρνηθας, της Πεντέλης και του Υμηττού. Αρχικά, το τοπικό κλίμα της Αθήνας χαρακτηρίζεται ως μεσογειακό, με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και με υγρούς, ήπιους χειμώνες (Katsoulis, 1987). Η μέση ημερήσια θερμοκρασία του χειμώνα είναι περίπου 9,4 °C, ενώ για τους καλοκαιρινούς μήνες ο μέσος όρος της θερμοκρασίας είναι περίπου 25,8 °C, αν και η μέση ημερήσια μέγιστη θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη από 31 °C (Katsoulis, 1987). Κατά τεκμήριο, ο Ιούλιος και ο Αύγουστος είναι οι θερμότεροι μήνες του έτους ενώ ο Ιανουάριος και ο Φεβρουάριος οι ψυχρότεροι (Found, 2011). Οι περισσότερες βροχοπτώσεις (402 mm ετησίως) συμβαίνουν τον Οκτώβριο και τους χειμερινούς μήνες, όταν διέρχονται καιρικές διαταραχές βόρεια της πόλης, προκαλώντας με αυτό τον τρόπο ψυχρά και θερμά μέτωπα που σαρώνουν εναλλάξ την Αθήνα (Katsoulis, 1987).

Τέλος, η επικράτηση των ανέμων του βόρειου τομέα, οφείλεται στην ύπαρξη τοπικών καιρικών ιδιομορφιών που παρουσιάζει η ανατολική Μεσόγειος, με αποτέλεσμα τη δημιουργία των ισχυρών ανέμων, όπως ο ονομαζόμενος Μπόρα το χειμώνα και οι λεγόμενοι Ετησίες το καλοκαίρι (Katsoulis, 1987). Πιο συγκεκριμένα, ο Μπόρα είναι ισχυρός, ψυχρός και καταβατικός βόρειος άνεμος, ενώ οι Ετησίες ή κοινώς μελέμια είναι δροσεροί και σχετικά ξηροί βόρειοι-βορειανατολικοί άνεμοι.

Θεσσαλονίκη

Η Θεσσαλονίκη, βρίσκεται στο βόρεια τμήμα της Ελλάδας και αποτελεί τη δεύτερη μεγαλύτερη πόλη, με τον πληθυσμό της μητροπολιτικής της περιοχής να ανέρχεται στο 1,1 εκατομμύρια κατοίκους (Eurostat, 2019). Ειδικότερα, βρίσκεται στον Θερμαϊκό κόλπο και βορειοδυτικά του Αιγαίου πελάγους. Το τοπικό κλίμα της Θεσσαλονίκης χαρακτηρίζεται από εύκρατες μεσογειακές συνθήκες, με γενικά θερμά και ξηρά καλοκαίρια και ήπιους και υγρούς χειμώνες. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα,

οι καταγραφές ημερήσιας θερμοκρασίας έδειξαν ότι φτάνει κατά μέσο όρο τους 6,5 °C, ενώ μειώνεται στους 2,1 °C τη διάρκεια της νύχτας (Tsoka et al., 2017). Βέβαια, κατά τη διάρκεια αρκετά ψυχρών χειμώνων, οι θερμοκρασίες πέφτουν ακόμη και κάτω από τους -10 °C. Όσον αφορά το καλοκαίρι, η μέση υψηλότερη θερμοκρασία στη Θεσσαλονίκη είναι περίπου 30,5 °C και η μέση χαμηλότερη περίπου 17,5 °C (Weatherbase, 2016).

Ακόμη από πλευράς βροχοπτώσεων, με βάση τους Stathis and Mavromatis (2009), η μέση ετήσια βροχόπτωση και η τυπική της απόκλιση είναι αντίστοιχα 451,7 mm ± 96,3 mm για τη περίοδο 1930 έως 2004 και 475,6 mm ± 105,4 mm με βάση τους Pakalidou and Karacosta (2016) για τη μεγαλύτερη περίοδο από 1892 έως 2015.

Τέλος, ο τοπικός άνεμος που χαρακτηρίζει τη πόλη της Θεσσαλονίκης είναι ο Βαρδάρης, που οφείλεται στις υψηλές πιέσεις της Ν. Βαλκανικής και στις χαμηλές πιέσεις του Β. Αιγαίου (Φλόκας, 1992). Ξεκινά από το υψίπεδο της περιοχής των Σκοπίων, ακολουθώντας τη κοιλάδα του Αξιού και τέλος εισέρχεται στο Θερμαϊκό κόλπο. Είναι Βόρειος-Βορειοδυτικός ξηρός άνεμος με μέση ταχύτητα περίπου 10 m/s και η συχνότητα εμφάνισης του είναι περίπου 40 ημέρες τον χρόνο (Φλόκας, 1992).

3.8.2. Εμφάνιση της ΑΘΝ στην Αθήνα

Για το φαινόμενο της ΑΘΝ στην Αθήνα, έχουν πραγματοποιηθεί πολυάριθμες μελέτες όλα τα προηγούμενα χρόνια. Κυρίως, χαρακτηρίζεται από αρκετά υψηλές θερμοκρασίες αστικού περιβάλλοντος στο κέντρο της πόλης, το οποίο είναι πυκνοκατοικημένο σε σύγκριση με τις γύρω προάστια και αγροτικές περιοχές. Έχει παρατηρηθεί ότι προκαλείται κυρίως λόγω της έντονης εκβιομηχάνισης αλλά και του ραγδαία αυξανόμενου ρυθμού αστικοποίησης (Tzavali et al., 2015). Τόσο οι επιφανειακοί μετεωρολογικοί σταθμοί, όσο και οι μέθοδοι τηλεπισκόπησης, έχουν συνδράμει ώστε να ποσοτικοποιηθεί και να προσδιοριστεί το φαινόμενο και η ένταση του κατά τη διάρκεια των ετών (Santamouris et al., 2015). Σύμφωνα με τους Mihalakakou et al. (2002), τα αποτελέσματα της ΑΘΝ για την Αθήνα, είναι αντιληπτά κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού αλλά και κατά τον χειμώνα, με μέση ημερήσια ένταση που κυμαίνεται μεταξύ 6 °C έως 12 °C για τη κύρια κεντρική περιοχή.

Ειδικότερα οι Livada et al. (2002), εγκατέστησαν 20 μετεωρολογικούς σταθμούς καταγραφής θερμοκρασίας του αέρα, στα πλαίσια του έργου POLIS, από τον Ιούνιο του 1996 έως τον Μάρτιο του 1998 (χρονική περίοδος 22 μηνών). Οι αισθητήρες και οι καταγραφείς που χρησιμοποιήθηκαν, πραγματοποίησαν 7600 ωριαίες μετρήσεις με ακρίβεια αισθητήρα ± 0,2 °C και ± 0,5 °C ανάλυση καταγραφής (logger resolution) (Tzavali et al., 2015). Με βάση τα αποτελέσματα, οι μέγιστες τιμές

έντασης της ΑΘΝ για το κέντρο της πόλης κυμαινόταν από 5 °C έως 6 °C. Οι τιμές αυτές επηρεάστηκαν από την παρουσία ασφάλτου και συνάμα της έντονης κυκλοφορίας.

Οι Giannopoulou et. al (2011), χρησιμοποίησαν δεδομένα θερμοκρασίας από 25 σταθερούς σταθμούς, τοποθετημένους στο κέντρο της Αθήνας για τη χρονική περίοδο ενός έτους, από τον Δεκέμβριο του 2008 έως τον Δεκέμβριο του 2009. Με αυτό τον τρόπο ανέλυσαν τα χαρακτηριστικά της ΑΘΝ και κυρίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Υψηλότερες θερμοκρασίες αέρα βρέθηκαν στο δυτικό τμήμα του κέντρου της πόλης, ενώ οι χαμηλότερες στο βόρειο και ανατολικό τμήμα. Η ένταση του φαινομένου βρέθηκε να είναι περίπου 5 °C, με τις μέσες και μέγιστες νυχτερινές θερμοκρασίες του αέρα να είναι άνω των 30 °C.

Ακόμη, οι Stathopoulou and Cartalis (2006) μελέτησαν το θερμικό περιβάλλον μεγάλων αστικών κέντρων στην Ελλάδα και φυσικά της Αθήνας, χρησιμοποιώντας δεδομένα από δορυφορικές εικόνες που παρήχθησαν από το σύστημα αισθητήρων Enhanced Thematic Mapper (ETM+) του δορυφόρου Landsat 7, κατά τη διάρκεια θερμών ημερών ώστε να παρατηρηθεί η επιφανειακή αστική θερμονησίδα (SurfaceUHI, βλ.3.1.1) το δυνατόν καλύτερα. Εκτιμώντας τα αποτελέσματα, οι εντάσεις της επιφανειακής αστικής θερμονησίδας για την Αθήνα κατά τη διάρκεια της 20^{ης} ημέρας του Μαΐου 2000, έδειξαν ότι οι αστικές περιοχές είναι κατά 3,3 °C θερμότερες από τις αγροτικές, ενώ οι προαστικές περιοχές ήταν περίπου κατά 2,3 °C θερμότερες από τις αγροτικές (Tzavali et al., 2015).

3.8.3. Εμφάνιση ΑΘΝ στη Θεσσαλονίκη

Έρευνες και μελέτες για την ΑΘΝ έχουν επίσης πραγματοποιηθεί και για τη πόλη της Θεσσαλονίκης, όχι όμως τόσες πολλές και εκτενείς όσο για την Αθήνα. Οι Giannaros and Melas (2012), ερεύνησαν το φαινόμενο αυτό στη παράκτια πόλη της Θεσσαλονίκης αντλώντας δεδομένα θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια του εδάφους από 7 τοποθεσίες στην ευρύτερη περιοχή της, για χρονική διάρκεια ενός έτους από τον Μάρτιο 2008 έως τον Φεβρουάριο 2009. Διαπιστώθηκε ότι η ένταση της ΑΘΝ στη Θεσσαλονίκη είναι ισχυρότερη κατά τη διάρκεια της νύχτας σε σχέση με τη διάρκεια της ημέρας και μειώνεται με την αύξηση της ταχύτητας του ανέμου, ενώ τονίζεται ότι είναι πιο έντονη η ένταση του φαινομένου κατά το μισό θερμό μέρος του έτους (άνοιξη – καλοκαίρι) (Giannaros and Melas, 2012).

Ειδικότερα τώρα, βρέθηκε με βάση τη παραπάνω μελέτη των Giannaros and Melas, ότι η μέγιστη ένταση της ΑΘΝ κυμαίνεται από 2 °C έως 4 °C και από 1 °C έως 3 °C κατά το θερμό μέρος του έτους

και κατά το ψυχρό αντίστοιχα. Από το γεγονός αυτό, απορρέει το συμπέρασμα ότι υπάρχει μικρότερη μεταβλητότητα το καλοκαίρι σε αντίθεση με τον χειμώνα. Επίσης, οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται συνήθως μετά το ηλιοβασίλεμα, ενώ οι ελάχιστες κατά τις ώρες αιχμής. Επιπρόσθετα, κατέστη γνωστό ότι η ΑΘΝ είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της πίεσης / τάσης των υδρατμών (vapor pressure) κατά τη διάρκεια της νύχτας στο αστικό κέντρο καθώς και ότι η ένταση της ΑΘΝ φαίνεται να μειώνεται σημαντικά όταν η ταχύτητα του ανέμου υπερβαίνει τα 4 m/s.

Τέλος, οι Giannaros and Melas έδειξαν και τη σχέση που επικρατεί μεταξύ της ΑΘΝ και του δείκτη δυσφορίας (Discomfort Index, DI). Ο δείκτης δυσφορίας δείχνει την πραγματική αίσθηση της ζέστης που νιώθει το ανθρώπινο σώμα, με βάση τη τρέχουσα θερμοκρασία περιβάλλοντος και τη σχετική υγρασία. Εκφράζει ουσιαστικά το βαθμό δυσφορίας του ανθρώπου λόγω επιδράσεων των θερμο-υγρομετρικών συνθηκών. Το κέντρο της Θεσσαλονίκης βρέθηκε να παρουσιάζει τον υψηλότερο δείκτη δυσφορίας και συγκεκριμένα η αύξηση κατά 1 °C της έντασης της ΑΘΝ, έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση κατά μέσο όρο 1 °C στο δείκτη δυσφορίας.



ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ ΜΕ ΤΟΥΣ ΤΥΠΟΥΣ ΚΑΙΡΟΥ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ GWTC

4.1. Εισαγωγή

Η παρούσα μελέτη καταπιάνεται με τη σύνδεση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) και των τύπων καιρού (Weather Types, WTs), μέσω του αντίστοιχου συστήματος ταξινόμησης Gridded Weather Typing Classification (GWTC). Οι περιοχές ενδιαφέροντος της εργασίας είναι τα δύο μεγαλύτερα αστικά κέντρα της Ελλάδας, η Αθήνα και η Θεσσαλονίκη. Για τα δύο αυτά αστικά κέντρα διεξήχθη έρευνα για την εύρεση και τη καταγραφή της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ και μετέπειτα έγινε η σύνδεσή της με τους τύπους καιρού. Τα παραπάνω πραγματοποιήθηκαν στο υπολογιστικό περιβάλλον του Microsoft Excel και θα δειχθούν στη συνέχεια.

Ειδικότερα, για την Αθήνα επιλέχθηκαν δύο περιοχές. Η πρώτη ήταν το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, με γεωγραφικές συντεταγμένες (37° 58' 24'' N , 23° 43' 6'' E) και αποτέλεσε το σημείο του κεντρικού ιστού της μελέτης για τη περίπτωση αυτή. Είναι ένα ερευνητικό κέντρο χτισμένο στο λόφο των Νυμφών στο Θησείο της Αθήνας, έναν από τους επτά λόφους που δεσπόζουν στη πόλη. Εποπτεύεται από το Υπουργείο Παιδείας και Θρησκευμάτων και αποτελεί το πρώτο ερευνητικό κέντρο της νεώτερης Ελλάδας. Η διαχρονική του πορεία είναι συνυφασμένη με την εξέλιξη της εφαρμοσμένης έρευνας, με την ανάπτυξη των υπηρεσιών του για τη πολιτεία και την ευρύτερη κοινωνία. Η δεύτερη περιοχή που επιλέχθηκε ήταν το Μαρκόπουλο Μεσογαίας (Αττικής) με συντεταγμένες (37° 53' 8,5'' N , 23° 56' 6'' E). Αποτελεί μια υπαίθρια κωμόπολη στη κοιλάδα των Μεσογείων της Νοτιοανατολικής Αττικής, με περίπου 10.000 μόνιμους κάτοικους. Το έδαφός της είναι αρκετά γόνιμο όντας κοντά σε θάλασσα, με αποτέλεσμα την εξαγωγή αρκετών αγροτικών προϊόντων.

Από την άλλη πλευρά για τη Θεσσαλονίκη, επιλέχθηκε η περιοχή της Εγνατίας οδού στο κέντρο της πόλης με συντεταγμένες (40° 37' 59.5'' N , 22° 56' 57.7'' E). Είναι ουσιαστικά λεωφόρος, ένας οδικός άξονας που ξεκινά από τη πλατεία Δημοκρατίας, διασχίζοντας το κέντρο της Θεσσαλονίκης και καταλήγει στο Πανεπιστήμιο Μακεδονίας (ΠΑ.ΜΑΚ). Η δεύτερη περιοχή που επιλέχθηκε και

αποτελέσει την υπαίθρο, ήταν η περιοχή της Μίκρας του δήμου Θέρμης και συγκεκριμένα ο Διεθνής Κρατικός Αερολιμένας Θεσσαλονίκης ‘‘Μακεδονία’’ με συντεταγμένες (40° 31’ 13,4’’ N, 22° 58’ 18,1’’ E), όπου από εκεί αντλήθηκαν τα θερμοκρασιακά δεδομένα. Είναι το δεύτερο σε κίνηση αεροδρόμιο, ύστερα από τον Διεθνή Αερολιμένα Αθηνών ‘‘Ελευθέριος Βενιζέλος’’.

4.2. Η περίπτωση της Αθήνας

4.2.1. Η διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) μεταξύ αστικού κέντρου και υπαίθρου

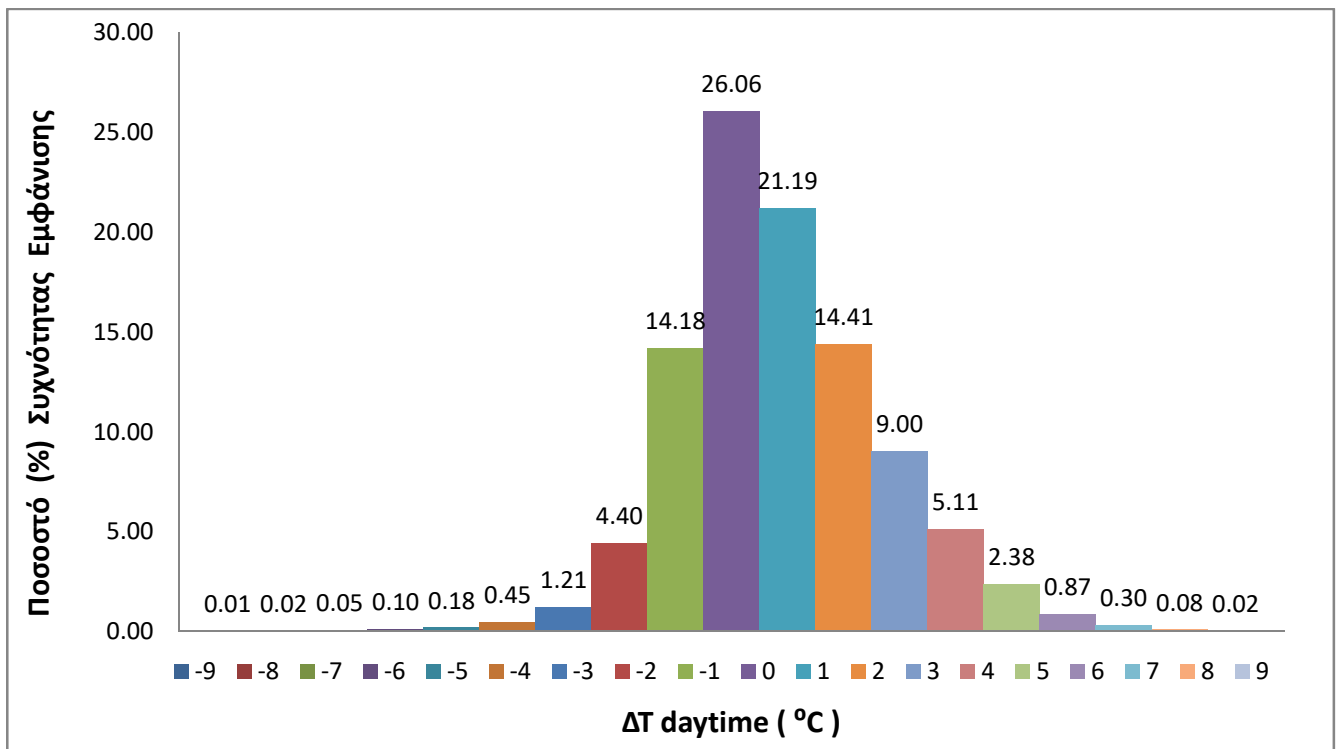
Η διαφορά της θερμοκρασίας (ΔT) μεταξύ του αστικού κέντρου και της υπαίθρου, επιτυγχάνεται βρίσκοντας τη αυτή μεταξύ του Αστεροσκοπείου Αθηνών και του Μαρκόπουλου Αττικής. Η εργασία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ημερήσια ωριαία θερμοκρασιακά δεδομένα, ύψους 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, από ένα μετεωρολογικό σταθμό για καθεμία από τις προαναφερθείσες περιοχές. Οι θερμοκρασίες αφορούσαν τη χρονοσειρά 2000 έως 2018. Με αυτό τον τρόπο χωρίστηκαν τα θερμοκρασιακά δεδομένα σε ημερήσια (daytime) και σε νυχτερινά (nighttime), ώστε να βρεθεί αντίστοιχα το $\Delta T_{\text{daytime}}$ και $\Delta T_{\text{nighttime}}$. Εν συνεχεία, δημιουργήθηκε η κατανομή της συχνότητας ΔT μεταξύ Αστεροσκοπείου και Μαρκόπουλου τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας (από 06:00 έως 18:00) όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας (19:00 έως 05:00). Τέλος, υπολογίστηκε το ποσοστό εμφάνισης επί τοις (%) των $\Delta T_{\text{daytime}}$ και $\Delta T_{\text{nighttime}}$, με βάση τον μαθηματικό τύπο:

$$(\%) \text{ συχνότητα εμφάνισης} = \frac{\text{τιμή εμφάνισης } \Delta T}{\text{σύνολο τιμών}} * 100 \quad (\text{σχέση 4.1})$$

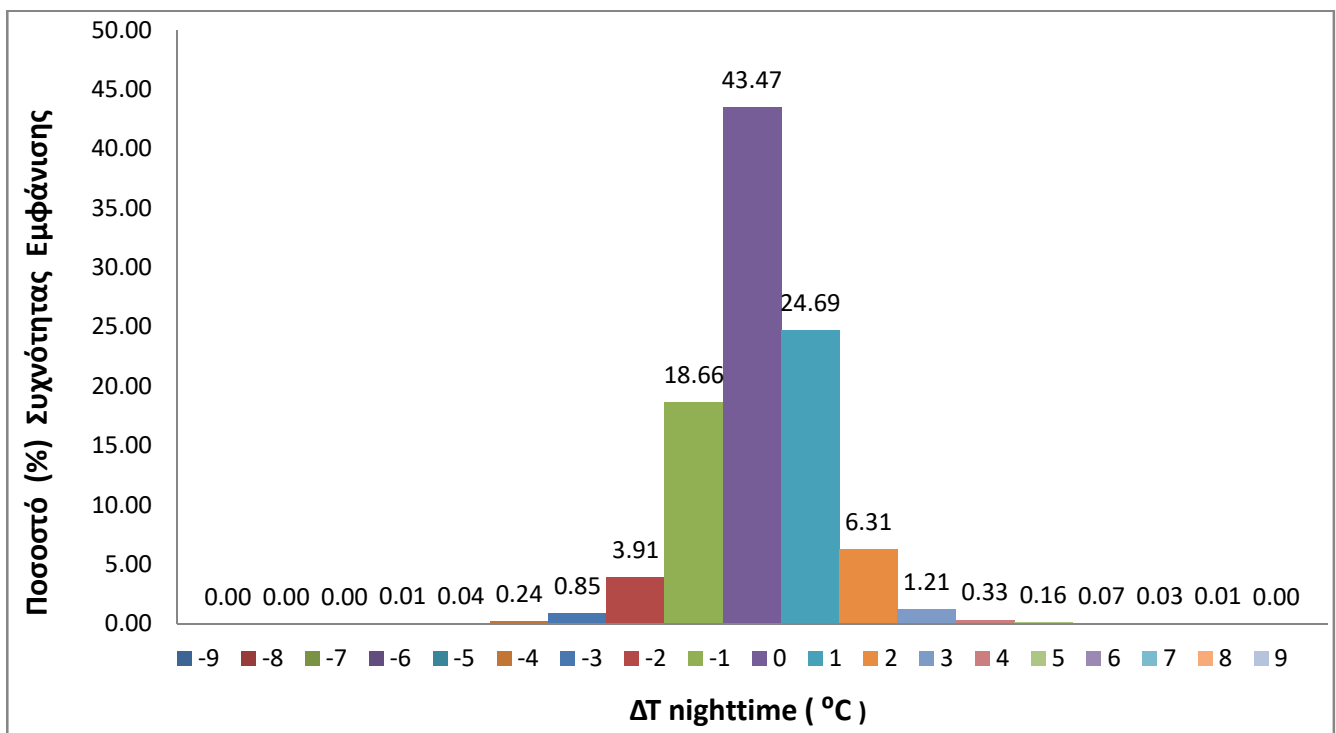
Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας, το $\Delta T_{\text{daytime}}$ εμφανιζόταν θετικό περίπου στο 53% των συνολικών μετρήσεων της χρονοσειράς, σε αντίθεση με το αρνητικό $\Delta T_{\text{daytime}}$, το οποίο άγγιξε ένα ποσοστό κοντά 20,5%. Το υπόλοιπο άνηκε στο $\Delta T_{\text{daytime}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$.

Από την άλλη πλευρά, κατά τη διάρκεια της νύχτας, το ποσοστό εμφάνισης για το θετικό $\Delta T_{\text{nighttime}}$ ήταν κοντά στο 32,8%, προφανώς μειωμένο απ ότι στη διάρκεια της ημέρας και το ποσοστό εμφάνισης για το αρνητικό $\Delta T_{\text{nighttime}}$ ήταν περίπου 23,7%. Το υπόλοιπο άνηκε στο $\Delta T_{\text{nighttime}} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$. Παρατηρείται λοιπόν με βάση και τα παρακάτω δύο γραφήματα, ότι η ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ στη πόλη της Αθήνας είναι μεγαλύτερη/ισχυρότερη κατά τη διάρκεια της ημέρας. Στα ακόλουθα δύο γραφήματα φαίνονται τα παραπάνω συμπεράσματα. Το πρώτο γράφημα αναφέρεται στην (%)

συχνότητα εμφάνισης του $\Delta T_{\text{daytime}}$ κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ το δεύτερο στην (%) συχνότητα εμφάνισης του $\Delta T_{\text{nighttime}}$ κατά τη διάρκεια της νύχτας.



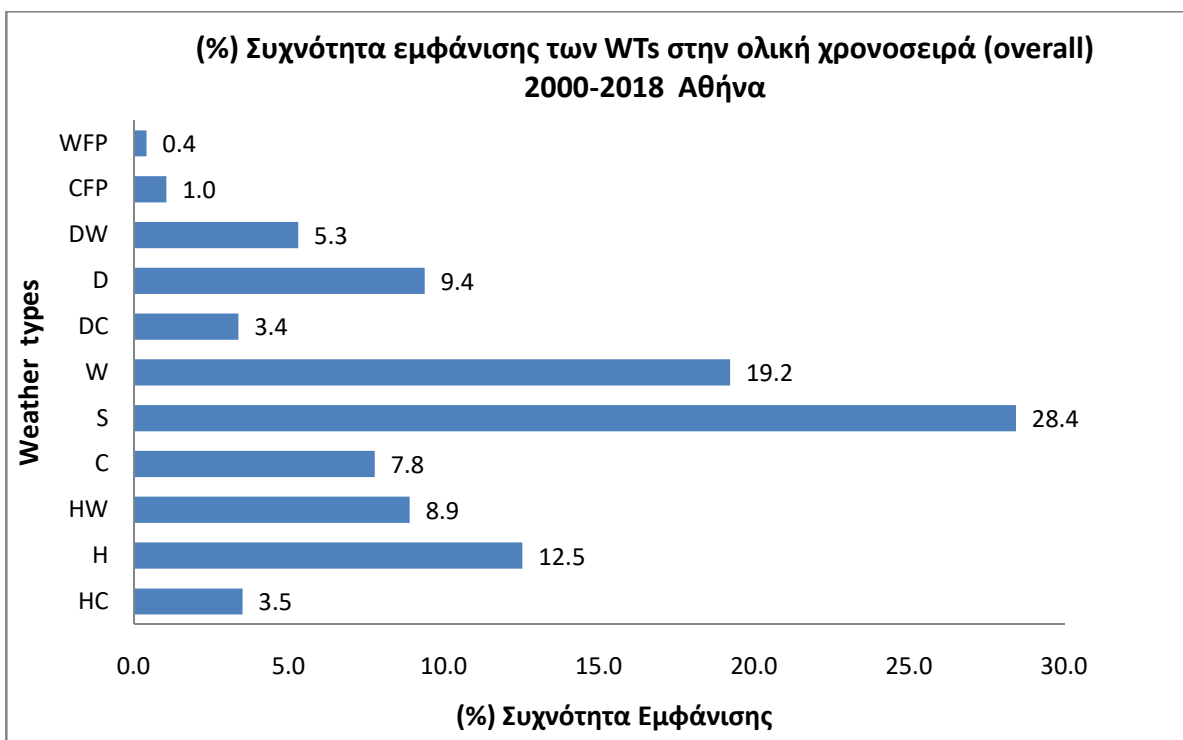
Σχήμα 4.1: Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της συχνότητας εμφάνισης κατά το $\Delta T_{\text{daytime}}$, Αθήνα.



Σχήμα 4.2: Ποσοστό επί τοις εκατό (%) της συχνότητας εμφάνισης κατά το $\Delta T_{\text{nighttime}}$, Αθήνα.

