



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Μελέτη του φαινομένου της Θερμής Αστικής Νησίδας στην ευρύτερη
περιοχή της Θεσσαλονίκης**

ΟΙΚΟΝΟΜΙΔΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΑΜ: 51204412

Επιβλέπων καθηγητής
Δρ. Κωνσταντίνος Μουστρής

Αθήνα, Μάρτιος 2023

ΤΡΙΜΕΛΗΣ ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Όνοματεπώνυμο	Υπογραφή
ΜΟΥΣΤΡΗΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ	
ΝΤΟΥΡΟΥ ΚΛΕΟΠΑΤΡΑ	
ΤΣΙΤΣΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ	


ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ο κάτωθι υπογεγραμμένος Οικονομίδης Ιωάννης του Γεωργίου, με αριθμό μητρώου 51204412 φοιτητής του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

«Είμαι συγγραφέας αυτής της διπλωματικής εργασίας και ότι κάθε βοήθεια την οποία είχα για την προετοιμασία της είναι πλήρως αναγνωρισμένη και αναφέρεται στην εργασία. Επίσης, οι όποιες πηγές από τις οποίες έκανα χρήση δεδομένων, ιδεών ή λέξεων, είτε ακριβώς είτε παραφρασμένες, αναφέρονται στο σύνολό τους, με πλήρη αναφορά στους συγγραφείς, τον εκδοτικό οίκο ή το περιοδικό, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο. Επίσης, βεβαιώνω ότι αυτή η εργασία έχει συγγραφεί από μένα αποκλειστικά και αποτελεί προϊόν πνευματικής ιδιοκτησίας τόσο δικής μου, όσο και του Ιδρύματος.

Παράβαση της ανωτέρω ακαδημαϊκής μου ευθύνης αποτελεί ουσιώδη λόγο για την ανάκληση του πτυχίου μου».

Ο Δηλών

Οικονομίδης Ιωάννης


ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, κλείνει ο κύκλος των προπτυχιακών μου σπουδών στο τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον επιβλέποντα της εργασίας μου, Καθηγητή κ. Κωνσταντίνο Μουστρή για την βοήθεια και την επιστημονική καθοδήγηση που μου προσέφερε καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησής της.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τους ανθρώπους που ήταν κοντά μου, για την στήριξη καθ' όλη την διάρκεια των σπουδών.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

ΤΙΤΛΟΣ: Μελέτη του φαινομένου της Θερμής Αστικής Νησίδας στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης

Όνομα σπουδαστή: Ιωάννης Οικονομίδης

Επιβλέπων: Κωνσταντίνος Μουστρής, Αναπληρωτής Καθηγητής ΠΑΔΑ

Η Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) είναι ένα φαινόμενο που επηρεάζει σχεδόν το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού και αναμένεται τις επόμενες δεκαετίες το ποσοστό αυτό να αυξηθεί. Οι υψηλότερες θερμοκρασίες που παρατηρούνται στις αστικές περιοχές σε σύγκριση με τη γύρω ύπαιθρο έχουν τεράστιες συνέπειες στην υγεία και την ευημερία των ανθρώπων που ζουν στις πόλεις. Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η μελέτη της ΑΘΝ στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης για περίοδο 24 μηνών και πιο συγκεκριμένα από τον Σεπτέμβριο του 2018 έως και τον Αύγουστο του 2020. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας από 8 διαφορετικούς μετεωρολογικούς σταθμούς οι οποίοι είναι τοποθετημένοι τόσο στην αστική όσο και στην ευρύτερη περιοχή. Για τον υπολογισμό της έντασης του φαινομένου μελετήθηκαν οι διαφορές του σταθμού στο κέντρο, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε ως σταθμός αναφοράς, με τους άλλους σταθμούς. Τα βασικά συμπεράσματα της εργασίας είναι ότι το φαινόμενο της ΑΘΝ στην περιοχή της Θεσσαλονίκης, είναι πιο έντονο κατά την διάρκεια του χειμώνα και η μέγιστη ένταση του φτάνει σχεδόν τους 4°C.

Λέξεις κλειδιά: Αστική θερμική νησίδα, ένταση αστικής θερμικής νησίδας, θερμοκρασίας αέρα

ABSTRACT

TITLE: Investigation of urban heat island effect in the greater Thessaloniki area.

Student name: Ioannis Oikonomidis

Supervisor: Konstantinos Moustris, Associate Professor UNIWA

Urban Heat Island (UHT) is a phenomenon that affects almost 50% of the world's population and is expected to increase in the coming decades. The higher temperatures observed in urban areas compared to the surrounding countryside have huge implications for the health and well-being of people living in cities. The aim of this thesis is to study the urban heat island phenomenon in the greater Thessaloniki area for the period of 24 months and more specifically from September 2018 to August 2020. For this purpose, daily temperature data from 8 different meteorological stations located in both the urban and the greater Thessaloniki area were used. To calculate the intensity of the phenomenon, the differences between the Centre station, which was used as a reference station, and the other stations were studied. The main conclusions of the study are that the ATH phenomenon in the Thessaloniki area is more intense during winter and that its maximum intensity reaches almost 4°C.

Keywords: Urban heat island, urban heat island intensity, air temperatures

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	13
2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ	15
2.1 Γενικά για την Θερμική Αστική Νησίδα	15
2.2. Χαρακτηριστικά της ΑΘΝ	16
2.3. Μορφές Θερμικής Αστικής Νησίδας	17
2.4. Ιστορική Αναδρομή.....	18
2.5. Αίτια Δημιουργίας της Θερμής Αστικής Νησίδας.....	20
2.5.1. Αστικοποίηση.....	20
2.5.2. Μειωμένη Βλάστηση	21
2.5.3. Ρυμοτομία της Πόλης	21
2.5.4. Ιδιότητες των Δομικών Υλικών	22
2.5.5. Ανθρωπογενής Θερμότητα	22
2.5.6. Ατμοσφαιρική Ρύπανση.....	23
2.5.7. Μετεωρολογικοί Παράμετροι	23
2.6. Επιπτώσεις.....	23
2.6.1. Ενέργεια	24
2.6.2. Υγεία και Θερμική Άνεση	24
2.6.3. Ποιότητα του Αέρα.....	24
2.6.4. Ποιότητα Νερού.....	25
2.7. Μετριασμός του Φαινομένου.....	25
2.8. Θερμική Αστική Νησίδα Παγκοσμίως.....	27
2.8.1. Ευρώπη	27
2.8.2. Ασία	29
2.8.3. Αμερική	31
2.8.4. Ελλάδα	32
3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	36
3.2. Μελέτη Περίπτωσης.....	36
3.3. Μεθοδολογία.....	38
3.4. Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων.....	42
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	44
4.2. Κέντρο - Επταπύργιο.....	44
4.3. Κέντρο – Κορδελιό	47
4.4. Κέντρο – Σίνδος	50

4.5.	Κέντρο – Χαλάστρα.....	53
4.6.	Κέντρο – Νόησις.....	57
4.7.	Κέντρο – Νέα Μηχανιώνα	60
4.8.	Κέντρο – Ασπροβάλτα.....	63
4.9.	Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα.....	67
5.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	70
5.1	Εισηγήσεις για Περαιτέρω Έρευνα.....	71
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	72