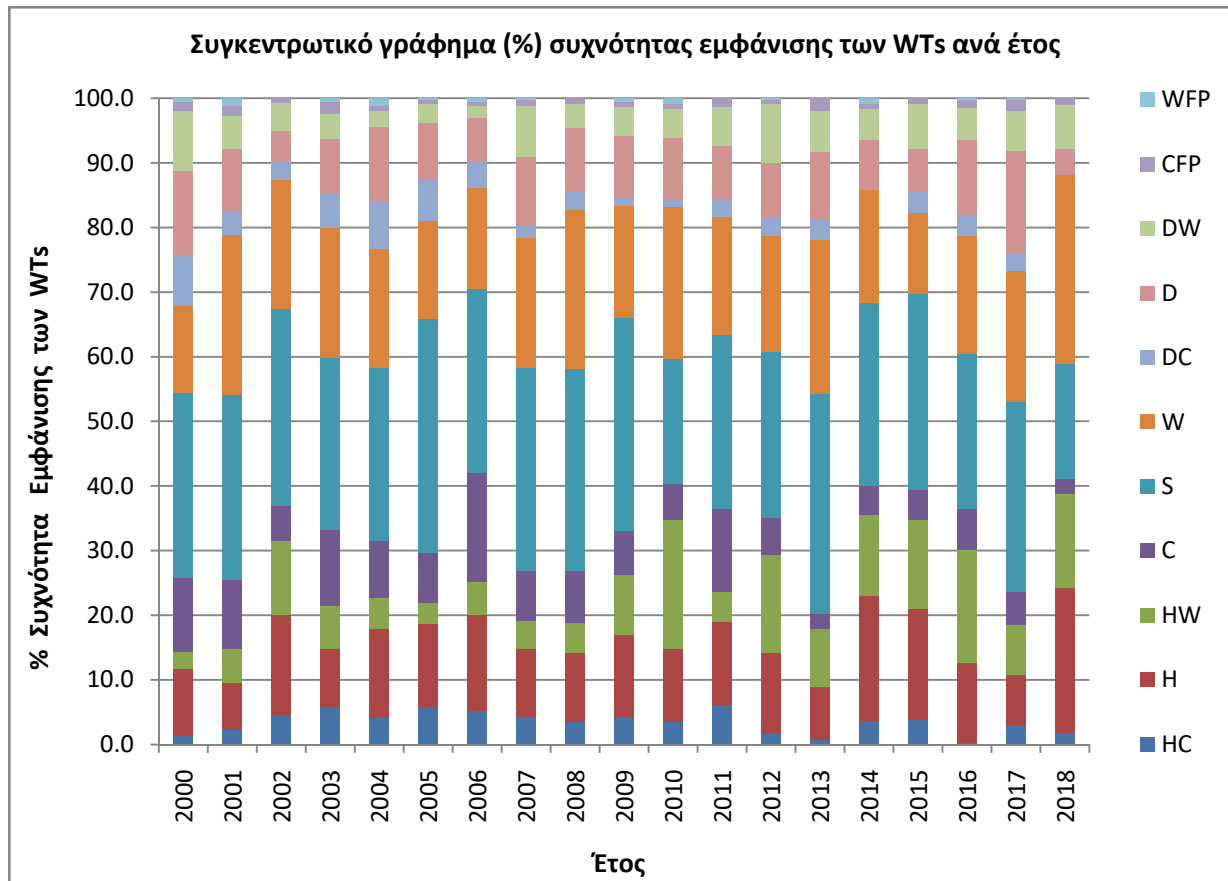
4.2.2. Συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού (Weather types)

Τα ημερήσια δεδομένα των τύπων καιρού (Weather Types, WTs) της χρονοσειράς από την 1^η Ιανουαρίου 2000 έως τη 31^η Δεκεμβρίου 2018, ελήφθησαν από το σύστημα GWTC Data (<https://www.personal.kent.edu/~cclee/gwtcdata.html>) για τα 12 σημεία του πλέγματος της Αττικής. Αυτό σημαίνει ότι υπήρχαν 12 συντεταγμένες με τη καθεμία να περιλαμβάνει τον επικρατέστερο ημερήσιο τύπο καιρού. Έπειτα, βρέθηκε το συνολικά επικρατών WT και των 12 συντεταγμένων για την κάθε ημέρα της χρονοσειράς. Με αυτό τον τρόπο εξήχθη η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των συνοπτικών αερίων μαζών, δηλαδή των τύπων καιρού (Weather Types), για τη περιοχή της Αθήνας, κατά αντίστοιχο τρόπο σύμφωνα με τη σχέση (4.1). Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος Seasonal (S) είναι ο πιο συχνός τύπος καιρού καθ' όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς με ποσοστό 28,4% και ακολουθούν οι τύποι Warm (W) με 19,2%, Humid (H) με 12,5%, Dry (D) με 9,4%, Humid Warm (HW) με 8,9%, Cool (C) με 7,8%, Dry Warm (DW) με 5,3%, Humid Cool (HC) με 3,5%, Dry Cool (DC) με 3,4%, Cold Front Passage (CFP) με 1% και τέλος το Warm Front Passage (WFP) με 0,4%. Τα παραπάνω φαίνονται στο γράφημα που ακολουθεί, όπου απεικονίζει την επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού (WTs) ολόκληρης της χρονοσειράς (overall) από το έτος 2000-2018.



Σχήμα 4.3: Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά 2000-2018.

Επίσης, δημιουργήθηκε και ένα ακόμη συγκεντρωτικό γράφημα για την ολική χρονοσειρά της Αθήνας, δίνοντας ξεχωριστά την επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης του κάθε τύπου καιρού ανά έτος. Το γράφημα αυτό, δίνεται στο σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4: Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού ανά έτος για την Αθήνα.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε και η μελέτη των επί τοις (%) συχνοτήτων εμφάνισης των τύπων καιρού του εποχιακού συνόλου της χρονοσειράς για την Αθήνα. Οι 4 εποχές χωρίστηκαν με βάση τα δεδομένα των μηνών :

Χειμώνας → (Δεκέμβριος – Ιανουάριος – Φεβρουάριος)

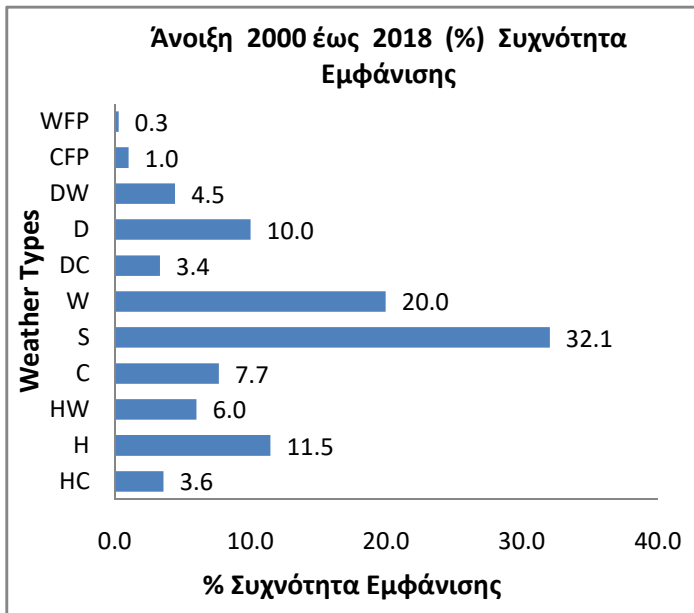
Άνοιξη → (Μάρτιος – Απρίλιος – Μάιος)

Καλοκαίρι → (Ιούνιος – Ιούλιος – Αύγουστος)

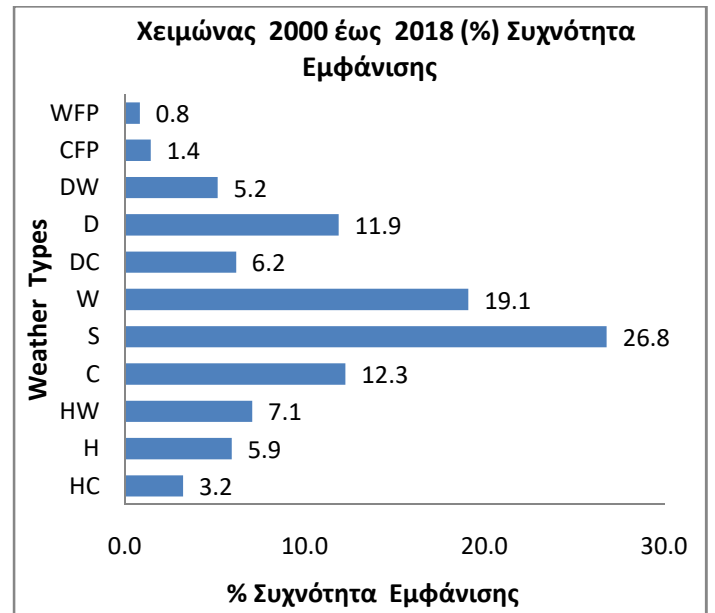
Φθινόπωρο → (Σεπτέμβριος – Οκτώβριος – Νοέμβριος)

Η συχνότητα εμφάνισης των W, H, HW και DW ήταν υψηλότερη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Σε αντίθεση, η συχνότητα των W, C, D και HW ήταν υψηλότερη κατά τη διάρκεια του χειμώνα. Εξαιρείται από τα παραπάνω ο τύπος Seasonal (S), ο οποίος είναι ένας ουδέτερος τύπος

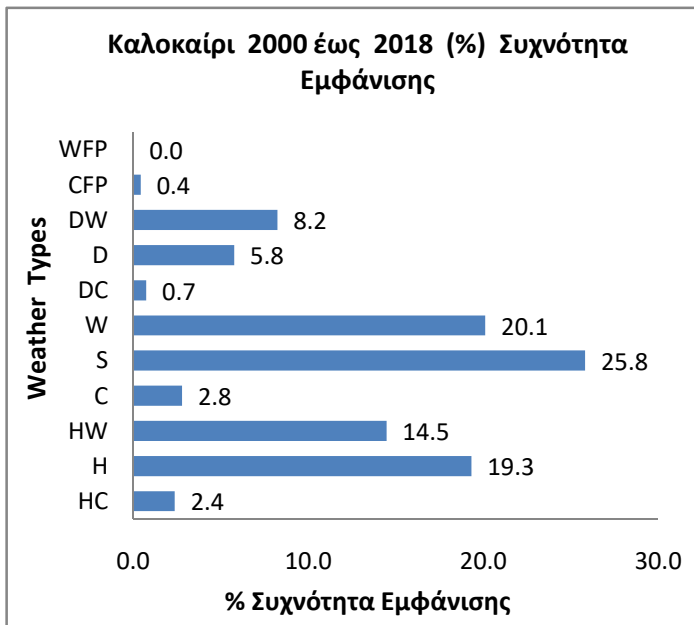
καιρού και επικρατεί σε όλη τη χρονοσειράς, συνεπώς σε όλες τις εποχές. Κάτι που αξίζει να σημειωθεί για τον τύπο καιρού Seasonal (S), είναι ότι η συχνότητα εμφάνισης μειώθηκε ελαφρά (25,8%) το καλοκαίρι σε σχέση με τις άλλες εποχές. Παρακάτω φαίνονται αναλυτικά οι (%) συχνότητες εμφάνισης των WTs ανά εποχή για ολόκληρη τη χρονοσειρά 2000 έως 2018.



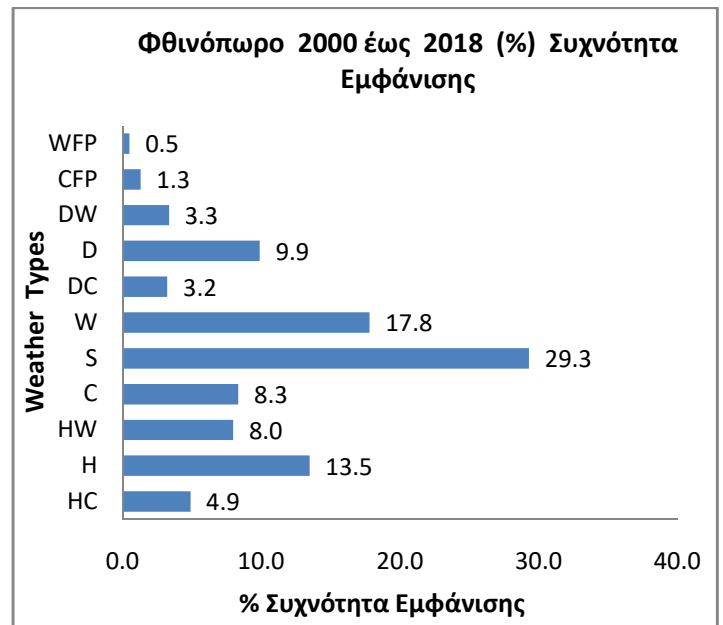
Σχήμα 4.5: (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Άνοιξη.



Σχήμα 4.6: (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Χειμώνα.



Σχήμα 4.7: (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Καλοκαίρι.



Σχήμα 4.8: (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Φθινόπωρο.

Τέλος, ένα ακόμη συμπέρασμα που προέκυψε από τη μελέτη των συχνοτήτων εμφάνισης και αξίζει να αναφερθεί, είναι ότι όλοι οι θερμοί τύποι καιρού (W, DW και HW) εμφανίζονται με μεγαλύτερη συχνότητα τα τελευταία έτη και συγκεκριμένα από το 2009 έως το 2018, στη περιοχή της Αθήνας. Για τα ίδια έτη, δηλαδή από το 2009 έως 2018 οι ψυχροί τύποι (C, DC και HC) εμφανίζονται με μικρότερη συχνότητα.

4.2.3. Αστική θέρμανση/ψύξη στην Αθήνα και τύποι καιρού (WTs)

Για να επιτευχθεί η συσχέτιση μεταξύ των τύπων καιρού (WTs) και της **αστικής υπερθέρμανσης (urban overheating)**, η οποία οδηγεί στην αύξηση της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας, υπολογίστηκε το ανώτερο 5% ΔT_{max} (τόσο το ολόημερο όσο και το νυχτερινό). Δηλαδή, βρέθηκε το υψηλότερο 5% των ολικών μέγιστων θερμοκρασιών μεταξύ του Αστεροσκοπείου Αθηνών και του Μαρκόπουλου Μεσογαίας, κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας (00:00 έως 23:00) και ύστερα μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας (23:00 έως 05:00), για τη χρονοσειρά των ετών 2000 έως 2018.

Από την άλλη πλευρά, βρέθηκε και το κατώτερο 5% του ΔT_{max} με τον αντίστοιχο χρονικό διαχωρισμό όπως και για το ανώτερο, ώστε να αποδοθεί η **αστική ψύξη (urban cooling)**. Αξίζει να σημειωθεί διότι είναι πολύ σημαντικό, ότι το 5% ανώτερο ή κατώτερο των τιμών ΔT_{max} , χρησιμοποιήθηκε σαν στατιστική μέθοδος που δείχνει το επίπεδο σημαντικότητας της υπόθεσης. Ουσιαστικά, η επιλογή του ανωτέρου 5% ΔT_{max} γίνεται ώστε να διερευνηθούν οι έντονες και ακραίες περιπτώσεις του φαινομένου της ΑΘΝ, σε αντίθεση με το κατώτερο 5% του ΔT_{max} που συμβάλλει ελάχιστα στη δημιουργία του.

Ανώτερο 5% ΔT_{max} Αθήνα

Ξεκινώντας με την εύρεση του **ολοήμερου ανωτέρου 5% ΔT_{max}** (00:00-23:00), υπολογίστηκαν εκ νέου οι επί τοις (%) συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού (WTs) για αυτή τη κατηγορία και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες της ολικής χρονοσειράς (overall) (βλ. Σχήμα 4.3). Με τον συγκεκριμένο τρόπο, αν η επί τοις (%) διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων εμφάνισης του ολόημερου 5% ΔT_{max} και της ολικής (overall) χρονοσειράς είναι θετική, τότε οι εκάστοτε τύποι καιρού συνεισφέρουν περισσότερο στην αστική θέρμανση και προφανώς στην αύξηση του φαινομένου της ΑΘΝ. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού για το ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} και οι αντίστοιχες της συνολικής (overall) χρονοσειράς.

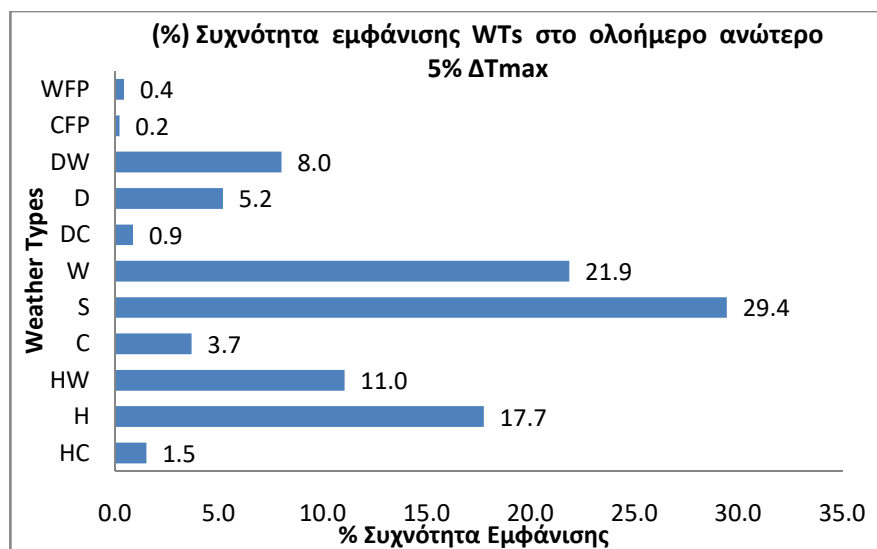
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.1: (%) διαφορά μεταξύ ολοήμερου ανωτ. 5% ΔTmax & overall συχνοτήτων εμφάνισης.

Τύποι Καιρού WTs	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔTmax	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στην Ολική Χρονοσειρά (Overall)
HC	1,5%	3,5%
H	✓ 17,7%	12,5%
HW	✓ 11%	8,9%
C	3,7%	7,8%
S	✓ 29,4%	28,4%
W	✓ 21,4%	19,2%
DC	0,9%	3,4%
D	5,2%	9,4%
DW	✓ 8%	5,3%
CFP	0,2%	1%
WFP	0,4%	0,4%

Οι θετικές ποσοστιαίες (%) διαφορές μεταξύ των συχνοτήτων εμφάνισης, φαίνονται με τα τσεκαρισμένα σημεία (✓) και είναι κατά σειρά:

H : 5,2% DW: 2,7% W: 2,2% HW : 2,1% S : 1%

Γίνεται αντιληπτό ότι, κυρίως οι θερμοί τύποι καιρού H, DW, W και HW είναι κυρίαρχοι και προφανώς συνεισφέρουν περισσότερο κατά σειρά στην αστική θέρμανση και άρα στην ΑΘΝ στη πόλη της Αθήνας καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας. Ο τύπος καιρού S είναι ουδέτερος και αντιπροσωπεύει σχεδόν τις κανονικές (συνηθισμένες) καιρικές συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και χρονική στιγμή του έτους. Στο ακόλουθο σχήμα, φαίνεται η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔTmax.



Σχήμα 4.9: (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔTmax της Αθήνας.

Το ίδιο με προηγουμένως γίνεται και για το **νυχτερινό ανώτερο 5% ΔTmax** (23:00-05:00) της Αθήνας παρακάτω. Είναι αντιληπτό ότι οι τύποι καιρού HW, W, DW και H είναι επικρατέστεροι και συνεισφέρουν περισσότερο στην αστική θέρμανση κατά το νυχτερινό κομμάτι στη πόλη της Αθήνας. Εξαιρείται ο τύπος καιρού Seasonal (S) που είναι ουδέτερος και αντιπροσωπεύει σχεδόν τις κανονικές (συνηθισμένες) καιρικές συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και χρονική στιγμή του έτους. Τα παραπάνω φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

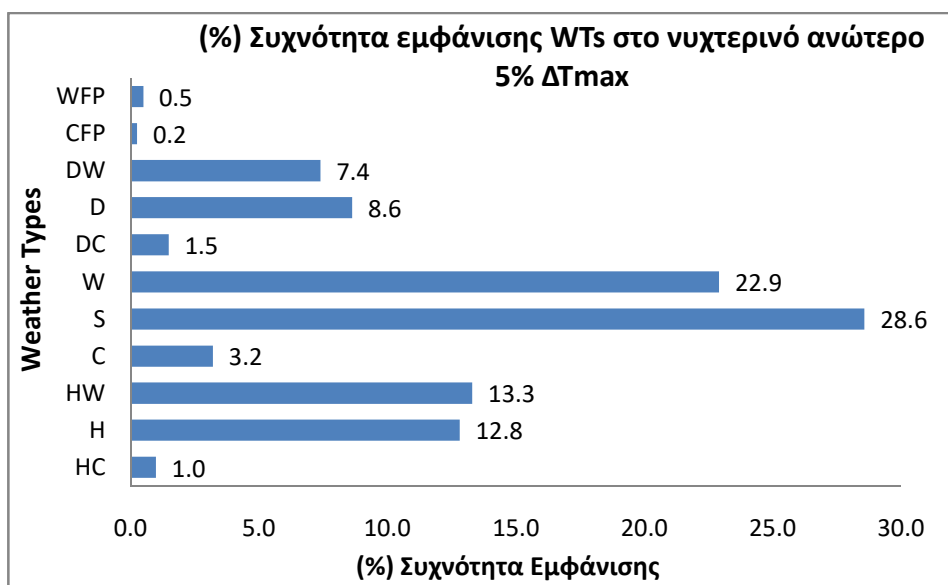
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.2: (%) διαφορά μεταξύ νυχτερινού ανωτ. 5% ΔTmax & overall συχνότητων εμφάνισης.

Τύποι Καιρού WTs	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔTmax	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στην Ολική Χρονοσειρά (Overall)
HC	1%	3,5%
H	✓ 12,8%	12,5%
HW	✓ 13,3%	8,9%
C	3,2%	7,8%
S	✓ 28,6%	28,4%
W	✓ 22,9%	19,2%
DC	1,5%	3,4%
D	8,6%	9,4%
DW	✓ 7,4%	5,3%
CFP	0,2%	1%
WFP	0,5%	0,4%

Οι θετικές ποσοστιαίες (%) διαφορές μεταξύ των συχνότητων εμφάνισης είναι κατά σειρά:

HW: 4,4% W: 3,7% DW: 2,1% H: 0,3% S: 0,2%

Στο σχήμα, φαίνεται η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔTmax.



Σχήμα 4.10: (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔTmax της Αθήνας.

Κατώτερο 5% ΔTmax Αθήνα

Τα αντίστοιχα με τα παραπάνω για τη πόλη της Αθήνας, γίνονται και για το κατώτερο 5% ΔTmax (ολοήμερο & νυχτερινό) ώστε να διαπιστωθεί ποιοι από τους τύπους καιρού συμμετέχουν στην αστική ψύξη και προφανώς λιγότερο στο φαινόμενο της ΑΘΝ.

Αρχικά, για το **ολοήμερο κατώτερο 5% ΔTmax (00:00-23:00)** οι τύποι καιρού που εμφανίζουν θετική διαφορά είναι κυρίως οι ψυχροί C, HC, DC, αλλά και δύο από τους θερμούς DW και W, βέβαια σε μικρότερη συχνότητα εμφάνισης. Αυτό διαπιστώνεται συγκρίνοντας και βρίσκοντας τη θετική διαφορά μεταξύ των επί τοις (%) συχνοτήτων εμφάνισης των WTs του κατώτερου 5% ΔTmax και ολόκληρης της χρονοσειράς (overall). Τα παραπάνω φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

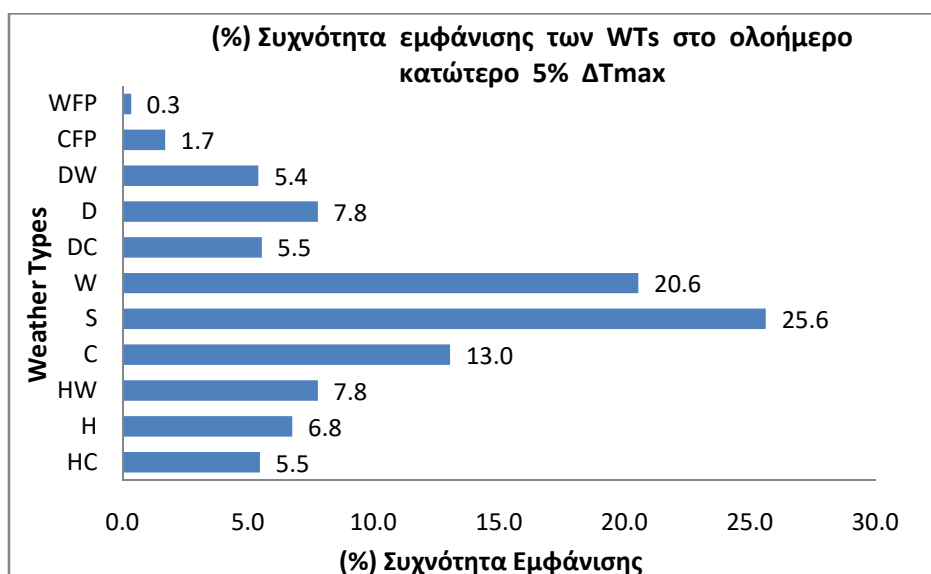
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.3: (%) διαφορά μεταξύ ολοήμερου κατωτ. 5% ΔTmax & overall συχνοτήτων εμφάνισης.

Τύποι Καιρού WTs	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολοήμερο κατώτερο 5% ΔTmax	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά (Overall)
HC	✓ 5,5%	3,5%
H	6,8%	12,5%
HW	7,8%	8,9%
C	✓ 13%	7,8%
S	25,6%	28,4%
W	✓ 20,6%	19,2%
DC	✓ 5,5%	3,4%
D	7,8%	9,4%
DW	✓ 5,4%	5,3%
CFP	1,7%	1%
WFP	0,3%	0,4%

Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος C είναι εκείνος που συμμετέχει περισσότερο/εντονότερα στην αστική ψύξη και άρα λιγότερο στο φαινόμενο της ΑΘΝ καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας, στη πόλη της Αθήνας. Κατά σειρά οι τύποι καιρού:

C: 5,2% DC: 2,1% HC: 2% W: 1,4% DW: 0,1%

Στο ακόλουθο σχήμα, φαίνεται η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στο ολοήμερο κατώτερο 5% ΔTmax.



Σχήμα 4.11: (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολόημερο κατώτερο 5% ΔTmax για την Αθήνα.

Για το νυχτερινό κατώτερο 5% ΔTmax (23:00-05:00), οι τύποι καιρού που επικρατούν είναι οι C, HC, DC, DW και CFP. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται πάλι συγκρίνοντας και βρίσκοντας θετική τη διαφορά μεταξύ των επί τοις (%) συχνοτήτων εμφάνισης των WTs του κατώτερου 5% ΔTmax νυχτερινού και ολόκληρης της χρονοσειράς (overall). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

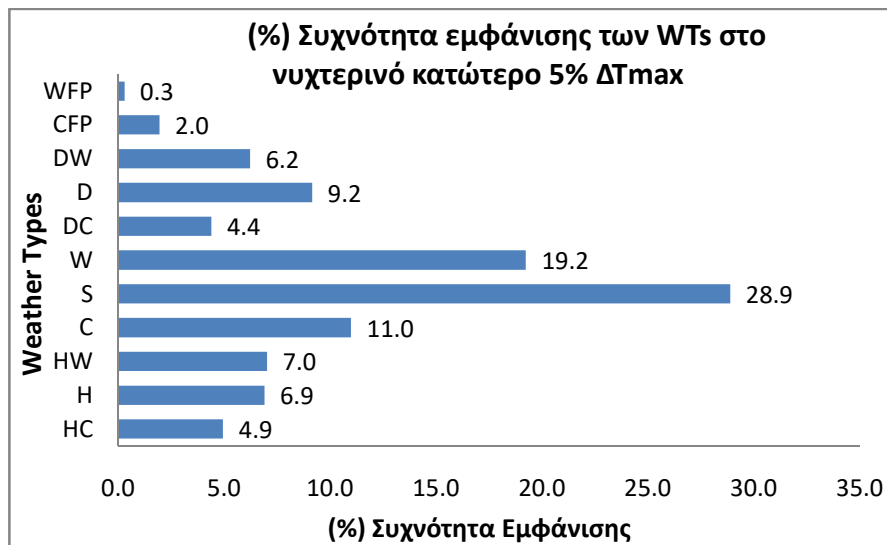
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.4: (%) διαφορά μεταξύ νυχτερινού κατωτ. 5% ΔTmax & overall συχνοτήτων εμφάνισης.