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1 Θερμοκρασία Αέρα-Επιφάνειας (United States Environmental Protection Agency).....	17
Εικόνα 2 Απεικόνιση των διαφορετικών μορφών ΑΘΝ (Iain Douglas Stewart, 2011)	18
Εικόνα 3 Αίτια δημιουργίας ΑΘΝ (Vujonic, Haddad, Karaky, Sebaibi, & Boutouil, 2021)	20
Εικόνα 4 Ο παγκόσμιος αστικός και αγροτικός πληθυσμός, 1950-2050 (United Nations World Urbanization Prospects 2014).....	21
Εικόνα 5 Μέτρα για την αντιμετώπιση της ΑΘΝ (Mohajerani, Bakaric, & Jeffrey-Bailey, 2017).....	26
Εικόνα 6 Εποχιακή Ημερήσια διακύμανση ΑΘΝ (Camilloni & Barrucand, 2012).....	31
Εικόνα 7 Ωριαία διακύμανση ΑΘΝ ανά δεκαετία (Camilloni & Barrucand, 2012)	32
Εικόνα 8 Δορυφορική άποψη του Θερμαϊκού κόλπου και της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης	36
Εικόνα 9 Περιοχή Θεσσαλονίκη, χάρτης κάλυψης και χρήσης γης (European Environment Agency).....	37
Εικόνα 10 Η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και οι σταθμοί.....	39
Εικόνα 11 Μηνιαία κλιματολογική σύνοψη Σεπτεμβρίου 2018 στο Επταπύργιο (meteo.gr)	42
Εικόνα 12 Υπολογισμός έντασης με την χρήση υπολογιστικού φύλλου excel.....	43

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Τεχνικά Χαρακτηριστικά των αυτόματων σταθμών (Davis instruments, 2010)	38
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά Σταθμών.....	40
Πίνακας 3: Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα για όλες τις περιοχές	67

ΕΥΡΕΤΗΡΙΟ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Διαφορά Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Επταπύργιο.....	44
Διάγραμμα 2: Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Επταπύργιο	44
Διάγραμμα 3: Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Επταπύργιο.....	45
Διάγραμμα 4: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο – Επταπύργιο	46
Διάγραμμα 5: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο - Επταπύργιο.....	46
Διάγραμμα 6: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Επταπύργιο	46
Διάγραμμα 7: Διαφορά Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Κορδελιό.....	47
Διάγραμμα 8: Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Κορδελιό	48
Διάγραμμα 9: Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Κορδελιό.....	48
Διάγραμμα 10: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο – Κορδελιό	49
Διάγραμμα 11: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Κορδελιό	49
Διάγραμμα 12: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Κορδελιό	49
Διάγραμμα 13: Διαφορά Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Σίνδος.....	50
Διάγραμμα 14: Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Σίνδος	50
Διάγραμμα 15: Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Σίνδος.....	51
Διάγραμμα 16: Μέσος Όρος Μηνιαίας διαφοράς Κέντρο – Σίνδος.....	52
Διάγραμμα 17: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Σίνδος	52
Διάγραμμα 18: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Σίνδος	52
Διάγραμμα 19: Διαφορά Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 – 31/8/2020 Κέντρο – Χαλάστρα	53
Διάγραμμα 20: Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Χαλάστρα.....	54

Διάγραμμα 21: Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Χαλάστρα	54
Διάγραμμα 22: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο – Χαλάστρα	55
Διάγραμμα 23: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Χαλάστρα	55
Διάγραμμα 24: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Χαλάστρα	56
Διάγραμμα 25: Διαφορά Μέσης Θερμοκρασίας 1/3/2019 – 31/8/2020 Κέντρο – Νόησις.....	57
Διάγραμμα 26: Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας 1/3/2019 - 31/8/2020 Κέντρο - Νόησις	57
Διάγραμμα 27: Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας 1/3/2019 - 31/8/2020 Κέντρο – Νόησις.....	58
Διάγραμμα 28: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο – Νόησις.....	59
Διάγραμμα 29: Μέσος Όρος Μηνιαίας Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Νόησις.....	59
Διάγραμμα 30: Μέσος Όρος Μηνιαίας Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Νόησις.....	59
Διάγραμμα 42: Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Ασπροβάλτα.....	66

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τις τελευταίες δεκαετίες, η συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού στις αστικές περιοχές επιφέρει σημαντικές τροποποιήσεις στα βασικά χαρακτηριστικά της ατμόσφαιρας τα οποία επηρεάζουν τον άνθρωπο. Με την επέκταση των αστικών περιοχών, μειώνονται οι χώροι φυσικής κάλυψης, όπως δάση, χώροι πρασίνου κλπ. και την θέση τους παίρνουν κατασκευές κτηρίων και δρόμων. Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις αυτών των αλλαγών είναι σχεδόν ανεπαίσθητες στις μικρές ή αραιοκατοικημένες περιοχές, αλλά στις περισσότερες σύγχρονες πόλεις οι επιπτώσεις είναι δραματικές και μακροπρόθεσμες. Η αλλαγή της κάλυψης γης στις πόλεις έχει σημαντικές επιπτώσεις στο τοπικό κλίμα. Πιο συγκεκριμένα η θερμοκρασία, η βροχόπτωση, η υγρασία, ο άνεμος και σε μικρότερο βαθμό η νεφοκάλυψη και η ηλιακή ακτινοβολία διαφέρουν αισθητά μεταξύ μιας πόλης και της υπαίθρου. Η θερμοκρασία του αέρα διακρίνει καλύτερα τα κλίματα της πόλης και της υπαίθρου. Σημαντικές έρευνες που έχουν γίνει σε πολλές πόλεις του κόσμου, οδηγούν στο συμπέρασμα ότι οι πόλεις είναι κατά μέσο όρο θερμότερες από τις γύρω αγροτικές περιοχές. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) (I. D. Stewart, 2011).

Εν συντομία τα κύρια αίτια για την ύπαρξη της θερμικής νησίδας σχετίζονται με τις ιδιότητες που παρουσιάζει μια πόλη οι οποίες διαφέρουν σημαντικά από εκείνες της υπαίθρου. Πιο αναλυτικά, οι διαφορές προκύπτουν από την αντικατάσταση των φυσικών επιφανειών με την κατασκευή κτηρίων και δρόμων με υλικά τα οποία συγκρατούν την θερμότητα. Επίσης στην "τεχνητή" θέρμανση των πόλεων συμβάλλουν και οι εκπομπές των ρύπων αλλά και η απόρριψη θερμότητας από τους ανθρώπους.

Υπάρχουν πολλοί λόγοι για τη μελέτη του φαινομένου, καθώς αφορά κοινωνικά οικονομικά και περιβαλλοντικά ζητήματα. Σήμερα, τουλάχιστον το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού φαίνεται να επηρεάζεται από το φαινόμενο της ΑΘΝ και αυτός ο αριθμός αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα χρόνια λόγω της συνεχόμενης αύξησης του πληθυσμού στις πόλεις.

Η υπερθέρμανση των πόλεων θα μπορούσε να επιδεινωθεί σημαντικά ως αποτέλεσμα του φαινομένου της ΑΘΝ. Κατά την διάρκεια περιόδων καύσωνα έχει μελετηθεί ότι οι θάνατοι στις πόλεις είναι πολύ υψηλότεροι από ότι στις αγροτικές περιοχές. Σύμφωνα με μελέτες, οι άνθρωποι που ζουν σε αστικές περιοχές αντιμετωπίζουν υψηλότερο κίνδυνο θανάτου σε σύγκριση με αυτούς που ζουν στις αγροτικές περιοχές, ως αποτέλεσμα των αυξημένων θερμοκρασιών (Giannaros & Melas, 2012).

Παρόλο που το καλοκαίρι η ΑΘΝ συμβάλλει στην αύξηση της θερμοκρασίας με αποτέλεσμα τον αυξημένο κίνδυνο θνησιμότητας, το χειμώνα η ΑΘΝ έχει θετικό αντίκτυπο στην θερμική άνεση.

Επιπλέον η ΑΘΝ έχει αποδειχθεί ότι προκαλεί σημαντική αύξηση στην ζήτηση ενέργειας για σκοπούς ψύξης κατά την διάρκεια του καλοκαιριού με αποτέλεσμα να οδηγήσει σε σημαντικές οικονομικές απώλειες (Akbari & Kopparacki, 2005).

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι αρχικά να επιβεβαιωθεί η ύπαρξη της θερμής αστικής νησίδας στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και στην συνέχεια να μελετηθεί το φαινόμενο αυτό, κατά την περίοδο από τον Σεπτέμβριο του 2018 έως και τον Αύγουστο του 2020, μια περίοδο δηλαδή 24 μηνών. Για τον σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας από 8 μετεωρολογικούς σταθμούς οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε διάφορες περιοχές της Θεσσαλονίκης, τόσο στον αστικό ιστό, όσο και στις γύρω περιφερειακές περιοχές. Σαν σταθμός αναφοράς χρησιμοποιήθηκε ο σταθμός που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης και με βάση αυτόν προέκυψαν οι διαφορές.

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται η βιβλιογραφική ανασκόπηση για την κατανόηση του φαινομένου. Πιο αναλυτικά έχουν αναλυθεί τα χαρακτηριστικά της ΑΘΝ, τα αίτια δημιουργίας αλλά και οι επιπτώσεις που αφορούν τόσο τον άνθρωπο όσο και το περιβάλλον. Παράλληλα υπάρχει και μια μικρή αναφορά για την ιστορική αναδρομή του φαινομένου. Στο τέλος του κεφαλαίου, υπάρχει και υποενότητα για την ένταση της ΑΘΝ παγκοσμίως αλλά και για περιοχές της Ελλάδας.

Στο τρίτο κεφάλαιο που ακολουθεί, παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε για την μελέτη του φαινομένου, καθώς και ο τρόπος συλλογής των δεδομένων και η επεξεργασία τους.

Στο τέταρτο κεφάλαιο, παρουσιάζονται με την μορφή διαγραμμάτων και πινάκων τα αποτελέσματα από την ανάλυση των δεδομένων και παράλληλα γίνεται και ο σχολιασμός τους.

Τέλος στο πέμπτο κεφάλαιο καταγράφονται τα συμπεράσματα της διπλωματικής εργασίας. Επίσης αναλύονται οι αδυναμίες της παρούσας μελέτης άλλα και γίνονται εισηγήσεις για περαιτέρω έρευνα.

2. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Γενικά για την Θερμική Αστική Νησίδα

Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) είναι ένα φαινόμενο κατά το οποίο οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν υψηλότερη θερμοκρασία σε σύγκριση με τις γύρω μη αστικές περιοχές (Memon, Leung, & Chunho, 2008). Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται σε όλες πόλεις και αποτελεί την πλέον αντιπροσωπευτική και τεκμηριωμένη εκδήλωση της κλιματικής αλλαγής. Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας μπορεί να εμφανιστεί σε οποιαδήποτε αστικοποιημένη περιοχή, αν και είναι συνήθως πιο αισθητή στις μεγαλύτερες πόλεις.

Για να γίνει καλύτερη η κατανόηση του φαινομένου, μπορεί να γίνει η ποσοτικοποίηση υπολογίζοντας την ένταση του. Η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας (UHI), ένας γνωστός δείκτης της αστικής θέρμανσης, υπολογίζεται ως η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας της επιφάνειας του αέρα μεταξύ μιας αστικής και της γύρω αγροτικής περιοχής (Kim & Baik, 2005). Σε ακραίες περιπτώσεις, συνήθως τη νύχτα, οι θερμοκρασίες μπορεί να είναι έως και 5-10°C υψηλότερες στο κέντρο της πόλης, αν και κατά μέσο όρο η ένταση της ΑΘΝ είναι συνήθως κοντά στους 2 έως 4°C (T. R. Oke, Johnson, Steyn, & Watson, 1991).

Αν και η εισερχόμενη ηλιακή ενέργεια είναι μικρότερη το χειμώνα από ότι το καλοκαίρι, το φαινόμενο της ΑΘΝ μπορεί να είναι ισχυρό καθ' όλη την διάρκεια του έτους. Οι περισσότερες έρευνες για την μελέτη του φαινομένου επικεντρώνονται κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, διότι τότε επιτυγχάνονται οι μέγιστες θερμοκρασίες και πιθανόν δημιουργούνται τα περισσότερα προβλήματα.

Για τον υπολογισμό της έντασης της ΑΘΝ, χρησιμοποιούνται κυρίως ένας από τους τρεις παρακάτω τρόπους σύμφωνα με τον Stewart (Iain Douglas Stewart, 2011).

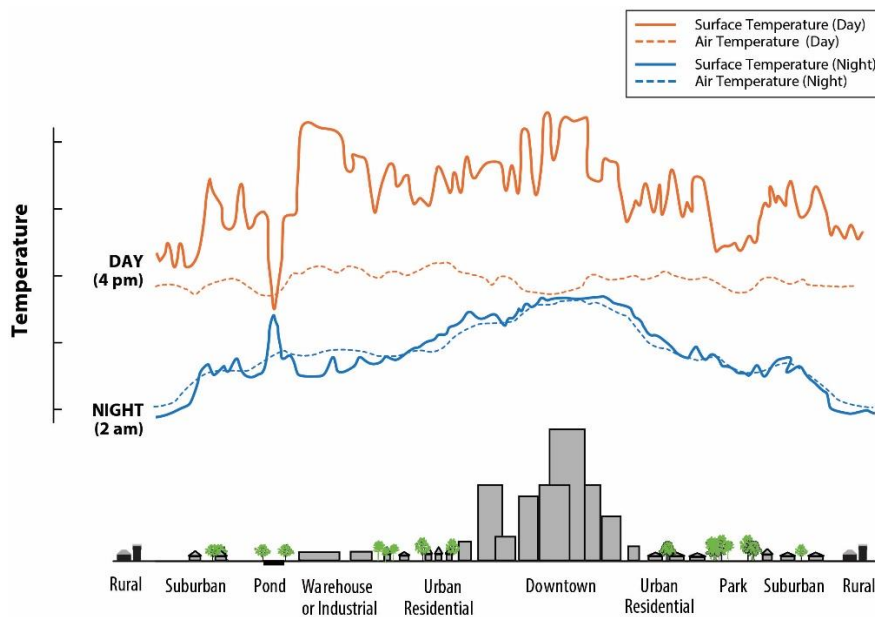
- Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμότερου και του ψυχρότερου σημείου μεταξύ ενός σταθερού δικτύου αισθητήρων
- Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ πολλών αστικών και αγροτικών θερμοκρασιών που μετρήθηκαν με σταθερούς ή κινητούς αισθητήρες
- Η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ ενός απομακρυσμένου αγροτικού αισθητήρα (συνήθως σε ένα αεροδρόμιο) και ενός αισθητήρα που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης.

2.2. Χαρακτηριστικά της ΑΘΝ

Το φαινόμενο της θερμής αστικής νησίδας έχει παρατηρηθεί και μελετηθεί σε πολλές αστικές περιοχές σε όλο τον πλανήτη. Τα χαρακτηριστικά της ΑΘΝ επηρεάζονται από τα εκάστοτε χαρακτηριστικά της περιοχής (Ingegård Eliasson, 1996).

Ένα από τα κύρια χαρακτηριστικά της αστικής θερμικής νησίδας είναι η υψηλότερη θερμοκρασία του αέρα που παρατηρείται στο κέντρο μιας πόλης σε σύγκριση με την θερμοκρασία του αέρα μιας αγροτικής περιοχής. Εκτός από την θερμοκρασία του αέρα, η θερμικές νησίδες παρουσιάζουν και υψηλές θερμοκρασίες στις αστικές επιφάνειες, όπως είναι τα πεζοδρόμια, οι δρόμοι, οι οροφές των κτιρίων κ.α. Αυτές οι επιφάνειες θερμαίνονται από τον ήλιο κατά την διάρκεια της ημέρας, απορροφώντας θερμότητα την οποία κατά την διάρκεια της νύχτας διοχετεύουν στην ατμόσφαιρα επηρεάζοντας έτσι την θερμοκρασία του αέρα. Για τον λόγο αυτό το φαινόμενο της θερμής αστικής νησίδας είναι εντονότερο κατά την διάρκεια της νύχτας (M Santamouris, Paraponiaris, & Mihalakakou, 2007). Έρευνες έχουν δείξει ότι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού σε μια πόλη της Αμερικής με ήπια χαρακτηριστικά η θερμοκρασία του αέρα κυμαίνεται από 15-38°C ενώ οι αστικές επιφάνειες μπορούν να φτάσουν μέχρι και τους 88 °C (Tzavali, 2015).