Τύποι Καιρού WTs	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό κατώτερο 5% ΔTmax	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά (Overall)
HC	✓ 4,9%	3,5%
H	6,9%	12,5%
HW	7%	8,9%
C	✓ 11%	7,8%
S	28,2%	28,4%
W	19,2%	19,2%
DC	✓ 4,4%	3,4%
D	9,2%	9,4%
DW	✓ 6,2%	5,3%
CFP	✓ 2%	1%
WFP	0,3%	0,4%

Πιο συγκεκριμένα, ο τύπος καιρού C είναι αυτός που υπερिशχύει ξανά στην αστική ψύξη και κατά τη διάρκεια της νύχτας, με υψηλότερο ποσοστό και επομένως συμμετέχει λιγότερα στο φαινόμενο της ΑΘΝ για τη πόλη της Αθήνας. Κατά σειρά οι τύποι καιρού είναι:

C: 3,2% HC: 1,4% DC: 1% CFP:1% DW: 0,9%

Στο ακόλουθο σχήμα, φαίνεται η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό κατώτερο 5% ΔT_{max} .



Σχήμα 4.12: (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό κατώτερο 5% ΔT_{max} για την Αθήνα.

4.2.4. Εσωτερική κατανομή της αέριας μάζας (WT) σε σχέση με την ΑΘΝ στην Αθήνα

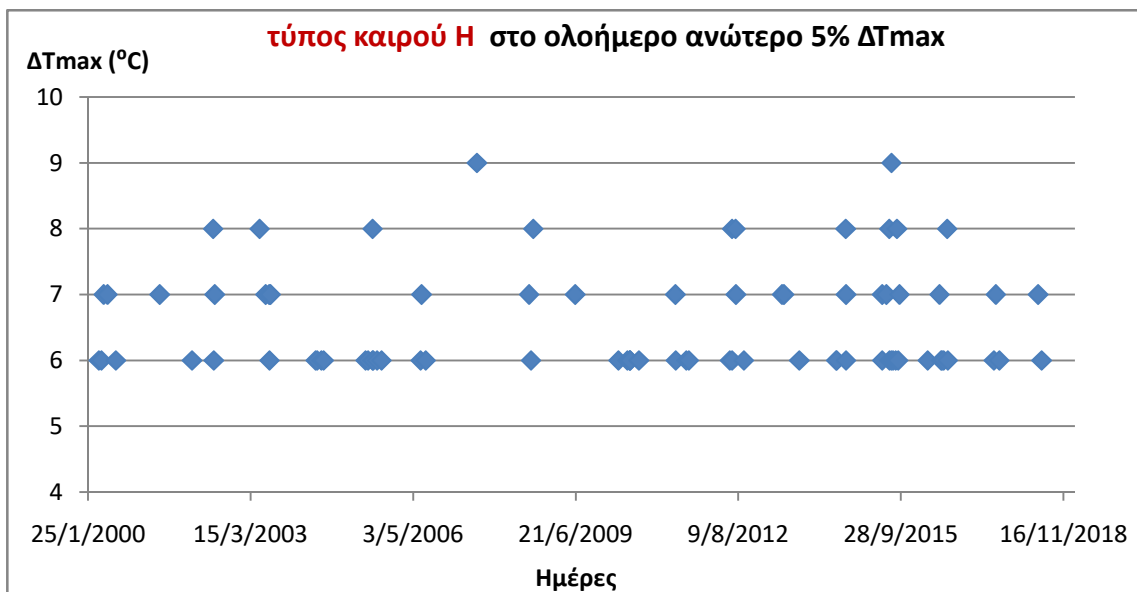
Για να επιτευχθεί η εσωτερική κατανομή της αέριας μάζας (Weather Type) σε σχέση με την αστική υπερθέρμανση (Urban Overheating) και άρα με την ΑΘΝ στη περιοχή της Αθήνας, πρέπει να δημιουργηθούν γραφήματα για τους τύπους καιρού (WTs) στις δύο κατηγορίες του ανωτέρου 5% ΔT_{max} (ολοήμερο και νυχτερινό).

Τα γραφήματα αυτά έχουν στον οριζόντιο άξονα τις ημέρες του ανωτέρου 5% ΔT_{max} (ολοήμερο ή νυχτερινό ανάλογα τη περίπτωση) για τον εκάστοτε τύπο καιρού και στον κατακόρυφο άξονα τις μέγιστες θερμοκρασίες ΔT_{max} σε $^{\circ}C$. Οι τύποι καιρού που ενδιαφέρουν στη παρούσα φάση της μελέτης, είναι εκείνοι που εμφανίζουν θετική διαφορά του ποσοστού (%) μεταξύ του ανωτέρου 5% ΔT_{max} (ολοήμερο ή νυχτερινό) και ολόκληρης της χρονοσειράς (overall), όπως ακριβώς εξηγήθηκε και παραπάνω.

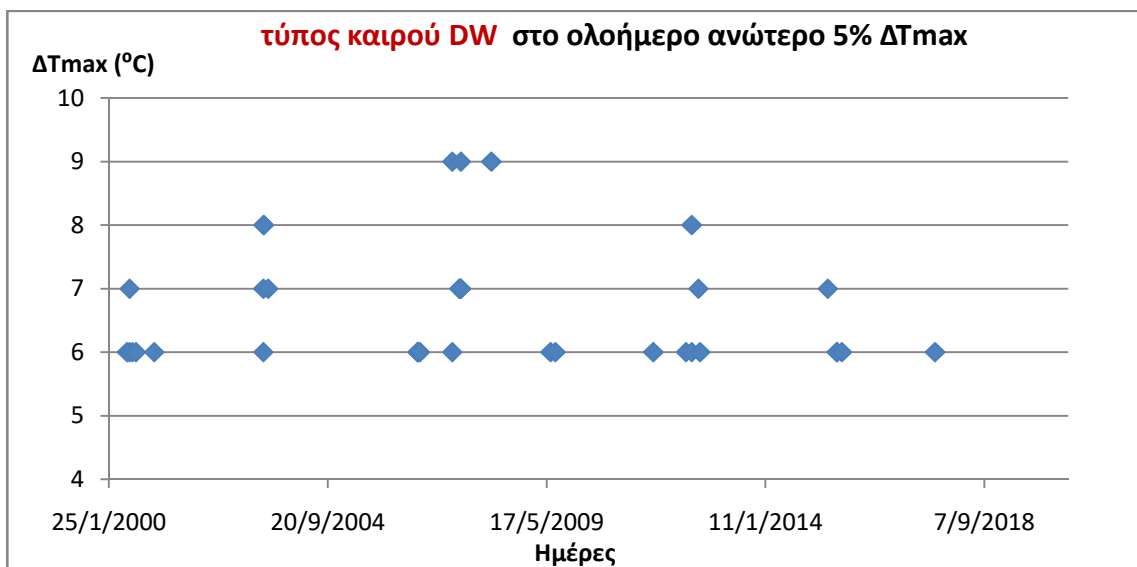
Συγκεκριμένα για αυτούς τους τύπους καιρού, βρέθηκαν οι 3 ανώτερες αριθμητικά τιμές ΔT_{max} , ώστε στη συνέχεια να προσδιοριστούν επακριβώς σε ποιες ημερομηνίες ανήκουν. Με αυτό τον τρόπο, ελέγχθηκαν οι χάρτες καιρού ως προς τη θερμοκρασία στις αντίστοιχες ημερομηνίες για να εξεταστούν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τότε στη περιοχή της Αθήνας.

Ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} Αθήνα για ΑΘΝ

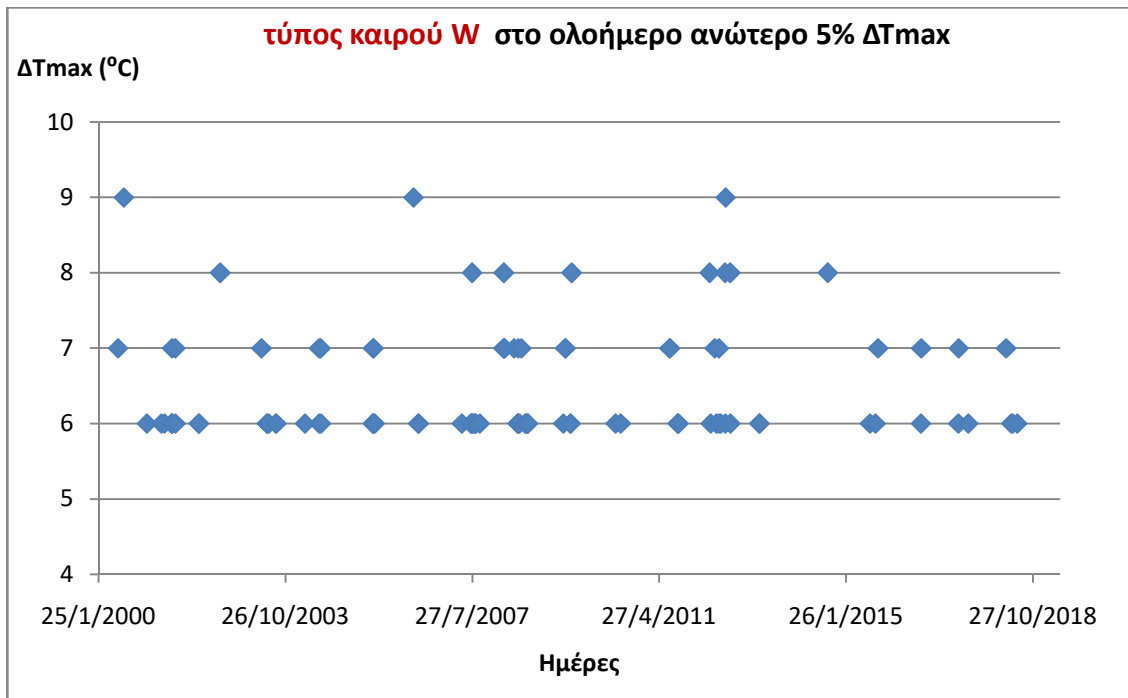
Αναλυτικότερα, δημιουργήθηκαν τα γραφήματα της εσωτερικής κατανομής των τύπων καιρού που συνεισφέρουν περισσότερο στην αστική υπερθέρμανση (urban overheating) και συνεπώς στο φαινόμενο της ΑΘΝ καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας. Οι τύποι καιρού, οι οποίοι φαίνονται και στον πίνακα 4.5, είναι οι H, DW, W, HW και S. Όπως έγινε γνωστό και παραπάνω, ο τύπος καιρού S είναι ουδέτερος και αντιπροσωπεύει σχεδόν τις κανονικές (συνηθισμένες) καιρικές συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και χρονική στιγμή του έτους, άρα θεωρείται ότι δε συνεισφέρει στο φαινόμενο της ΑΘΝ.



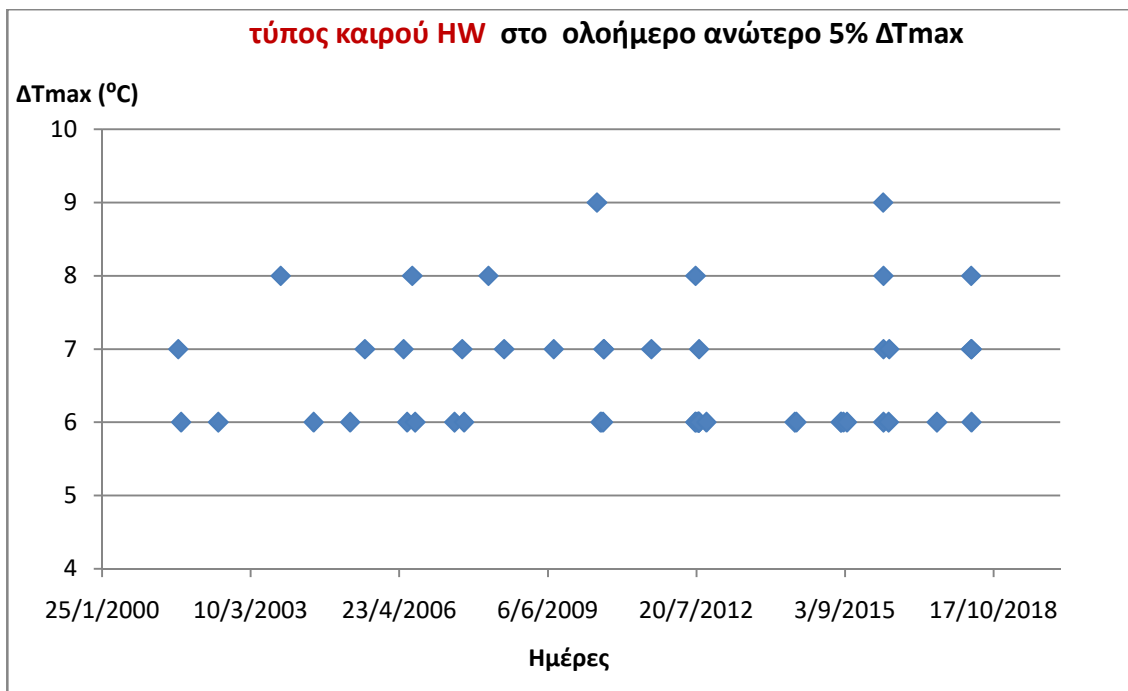
Σχήμα 4.13: Εσωτερική κατανομή του H στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.



Σχήμα 4.14: Εσωτερική κατανομή του DW στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.



Σχήμα 4.15: Εσωτερική κατανομή του W στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.



Σχήμα 4.16: Εσωτερική κατανομή του HW στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.

Στον ακόλουθο πίνακα, φαίνονται οι 3 ανώτερες αριθμητικά τιμές ΔT_{max} ($^{\circ}C$) για κάθε τύπο καιρού που συνεισφέρει στο φαινόμενο της ΑΘΝ, καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας στη πόλη της Αθήνας και εν συνεχεία προσδιορίστηκαν οι ημερομηνίες που συνέβησαν αυτές.

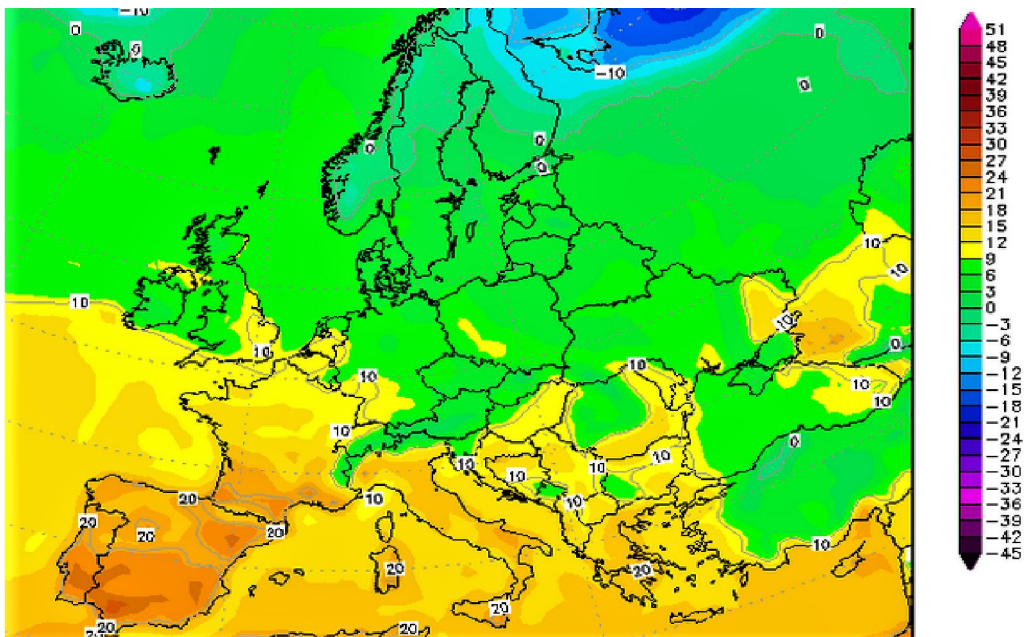
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.5: Ημερομηνίες των 3 ανώτερων ΔT_{max} (ολοήμερου) στα αντίστοιχα WTs, Αθήνα.

WTs που συνεισφέρουν περισσότερο στην ΑΘΝ	Διαφορά μεταξύ ολοήμερου ανωτέρου 5% ΔT_{max} Αθήνα και ολικής (overall) χρονοσειράς	Ημερομηνίες
H	5,2%	$\Delta T_{max} = 9^{\circ}C \rightarrow 23/7/2015$ $\Delta T_{max} = 8^{\circ}C \rightarrow 19/8/2016$ $\Delta T_{max} = 7^{\circ}C \rightarrow 27/7/2017$
DW	2,7%	$\Delta T_{max} = 9^{\circ}C \rightarrow 14/3/2008$ $\Delta T_{max} = 8^{\circ}C \rightarrow 18/6/2012$ $\Delta T_{max} = 7^{\circ}C \rightarrow 9/5/2015$
W	2,2%	$\Delta T_{max} = 9^{\circ}C \rightarrow 26/8/2012$ $\Delta T_{max} = 8^{\circ}C \rightarrow 15/9/2014$ $\Delta T_{max} = 7^{\circ}C \rightarrow 1/5/2017$
HW	2,1%	$\Delta T_{max} = 9^{\circ}C \rightarrow 21/6/2016$ $\Delta T_{max} = 8^{\circ}C \rightarrow 28/4/2018$ $\Delta T_{max} = 7^{\circ}C \rightarrow 6/8/2016$
S	1%	$\Delta T_{max} = 10^{\circ}C \rightarrow 30/5/2008$ $\Delta T_{max} = 9^{\circ}C \rightarrow 13/6/2001$ $\Delta T_{max} = 8^{\circ}C \rightarrow 3/6/2015$

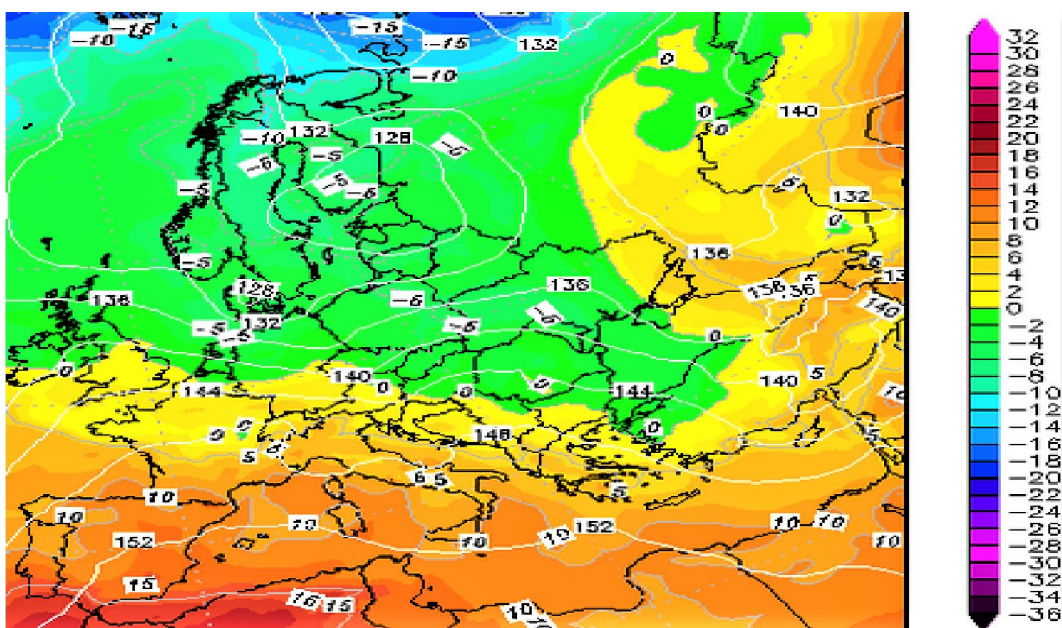
Στη συνέχεια, πάρθηκε ενδεικτικά η ημερομηνία 14/3/2008 που αφορούσε τη μέγιστη θερμοκρασία $\Delta T_{max} = 9^{\circ}C$ και κατά την οποία επικρατούσε ο τύπος καιρού DW στην Αθήνα. Με βάση αυτή την ημερομηνία, ελέγχθηκαν οι χάρτες καιρού ως προς κατανομή της θερμοκρασίας σε ύψος 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, στη στάθμη των 850 hPa (\approx ύψος οριακού στρώματος) καθώς και η βαρομετρική πίεση αλλά και το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa (\approx ύψος 5,5 km). Αυτό έγινε ώστε να εξεταστούν και να προσδιοριστούν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τότε στη περιοχή της Αθήνας και αν προφανώς ταιριάζουν με τους αντίστοιχους τύπους καιρού, γεγονός το οποίο επαληθεύεται.

14/3/2008, $\Delta T_{max} = 9^{\circ}C$ και επικρατών τύπος καιρού DW.

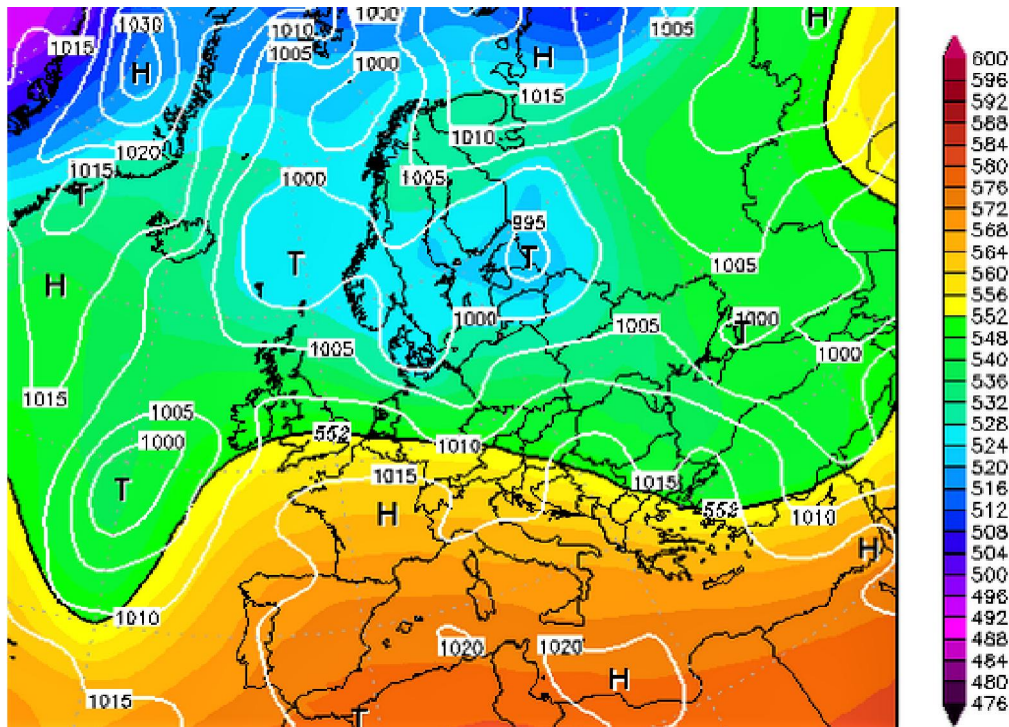
Παρατηρείτε μια κατάσταση στασιμότητας με πολύ μικρής έντασης ανέμους. Στην επιφάνεια κυριαρχεί ένας αντικυκλώνας που καλύπτει την Μεσόγειο (1015 hPa) και ομαλό βαρομετρικό πεδίο. Η διάτμηση του ανέμου φαίνεται πολύ μικρή, ενώ η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή για την εποχή. Παρόμοια πράγματα φαίνονται και στον χάρτη των 850 hPa (ύψος οριακού στρώματος) όπου δεν υπάρχει κάποια διάτμηση. Πιθανή θερμή μεταφορά. Η θερμή μεταφορά είναι υπεύθυνη για τις αναστροφές ύψους. Τα παραπάνω διαπιστώνονται με βάση τους χάρτες **2m Temperature 12Z**, **850 hPa 12Z** και **500hPa 12Z** του ιστότοπου (www.wetterzentrale.de/en/reanalysis.php?model=cfsr).



Εικόνα 4.1: Χάρτης θερμοκρασίας ($^{\circ}C$) σε ύψος 2m στις 14/3/2008 12Z UTC.



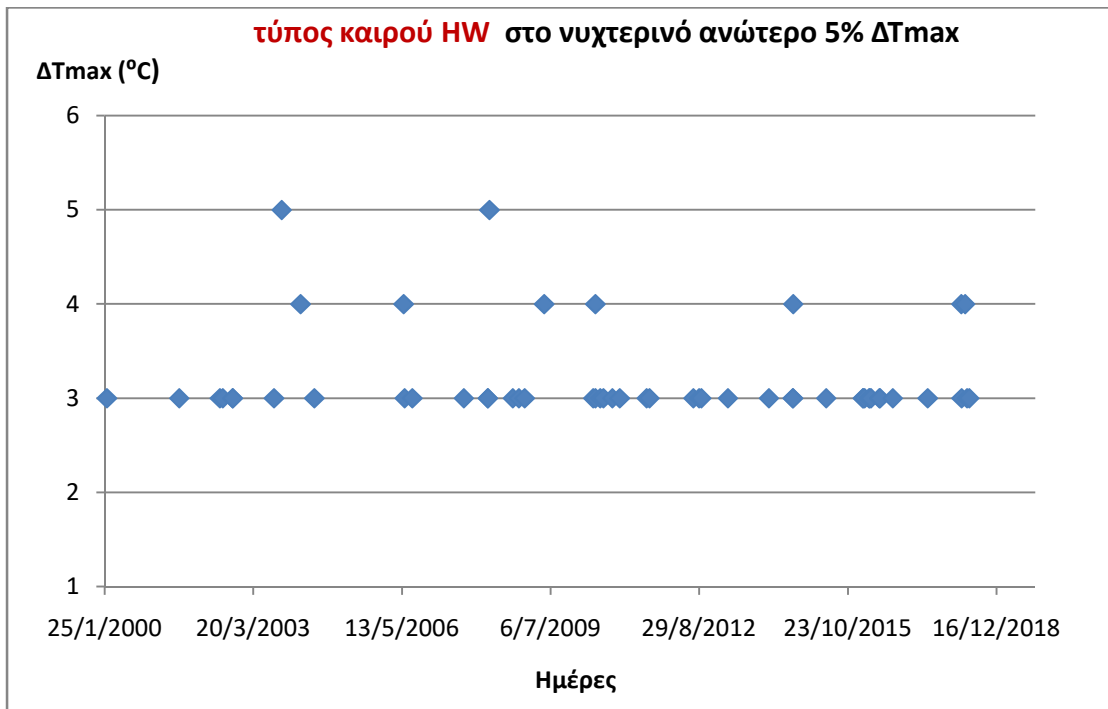
Εικόνα 4.2: Χάρτης θερμοκρασίας ($^{\circ}C$) στη στάθμη 850hPa στις 14/3/2008 12Z UTC.