Επιπλέον από διάφορες έρευνες που έχουν γίνει έχει παρατηρηθεί ότι οι καιρικές συνθήκες που επικρατούν στην περιοχή επηρεάζουν το φαινόμενο. Πιο συγκεκριμένα το φαινόμενο της θερμής αστικής νησίδας ενισχύεται όταν ο καιρός είναι καθαρός και ήρεμος. Πιο αναλυτικά κατά την διάρκεια μια καθαρής ημέρας με απουσία συννεφιάς το φαινόμενο γίνεται πιο έντονο καθώς μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ενέργειας απορροφάτε από τις αστικές επιφάνειες με αποτέλεσμα την κατακόρυφη αύξηση της θερμοκρασίας τους. Αντίθετα με την ενίσχυση των ανέμων το φαινόμενο ελαχιστοποιείται καθώς οι ανέμου απομακρύνουν την θερμότητα.



Εικόνα 1 Θερμοκρασία Αέρα-Επιφάνειας (United States Environmental Protection Agency)

2.3. Μορφές Θερμικής Αστικής Νησίδας

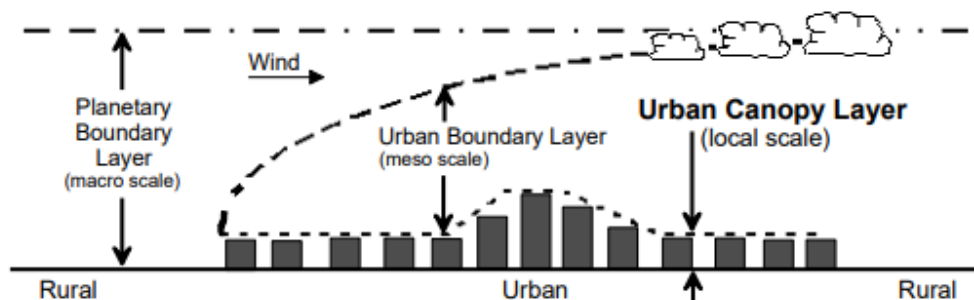
Η θερμική αστική νησίδα μπορεί να προσδιοριστεί με βάση τα αίτια που ευθύνονται για τον σχηματισμό του φαινομένου, ή από τις μεθόδους και τα όργανα που χρησιμοποιούνται για την παρατήρησή του. Για αυτόν τον λόγο η ΑΘΝ μπορεί να χωριστεί σε 3 διαφορετικές μορφές (Tim R Oke, 1995):

- Αστική θερμική νησίδα επιφάνειας (Surface Urban Heat Island SUHI)
- Αστική θερμική νησίδα χαράδρας (Urban Canopy Layer UCL)
- Αστική θερμική νησίδα οριακού στρώματος (Urban Boundary Layer UBL)

Η αστική θερμική νησίδα της επιφάνειας (SUHI) αφορά την θέρμανση της πόλης από εκτεθειμένες στην ηλιακή ακτινοβολία αστικές επιφάνειες, όπως δρόμοι, πεζοδρόμια και στέγες. Το φαινόμενο αυτό είναι πιο έντονο το καλοκαίρι και κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας όπου υπάρχει η μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία. Για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της επιφάνειας, τα δεδομένα προέρχονται κυρίως από δορυφορικούς αισθητήρες που καταγράφουν την ανερχόμενη θερμική ακτινοβολία που εκπέμπεται από τις επιφάνειες (Σάρρας, 2020).

Η θερμική νησίδα οριακού στρώματος (UBL) και η θερμική νησίδα χαράδρας (UCL) σχετίζονται με την αστική θέρμανση της ατμόσφαιρας. Πιο συγκεκριμένα το UCL βρίσκεται στο στρώμα αέρα που ζουν οι άνθρωποι και ξεκινάει από το έδαφος μέχρι και το ύψος των δέντρων και των κτιρίων. Επιπλέον η θερμική νησίδα χαράδρας δημιουργεί τις μεγαλύτερες συνέπειες στον άνθρωπο, επειδή υφίσταται εκεί που λαμβάνουν χώρα οι ανθρώπινες δραστηριότητες. Η UCL είναι κυρίως νυχτερινό φαινόμενο, ικανά να φτάσει σε μεγέθη άνω των 10°C υπό βέλτιστες συνθήκες. Η θερμική νησίδα οριακού στρώματος ξεκινά από το ύψος των κτιρίων και φτάνει μέχρι το σημείο στο οποίο η αστική περιοχή δεν επηρεάζει την

ατμόσφαιρα. Το σημείο αυτό μπορεί να επεκταθεί μέχρι και 1.5km από το έδαφος. Για να ανιχνευθούν αυτού του τύπου οι θερμικές νησίδες, οι μετρήσεις της θερμοκρασίας του αέρα γίνεται από μετεωρολογικούς σταθμούς (Iain Douglas Stewart, 2011).



Εικόνα 2 Απεικόνιση των διαφορετικών μορφών ΑΘΝ (Iain Douglas Stewart, 2011)

2.4. Ιστορική Αναδρομή

Αναφορές για την αύξηση της θερμοκρασίας στις πόλεις εμφανίστηκαν για πρώτη φορά, κατά την διάρκεια του δέκατου έβδομου αιώνα, όταν εντοπίστηκε αύξηση της θερμότητας στις πόλεις που οφειλόταν σε ανθρώπινο παράγοντα. Εκείνη την περίοδο η ζεστή και μολυσμένη ατμόσφαιρα των πόλεων, αποτελούσε περισσότερο πρόβλημα υγείας παρά επιστημονικό (Iain Douglas Stewart, 2011).

Η πρώτη επίσημη επιστημονική καταγραφή του φαινομένου της θερμής αστικής νησίδας έγινε το 1818 από τον χημικό Luke Howard ο οποίος επεσήμανε την τεχνητή αύξηση της θερμοκρασία στο Λονδίνο. Ο Howard συγκέντρωνε καθημερινά θερμοκρασίες του αέρα από περιοχές στο κέντρο της πόλης και στα περίχωρα, για πάνω από δύο δεκαετίες. Τα αποτελέσματα του έδειξαν ότι το κέντρο του Λονδίνου ήταν κατά τα 2 βαθμούς θερμότερο σε σχέση με την περιαστική περιοχή (Mills, 2008).

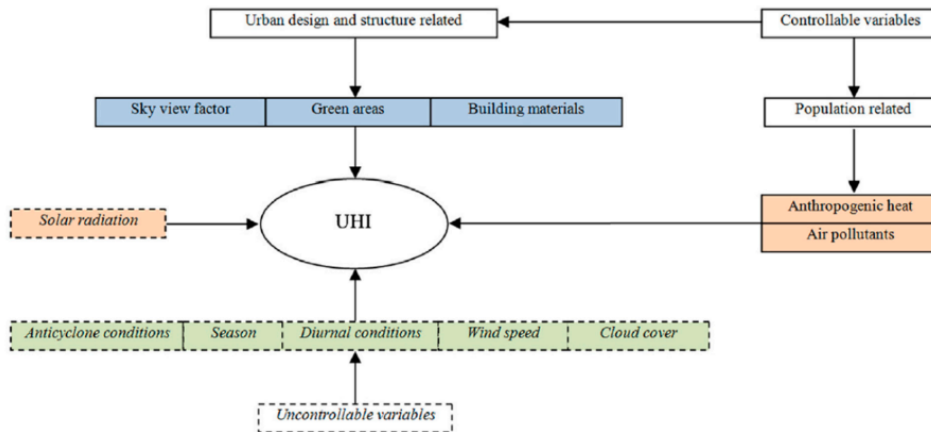
Η έρευνα του Howard έθεσε τις βάσεις για μια μακρά περίοδο σταθερής ανάπτυξης της αστικής κλιματολογίας και της περαιτέρω διερεύνησης της θερμικής νησίδας. Το 1862 ο Emilien Repon δημοσίευσε τις πρώτες παρατηρήσεις για την θερμική νησίδα που δεν θα αφορούσαν την περιοχή του Λονδίνου. Ο Repon μελέτησε το φαινόμενο για την μητροπολιτική περιοχή του Παρισιού. Σύλλεξε θερμοκρασίες για πέντε έτη, τόσο για την αστική περιοχή του Παρισιού όσο και για μία αγροτική περιοχή περίπου δέκα χιλιόμετρα νότια της πόλης. Κατέληξε στο συμπέρασμα ότι η διαφορά θερμοκρασία μεταξύ της πόλης και της αγροτικής περιοχής είναι περίπου 1°C.

Ο Hann το 1897 ονόμασε το φαινόμενο «Θερμοκρασία πόλης» για να δείξει ότι υπήρχαν υψηλότερες θερμοκρασίες στις πόλεις από ότι στις γύρω αγροτικές

περιοχές. Ενώ πολλές μελέτες συνέχισαν να αναφέρουν τις διαφορές μεταξύ αστικού και αγροτικού κλίματος, τα αίτια που ευθύνονται όμως για τις διαφορές δεν ήταν προφανείς, έως ότου ο Wilhelm Schmidt έκανε πολυάριθμες μετρήσεις σε γερμανικές πόλεις στις αρχές του 20^{ου} αιώνα και ανακάλυψε τις συνθήκες που δημιούργησαν το φαινόμενο της ΑΘΝ (Tzavali, 2015).

2.5. Αίτια Δημιουργίας της Θερμής Αστικής Νησίδας

Υπάρχουν διάφοροι παράγοντες που συμβάλλουν στον σχηματισμό του φαινομένου της θερμής αστικής νησίδας. Οι παράγοντες αυτοί μπορούν να ταξινομηθούν σε ελεγχόμενους και μη ελεγχόμενους παράγοντες όπως φαίνεται και στην εικόνα 3



Εικόνα 3 Αίτια δημιουργίας ΑΘΝ (Vujovic, Haddad, Karaky, Sebaibi, & Boutouil, 2021)

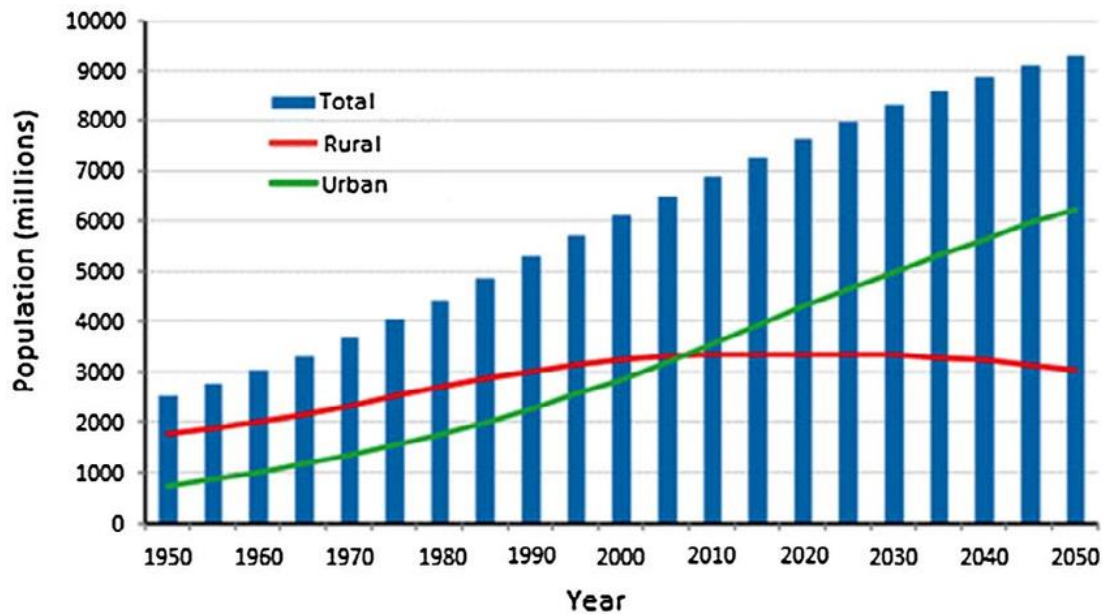
Πιο συγκεκριμένα ελεγχόμενοι παράγοντες μπορούν να θεωρηθούν η ρυμοτομία της πόλης σε ότι έχει να κάνει με το μέγεθος της πόλης αλλά και με τις κατασκευές όπως κτήρια, δρόμοι, χώροι πρασίνου κ.α. Επιπλέον έχει να κάνει και με τον ανθρωπίνο παράγοντα, όπως η αύξηση του πληθυσμού στα αστικά κέντρα και η ανθρωπογενής θερμότητα.

Οι μη ελεγχόμενους παράγοντες που επηρεάζουν το φαινόμενο είναι ο καιρός και το μικροκλίμα της περιοχής όπως για παράδειγμα τα καιρικά φαινόμενα της περιοχής, η ταχύτητα ανέμου κ.α. (Vujovic et al., 2021).

2.5.1. Αστικοποίηση

Η αύξηση του πληθυσμού στις αστικές περιοχές έχει εκτιναχθεί τις τελευταίες δεκαετίες. Περίπου το 50-60% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε πόλεις και κωμοπόλεις. Τις τελευταίες δεκαετίες η αύξηση του πληθυσμού στις πόλεις ήταν πρωτόγνωρη. Στην πραγματικότητα ο αστικός πληθυσμός αυξήθηκε από 160 εκατομμύρια σε περίπου 3 δισεκατομμύρια μέσα σε μόλις 100 χρόνια και αναμένεται να αυξηθεί σε περίπου 5 δισεκατομμύρια μέχρι το 2025 (Kolokotsa, Psomas, & Karapidakis, 2009).

Εκτός από την αύξηση του αστικού πληθυσμού, παρουσιάζει αύξηση και ο συνολικός πληθυσμός αλλά με φθίνοντα ρυθμό σε σχέση με τις προηγούμενες δεκαετίες.



Εικόνα 4 Ο παγκόσμιος αστικός και αγροτικός πληθυσμός, 1950-2050 (United Nations World Urbanization Prospects 2014)

Η αστικοποίηση έχει σημαντικό μερίδιο ευθύνης για την δημιουργία της αστικής θερμικής νησίδας. Η απότομη αύξηση του πληθυσμού έστρεψε του κατοίκους από τις αγροτικές περιοχές, στα αστικά κέντρα. Με την αύξηση των κατοίκων στις αστικές περιοχές, αυξάνεται και η οικοδομική δραστηριότητα στις πόλεις, αλλά και η ανάγκη για μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση. Όλα αυτά επηρεάζουν το περιβάλλον και συμβάλλουν στην ύπαρξη του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Μπουντάς, 2014).