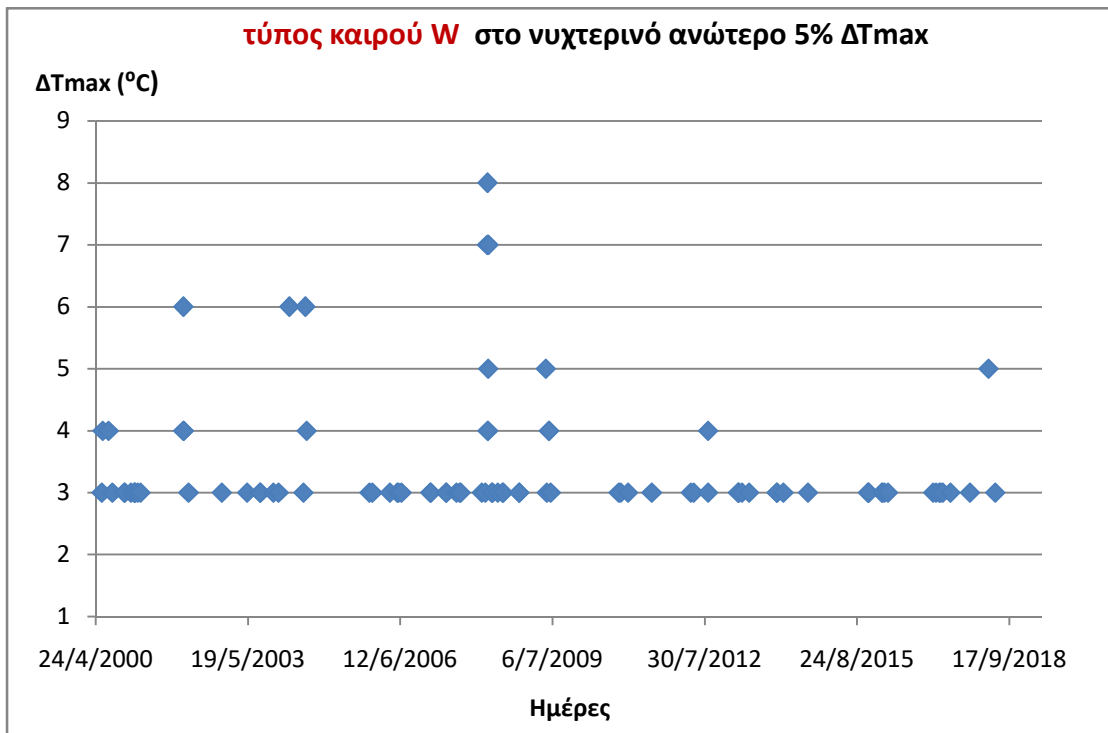
Εικόνα 4.3: Χάρτης πίεσης (hPa) και γεωδ.ύψους στη στάθμη 500hPa στις 14/3/2008 12Z UTC.

Νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} Αθήνα για ΑΘΝ

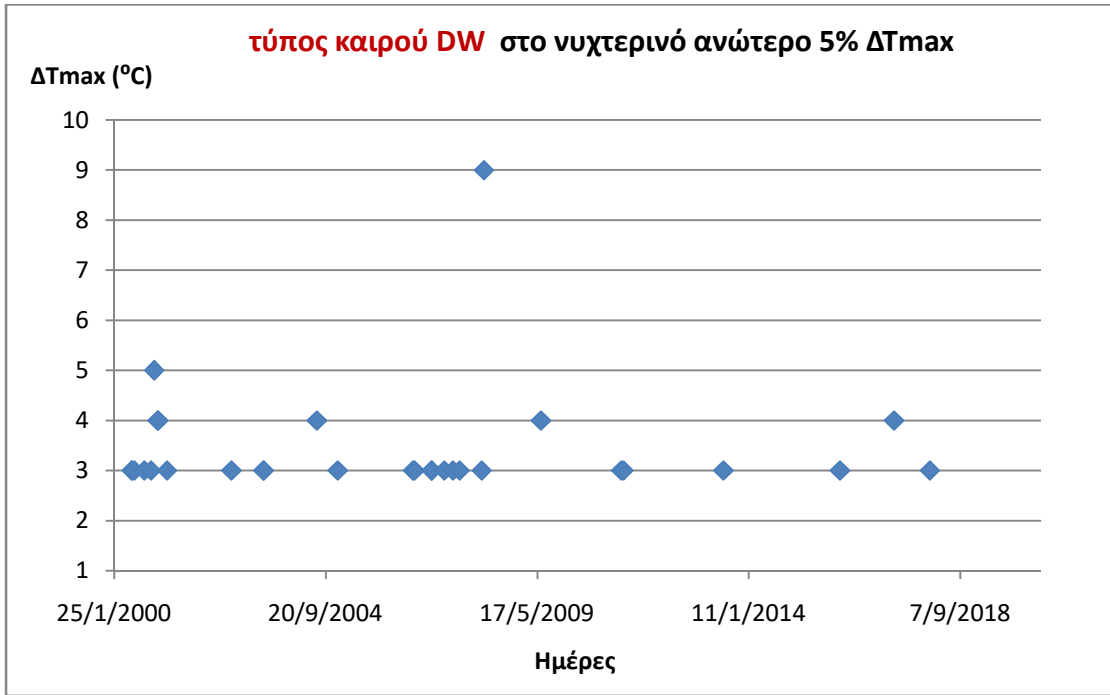
Κατά τον ίδιο τρόπο με προηγουμένως, δημιουργήθηκαν τα γραφήματα της εσωτερικής κατανομής των τύπων καιρού που συνεισφέρουν περισσότερο στην αστική υπερθέρμανση (urban overheating) και συνεπώς στο φαινόμενο της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας αυτή τη φορά (23:00-05:00). Οι τύποι καιρού, οι οποίοι φαίνονται και στον πίνακα 4.6 είναι κατά σειρά οι HW, W, DW, H και S. Όπως έγινε γνωστό και παραπάνω, ο τύπος καιρού S είναι ουδέτερος και αντιπροσωπεύει σχεδόν τις κανονικές (συνηθισμένες) καιρικές συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και χρονική στιγμή του έτους, άρα θεωρείται ότι δε συνεισφέρει στο φαινόμενο της ΑΘΝ. Παρακάτω φαίνονται τα αντίστοιχα γραφήματα των τύπων καιρού.



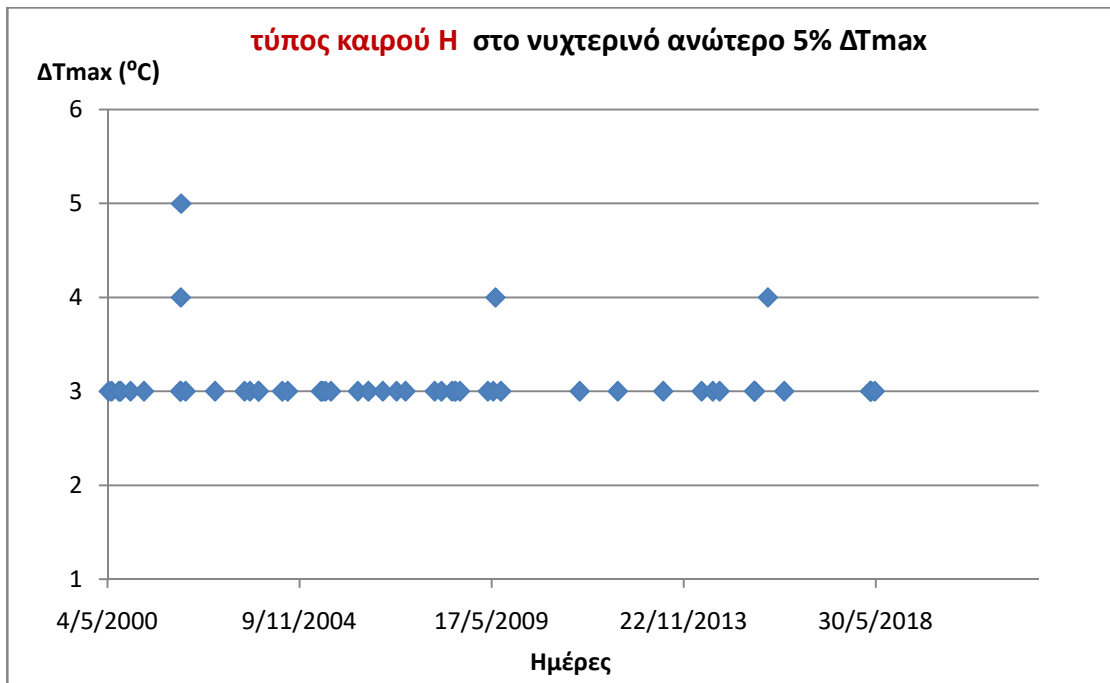
Σχήμα 4.17 : Εσωτερική κατανομή του HW στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.



Σχήμα 4.18 : Εσωτερική κατανομή του W στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.



Σχήμα 4.19 : Εσωτερική κατανομή του DW στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.



Σχήμα 4.20 : Εσωτερική κατανομή του H στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Αθήνα.

Στον ακόλουθο πίνακα, φαίνονται οι 3 ανώτερες αριθμητικά τιμές ΔT_{max} ($^{\circ}C$), για κάθε τύπο καιρού που συνεισφέρει στο φαινόμενο της ΑΘΝ, κατά τη διάρκεια της νύχτας στη πόλη της Αθήνας και εν συνεχεία προσδιορίστηκαν οι ημερομηνίες που συνέβησαν αυτές.

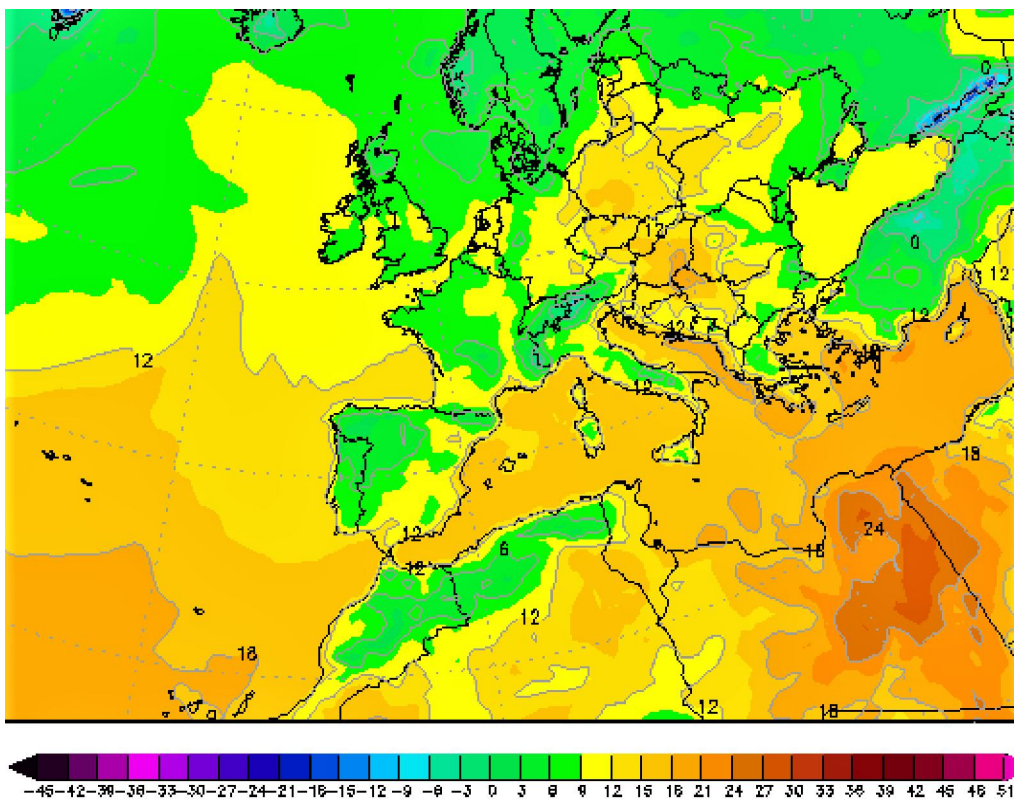
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.6 : Ημερομηνίες των 3 ανώτερων ΔT_{max} (νυχτερινό) στα αντίστοιχα WTs, Αθήνα.

WTs που συνεισφέρουν περισσότερο στην ΑΘΝ	Διαφορά μεταξύ νυχτερινού ανωτέρου 5% Αθήνα και ολικής (overall) χρονοσειράς	Ημερομηνίες
HW	4,4%	$\Delta T_{max} = 5^{\circ}C \rightarrow 20/3/2008$ $\Delta T_{max} = 4^{\circ}C \rightarrow 16/4/2018$ $\Delta T_{max} = 3^{\circ}C \rightarrow 2/7/2017$
W	3,7%	$\Delta T_{max} = 8^{\circ}C \rightarrow 15/3/2008$ $\Delta T_{max} = 7^{\circ}C \rightarrow 21/3/2008$ $\Delta T_{max} = 6^{\circ}C \rightarrow 13/7/2004$
DW	2,1%	$\Delta T_{max} = 9^{\circ}C \rightarrow 14/3/2008$ $\Delta T_{max} = 5^{\circ}C \rightarrow 11/12/2000$ $\Delta T_{max} = 4^{\circ}C \rightarrow 25/3/2017$
H	0,3%	$\Delta T_{max} = 5^{\circ}C \rightarrow 28/1/2002$ $\Delta T_{max} = 4^{\circ}C \rightarrow 14/11/2015$ $\Delta T_{max} = 3^{\circ}C \rightarrow 25/7/2015$
S	0,2%	$\Delta T_{max} = 6^{\circ}C \rightarrow 19/3/2004$ $\Delta T_{max} = 5^{\circ}C \rightarrow 11/5/2014$ $\Delta T_{max} = 4^{\circ}C \rightarrow 9/3/2008$

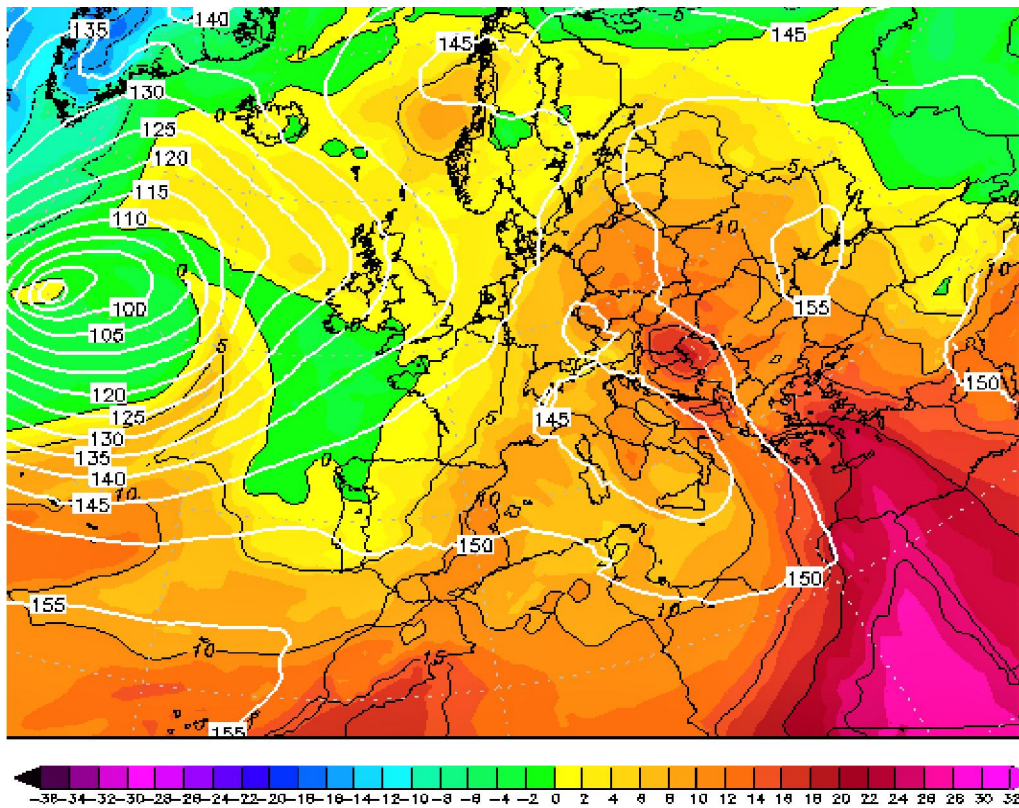
Στη συνέχεια, πάρθηκε ενδεικτικά η ημερομηνία 16/4/2018 που αφορούσε τη μέγιστη θερμοκρασία $\Delta T_{max} = 4^{\circ}C$ και κατά την οποία επικρατούσε ο τύπος καιρού HW στην Αθήνα. Με βάση αυτή την ημερομηνία, ελέγχθηκαν οι χάρτες καιρού ως προς κατανομή της θερμοκρασίας σε ύψος 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, στη στάθμη των 850 hPa (\approx ύψος οριακού στρώματος) καθώς και η βαρομετρική πίεση αλλά και το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa (\approx ύψος 5,5 km). Αυτό έγινε ώστε να εξεταστούν και να προσδιοριστούν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τότε στη περιοχή της Αθήνας και αν προφανώς ταιριάζουν με τους αντίστοιχους τύπους καιρού, γεγονός το οποίο επαληθεύεται.

16/4/2018, $\Delta T_{max} = 4^{\circ}\text{C}$ και επικρατών τύπος καιρού HW.

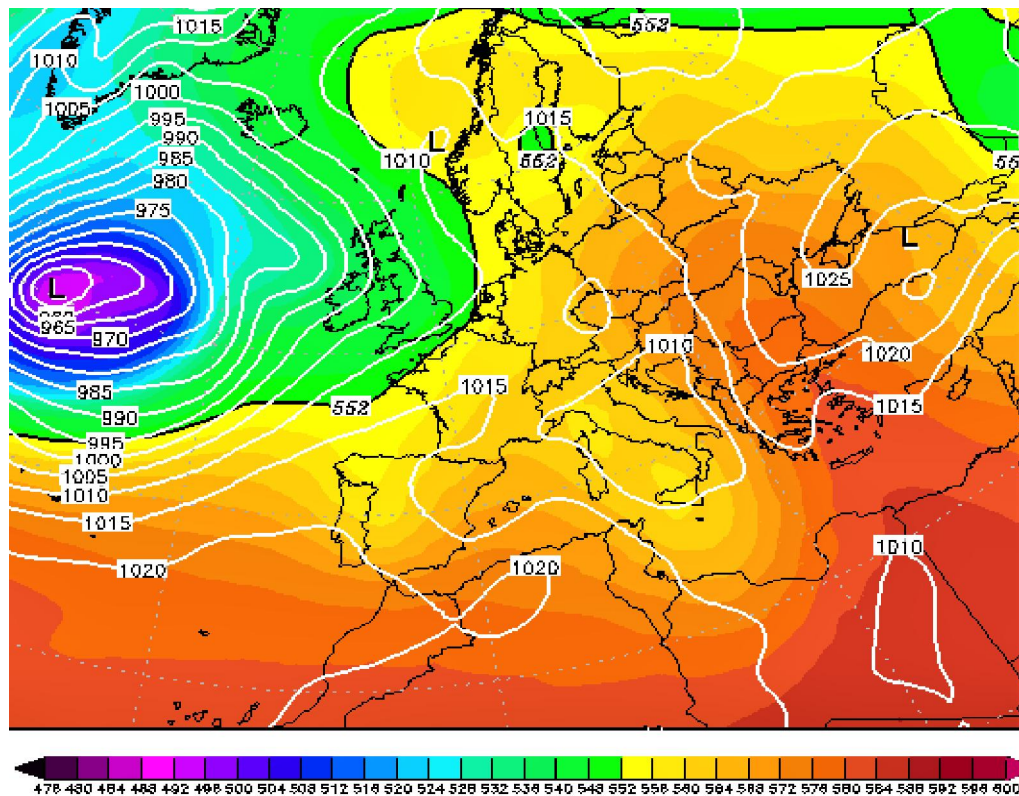
Παρατηρείτε μια κατάσταση στασιμότητας με χαμηλής έντασης ανέμους. Κυριαρχούν αντικυκλωνικές συνθήκες (1015hPa) και γενικότερα ομαλό βαρομετρικό πεδίο. Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας (00Z) φτάνει στα μέσα επίπεδα θερμοκρασίας του Απριλίου, δηλαδή κοντά στους 15°C . Στον χάρτη των 850hPa (ύψος οριακού στρώματος) δε φαίνεται κάποια σημαντική διάτμηση του ανέμου. Ακόμη, φαίνεται ότι πιθανώς έχουμε θερμή μεταφορά αερίων μαζών από τα νότια και συγκεκριμένα από τις περιοχές της Β. Αφρικής, οι οποίες μπορεί να είναι εμπλουτισμένες με υδρατμούς λόγω της κίνησης τους πάνω από το Λιβυκό πέλαγος. Τα παραπάνω διαπιστώνονται με βάση τους χάρτες **2m Temperature 00Z**, **850 hPa 00Z** και **500hPa 00Z** του ιστότοπου (www.wetterzentrale.de/en/reanalysis.php?model=cfsr).



Εικόνα 4.4: Χάρτης θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) σε ύψος 2m στις 16/4/2018 00Z UTC.



Εικόνα 4.5: Χάρτης θερμοκρασίας (°C) στη στάθμη 850hPa στις 16/4/2018 00Z UTC.



Εικόνα 4.6: Χάρτης πίεσης (hPa) και γεωδ.ύψους στη στάθμη 500hPa στις 16/4/2018 00Z UTC.

4.3. Συμπεράσματα για τη περίπτωση της Αθήνας

Η φυσική σημασία και ερμηνεία των παραπάνω τεσσάρων τύπων καιρού (WTs), του συστήματος ταξινόμησης GWTC, είναι σημαντική ώστε να διεκπεραιωθεί η μελέτη για τη περίπτωση της Αθήνας και να γίνει κατανοητός ο λόγος που συνδέονται αυτοί οι τύποι καιρού με την αύξηση της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ). Αξίζει να σημειωθεί ότι αναφέρονται μόνο οι τύποι καιρού, οι οποίοι ενισχύουν το φαινόμενο της ΑΘΝ.

Όσον αφορά το ολοήμερο κομμάτι (00:00 έως 23:00) της Αθήνας, για τη χρονοσειρά 2000 έως 2018, οι επικρατέστεροι τύποι καιρού είναι κυρίως οι θερμοί DW, W, HW αλλά και ο τύπος H. Αυτοί συνεισφέρουν περισσότερο στην ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ στο αστικό κέντρο της Αθήνας.

Αρχικά, ο τύπος Dry Warm (DW) είναι ένας ακραίος τύπος καιρού, όπου αναπαριστά θερμότερες και ξηρότερες καιρικές συνθήκες από τις κανονικές/συνηθισμένες για τη τοποθεσία της Αθήνας και για την εκάστοτε συγκεκριμένη ημέρα (χρονική στιγμή) ενός έτους που εμφανίζεται. Επίσης, ο τύπος Humid Warm (HW) είναι ακόμη ένας ακραίος τύπος καιρού, που αντικατοπτρίζει θερμότερες και υγρότερες καιρικές συνθήκες από τις κανονικές για τη τοποθεσία και για την εκάστοτε ημέρα ενός έτους που επικρατεί. Από την άλλη πλευρά, ο τύπος Warm (W) είναι μετριασμένος ως προς την υγρασία, αντιπροσωπεύοντας θερμότερες καιρικές συνθήκες από τις συνηθισμένες για τη τοποθεσία της Αθήνας και για τη συγκεκριμένη ημέρα ενός έτους που εμφανίζεται. Τέλος, σε αντίθεση με τον τύπο καιρού Humid (H), που είναι μετριασμένος ως προς τη θερμοκρασία αλλά αναπαριστά υγρότερες (αύξηση υγρασίας) καιρικές συνθήκες από τις κανονικές για τη περιοχή της Αθήνας και για την εκάστοτε ημέρα ενός έτους που επικρατεί.

Ακριβώς οι ίδιοι, κυρίως θερμοί τύποι καιρού W, DW, HW αλλά και H, συνεισφέρουν στην ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ για τη πόλη της Αθήνας, κατά τη διάρκεια της νύχτας και συγκεκριμένα για τις ώρες 23:00 έως 05:00, της χρονοσειράς 2000 έως 2018. Όμως, προφανώς με διαφορετικές συχνότητες, οι οποίες γνωστοποιήθηκαν στην ανάλυση.

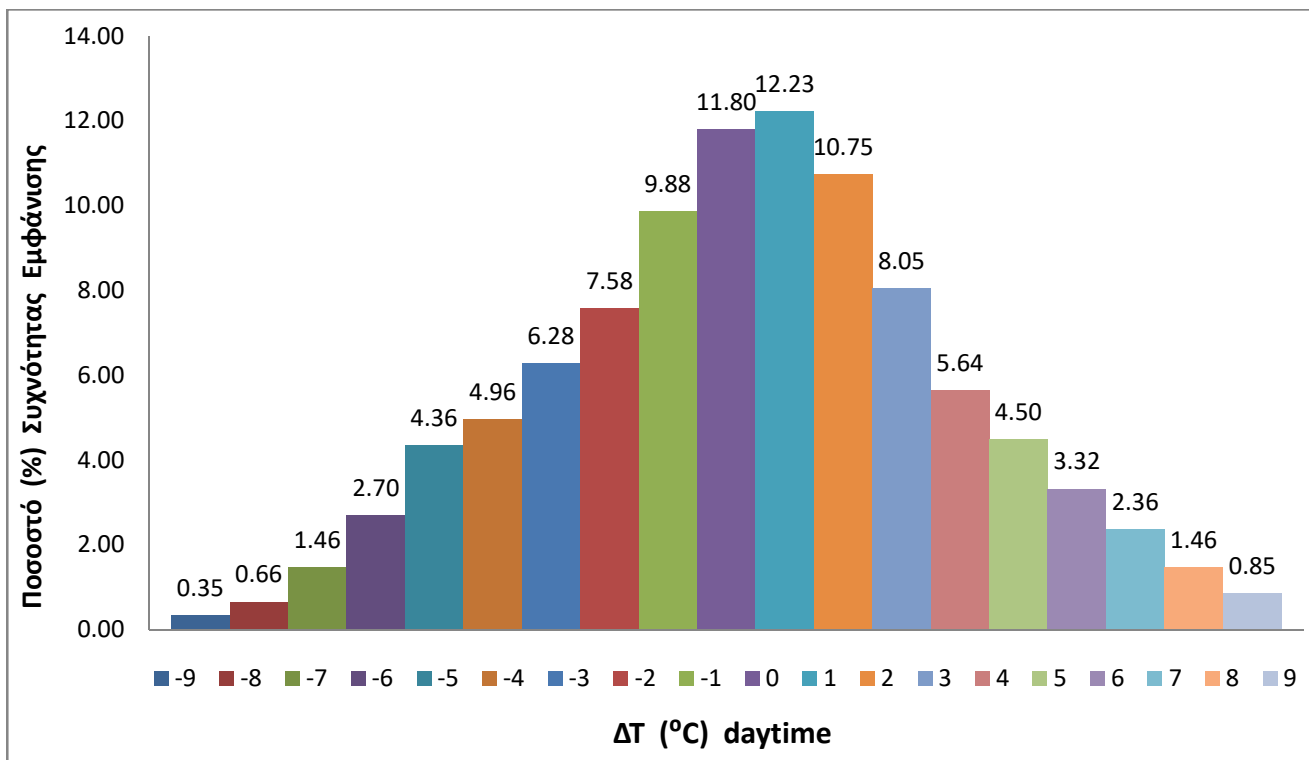
4.4. Η περίπτωση της Θεσσαλονίκης

4.4.1. Η διαφορά θερμοκρασίας (ΔT) μεταξύ αστικού κέντρου και υπαίθρου

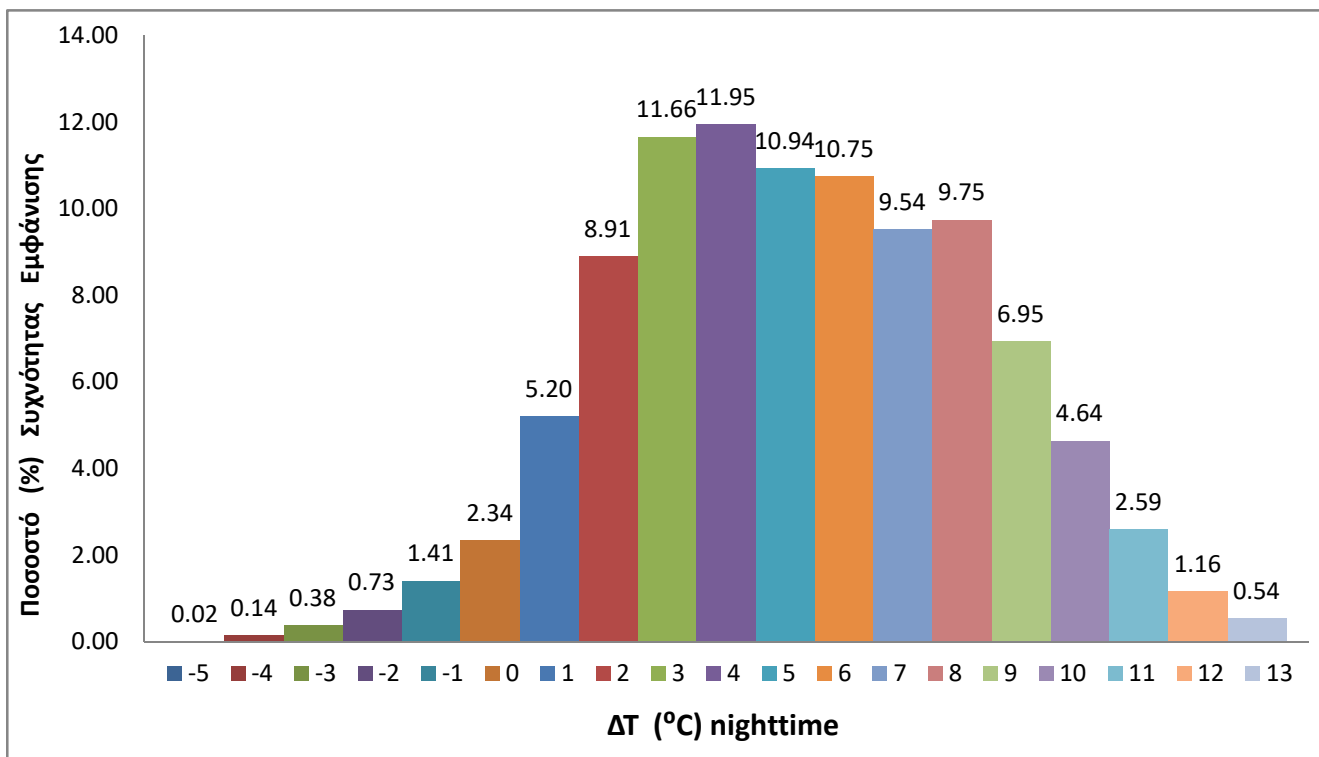
Η διαφορά της θερμοκρασίας (ΔT) μεταξύ του αστικού κέντρου και της υπαίθρου για τη πόλη της Θεσσαλονίκης, επιτυγχάνεται βρίσκοντας τη αυτή μεταξύ της Εγνατίας Οδού και της Μίκρας, συγκεκριμένα του αεροδρομίου “Μακεδονία”. Η εργασία πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας ημερήσια ανά τρίωρο θερμοκρασιακά δεδομένα (00:00, 03:00, 06:00, 09:00, 12:00, 15:00, 18:00, 21:00), ύψους 2m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, από ένα μετεωρολογικό σταθμό για καθεμία από τις προαναφερθείσες περιοχές. Οι θερμοκρασίες αφορούσαν τη χρονοσειρά 2004 έως 2009. Με αυτό τον τρόπο χωρίστηκαν τα θερμοκρασιακά δεδομένα σε ημερήσια (daytime) και σε νυχτερινά (nighttime), ώστε να βρεθεί αντίστοιχα το $\Delta T_{\text{daytime}}$ και $\Delta T_{\text{nighttime}}$. Εν συνεχεία, δημιουργήθηκε η κατανομή της συχνότητας ΔT μεταξύ Εγνατίας Οδού και Μίκρας, τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας (από 09:00 έως 21:00) όσο και κατά τη διάρκεια της νύχτας (00:00 έως 06:00). Τέλος, υπολογίστηκε το ποσοστό εμφάνισης επί τοις (%) των $\Delta T_{\text{daytime}}$ και $\Delta T_{\text{nighttime}}$, με βάση τη μαθηματική σχέση 4.1.