2.5.2. Μειωμένη Βλάστηση

Η έλλειψη χώρων πρασίνου στις αστικές περιοχές επηρεάζει σημαντικά το φαινόμενο. Καθώς οι πόλεις ολοένα και εξαπλώνονται, οι χώροι πρασίνου μειώνονται αισθητά και τη θέση τους παίρνουν κτήρια και δρόμοι. Η έλλειψη χώρων πρασίνου εκτός από το ότι μειώνει την σκίαση και την υγρασία στην περιοχή μειώνει παράλληλα και τις απώλειες της θερμότητας που προκαλούνται από τα φυτά μέσω της εξατμισοδιαπνοής, κατά την οποία τα φυτά απελευθερώνουν νερό στην ατμόσφαιρα που διαλύει την περιβάλλουσα θερμότητα. Για αυτό το λόγο περιοχές με πυκνή δόμηση, εξατμίζεται λιγότερο νερό με αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας. Στο Τόκυο για παράδειγμα έχει υπολογιστεί ότι οι περιοχές με πράσινο κατά την διάρκεια του καλοκαιριού είναι κατά μέσο όρο 1,6°C ψυχρότερες σε σύγκριση με σημεία τα οποία δεν είχαν καθόλου πράσινο (Ταχα, 1997).

2.5.3. Ρυμοτομία της Πόλης

Ένας παράγοντας που επηρεάζει σημαντικά το φαινόμενο της ΑΘΝ, είναι η ρυμοτομία της πόλης, δηλαδή η διαρρύθμιση του χώρου, μέσα στον οποίο θα κτιστεί ο οικισμός, πόλη ή οποιοδήποτε οικοδομικό συγκρότημα. Η γεωμετρία και η πυκνότητα μιας πόλης επηρεάζουν σημαντικά το αστικό μικρόκλιμά διότι τα κτίρια παγιδεύουν και απορροφούν την ηλιακή ακτινοβολία κυρίως κατά την διάρκεια της

νύχτας. Τα κτίρια κατά την διάρκεια της ημέρας αποθηκεύουν την θερμότητα με αποτέλεσμα να αυξάνεται η θερμοκρασία τους, ενώ το βράδυ εκπέμπουν την θερμότητα πίσω στο περιβάλλον με αποτέλεσμα να αυξάνεται σημαντικά η θερμοκρασία του αέρα.

Επιπλέον η γεωμετρία της πόλης επηρεάζει σημαντικά και την ροή του αέρα μέσα σε αυτή. Πιο συγκεκριμένα τα ψηλά κτίρια εμποδίζουν τον αέρα να ρέει μέσα στην πόλη με αποτέλεσμα να μειώνεται η ένταση του. Εκτός από την μείωση της ταχύτητας η διαρρύθμιση της πόλης μεταβάλλει και τις διευθύνσεις του ανέμου. Τα κτίρια και οι δρόμοι μπορούν εκτρέψουν τον άνεμο σε συγκεκριμένες διευθύνσεις. Για τον λόγο αυτό σε μια αστική περιοχή υπάρχουν σημεία που έχουν υψηλές ταχύτητες με διάφορες κατευθύνσεις και υπάρχουν και σημεία χωρίς καθόλου άνεμο (Tzavali, 2015)

2.5.4. Ιδιότητες των Δομικών Υλικών

Ένα ακόμη αίτιο για την αύξηση της θερμής αστικής νησίδας είναι η αυξημένη χρήση των δομικών υλικών στις πόλεις. Τα υλικά αυτά έχουν μεγαλύτερη ικανότητα στο να αποθηκεύσουν την θερμότητα, με αποτέλεσμα να έχουν σημαντική επίδραση στο φαινόμενο. Σήμερα τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις νέες κατασκευές, τα περισσότερα είναι αδιάβροχα και υδατοστεγή με αποτέλεσμα το νερό της βροχής να μην απομακρύνει την θερμότητα.

Πιο συγκεκριμένα οι ιδιότητες των δομικών υλικών όπως η ηλιακή ανάκλαση (albedo ή λευκάγεια) επηρεάζουν σημαντικά το φαινόμενο. Τα υλικά που έχουν υψηλό συντελεστή albedo, έχουν την ικανότητα να αντανακλούν την ηλιακή ακτινοβολία πίσω στο περιβάλλον και να μην την αποθηκεύουν. Το albedo μια επιφάνειας ποικίλει ανάλογα το χρώμα, την υφή ή την σύνθεση της επιφάνειας. Για παράδειγμα τα σκούρα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή δρόμων κτιρίων και άλλων επιφανειών, αποθηκεύουν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ακτινοβολίας. Μελέτη έχει δείξει ότι οι θερμοκρασίες σκοτεινών και ξηρών αδιαπέραστων επιφανειών κατά την διάρκεια της ημέρας με απευθείας επαφή με τον ήλιο, μπορεί να φτάσει κοντά στους 90 °C, ενώ οι επιφάνειες με πράσινο και υγρό έδαφος, με τις ίδιες συνθήκες μπορεί να φτάσει μόνο μέχρι τους 18°C.

2.5.5. Ανθρωπογενής Θερμότητα

Ένας άλλος παράγοντας που συμβάλλει στην αστική θερμική νησίδα είναι η απορριπτόμενη θερμότητα που εκπέμπεται από τις ανθρώπινες δραστηριότητες. Εκλύεται από διάφορες πηγές όπως από τα αυτοκίνητα, την βιομηχανία, τα κλιματιστικά ακόμα και από τους ίδιους τους ανθρώπους. Παρόλο που η ανθρωπογενής θερμότητα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως από την παραγωγή ενέργειας, την χρήση της ενέργειας και τις μεταφορές, οι μεγαλύτερες τιμές εντοπίζονται κατά την διάρκεια του χειμώνα λόγω της μεγάλης ανάγκης για θέρμανση στα κτίρια. Σε μελέτη που έγινε στην οποία εξέτασαν την χρήση ενέργειας

στα κτίρια και στα οχήματα από τους ανθρώπους, ανέπτυξαν ένα ημερήσιο προφίλ ανθρωπογενούς θέρμανσης με βάση την εκτιμώμενη απόρριψη από αυτές τις πηγές. Το προφίλ αυτό, με βάση κάποια μετεωρολογικά προγνωστικά μοντέλα, εκτίμησε την επίδραση της επίδραση της θερμότητας στις θερμοκρασίες του αέρα. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι στο κέντρο μιας μεγάλης πόλης μπορεί να δημιουργηθεί μια θερμική νησίδα έως και 2-3°C τόσο κατά την διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας. Ωστόσο αυτή η αύξηση της θερμοκρασίας δεν μπορεί να εμφανιστεί σε μια προαστιακή οικιστική γειτονιά. (Taha, 1997).

2.5.6. Ατμοσφαιρική Ρύπανση

Στις αστικές περιοχές ιδίως στα κέντρα των πόλεων η ατμοσφαιρική ρύπανση είναι εμφανής. Η ατμοσφαιρική ρύπανση συμβάλλει στην αύξηση της υπέρυθρης ακτινοβολίας από την ατμόσφαιρα προς τη γη. Ειδικότερα στις πόλεις η ρύπανση συνεισφέρει στο φαινόμενο του θερμοκηπίου και μεταβάλλει αρνητικά το αστικό κλίμα. Επιπλέον τα υψηλότερα επίπεδα

2.5.7. Μετεωρολογικοί Παράμετροι

Ένα εξίσου σημαντικό αίτιο που συμβάλλει στην εμφάνιση και εντατικοποίηση του φαινομένου είναι ο καιρός. Πολλές μελέτες έχουν γίνει για να εξακριβωθεί η επίδραση του καιρού στο φαινόμενο της θερμής αστικής νησίδας. Τα αποτελέσματα από τις μελέτες αυτές έχουν δείξει ότι η ταχύτητα και η διεύθυνση του ανέμου, η ηλιακή ακτινοβολία αλλά και η νέφωση έχουν σημαντικό μερίδιο ευθύνης στην δημιουργία και στην εξέλιξη του φαινομένου. Το φαινόμενο γίνεται πιο έντονο όταν δεν υπάρχουν μεγάλες ταχύτητες ανέμου και ο ουρανός είναι καθαρός, με αποτέλεσμα να εισέρχεται μεγαλύτερη ηλιακή ενέργεια στην επιφάνεια της γης. Ενώ αντίθετα, με την αύξηση της νέφωσης μειώνεται η ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας.