Αξίζει να σημειωθεί ότι κατά τη διάρκεια της ημέρας, το $\Delta T_{\text{daytime}}$ εμφανιζόταν θετικό περίπου στο 49,8% των συνολικών μετρήσεων της χρονοσειράς, σε αντίθεση με το αρνητικό $\Delta T_{\text{daytime}}$, το οποίο άγγιζε ένα ποσοστό κοντά 38,4%. Το υπόλοιπο άνηκε στο $\Delta T_{\text{daytime}} = 0$ °C. Από την άλλη πλευρά, κατά τη διάρκεια της νύχτας, το ποσοστό εμφάνισης του θετικού $\Delta T_{\text{nighttime}}$ (> 0) ήταν υψηλότερο απ ό τι στη διάρκεια της ημέρας και για το αρνητικό $\Delta T_{\text{nighttime}}$ (< 0) ήταν πολύ χαμηλό. Παρατηρείται λοιπόν με βάση και τα παρακάτω δύο γραφήματα, ότι η ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ στη πόλη της Θεσσαλονίκης είναι μεγαλύτερη/ισχυρότερη κατά τη διάρκεια της νύχτας.

Στα ακόλουθα δύο γραφήματα φαίνονται όλα τα προαναφερθέντα συμπεράσματα. Το πρώτο γράφημα (Σχήμα 4.20) αναφέρεται στην (%) συχνότητα εμφάνισης του $\Delta T_{\text{daytime}}$ κατά τη διάρκεια της ημέρας, ενώ το δεύτερο (Σχήμα 4.21) στην (%) συχνότητα εμφάνισης του $\Delta T_{\text{nighttime}}$ κατά τη διάρκεια της νύχτας.



Σχήμα 4.21 : Ποσοστό επί τοις (%) της συχνότητας εμφάνισης του $\Delta T_{\text{daytime}}$, Θεσσαλονίκη.

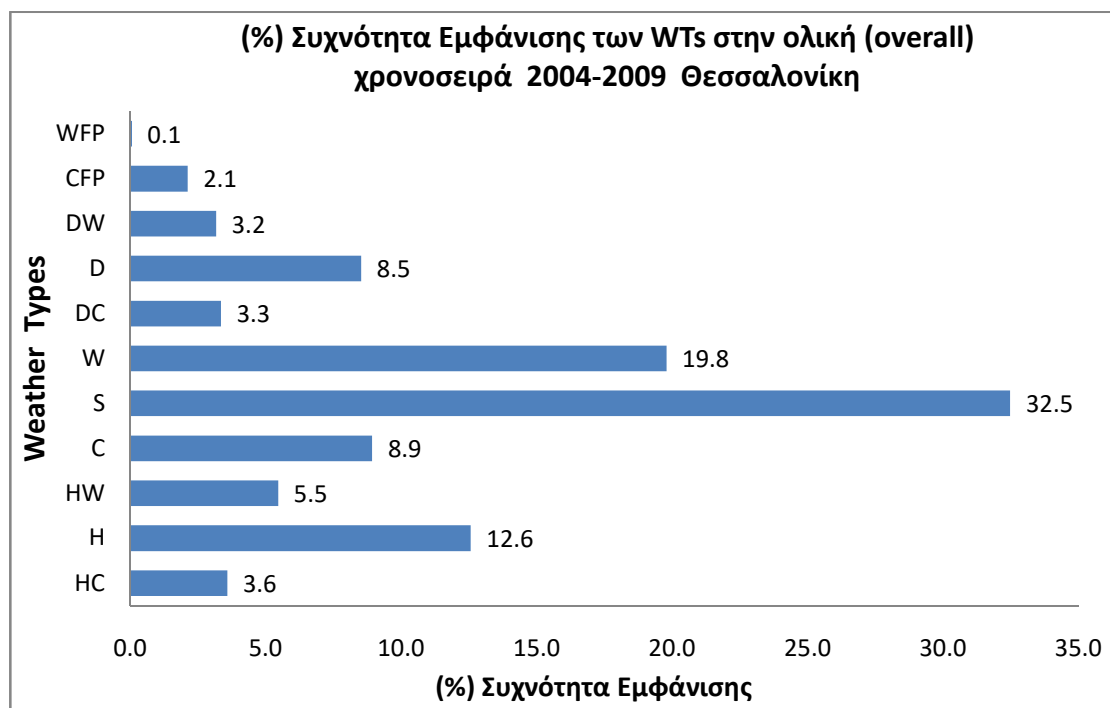


Σχήμα 4.22: Ποσοστό επί τοις (%) της συχνότητας εμφάνισης του $\Delta T_{\text{nighttime}}$, Θεσσαλονίκη.

4.4.2. Συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού (Weather types)

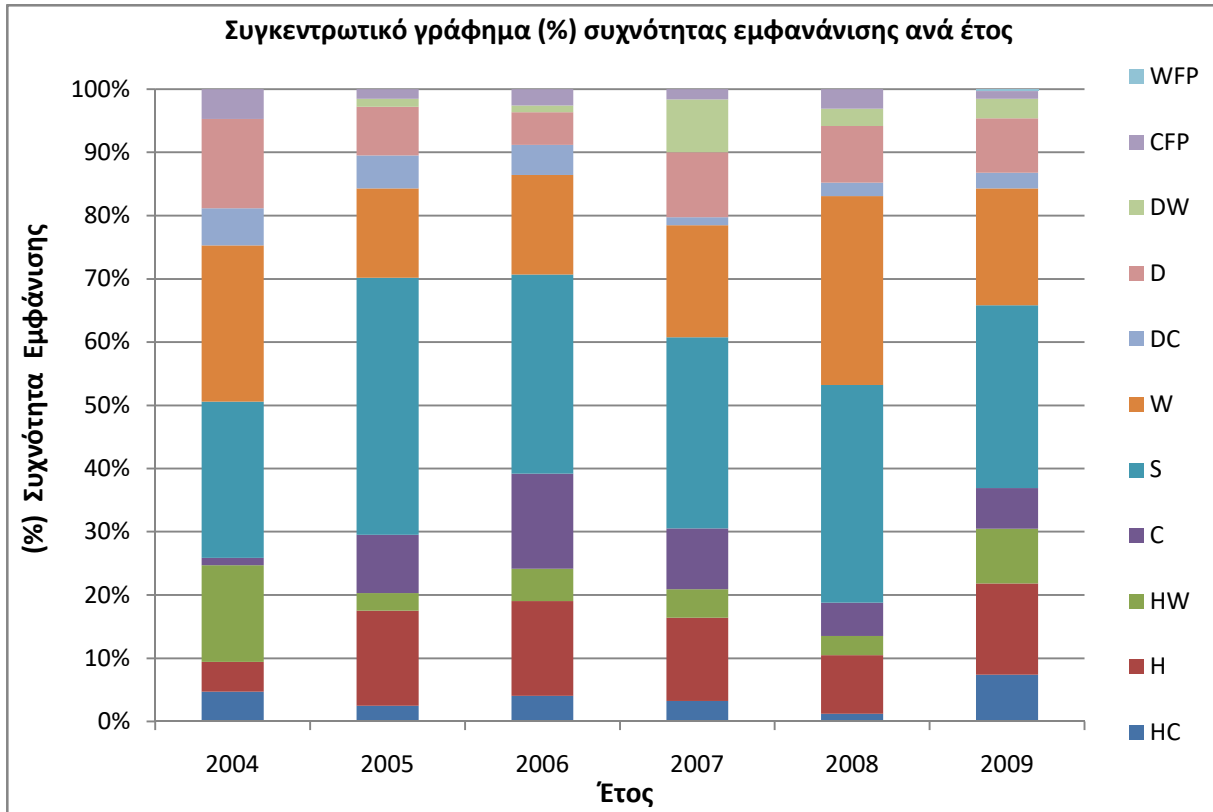
Τα ημερήσια δεδομένα των τύπων καιρού (Weather Types, WTs) της χρονοσειράς από την 1^η Ιανουαρίου 2004 έως τη 31^η Δεκεμβρίου 2009, ελήφθησαν από το σύστημα GWTC Data (<https://www.personal.kent.edu/~cclee/gwtcdata.html>) για τα 12 σημεία του πλέγματος της Θεσσαλονίκης, όπως ακριβώς έγινε και για τη πόλη της Αθήνας. Αυτό σημαίνει ότι υπήρχαν 12 συντεταγμένες με τη καθεμία να περιλαμβάνει τον επικρατέστερο ημερήσιο τύπο καιρού. Έπειτα, βρέθηκε το συνολικά επικρατών WT και των 12 συντεταγμένων για την κάθε ημέρα της χρονοσειράς. Με αυτό τον τρόπο εξήχθη η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των συνοπτικών αερίων μαζών, δηλαδή των τύπων καιρού (Weather Types), για τη περιοχή της Θεσσαλονίκης, κατά αντίστοιχο τρόπο σύμφωνα με τη σχέση (4.1).

Ο τύπος Seasonal (S) είναι ο πιο συχνός τύπος καιρού καθ' όλη τη διάρκεια της χρονοσειράς με ποσοστό 32,5% και ακολουθούν οι τύποι Warm (W) με 19,8%, Humid (H) με 12,6%, Cool (C) με 8,9%, Dry (D) με 8,5%, Humid Warm (HW) με 5,5%, Humid Cool (HC) με 3,6%, Dry Cool (DC) με 3,3%, Dry Warm (DW) με 3,2%, Cold Front Passage (CFP) με 2,1% και τέλος το Warm Front Passage (WFP) με 0,1%. Τα παραπάνω φαίνονται στο γράφημα που ακολουθεί, όπου απεικονίζει την (%) συχνότητα εμφάνισης ολόκληρης (overall) της χρονοσειράς 2004 έως 2009 για τη πόλη της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 4.23: Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά 2004-2009.

Επίσης, δημιουργήθηκε και ένα ακόμη συγκεντρωτικό γράφημα για την ολική χρονοσειρά της Θεσσαλονίκης, δίνοντας ξεχωριστά την επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης του κάθε τύπου καιρού ανά έτος. Το γράφημα αυτό, δίνεται στο σχήμα 4.23.



Σχήμα 4.24: Η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των τύπων καιρού ανά έτος για τη Θεσσαλονίκη.

Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε και η μελέτη των επί τοις (%) συχνοτήτων εμφάνισης των τύπων καιρού του εποχιακού συνόλου της χρονοσειράς για τη Θεσσαλονίκη. Οι 4 εποχές χωρίστηκαν με βάση τα δεδομένα των μηνών :

Χειμώνας → (Δεκέμβριος – Ιανουάριος – Φεβρουάριος)

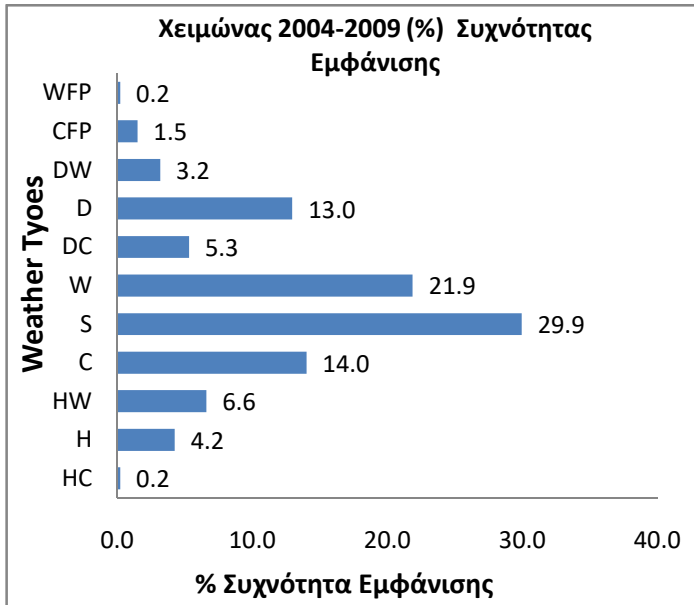
Άνοιξη → (Μάρτιος – Απρίλιος – Μάιος)

Καλοκαίρι → (Ιούνιος – Ιούλιος – Αύγουστος)

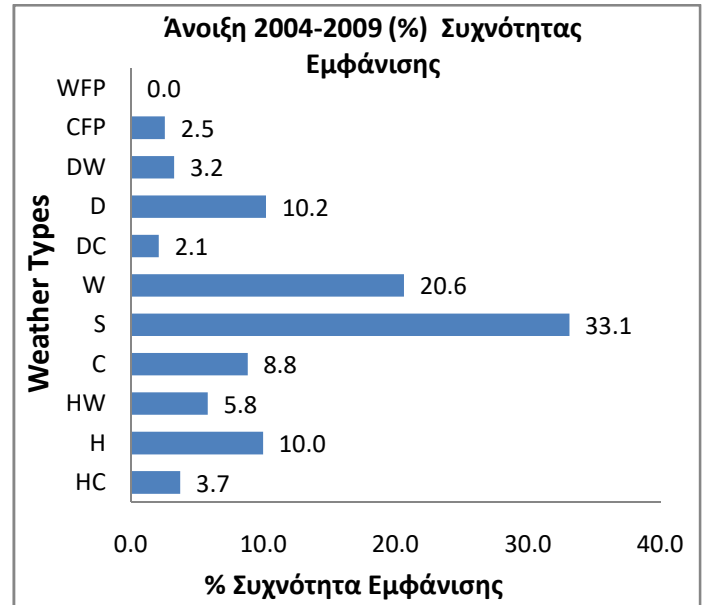
Φθινόπωρο → (Σεπτέμβριος – Οκτώβριος – Νοέμβριος)

Η συχνότητα εμφάνισης των W, H, HC ήταν υψηλότερη κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού στη πόλη της Θεσσαλονίκης. Σε αντίθεση με τον χειμώνα, όπου εκεί οι τύποι καιρού W, C, D και HW εμφανιστήκαν με τη μεγαλύτερη συχνότητα. Ο τύπος Seasonal (S) επικρατεί σε όλη τη χρονοσειρά και συνεπώς σε όλες τις εποχές. Κάτι που αξίζει να σημειωθεί για τον τύπο καιρού Seasonal (S) είναι ότι η συχνότητα εμφάνισης μειώθηκε ελαφρά (29,9%) το χειμώνα σε σχέση με τις άλλες εποχές. Επίσης, ο

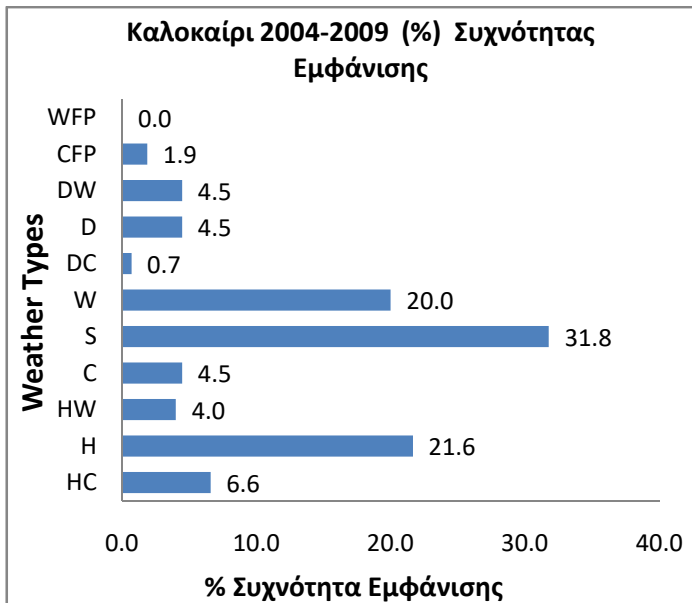
τύπος καιρού Warm (W) έχει μεγαλύτερες συχνότητες εμφάνισης το χειμώνα (21,9%) και την Άνοιξη (20,6%) σε σχέση με τις άλλες δύο εποχές. Όλα τα παραπάνω, διαπιστώνονται στα ακόλουθα γραφήματα.



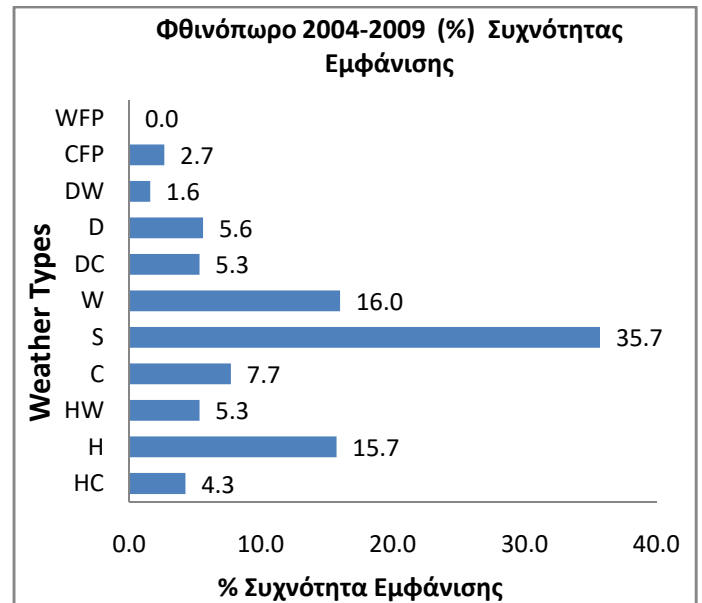
Σχήμα 4.25: (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Χειμώνας.



Σχήμα 4.26: (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Άνοιξη.



Σχήμα 4.27: (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Καλοκαίρι.



Σχήμα 4.28: (%) Συχνότητα εμφάνισης WTs Φθινόπωρο.

4.4.3 Αστική θέρμανση/ψύξη στη Θεσσαλονίκη και τύποι καιρού (WTs)

Όπως και στη περίπτωση της Αθήνας έτσι και για τη πόλη της Θεσσαλονίκης, για να επιτευχθεί η συσχέτιση μεταξύ των τύπων καιρού (WTs) και της **αστικής υπερθέρμανσης (urban overheating)**, 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). Δηλαδή, βρέθηκε το υψηλότερο 5% των ολικών μέγιστων θερμοκρασιών μεταξύ της Εγνατίας Οδού και της Μίκρας, κατά τη διάρκεια ολόκληρης της ημέρας (00:00 έως 21:00, τα δεδομένα είναι ανά τρίωρο) και ύστερα μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας (00:00 έως 06:00, ανά τρίωρο), για τη χρονοσειρά των ετών 2004 έως 2009. Από την άλλη πλευρά, βρέθηκε και το κατώτερο 5% του ΔT_{max} με τον αντίστοιχο χρονικό διαχωρισμό όπως και για το ανώτερο, ώστε να αποδοθεί η **αστική ψύξη (urban cooling)** για το κέντρο της Θεσσαλονίκης.

Ανώτερο 5% ΔT_{max} Θεσσαλονίκη

Ξεκινώντας με την εύρεση του **ολοήμερου ανωτέρου 5% ΔT_{max}** , υπολογίστηκαν οι επί τοις (%) συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού (WTs) για αυτή τη κατηγορία και συγκρίθηκαν με τις αντίστοιχες της ολικής χρονοσειράς (overall) της Θεσσαλονίκης (βλ. Σχήμα 4.22). Όπως και στη περίπτωση της Αθήνας έτσι και εδώ, αν η επί τοις (%) διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων εμφάνισης του ολοήμερου 5% ΔT_{max} και της ολικής (overall) χρονοσειράς είναι θετική, τότε οι εκάστοτε τύποι καιρού συνεισφέρουν περισσότερο στην αστική θέρμανση και προφανώς στην αύξηση του φαινομένου της ΑΘΝ. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται οι συχνότητες εμφάνισης των τύπων καιρού για το ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} και οι αντίστοιχες της συνολικής (overall) χρονοσειράς.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.7: (%) διαφορά μεταξύ ολοήμερου ανωτ. 5% ΔT_{max} & overall συχνοτήτων εμφάνισης.

Τύποι καιρού WTs	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max}	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά (Overall)
HC	0%	3,6%
H	4,5%	12,6%
HW	1,8%	5,5%
C	5,4%	8,9%
S	✓ 38,4%	32,5%
W	✓ 20,5%	19,8%
DC	2,7%	3,3%
D	✓ 14,3%	8,5%
DW	✓ 8,9%	3,2%
CFP	✓ 3,6%	2,1%
WFP	0%	0,1%

Οι θετικές ποσοστιαίες (%) διαφορές μεταξύ των συχνοτήτων εμφάνισης είναι κατά σειρά:

S: 5,9%

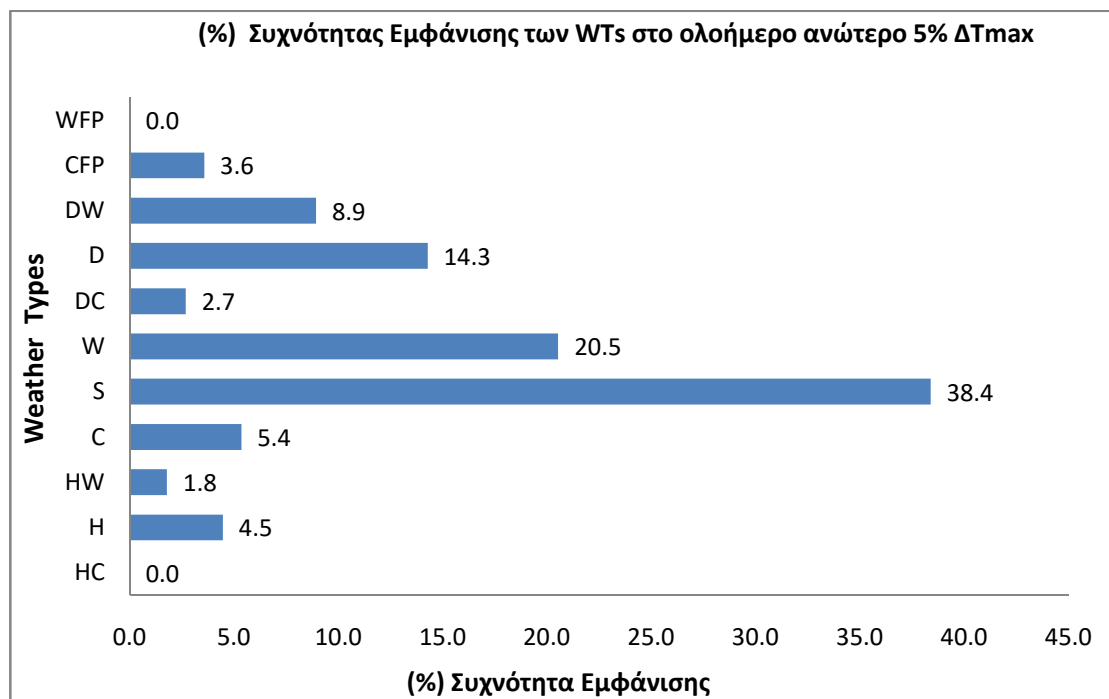
D: 5,8%

DW: 5,7%

CFP: 1,5%

W: 0,7%

Άρα, προκύπτει το συμπέρασμα ότι κυρίως ο τύπος Dry (D) συμμετέχει ‘‘ισχυρότερα’’ στην αστική θέρμανση και άρα περισσότερο στο φαινόμενο της ΑΘΝ για το ολόημερο κομμάτι της Θεσσαλονίκης. Ο τύπος καιρού S όπως έχει αναφερθεί, είναι ουδέτερος και αντιπροσωπεύει σχεδόν τις κανονικές (συνηθισμένες) καιρικές συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και χρονική στιγμή του έτους, γι αυτό και δεν συμπεριλαμβάνεται στην συνεισφορά του στην ΑΘΝ. Στο ακόλουθο σχήμα, φαίνεται η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} για τη Θεσσαλονίκη.



Σχήμα 4.29: (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} της Θεσσαλονίκης.

Το ίδιο με προηγουμένως γίνεται και για το **νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max}** της Θεσσαλονίκης παρακάτω. Είναι αντιληπτό ότι κυρίως οι τύποι καιρού W, D, DW και DC είναι επικρατέστεροι και συνεισφέρουν περισσότερο στην αστική θέρμανση κατά το νυχτερινό κομμάτι στη πόλη της Θεσσαλονίκης, καθώς παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφορά. Τα παραπάνω φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

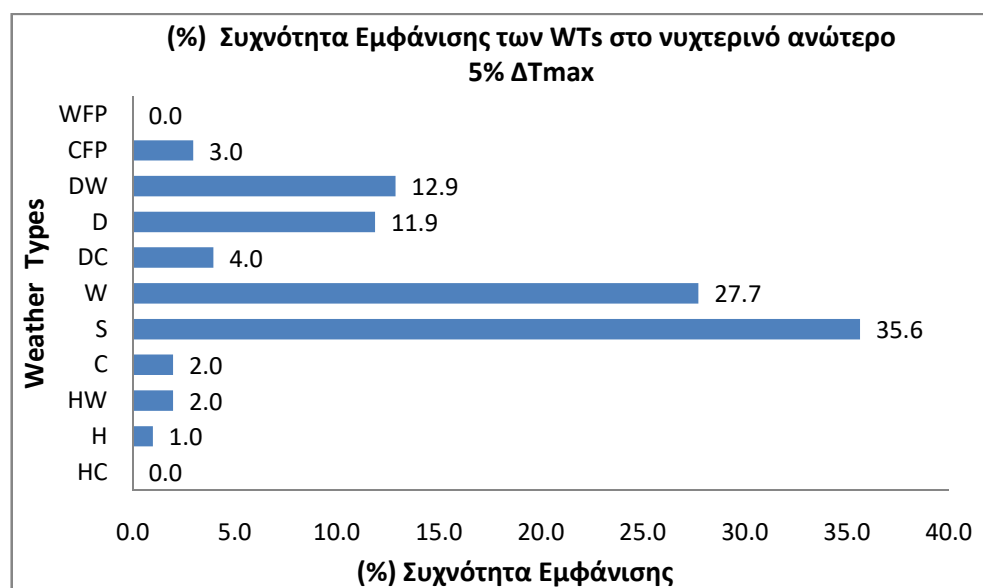
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.8: (%) διαφορά μεταξύ νυχτερινού ανωτ. 5% ΔTmax & overall συχνοτήτων εμφάνισης.

Τύποι Καιρού WTs	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔTmax	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά (Overall)
HC	0%	3,6%
H	1%	12,6%
HW	2%	5,5%
C	2%	8,9%
S	✓ 35,6%	32,5%
W	✓ 27,7%	19,8%
DC	✓ 4%	3,3%
D	✓ 11,9%	8,5%
DW	✓ 12,9%	3,2%
CFP	✓ 3%	2,1%
WFP	0%	0,1%

Οι θετικές ποσοστιαίες (%) διαφορές μεταξύ των συχνοτήτων εμφάνισης είναι κατά σειρά:

DW: 9,7% W: 7,9% D: 3,4% S: 3,1% CFP: 0,9% DC: 0,7%

Γίνεται αντιληπτό ότι ο τύπος καιρού DC, όπως και ο μεταβατικός τύπος CFP εμφανίζουν μικρή θετική διαφορά (0,7% και 0,9% αντίστοιχα) και άρα συνεισφέρουν αμυδρά στο φαινόμενο της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας για τη πόλη της Θεσσαλονίκης. Μεγαλύτερη συνεισφορά έχει ο τύπος καιρού DW. Στο ακόλουθο σχήμα, φαίνεται η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔTmax για τη Θεσσαλονίκη.



Σχήμα 4.30: (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔTmax της Θεσσαλονίκης.

Κατώτερο 5% ΔTmax Θεσσαλονίκη

Τα αντίστοιχα με τα παραπάνω γίνονται και για το κατώτερο 5% ΔTmax (ολοήμερο & νυχτερινό) της Θεσσαλονίκης, ώστε να διαπιστωθεί ποιοι από τους τύπους καιρού συμμετέχουν στην αστική ψύξη του κέντρου της πόλης και προφανώς λιγότερο στην ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ.

Αρχικά, για το **ολοήμερο κατώτερο 5% ΔTmax** οι τύποι καιρού που εμφανίζουν θετική διαφορά είναι κυρίως οι ψυχροί τύποι C, HC, CFP αλλά και ένας από τους θερμούς HW. Αυτό διαπιστώνεται συγκρίνοντας και βρίσκοντας τη θετική διαφορά μεταξύ των επί τοις (%) συχνοτήτων εμφάνισης των WTs του κατώτερου 5% ΔTmax και ολόκληρης της χρονοσειράς (overall). Τα παραπάνω φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.9: (%) διαφορά μεταξύ ολοήμερου κατ. 5% ΔTmax & overall συχνοτήτων εμφάνισης.

Τύποι Καιρού WTs	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολοήμερο κατώτερο 5% ΔTmax		Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά (Overall)
HC	✓	5,5%	3,6%
H		11%	12,6%
HW	✓	8,8%	5,5%
C	✓	19,3%	8,9%
S		29,3%	32,5%
W		15,5%	19,8%
DC		3,3%	3,3%
D		3,3%	8,5%
DW		0,6%	3,2%
CFP	✓	3,3%	2,1%
WFP		0%	0,1%

Οι θετικές ποσοστιαίες (%) διαφορές μεταξύ των συχνοτήτων εμφάνισης είναι κατά σειρά:

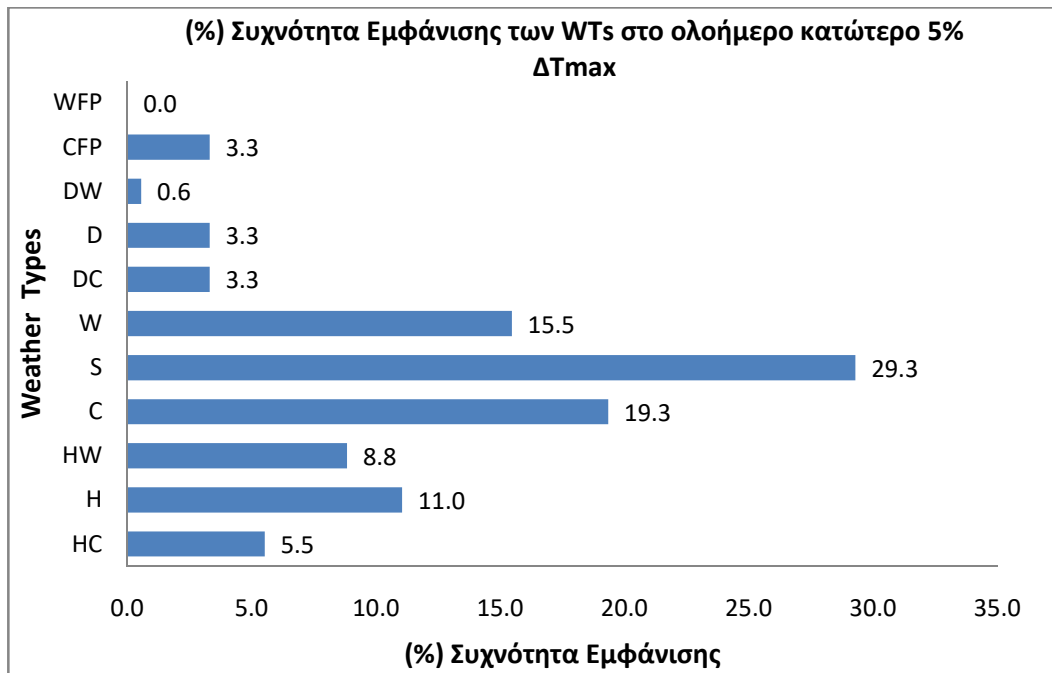
C: 10,4%

HW: 3,3%

HC: 1,9%

CFP: 1,2%

Ο τύπος καιρού που συνεισφέρει ισχυρότερα στην αστική ψύξη και άρα λιγότερο στην ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ είναι ο τύπος C, που παρουσιάζει τη μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφορά σε σχέση με τους υπόλοιπους τρεις. Στο ακόλουθο σχήμα, φαίνεται η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στο ολοήμερο κατώτερο 5% ΔTmax της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 4.31: (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο ολόημερο κατώτερο 5% ΔTmax της Θεσσαλονίκης.

Για το **νυχτερινό κατώτερο 5% ΔTmax**, οι τύποι καιρού που επικρατούν είναι οι C, HC, DC, CFP και HW. Το γεγονός αυτό επαληθεύεται πάλι συγκρίνοντας και βρίσκοντας θετική τη διαφορά μεταξύ των επί τοις (%) συχνοτήτων εμφάνισης των WTs του κατώτερου 5% ΔTmax νυχτερινού και ολόκληρης της χρονοσειράς (overall). Τα αποτελέσματα φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

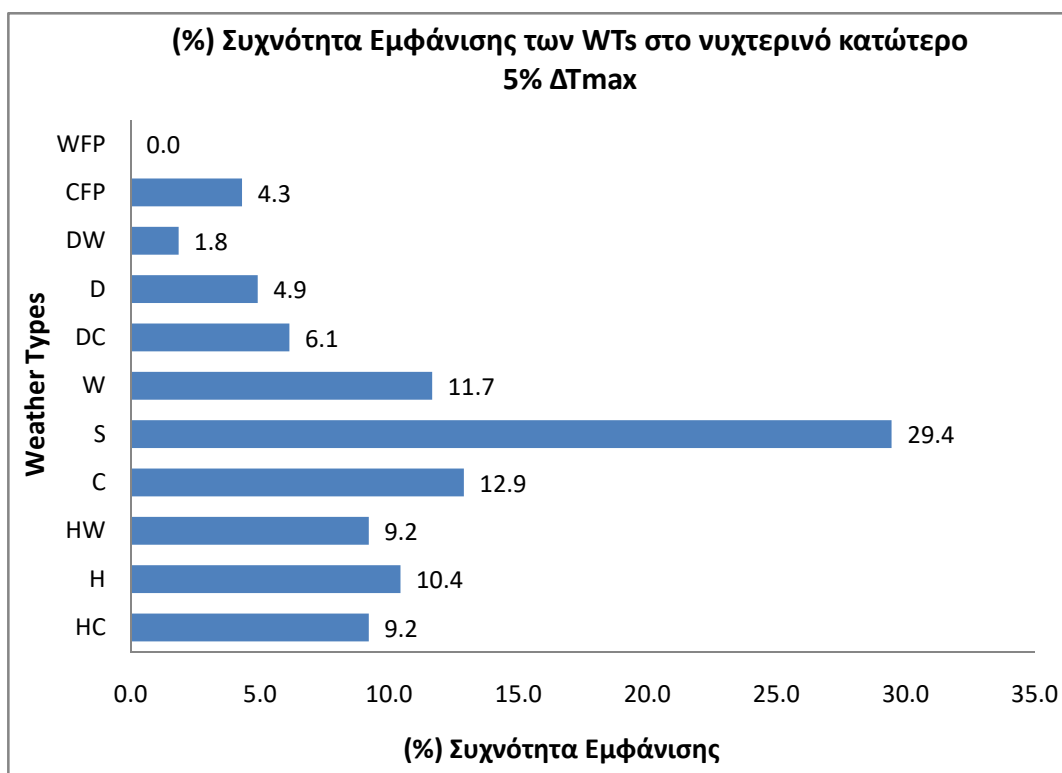
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.10: (%) διαφορά μεταξύ νυχτερινού κατ. 5% ΔTmax & overall συχνοτήτων εμφάνισης.

Τύποι Καιρού WTs	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό κατώτερο 5% ΔTmax	Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στην ολική χρονοσειρά (Overall)
HC	✓ 9,2%	3,6%
H	10,4%	12,6%
HW	✓ 9,2%	5,5%
C	✓ 12,9%	8,9%
S	29,4%	32,5%
W	11,7%	19,8%
DC	✓ 6,1%	3,3%
D	4,9%	8,5%
DW	1,8%	3,2%
CFP	✓ 4,3%	2,1%
WFP	0%	0,1%

Οι θετικές ποσοστιαίες (%) διαφορές μεταξύ των συχνοτήτων εμφάνισης είναι κατά σειρά:

HC: 5,6% C: 4% HW: 3,7% DC: 2,8% CFP: 2,2%

Ο τύπος καιρού που συνεισφέρει περισσότερο στην αστική ψύξη και συνεπώς λιγότερο στην ΑΘΝ είναι ο HC, καθώς εμφανίζει τη μεγαλύτερη ποσοστιαία διαφορά. Στο ακόλουθο σχήμα, φαίνεται η επί τοις (%) συχνότητα εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό κατώτερο 5% ΔT_{max} της Θεσσαλονίκης.



Σχήμα 4.32: (%) Συχνότητα Εμφάνισης των WTs στο νυχτερινό κατώτερο 5% ΔT_{max} της Θεσσαλονίκης.

4.4.4. Εσωτερική κατανομή της αέριας μάζας (WT) σε σχέση με την ΑΘΝ στη πόλη της Θεσσαλονίκης

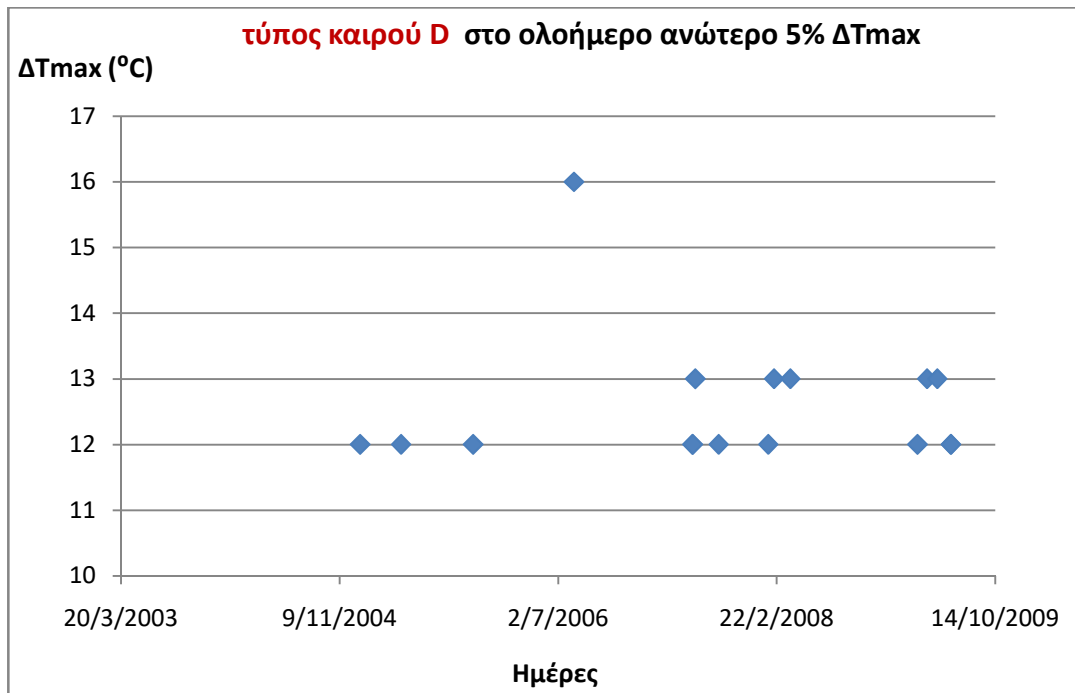
Για να επιτευχθεί η εσωτερική κατανομή της αέριας μάζας (Weather Type) σε σχέση με την αστική υπερθέρμανση (Urban Overheating) και άρα με την ΑΘΝ στη περιοχή της Θεσσαλονίκης, πρέπει να δημιουργηθούν γραφήματα για τους τύπους καιρού (WTs) στις δύο κατηγορίες του ανωτέρου 5% ΔT_{max} (ολοήμερο και νυχτερινό).

Τα γραφήματα αυτά έχουν στον οριζόντιο άξονα τις ημέρες του ανωτέρου 5% ΔT_{max} (ολοήμερο ή νυχτερινό ανάλογα τη περίπτωση) για τον εκάστοτε τύπο καιρού και στον κατακόρυφο άξονα τις μέγιστες θερμοκρασίες ΔT_{max} σε °C. Οι τύποι καιρού που ενδιαφέρουν στη παρούσα φάση της μελέτης, είναι εκείνοι που εμφανίζουν θετική διαφορά του ποσοστού (%) μεταξύ του ανωτέρου 5% ΔT_{max} (ολοήμερο ή νυχτερινό) και ολόκληρης της χρονοσειράς (overall), όπως ακριβώς εξηγήθηκε και παραπάνω στη περίπτωση της Αθήνας.

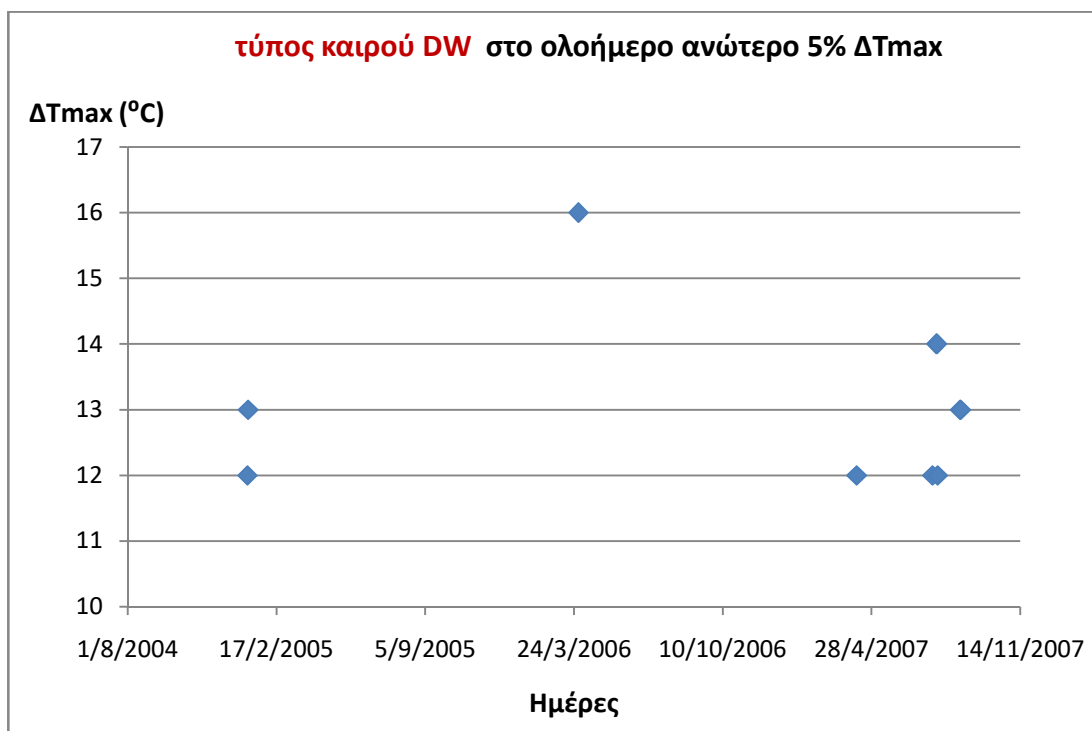
Συγκεκριμένα για αυτούς τους τύπους καιρού, βρέθηκαν οι 3 ανώτερες αριθμητικά τιμές ΔT_{max} , ώστε στη συνέχεια να προσδιοριστούν επακριβώς σε ποιες ημερομηνίες ανήκουν. Με αυτό τον τρόπο, ελέγχθηκαν οι χάρτες καιρού ως προς τη θερμοκρασία στις αντίστοιχες ημερομηνίες για να εξεταστούν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τότε στη περιοχή της Θεσσαλονίκης.

Ολοήμερο ανώτερο 5% ΔT_{max} Θεσσαλονίκη για ΑΘΝ

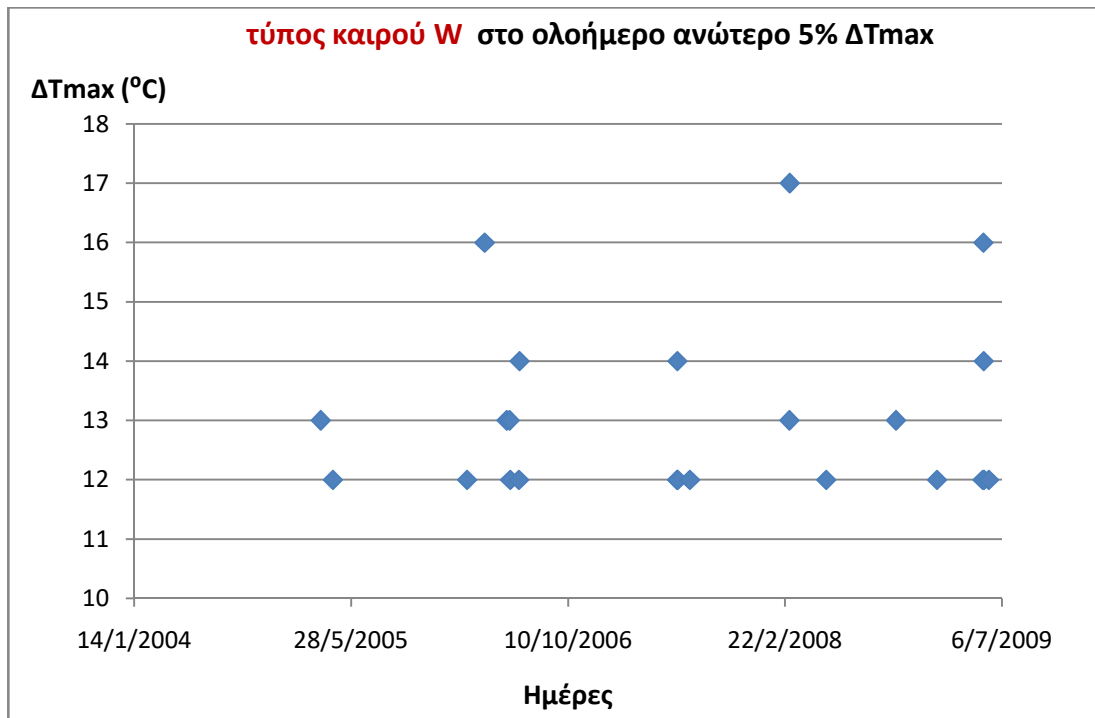
Δημιουργήθηκαν τα γραφήματα της εσωτερικής κατανομής των τύπων καιρού που συνεισφέρουν περισσότερο στην αστική υπερθέρμανση (urban overheating) της Θεσσαλονίκης και συνεπώς στο φαινόμενο της ΑΘΝ καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας. Οι τύποι καιρού, οι οποίοι φαίνονται και στον πίνακα 4.11, είναι οι D, DW, W, CFP και S. Όπως έγινε γνωστό και παραπάνω, ο τύπος καιρού S είναι ουδέτερος και αντιπροσωπεύει σχεδόν τις κανονικές (συνηθισμένες) καιρικές συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και χρονική στιγμή του έτους, άρα θεωρείται ότι δε συνεισφέρει στο φαινόμενο της ΑΘΝ. Τα γραφήματα φαίνονται παρακάτω.



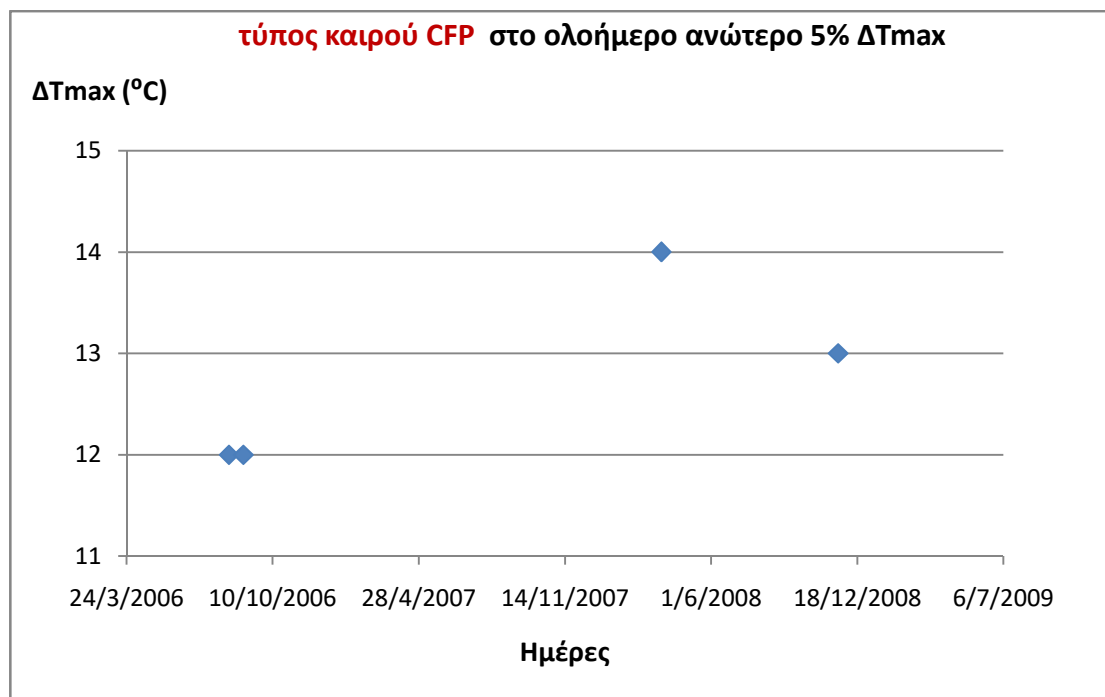
Σχήμα 4.33: Εσωτερική κατανομή του D στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.



Σχήμα 4.34: Εσωτερική κατανομή του DW στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.



Σχήμα 4.35: Εσωτερική κατανομή του W στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.



Σχήμα 4.36: Εσωτερική κατανομή του CFP στο ολόημερο ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.

Στον ακόλουθο πίνακα, φαίνονται οι 3 ανώτερες αριθμητικά τιμές ΔT_{max} ($^{\circ}C$) για κάθε τύπο καιρού που συνεισφέρει στο φαινόμενο της ΑΘΝ, καθ'όλη τη διάρκεια της ημέρας στη πόλη της Θεσσαλονίκης. Εν συνεχεία προσδιορίστηκαν οι ημερομηνίες που συνέβησαν αυτές.

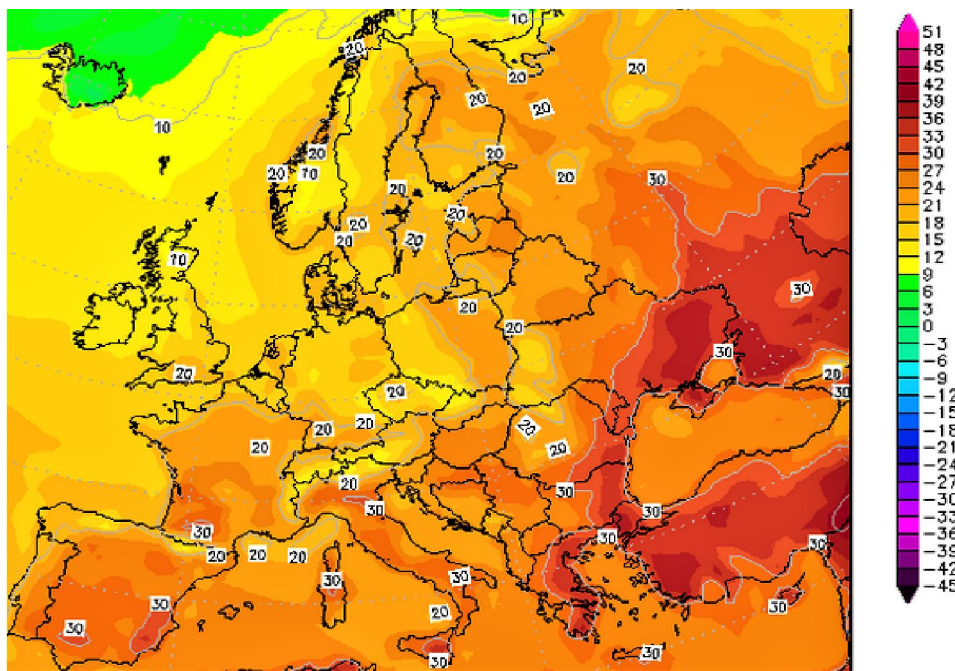
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.11: Ημερομηνίες των 3 ανώτερων ΔT_{max} (ολοήμερου) στα αντίστοιχα WTs, Θεσ/νίκη.