Επιπλέον το τοπικό κλίμα μιας περιοχής συνδέεται μπορεί να επιδράσει τόσο θετικά όσο και αρνητικά στο φαινόμενο. Για παράδειγμα μια περιοχή που βρίσκεται κοντά στην θάλασσα, κατά την διάρκεια των ζεστών μηνών, παρουσιάζει χαμηλότερη θερμοκρασία σε σύγκριση με άλλη μη παράκτια περιοχή. Αυτό οφείλεται στην θαλάσσια αύρα που βοηθάει στην μείωση της θερμοκρασίας.

2.6. Επιπτώσεις

Οι επιπτώσεις που προκαλούνται από την ΑΘΝ είναι πολλές. Οι περισσότερες από αυτές έχουν αρνητικό αντίκτυπο τόσο στον άνθρωπο όσο και στο περιβάλλον. Πιο συγκεκριμένα με την αύξηση της θερμοκρασίας το καλοκαίρι η ανάγκη για κατανάλωση ενέργειας με σκοπό την ψύξη των κτιρίων είναι αρκετά μεγάλη. Επιπλέον επιβαρύνεται σημαντικά και η οικονομία διότι τα πόσα που δαπανούνται για την αντιμετώπιση του φαινομένου είναι αρκετά υψηλά. Επιπλέον λόγω της αύξησης της θερμοκρασίας και της ατμοσφαιρικής ρύπανσης, εκτός της δυσφορίας, αυξάνονται και τα προβλήματα υγείας (Tzavali, 2015).

2.6.1. Ενέργεια

Η υπερθέρμανση του πλανήτη και η αστική θερμική νησίδα αυξάνουν την θερμοκρασία του περιβάλλοντος και εντείνουν την κατανάλωση ενέργειας για την ψύξη των κτιρίων. Η πιθανή αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας υποχρεώνει τις εταιρίες κοινής ωφελείας σε κατασκευή πρόσθετων σταθμών παραγωγής ενέργειας, με αποτέλεσμα την αύξηση του κόστους της παροχής ηλεκτρικής ενέργειας. Με βάση τα αποτελέσματα από δεκαπέντε έρευνες που έχουν γίνει, υπολογίστηκε, ότι με την άνοδο της θερμοκρασίας κατά έναν βαθμό, η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας αυξάνεται από 0,5% έως 8,5%. Επιπλέον για την πόλη της Αθήνας η θερμική νησίδα είναι υπεύθυνη για τον διπλασιασμό της ζήτησης ενέργειας το καλοκαίρι για την ψύξη των κτιρίων και για τον τριπλασιασμό της μέγιστης ηλεκτρικής κατανάλωσης (Matheos Santamouris, Cartalis, Synnefa, & Kolokotsa, 2015).

2.6.2. Υγεία και Θερμική Άνεση

Η έκθεση στην θερμότητα συνδέεται με μια σειρά από δυσμενείς επιπτώσεις στην υγεία που κυμαίνονται από την επιδείνωση των υφιστάμενων καταστάσεων έως τον αυξημένο κίνδυνο νοσηλείας και θανάτου. Η θερμοπληξία δεν είναι η μόνη αιτία θανάτου, αλλά η θερμότητα είναι ένας παράγοντας που συμβάλει στην αύξηση των αναπνευστικών παθήσεων. Αν και οι επιπτώσεις στην υγεία είναι σοβαρότερες σε περιόδους εξαιρετικά υψηλών θερμοκρασιών ή κατά την διάρκεια ενός κύματος καύσωνα. Για παράδειγμα, οι υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια του καύσωνα το 2003 στο Παρίσι, συσχετίστηκαν με την αυξανόμενη θνησιμότητα. Οι πληθυσμοί που είναι πιθανότερο να επηρεαστούν αρνητικά από την θερμότητα είναι οι ηλικιωμένοι και άτομα με υποκείμενα νοσήματα (Heaviside, Macintyre, & Vardoulakis, 2017).

Με τον όρο θερμική άνεση εκφράζεται η ικανοποίηση που αισθάνεται ο άνθρωπος σε ένα χώρο για το θερμικό περιβάλλον. Σύμφωνα με τους επιστήμονες η ιδανική θερμοκρασία κυμαίνεται μεταξύ 18-22°C σε συνδυασμό με σχετική υγρασία ανάμεσα στο 30-60% και ταχύτητα ανέμου μικρότερη από 2 m/s.

Ως αποτέλεσμα των αυξημένων θερμοκρασιών εντός των αστικών περιοχών η ΑΘΝ μπορεί να επηρεάσει τον αριθμό των θερμών ημερών καθώς και την διάρκεια των κυμάτων καύσωνα, αυξάνοντας έτσι και τον κίνδυνο θανάτου από θερμικό στρες. Σε έρευνα που έγινε σε διάφορες περιοχές της Σαγκάης εμφανίστηκε ότι οι μεγαλύτερες μέσες τιμές των ετήσιων θερμών ημερών είναι 11,2 ημέρες ανά έτος στην αστική περιοχή, ενώ λιγότερες θερμές ημέρες εμφανίζονται στις περιφερειακές περιοχές (Tan et al., 2010) (Καρακούνος, 2013).

2.6.3. Ποιότητα του Αέρα

Όπως αναφέρθηκε και πιο πριν, με την αύξηση της θερμοκρασίας κατά την διάρκεια της θερμής περιόδου του έτους, αυξάνεται και η ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας. Αυτό

έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των ατμοσφαιρικών ρύπων και αέριων του θερμοκηπίου που δημιουργούνται από τις εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας. Πιο συγκεκριμένα, οι περισσότερες εγκαταστάσεις παραγωγής ενέργειας χρησιμοποιούν ορυκτά καύσιμα, τα οποία κατά την καύση τους εκλύουν στην ατμόσφαιρα επιβλαβείς ρύπους για τον άνθρωπο όπως διοξείδιο του θείου (SO₂), οξείδια του αζώτου (NO_x), αιωρούμενα σωματίδια (PM), μονοξείδιο του άνθρακα (CO) και υδράργυρο (Hg) (Tzavali, 2015).

2.6.4. Ποιότητα Νερού

Η υπερβολική θερμοκρασία που υπάρχει στις επιφάνειες του οδοστρώματος και στις στέγες των κτιρίων, μεταφέρεται στο νερό κατά την διάρκεια της βροχής και έτσι μεταβάλλεται η θερμοκρασία του νερού. Αυτό επηρεάζει άμεσα τον μεταβολισμό και την αναπαραγωγή πολλών υδρόβιων οργανισμών. Δοκιμές έχουν δείξει ότι τα οδοστρώματα που έχουν θερμοκρασία 100°F (38°C) μπορούν να αυξήσουν την θερμοκρασία του νερού της βροχής από 70°F (21°C) σε πάνω από 95°F (35°C). Αυτό το θερμαινόμενο νερό βροχής ρέει και καταλήγει σε ποτάμια και λίμνες, επηρεάζοντας έτσι την υδρόβια ζωή. Οι ραγδαίες μεταβολές της θερμοκρασίας σε υδάτινα οικοσυστήματα μπορεί να είναι ιδιαίτερα στρεσογόνες ακόμα και θανατηφόρες για την υδρόβια ζωή (Bhargava, Lakmini, & Bhargava, 2017).