WTs που συνεισφέρουν περισσότερο στην ΑΘΝ	Διαφορά μεταξύ ολόημερου ανωτέρου 5% ΔT_{max} Θεσσαλονίκης και ολικής (overall) χρονοσειράς	Ημερομηνίες
D	5,8%	$\Delta T=16^{\circ}C \rightarrow 15/8/2006$ $\Delta T=13^{\circ}C \rightarrow 8/5/2009$ $\Delta T=12^{\circ}C \rightarrow 15/6/2009$
DW	5,7%	$\Delta T=16^{\circ}C \rightarrow 30/3/2006$ $\Delta T=14^{\circ}C \rightarrow 24/7/2007$ $\Delta T=13^{\circ}C \rightarrow 26/8/2007$
W	0,7%	$\Delta T=17^{\circ}C \rightarrow 4/3/2008$ $\Delta T=16^{\circ}C \rightarrow 24/5/2009$ $\Delta T=14^{\circ}C \rightarrow 25/5/2009$
CFP	1,5%	$\Delta T=14^{\circ}C \rightarrow 25/3/2008$ $\Delta T=13^{\circ}C \rightarrow 22/11/2008$ $\Delta T=12^{\circ}C \rightarrow 11/8/2006$
S	5,9%	$\Delta T=16^{\circ}C \rightarrow 16/6/2006$ $\Delta T=14^{\circ}C \rightarrow 9/5/2009$ $\Delta T=13^{\circ}C \rightarrow 20/5/2009$

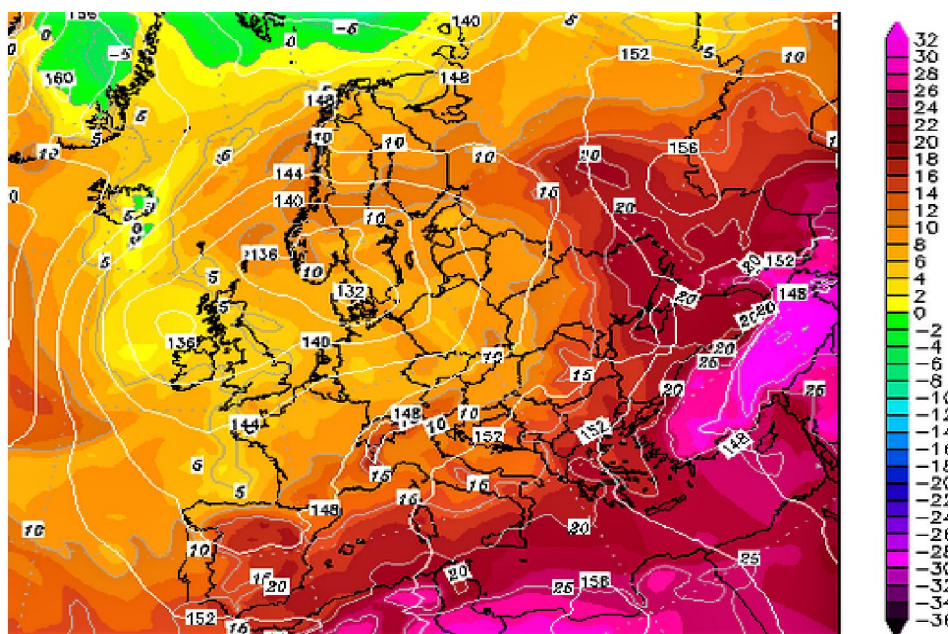
Στη συνέχεια, πάρθηκε ενδεικτικά η ημερομηνία 15/8/2006 που αφορούσε τη μέγιστη θερμοκρασία $\Delta T_{max} = 16^{\circ}C$ και κατά την οποία επικρατούσε ο τύπος καιρού D στη πόλη της Θεσσαλονίκης. Με βάση αυτή την ημερομηνία, ελέγχθηκαν οι χάρτες καιρού ως προς κατανομή της θερμοκρασίας σε ύψος 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, στη στάθμη των 850 hPa (\approx ύψος οριακού στρώματος) καθώς και η βαρομετρική πίεση αλλά και το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa (\approx ύψος 5,5 km). Αυτό έγινε ώστε να εξεταστούν και να προσδιοριστούν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τότε στη περιοχή της Θεσσαλονίκης και αν προφανώς ταιριάζουν με τους αντίστοιχους τύπους καιρού, γεγονός το οποίο επαληθεύεται.

15/8/2006, $\Delta T_{max} = 16^{\circ}\text{C}$ και επικρατών τύπος καιρού D.

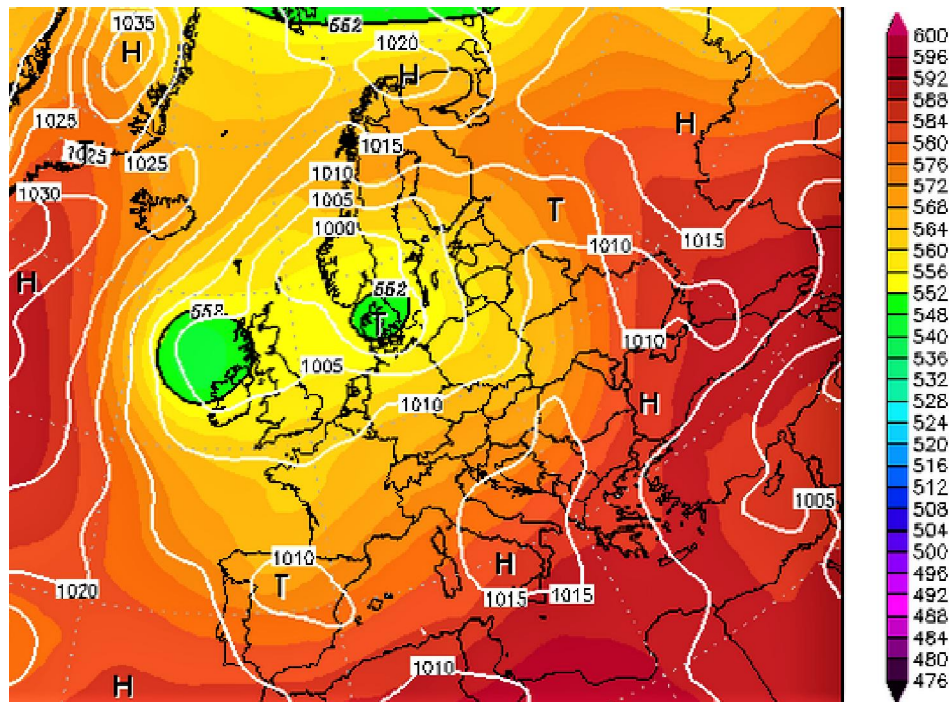
Παρατηρούνται άνεμοι μέτριας προς μεγάλης έντασης από τον χάρτη των 850hPa. Στην επιφάνεια κυριαρχούν αντικυκλωνικές συνθήκες (1010-1015 hPa), οι οποίες καλύπτουν μεγάλο εύρος της Μεσογείου. Η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή και αγγίζει περίπου τους 35 με 36 $^{\circ}\text{C}$. Η διάτμηση του ανέμου είναι υπολογίσιμη . Φαίνεται ότι υπάρχει θερμή μεταφορά αερίων μαζών από νότια προς τον ελλαδικό χώρο. Τα παραπάνω διαπιστώνονται με βάση τους χάρτες **2m Temperature 12Z**, **850 hPa 12Z** και **500hPa 12Z** του ιστότοπου (www.wetterzentrale.de/en/reanalysis.php?model=cfsr).



Εικόνα 4.7: Χάρτης θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) σε ύψος 2m στις 15/8/2006 12Z UTC.



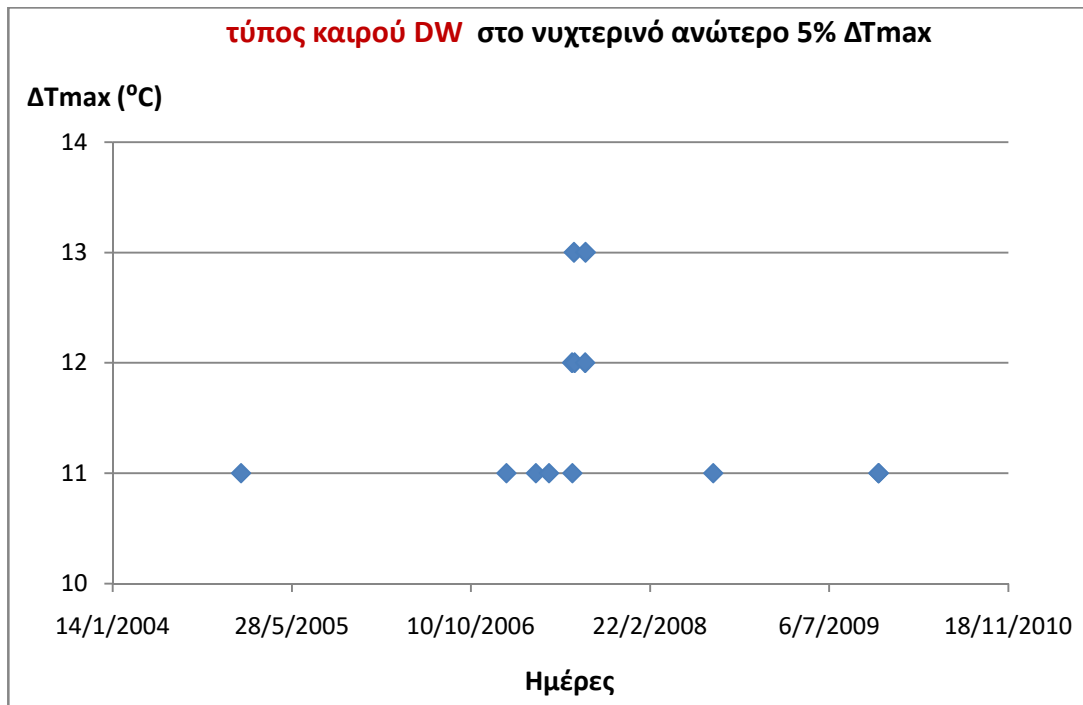
Εικόνα 4.8: Χάρτης θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) στη στάθμη 850hPa στις 15/8/2006 12Z UTC.

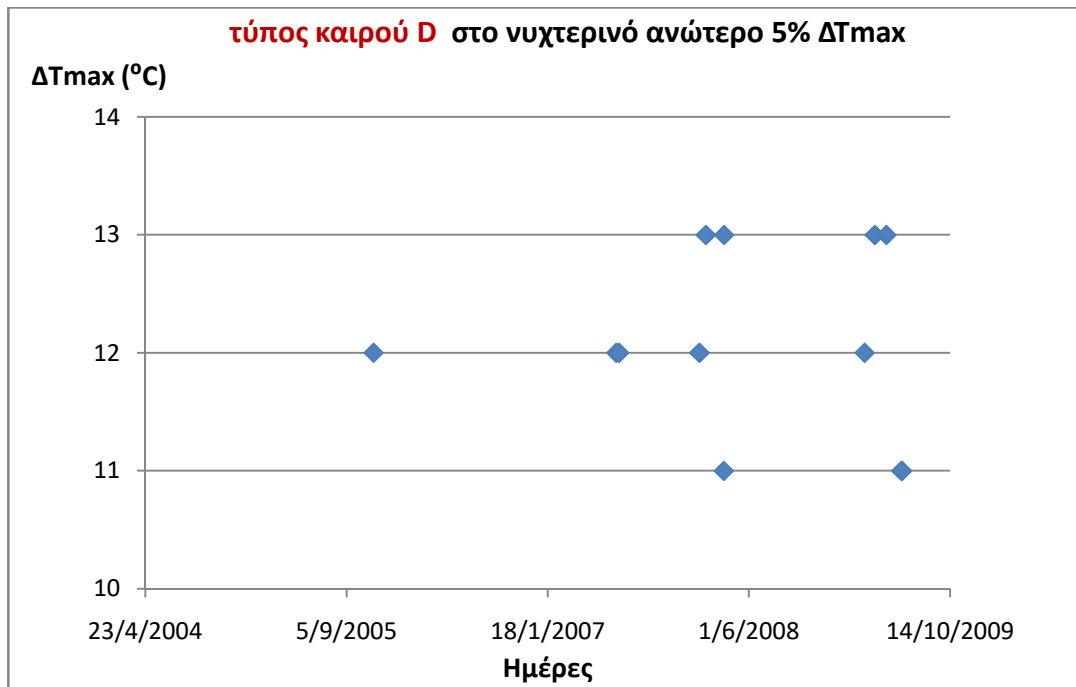


Εικόνα 4.9: Χάρτης πίεσης (hPa) και γεωδ.ύψους στη στάθμη 500hPa στις 15/8/2006 12Z UTC.

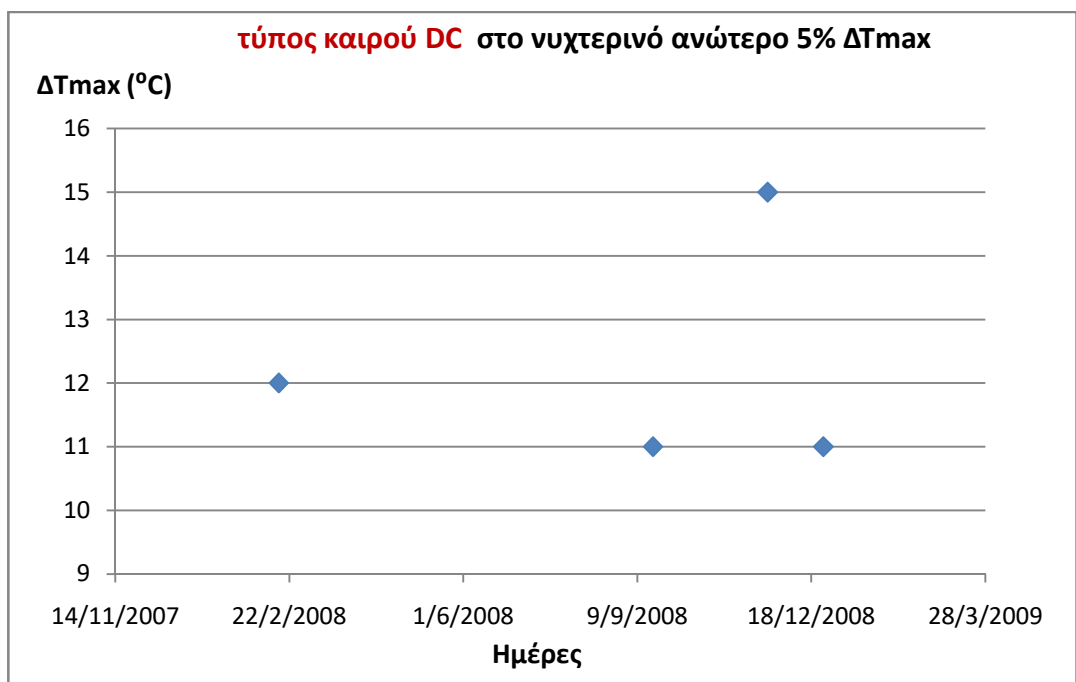
Νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} Θεσσαλονίκη για ΑΘΝ

Κατά τον ίδιο τρόπο με προηγούμενος, δημιουργήθηκαν τα γραφήματα της εσωτερικής κατανομής των τύπων καιρού που συνεισφέρουν περισσότερο στην αστική υπερθέρμανση (urban overheating) και συνεπώς στο φαινόμενο της ΑΘΝ κατά τη διάρκεια της νύχτας αυτή τη φορά (00:00-06:00) για τη πόλη της Θεσσαλονίκης. Οι τύποι καιρού, οι οποίοι φαίνονται και στον πίνακα 4.12 είναι οι DW, W, D, DC, CFP και S. Προφανώς, ο τύπος καιρού S είναι ουδέτερος και αντιπροσωπεύει σχεδόν τις κανονικές (συνηθισμένες) καιρικές συνθήκες για την εκάστοτε τοποθεσία και χρονική στιγμή του έτους, άρα θεωρείται ότι δε συνεισφέρει στο φαινόμενο της ΑΘΝ. Παρακάτω φαίνονται τα αντίστοιχα γραφήματα των τύπων καιρού.

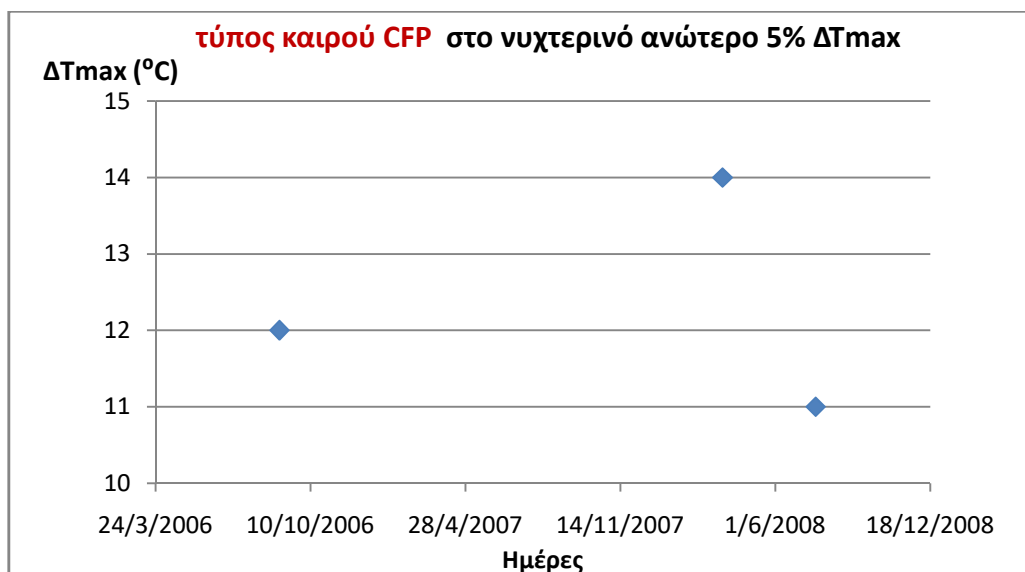




Σχήμα 4.39: Εσωτερική κατανομή του D στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.



Σχήμα 4.40: Εσωτερική κατανομή του DC στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔT_{max} , Θεσ/νίκη.



Σχήμα 4.41: Εσωτερική κατανομή του CFP στο νυχτερινό ανώτερο 5% ΔTmax, Θεσ/νίκη.

Στον ακόλουθο πίνακα, φαίνονται οι 3 ανώτερες αριθμητικά τιμές ΔTmax (°C) για κάθε τύπο καιρού που συνεισφέρει στο φαινόμενο της ΑΘΝ, μόνο κατά τη διάρκεια της νύχτας στη πόλη της Θεσσαλονίκης. Εν συνεχεία προσδιορίστηκαν οι ημερομηνίες που συνέβησαν αυτές.

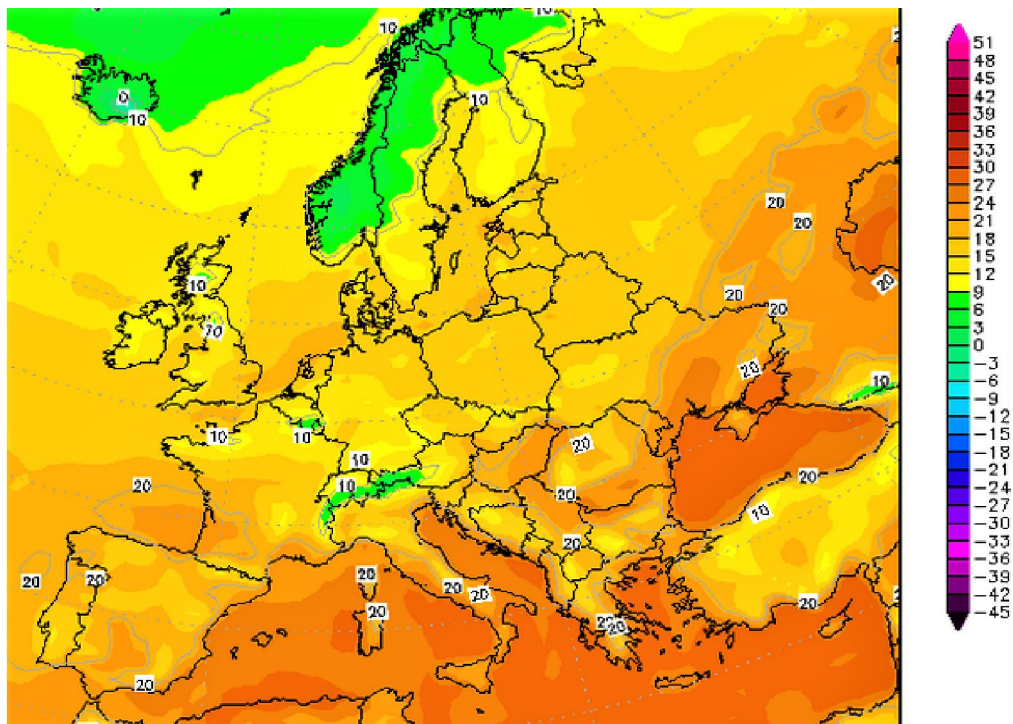
ΠΙΝΑΚΑΣ 4.12 : Ημερομηνίες των 3 ανώτερων ΔTmax (νυχτερινού) στα αντίστοιχα WTs, Θεσ/νίκη.

WTs που συνεισφέρουν περισσότερο	Διαφορά μεταξύ ανωτέρου νυχτερινού 5% ΔTmax Θεσσαλονίκης και ολικής (overall) χρονοσειράς	Ημερομηνίες
DW	9,7%	ΔT = 13 °C → 26/8/2007 ΔT = 12 °C → 25/8/2007 ΔT = 11 °C → 16/8/2008
W	7,9%	ΔT = 17 °C → 4/3/2008 ΔT = 16 °C → 24/5/2009 ΔT = 13 °C → 3/3/2008
D	3,4%	ΔT = 13 °C → 8/5/2009 ΔT = 12 °C → 14/7/2007 ΔT = 11 °C → 15/6/2009
DC	0,7%	ΔT = 15 °C → 23/11/2008 ΔT = 12 °C → 16/2/2008 ΔT = 11 °C → 18/9/2008
CFP	0,9%	ΔT = 14 °C → 25/3/2008 ΔT = 12 °C → 31/8/2006 ΔT = 11 °C → 23/7/2008
S	3,1%	ΔT = 13 °C → 25/5/2008 ΔT = 12 °C → 17/4/2008 ΔT = 11 °C → 12/4/2007

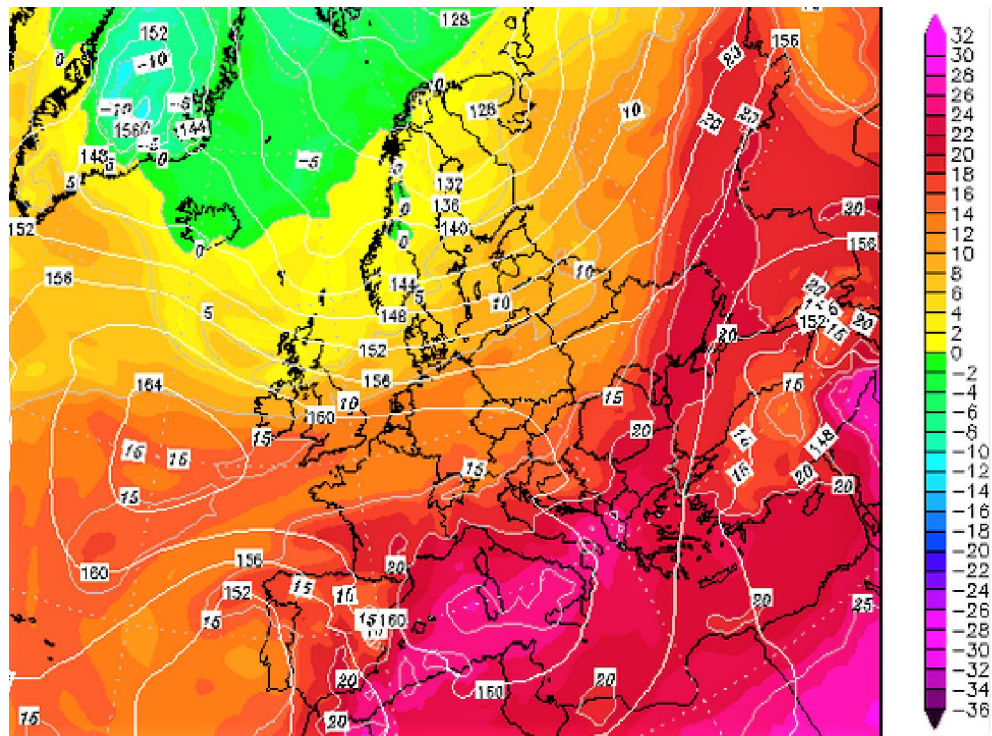
Στη συνέχεια, πάρθηκε ενδεικτικά η ημερομηνία 26/8/2007 που αφορούσε τη μέγιστη θερμοκρασία $\Delta T_{max} = 13^{\circ}\text{C}$ για το νυχτερινό κατώτερο 5% ΔT_{max} της Θεσσαλονίκης και κατά την οποία επικρατούσε ο τύπος καιρού DW. Με βάση αυτή την ημερομηνία, ελέγχθηκαν οι χάρτες καιρού ως προς κατανομή της θερμοκρασίας σε ύψος 2 m πάνω από την επιφάνεια του εδάφους, στη στάθμη των 850 hPa (\approx ύψος οριακού στρώματος) καθώς και η βαρομετρική πίεση αλλά και το γεωδυναμικό ύψος στη στάθμη των 500hPa (\approx ύψος 5,5 km). Αυτό έγινε ώστε να εξεταστούν και να προσδιοριστούν οι καιρικές συνθήκες που επικρατούσαν τότε στη περιοχή της Θεσσαλονίκης και αν προφανώς ταιριάζουν με τους αντίστοιχους τύπους καιρού, γεγονός το οποίο επαληθεύεται.

26/8/2007, $\Delta T_{max} = 13^{\circ}\text{C}$ και επικρατών τύπος καιρού DW.

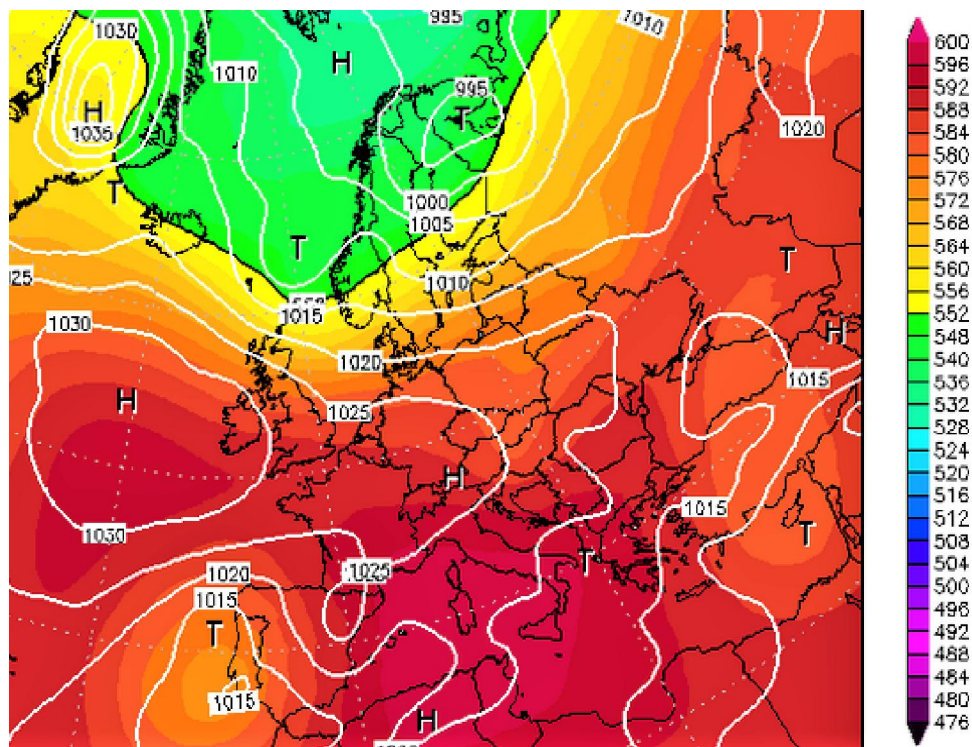
Παρατηρείται μια κατάσταση στασιμότητας πάνω από τον ελλαδικό χώρο. Στην επιφάνεια κυριαρχεί αντικυκλώνας όπως και στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου (1015 hPa). Η θερμοκρασία κατά τη διάρκεια της νύχτας (00Z) είναι περίπου στους 20 με 22 $^{\circ}\text{C}$. Μικρή διάτμηση ανέμου επικρατεί στο ύψος των 850hPa (ύψος οριακού στρώματος). Πιθανή θερμή μεταφορά από τη Β. Αφρική (Αλγερία, Λιβύη). Η θερμή μεταφορά είναι υπεύθυνη για τις αναστροφές ύψους. Τα παραπάνω διαπιστώνονται με βάση τους χάρτες **2m Temperature 00Z**, **850 hPa 00Z** και **500hPa 00Z** του ιστότοπου (www.wetterzentrale.de/en/reanalysis.php?model=cfsr).



Εικόνα 4.10: Χάρτης θερμοκρασίας ($^{\circ}\text{C}$) σε ύψος 2m στις 26/8/2007 00Z UTC.



Εικόνα 4.11: Χάρτης θερμοκρασίας (°C) στη στάθμη 850hPa στις 26/8/2007 00Z UTC.



Εικόνα 4.12: Χάρτης πίεσης (hPa) και γεωδ.ύψους στη στάθμη 500hPa στις 26/8/2006 00Z UTC.

4.5. Συμπεράσματα για τη περίπτωση της Θεσσαλονίκης

Η φυσική σημασία και ερμηνεία των τύπων καιρού (WTs), του συστήματος ταξινόμησης GWTC, είναι σημαντική ώστε να διεκπεραιωθεί η μελέτη για τη περίπτωση της Θεσσαλονίκης και να γίνει κατανοητός ο λόγος που συνδέονται αυτοί οι τύποι καιρού με την αύξηση της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Αξίζει να σημειωθεί ότι αναφέρονται μόνο οι τύποι καιρού, οι οποίοι ενισχύουν το φαινόμενο της ΑΘΝ.

Αρχικά, για το ολόημερο κομμάτι (00:00 έως 00:00, ανά τρίωρο τα δεδομένα) της Θεσσαλονίκης, οι επικρατέστεροι τύποι καιρού είναι κυρίως οι θερμοί D, DW, W αλλά και ο μεταβατικός τύπος καιρού CFP. Αυτοί συνεισφέρουν περισσότερο στην ένταση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) στη πόλη της Θεσσαλονίκης για τη χρονοσειρά 2004 έως 2009.

Ο τύπος καιρού Dry (D), είναι ένας μετριασμένος τύπος ως προς τη θερμοκρασία αλλά αντιπροσωπεύει ξηρότερες καιρικές συνθήκες από τις συνηθισμένες για τη τοποθεσία της Θεσσαλονίκης και για τη συγκεκριμένη ημέρα (χρονική στιγμή) ενός έτους που εμφανίζεται. Επίσης, και ο τύπος καιρού Warm (W) είναι ένας μετριασμένος τύπος αλλά ως προς την υγρασία, απεικονίζοντας θερμότερες καιρικές συνθήκες από τις συνηθισμένες για τη τοποθεσία της Θεσσαλονίκης και για τη συγκεκριμένη ημέρα ενός έτους που εμφανίζεται. Από την άλλη πλευρά, ο τύπος Dry Warm (DW) είναι ένας ακραίος τύπος καιρού, όπου αναπαριστά θερμότερες και ξηρότερες καιρικές συνθήκες από τις κανονικές/συνηθισμένες για τη τοποθεσία και για την εκάστοτε συγκεκριμένη ημέρα ενός έτους που εμφανίζεται. Τέλος, στον σχηματισμό του φαινομένου της ΑΘΝ συμβάλει και ο μεταβατικός τύπος καιρού CFP (Cold Front Passage). Ο συγκεκριμένος τύπος αντιπροσωπεύει μια μεταβατική ημέρα καιρικών συνθηκών, συνήθως με μείωση της θερμοκρασίας και του σημείου δρόσου και αύξηση της πίεσης στη μέση στάθμη της θάλασσας.

Όσον αφορά το νυχτερινό κομμάτι για τη πόλη της Θεσσαλονίκης (00:00 έως 06:00, ανά τρίωρο τα δεδομένα) οι επικρατέστεροι τύποι καιρού είναι οι DW, D, W, DC και CFP. Οι τέσσερις από τους πέντε τύπους καιρού, οι οποίοι επικράτησαν και στο ολόημερο τμήμα, αναλύθηκαν παραπάνω. Έτσι λοιπόν, ο τύπος DC (Dry Cool) είναι ένας ακραίος τύπος καιρού που αντιπροσωπεύει ψυχρότερες και ξηρότερες καιρικές συνθήκες από τις συνηθισμένες της περιοχής της Θεσσαλονίκης και για την εκάστοτε ημέρα (χρονική στιγμή) του έτους που εμφανίζεται. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός, ότι παρουσιάζει πολύ μικρή ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των συχνοτήτων εμφάνισης του νυχτερινού ανωτέρου 5% ΔT_{max} και της ολικής (overall) χρονοσειράς από το 2004 έως το 2009. Αυτό σημαίνει ότι συμβάλει και ελάχιστα στην ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ για τη πόλη της Θεσσαλονίκης κατά τη διάρκεια της νύχτας.

4.6. Σύγκριση συμπερασμάτων των περιπτώσεων Αθήνας και Θεσ/νίκης

Στη σύγκριση που πραγματοποιείται μεταξύ των περιπτώσεων της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, για τη συμμετοχή των τύπων καιρού στην αύξηση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας, παρατηρούνται ορισμένες ομοιότητες αλλά και διαφορές. Αξίζει βέβαια να σημειωθεί το γεγονός, ότι η χρονοσειρά μελέτης της Αθήνας υπήρξε από το 2000 έως το 2018, ενώ της Θεσσαλονίκης από το 2004 έως το 2009. Αναλυτικά στον παρακάτω συγκεντρωτικό πίνακα, φαίνονται οι τύποι καιρού (WTs) που συνεισφέρουν στην ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ για καθένα από τα δύο αστικά κέντρα της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, απ όπου απορρέουν τα ακόλουθα συμπεράσματα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.13: Συγκεντρωτικός πίνακας WTs που συμβάλλουν στην αύξηση της έντασης της ΑΘΝ.

Περιοχές	Weather Types				
Αθήνα ολοήμερο (24ώρο) κομμάτι, χρονοσειράς 2000 - 2018	DW	W	HW	H	
Αθήνα νυχτερινό κομμάτι, χρονοσειράς 2000 -2018	DW	W	HW	H	
Θεσ/νίκη ολοήμερο (24ώρο) κομμάτι, χρονοσειράς 2004 -2009	DW	D	W	CFP	
Θεσ/νίκη νυχτερινό κομμάτι, χρονοσειράς 2004 -2009	DW	D	W	CFP	DC

Αρχικά όσον αφορά τις ομοιότητες, διαπιστώνεται ότι καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας (24ώρο) οι θερμοί τύποι καιρού Warm (W) και Dry Warm (DW) συνεισφέρουν στην αύξηση της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ και στα δύο μεγάλα αστικά κέντρα της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, ο τύπος καιρού DW ανήκει στα ακραία WTs, αντιπροσωπεύοντας πολύ θερμές και ξηρές καιρικές συνθήκες για την εκάστοτε εποχή και έτος όπου εμφανίζεται, σε αντίθεση με τον τύπο καιρού W, ο οποίος είναι μετριασμένος ως προς την υγρασία.

Στην αντίπερα όχθη, οι διαφορές φαίνονται να είναι περισσότερες και σημειώνονται για τέσσερις τύπους καιρού. Πρώτα απ όλα, καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας (24ώρο) στην Αθήνα εμφανίζεται ο ‘‘ακραίος’’ τύπος καιρού Humid Warm (HW), συμβάλλοντας στην ενίσχυση της έντασης του φαινομένου, ενώ στο ίδιο χρονικά κομμάτι για τη Θεσσαλονίκη, συμβάλλει ο τύπος καιρού Dry (D), ο οποίος είναι μετριασμένος ως προς τη θερμοκρασία. Τέλος όσον αφορά το νυχτερινό κομμάτι, τρεις είναι οι τύποι καιρού που διαφέρουν μεταξύ των δύο αστικών κέντρων. Για τη πόλη της Αθήνας, ο τύπος καιρού Humid (H) συμβάλλει στην ενίσχυση της έντασης της ΑΘΝ, ενώ στη Θεσσαλονίκη ο μεταβατικός τύπος καιρού CFP και ο ‘‘ακραίος’’ ψυχρός τύπος καιρού Dry Cool (DC).

Συνοψίζοντας και κλείνοντας, μπορεί να γίνει ο ισχυρισμός ότι ο πρωταρχικός και βασικός στόχος της παρούσας μελέτης, που αποτέλεσε η σύνδεση των 11 τύπων καιρού του συνοπτικού συστήματος ταξινόμησης Gridded Weather Typing Classification (GWTC) με την ένταση του περιβαλλοντικού φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας επιτεύχθηκε, καθώς τα συμπεράσματα μας δίνουν μια πλήρη εικόνα αυτού. Ωστόσο τα διαθέσιμα ωριαία θερμοκρασιακά δεδομένα για την εύρεση του φαινομένου της ΑΘΝ στη πόλη της Θεσσαλονίκης, υπήρξαν περιορισμένα σε όγκο, καλύπτοντας το χρονικό διάστημα πέντε ετών και συγκεκριμένα τη χρονοσειρά 2004 έως 2009, σε αντίθεση με τα ωριαία θερμοκρασιακά δεδομένα της Αθήνας όπου κάλυψαν 18 έτη και τη χρονοσειρά 2000 έως 2018.

Προφανώς, περαιτέρω έρευνα με πιο πρόσφατα θερμοκρασιακά δεδομένα και καλύπτοντας όσο το δυνατόν μεγαλύτερες χρονοσειρές, είναι απαραίτητη πάνω στο θέμα αυτό, προκειμένου να παρουσιαστούν πιθανές εξελίξεις και βελτιώσεις στα ευρήματα της παρούσας εργασίας. Επιπλέον, υπάρχει η πεποίθηση, ότι τα συμπεράσματα αυτής της εργασίας καθώς και η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, θα μπορούσαν να συμβάλλουν στην μελέτη του φαινομένου της ΑΘΝ και σε άλλα αστικά κέντρα της Ελλάδας αλλά και διάφορων ακόμη χωρών. Τέλος, η συγκεκριμένη μελέτη ίσως θα μπορούσε να συμβάλει και σε έρευνες που αφορούν τη βιομετεωρολογία, μελετώντας το φαινόμενο της ΑΘΝ στα δύο αυτά αστικά κέντρα και βρίσκοντας τα επίπεδα κινδύνου της ανθρώπινης υγείας (θνησιμότητας) με τα οποία σχετίζονται οι τύποι καιρού του συνοπτικού συστήματος ταξινόμησης GWTC.



Διεθνής

- ❖ Adinna, E., Christian, E. I., & Okolie, A. T. (2009). *Assessment of urban heat island and possible adaptations in Enugu urban using landsat-ETM*. Journal of Geography and Regional Planning, 2(2), 030-036.
- ❖ Aflaki A., Mirnezhad M., Ghaffarianhoseini Am., Ghaffarianhoseini Al., Omrany H., Wang Zhi-Hua, Akbari H., (2017) *Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong*. Cities 62 (2017) 131–145.
- ❖ 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.
- ❖ Aravanis N.N.J., (2019) *Developing a climate adaptation Action Plan in Greek cities - A study case in the Municipality of Thessaloniki*. A thesis submitted for the degree of Master of Energy Systems. Thessaloniki, Greece. SID: 278044034639.
- ❖ Ardalan Aflaki, Mahsan Mirnezhad, Amirhosein Ghaffarianhoseini, Ali Ghaffarianhosein, Hossein Omrany, Zhi-Hua Wang , Hashem Akbari (2017). *Urban heat island mitigation strategies: A state-of-the-art review on Kuala Lumpur, Singapore and Hong Kong*. Cities 62 (2017) 131–145.
- ❖ Argüeso, D., Evans, J., Fita, L. and Bormann, K. (2014) *Temperature response to future urbanization and climate change*. Climate Dynamics, 42, 7-8, 2183-219.
- ❖ 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.
- ❖ Ashley WS, Bentley MC, Stallins JA. 2012. *Urban-induced thunderstorm modification in the Southeast United States*. Clim. Change 113(2): 481–498, DOI: 10.1007/s10584-011-0324-1.
- ❖ Balling, R.C. and Brazel, S.W. (1989) *Time and space characteristics of the Phoenix urban heat island*. Journal of the Arizona Nevada Academy of Science, 21, 75-81.
- ❖ Barrington, 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.
- ❖ Böhm, R. (1998) *Urban bias in temperature time series: A case study for the city of Vienna, Austria*. Climatic Change, 38, 113- 128.

- ❖ 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.
- ❖ Brazel, A., Selover, N., Vose, R. and Heiser, G. (2000) *The tale of two climates – Baltimore and Phoenix urban LTER sites*. Climate Research, 15, 123-135.
- ❖ Brazel A, Gober P, Lee S-J, Gossman-Clarke S, Zehnder J, Hedquist B, Comparri E. (2007) *Determinants of changes in the regional urban heat island in metropolitan Phoenix (Arizona, USA) between 1990 and 2004*. Clim. Res. 33: 171–182.
- ❖ Busato, F., Lazzarin, R.M. and Noro, M. (2014) *Three years of study of the Urban Heat Island in Padua: Experimental results*. Sustainable Cities and Society, 10, 251-258.
- ❖ Cellura, M., Culotta, S., Lo Brano, V. and Marvuglia, A. (2011) *Nonlinear Black-Box Models for Short-Term Forecasting of Air Temperature in the Town of Palermo*. Geocomputation, Sustainability & Environ. Planning, SCI 348, 183-204.
- ❖ Chandler, T.J. (1965) *The climate of London*. Hutchinson, London.
- ❖ Chow, W. T., Akbar, S. N. A. B. A., Heng, S. L., & Roth, M. (2016). *Assessment of measured and perceived microclimates within a tropical urban forest*. Urban Forestry & Urban Greening, 16, 62–75.
- ❖ Comrie, A.C. (2000) *Mapping a wind-modified urban heat island in Tucson, Arizona (with comments on integrating research and undergraduate learning)*. Bull. Amer. Meteor. Soc., 81, 2417-2431.
- ❖ 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.
- ❖ Coutts, A.M., Beringer, J., Jimi, S. and Tapper, N.J. (2009) *The urban heat island in Melbourne: drivers, spatial and temporal variability, and the vital role of stormwater*. Stormwater Conference 2009.
- ❖ de Munck, C., Pigeon, G., Masson, V., Meunier, F., Bousquet, P., Tremeac, B., Merchat, M., Poeuf, P. and Marchadier, C. (2013) *How much can air conditioning increase air temperatures for a city like Paris, France*. Int. J. Climatol., 33, 210-227.
- ❖ Deng, R., Guoliang, T., Xuemei, W. and Xiaoxang, C. (2002) *Quantitative remote sensing for synthetic aerosol and its application in Shanghai district*. SPIE's Third International Asia-Pacific Environmental Remote Sensing Symposium, Hangzhou, China, 125-129.
- ❖ Elsayed, I. S. (2012). *Mitigation of the urban heat island of the city of Kuala Lumpur, Malaysia*. Middle-East Journal of Scientific Research, 11(11), 1602–1613.
- ❖ Francis, J. A. & Vavrus, S. J. *Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes*. Geophys. Res. Lett. 39, 1–6 (2012).

- ❖ Dimitra Founda (2011) *Evolution of the air temperature in Athens and evidence of climatic change: A review*, Advances in Building Energy Research, 5:1, 7-41, DOI: 10.1080/17512549.2011.582338.
- ❖ Gartland L. (2008). Heat Islands. *Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. Earthscan, London.
- ❖ 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 (2018) 86–101.
- ❖ Theodore M. Giannaros, Dimitrios Melas (2012). *Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece*. Atmospheric Research 118 (2012) 103–120.
- ❖ 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.
- ❖ Goldreich, Y. (1992) *Urban climate studies in Johannesburg, a sub-tropical city located on a ridge -a review*. Atmospheric Environment, 26, 407-420.
- ❖ Hardy J.T., Climate Change: *Causes, Effects and Solutions*, John Wiley & Sons, England 2003.
- ❖ Hansen, J., Ruedy, R., Sato, M., Imhoff, M., Lawrence, W., Easterling, D., Peterson, T. and Karl, T. (2001) *A closer look at United States and global surface temperature change*. Journal of geophysical research, 106, D20, 23947-23963.
- ❖ Hondula DM, Davis RE. 2011. *Climatology of winter transition days for the contiguous USA, 1951–2007*. Theor. Appl. Climatol. 103(1–2): 27–37, DOI: 10.1007/s00704-010-0278-7.
- ❖ Huschke, R. E. (ed.) 1959. *Glossary of Meteorology*, American Meteorological Society, Boston, 638 pp.
- ❖ Johnson, G.G., Oke, T.R., Lyons, T.J., Steyn, D.G., Watson, I.D. and Voogt, J.A. (1991) *Simulation of surface urban heat islands under “ideal” conditions at night*. Part 1: Theory and tests against field data. Boundary-Layer Meteorology, 56, 275-294.
- ❖ Jusuf, S.K., Wong, N.H., Hagen, E., Anggoro, R. and Hong, Y. (2007) *The influence of land use on the urban heat island in Singapore*. Habitat International, 31, 232-242.
- ❖ Kalkstein LS, Corrigan PR. 1986. *A synoptic climatological approach for geographical analysis: assessment of sulfur dioxide concentrations*. Ann. Assoc. Am. Geogr. 76: 381–395.
- ❖ Karl, T.R., Diaz, H.F. and Kukla, G. (1988) *Urbanization: its detection and effect in the United States climate record*. Journal of Climate, 1, 1099-1123.
- ❖ Kassomenos P. A., Gryparis A., Samoli E., Katsouyanni K., Lykoudis S., Flocas H. A., (2001). *Atmospheric Circulation Types and Daily Mortality in Athens, Greece*. Environ Health Perspect, 109: 591-596.

- ❖ 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.
- ❖ Katsoulis Bas D. (1987). *Indications of change of climate from the analysis of air temperature time series in Athens, Greece*. Climatic Change 10 (1987) 67-79.
- ❖ Krüger, E. and Emmanuel, R. (2013) *Accounting for atmospheric stability conditions in urban heat island studies: The case of Glasgow, UK*. Landscape and Urban Planning, 117, 112-121.
- ❖ Landsberg, H. E. (1981) *The Urban Climate*. Academic Press, London.
- ❖ Lee Cameron C. (2020) *Trends and Variability in Airmass Frequencies: Indicators of a Changing Climate*. American Meteorological Society. DOI: 10.1175/JCLI-D-20-0094.1.
- ❖ Lee Cameron C. (2015) *The development of a gridded weather typing classification scheme*. Royal Meteorological Society. Int. J. Climatol. 35: 641–659 (2015) DOI: 10.1002/joc.4010.
- ❖ Lee Cameron C., Sheridan Scott C. (2018) *Trends in weather type frequencies across North America*. npj Climate and Atmospheric Science (2018)1:41; doi: 10.1038/s41612-018-0051-7.
- ❖ Lee Cameron C. (2014) Doctor of Philosophy, *The Development of a Gridded Weather Typing Classification Scheme*. UMI Number: 3618946.
- ❖ 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.
- ❖ Li, Y., Zhang, H. and Kainz, W. (2012) *Monitoring patterns of urban heat islands of the fast-growing Shanghai metropolis, China: Using time-series of Landsat TM/ETM+data*. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 19, 127-138.
- ❖ Li, K., Lin, B., & Jiang, D. A. *New Urban Planning Approach for Heat Island Study at the Community Scale*.
- ❖ Livada, I., Santamouris, M., Niarchou, K., Papanikolaou, N. & Mihalakakou, G. (2002). *Determination of places in the great Athens area where the heat island effect is observed*. Theor. Appl. Climatol.,71, 3-4, 219-230.
- ❖ Lokoshchenko, M.A. (2014) *Urban ‘heat island’ in Moscow Urban Climate*. In press.
- ❖ Magee, N., Curtis, J. and Wendler, G. (1999) *The urban heat island effect at fairbanks, Alaska*. Theoretical and Applied Climatology, 64, 39-47.
- ❖ Makokha, G.L. and Shisanya, C.A. (2010) *Temperature Cooling and Warming Rates in Three Different Built Environments within Nairobi City, Kenya*. Advances in Meteorology, Research Article, 5 p.
- ❖ Messinger F, DiMego G, Kalnay E, Mitchell K, Shafran PC, Ebisuzaki W, Jovic D, Woollen J, Rogers E, Berbery EH, Ek MB, Fan Y, Grumbine R, Higgins W, Li H, Lin Y, Manikin G, Parrish D, Shi W. 2006. *North American Regional Reanalysis*. Bulletin of the American Meteorological Society 87, 343-360.

- ❖ Mihalakakou, G., Flocas, H., Santamouris, M. and Helmis, C. (2002) *The impact of synoptic scale atmospheric circulation on the urban heat island effect over Athens, Greece*. Journal of Applied Meteorology, 41, 5, 519-527.
- ❖ 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.
- ❖ Mitchell J. M., 1961, *The temperature of cities*, Weatwise 14:224-229, 258 cited in Gartland, L., 2008.
- ❖ Montavez, J.P., Rodriguez, A. and Jimenez, J.I. (2000) *A study of the urban heat island of Granada*. International Journal of Climatology, 20, 899-911.
- ❖ Morris, C.J.G., Simmonds, I. and Plummer, N. (2001) *Quantification of influences of wind and cloud on the nocturnal urban heat island of a large city*. Journal of Applied Meteorology, 40, 169-182.
- ❖ 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.
- ❖ Nichol, J.E. 1998: *Visualisation of urban surface temperatures derived from satellite images*. International Journal of Remote Sensing 19 (9): 1639-164.
- ❖ Ning, Z., Lianfang, Z. and Yan, Z. *Urban Heat Island and Boundary Layer Structures under Hot Weather Synoptic Conditions: A Case Study of Suzhou City, China*. Advances in Atmospheric Sciences, 28, 4, 855-86.
- ❖ Nuruzzaman Md. (2015) *Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review*. International Journal of Environmental Monitoring and Analysis 2015; (3)2:67-73.
- ❖ Oke. T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*. Routledge, 2n edition, London and New York.
- ❖ Oke T.R. (1982). *The energetic basis of the urban heat island*. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., 108: 1-24.
- ❖ Okwen, R., Pu, R., & Cunningham, J. (2011). *Remote sensing of temperature variations around major power plants as point sources of heat*. International journal of remote sensing, 32(13), 3791-3805.
- ❖ Oliveira A., Lopes A., Correia L., Niza S., Soares A., (2021) **An urban climate-based empirical model to predict present and future patterns of the Urban Thermal Signal**. Science of the Total Environment, STOTEN-D-21-07014.
- ❖ Pakalidou, N., Karacosta, P., 2016. *Statistical analysis of a 124-year period of precipitation data in Thessaloniki*. 537–543. In: Karacostas, T.S., Bais, A.F., Nastos, P.T. (Eds.), Perspectives on Atmospheric Sciences. Springer Atmospheric Sciences Vol. I SpringerVerlag Berlin Heidelberg. <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-319-35095-0>. (1259pp. ISBN 978-3-319-35094-3, ISBN 978-3-319-35095-0 (eBook)).
- ❖ Pachauri, R. K., et al. *Climate change 2014: synthesis report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the *Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC (2014).
- ❖ Parlow E., Vogt R., Feigenwinter C., (2014) *The urban heat island of Basel – seen from different perspectives*. – DIE ERDE 145 (1-2): 96-110. DOI: 10.12854/erde-145-8.

- ❖ Peterson, T. (2003) *Assessment of urban versus rural in situ surface temperatures in the contiguous United States*: No difference found. *Journal of Climate*, 16, 18, 2941-2959.
- ❖ Priyadarsini, R., & Wong, N. H. (2007). *An investigation of the urban heat island of Singapore*. 41st annual conference of the Architectural Science Association ANZAScA at Deakin University.
- ❖ Rao, P.K. 1972: *Remote sensing of urban heat islands from an environmental satellite*. – *Bulletin of the American Meteorological Society* 53 (8): 647-648.
- ❖ Renou E, 1868, *Differences de temperature entre la ville et la champagne*, *Annuaire Societe Meteorologie de France* 3:83-97 cited in Gartland, L., 2008.
- ❖ Robaa, S.M. (2003) *Urban-suburban/rural differences over Greater Cairo, Egypt*. *International Journal of Atmosfera*, 16-3, 157-171.
- ❖ Roa-Espinosa A., Wilson T.B., Norman J.M. & Johnson K. (2003). *Predicting the impact of urban development on stream temperature using a thermal urban runoff model (TURM)*. National Conference on Urban Stormwater: Enhancing Program at the Local Level, Chicago 17-20 February.
- ❖ Rajagopalan, P., Lim, K. C., & Jamei, E. (2014). *Urban heat island and wind flow characteristics of a tropical city*. *Solar Energy*, 107, 159–170.
- ❖ Roth, M., Oke, T.R. & Emery, W.J. (1989). *Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology*. *Int. J. Remote Sens*, 10, 1699–1720.
- ❖ Sailor, D. J. (2006). *Mitigation of urban heat islands—Recent progress and future prospects*. Paper presented at the Paper presented on american meteorological society 6th symposium on the urban environment and forum on managing our physical and natural resources.
- ❖ Santamouris, M., 2007. *Heat Island research in Europe: the state of the art*. *Adv. Build. Energy Res.* 1, 123–150. <http://dx.doi.org/10.1080/17512549.2007.9687272>.
- ❖ Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou A. & Asimakopoulos, D.N. (2001). *On the Impact of Urban Climate on the Energy Consumption of Buildings*. *Solar Energy*, 70, 201-216.
- ❖ 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 (2015) 281–291.
- ❖ Sharifi, E. and Lehmann, S. (2014) *Comparative Analysis of Surface Urban Heat Island Effect in Central Sydney*. *Journal of Sustainable Development*, 7, 3, 23-34.
- ❖ Sheridan S.C., (2002) *The redevelopment of a weather-type classification scheme for North America*. *Int. J. Climatol.* 22: 51–68 (2002) DOI: 10.1002/joc.709.
- ❖ Stathis, D., Mavromatis, T., 2009. *Characteristics of precipitation in Thessaloniki area, north Greece*. *Fresenius Environ. Bull.* 18 (7), 1–6.
- ❖ 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.

- ❖ Stone, B. (2007) *Urban and rural temperature trends in proximity to large U.S. Cities: 1951-2000*. International Journal of Climatology, 27, 1801-1807.
- ❖ Synnefa, A., Dandou, A., Santamouris, M., Tombrou, M., & Soulakellis, N. (2008). *On the use of cool materials as a heat island mitigation strategy*. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 47(11), 2846-2856.
- ❖ Taha H., Kalkstein L.S., Sheridan S.C. & Wong E. (2004). *The potential of urban environmental control in alleviating heat-wave health effects in five U.S. regions*. Presented at the American Meteorological Society 5th Conference on Urban Environment.
- ❖ 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.
- ❖ Tal, A. 2001: *Surface temperatures and urban land-use from satellite imagery – the case of Tel Aviv-Jaffa*. – In: Jürgens, C. (ed.): Remote sensing of urban areas = Fernerkundung in urbanen Räumen. Abstracts and full papers of the 2nd International Symposium held in Regensburg, Germany, June 22-23, 2001. – Regensburger Geographische Schriften 35: 99 -100.
- ❖ Todhunter, P.E. (1996) *Environmental Indices for the Twin Cities Metropolitan Area (Minnesota, USA) Urban Heat Island* 1989, Climate Research 6 (1996) 59-69.
- ❖ 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 (2017) 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 Volume 24 – No 12b. 2015.
- ❖ Velazquez-Lozada, A., Gonzalez, J.E. & Winter, A. (2006). *Urban heat island effect analysis in San Juan, Puerto Rico*. Atmospheric Environment, 40, 1731- 1741.
- ❖ 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.
- ❖ Winkler, J.A., Skaggs, R.H. and Baker, D.G. (1981) *Effect of temperature adjustments on the Minneapolis–St. Paul urban heat island*. J. Appl. Meteor., 20, 1295-1300.
- ❖ Yamamoto, Y. (2006). *Measures to mitigate urban heat islands*. Science and Technology Trends Quarterly Review, 18(1), 65- 83.
- ❖ Yarnal B. 1993. *Synoptic Climatology in Environmental Analysis*. Belhaven Press: London.

Ελληνική

- ❖ Κασσωμένος Π., (2017). *Φυσική Περιβάλλοντος*. Αθήνα. Εκδόσεις ΚΛΕΙΔΑΡΙΘΜΟΣ. ISBN: 978-960-461-790-6.
- ❖ Κουρής Γ.Ν., (2006). *Εφαρμογή Τεχνικών Data Mining σε Συστήματα Ηλεκτρονικού Εμπορίου*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική Σχολή. Τμήμα Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών και Πληροφορικής.
- ❖ Πετρίδης, Δ., 2015. *Ανάλυση Πολυμεταβλητών Τεχνικών*. [ηλεκτρ. βιβλ.] Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών. Διαθέσιμο στο: <http://hdl.handle.net/11419/2126>
- ❖ Τζαβαλή Α.Π., (2015). *Αστική Θερμική Νησίδα: Ανάλυση του φαινομένου στην Αττική και διερεύνηση της επίδρασής του στην ενεργειακή συμπεριφορά σχολικών κτηρίων*. Διδακτορική διατριβή. Πανεπιστήμιο Πατρών, Πολυτεχνική σχολή, Τμήμα Διαχείρισης Περιβάλλοντος και Φυσικών Πόρων.
- ❖ Φλόκας Α. Α. (1997). *Μαθήματα Μετεωρολογίας και Κλιματολογίας*. Θεσσαλονίκη. Εκδόσεις ΖΗΤΗ.

Ιστοσελίδες

- ❖ <https://www.personal.kent.edu/~cclee/gwtc.html>
- ❖ <https://www.personal.kent.edu/~cclee/gwtcdata.html>
- ❖ <http://cimss.ssec.wisc.edu/climatechange/globalCC/lesson7/UHI2.html>
- ❖ <http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=22661&cityname=Thessaloniki-Greece>
- ❖ www.wetterzentrale.de/en/reanalysis.php?model=cfsr