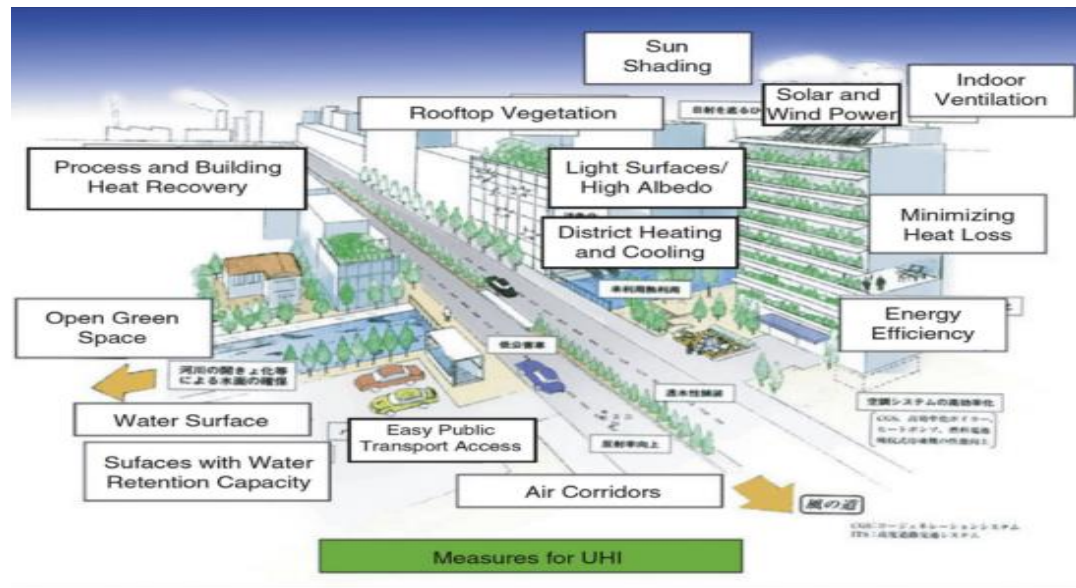
2.7. Μετριασμός του Φαινομένου

Το φαινόμενο της θερμής αστικής νησίδας είναι αναπόφευκτο στις μεγάλες πόλεις. Το ερώτημα είναι το πως μπορεί να μειωθεί το φαινόμενο. Παρακάτω παρουσιάζονται μερικές προτάσεις οι οποίες αποσκοπούν στην άμβλυση του φαινομένου.

Η χρήση υλικών υψηλής ανακλαστικότητας (high albedo materials) για την κατασκευή κτιρίων, δρόμων κτλ. Τα υλικά αυτά μπορούν να μειώσουν σημαντικά το φαινόμενο της ΑΘΝ μέσω της ανάκλασης της ηλιακής θερμότητας αντί της απορρόφησης της. Για παράδειγμα τα υλικά με χαμηλό συντελεστή ανακλαστικότητας μπορούν να φτάσουν σε θερμοκρασία 40°C θερμότερη σε σχέση με την θερμοκρασία του αέρα, ενώ αντίθετα τα υλικά που έχουν υψηλό βαθμό ανακλαστικότητας, η αύξηση της θερμοκρασίας είναι μόνο 5°C. Η χρήση των υλικών αυτών μπορεί να εφαρμοστεί σε οροφές κτιρίων, σε πεζοδρόμια και στις επιφάνειες των δρόμων (Taha, Sailor, & Akbari, 1992).

Η δημιουργία χώρων πρασίνου είναι επίσης ένας σημαντικός παράγοντας που βοηθάει για τον μετριασμό του φαινομένου. Υπάρχουν τέσσερις διαφορετικοί τύποι εφαρμογής της βλάστησης: αστικά δάση (πάρκα), δέντρα στους δρόμους, ιδιωτικοί κήποι και πράσινες στέγες ή προσόψεις. Η βλάστηση έχει μια μέση ψυκτική επίδραση 1-4°C που εξαπλώνεται από 100 σε 1000m σε μια αστική περιοχή, αλλά εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την ποσότητα νερού που έχει το φυτό ή το δέντρο.

Μια περιοχή πρασίνου δεν χρειάζεται να είναι ιδιαίτερη μεγάλη σε έκταση ώστε να βοηθήσει στην ψύξη της περιοχής (Kleerekoper, Van Esch, & Salcedo, 2012).



Εικόνα 5 Μέτρα για την αντιμετώπιση της ΑΘΝ (Mohajerani, Bakaric, & Jeffrey-Bailey, 2017)

Το νερό μπορεί να μειώσει την θερμότητα μια περιοχής μέσω της εξάτμισης, με απορρόφηση θερμότητας όταν υπάρχει μεγάλη ποσότητα νερού ή με την μεταφορά θερμότητας από την περιοχή μέσω ποταμιών. Το νερό έχει μια μέση ψυκτική επίδραση 1-3°C σε απόσταση 30-35m. Οι εφαρμογές του νερού είναι πιο αποτελεσματικές όταν καλύπτουν μεγάλη επιφάνεια ή όταν το νερό ρέει (Deilami, Kamruzzaman, & Liu, 2018).

Ο σχεδιασμός μια πόλης μπορεί να επιφέρει σημαντική βελτίωση στο κλίμα της πόλης. Η πυκνή δόμηση σε μια πόλη, εκτός του ότι αντανακλά την θερμότητα με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, επιπλέον μειώνει αισθητά και την ταχύτητα του ανέμου. Ο σχεδιασμός της πόλης σε σχέση με τον άνεμο μπορεί να αποτελέσει σημαντικό παράγοντα για την ψύξη της περιοχής (Kleerekoper et al., 2012).

2.8. Θερμική Αστική Νησίδα Παγκοσμίως

2.8.1. Ευρώπη

Τα τελευταία χρόνια έχουν γίνει αρκετές μελέτες για την Θερμική Αστική Νησίδα στην Ευρώπη. Οι εργασίες βασίζονται είτε σε στατιστικές διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ ζευγών ή ομάδων αστικών και αγροτικών σταθμών.

Οι Alcoforado και Andrade πραγματοποίησαν μετρήσεις της θερμικής νησίδας στη Λισαβόνα της Πορτογαλίας, χρησιμοποιώντας κινητούς σταθμούς σε τουλάχιστον 20 σημεία της πόλης μεταξύ 4 Ιανουαρίου και 15 Ιανουαρίου 1995. Διαπιστώθηκε ότι η νυχτερινή ΑΘΝ του αέρα εμφανίζεται τόσο τις χειμερινές όσο και τις καλοκαιρινές νύχτες με μέση ένταση κοντά στους 2,5°C. Σε μια άλλη μελέτη των Alcoforado και Andrade, με βάση 69 θέσεις μέτρησης της θερμοκρασίας του αέρα, οι συγγραφείς διαπίστωσαν ότι η μέγιστη ένταση του UHI είναι κοντά στους 3,5°C και οι νησίδες αναπτύσσονται στις πιο πυκνές συνοικίες της πόλης (Alcoforado & Andrade, 2006).

Στην μελέτη των Guattari, Evangelisti, Balaras αναλύθηκαν οι κλιματικές συνθήκες στην πόλη της Ρώμης και στις γύρω περιοχές, προκειμένου να μελετηθεί το φαινόμενο της ΘΑΝ και τις επιπτώσεις του στην ενεργειακή απόδοση των κτιρίων μακροπρόθεσμα. Τα ευρήματα αυτής της μελέτης αποκαλύπτουν μη αμελητέες διαφορές μεταξύ των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων στις τρεις τοποθεσίες. Συγκρίνοντας τη Ρώμη και το Φιουμιτσίνο, διαπιστώθηκε ότι υπάρχει μια μέση διαφορά θερμοκρασίας περίπου 0,84°C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 1,40°C κατά τη διάρκεια της νύχτας, η οποία γίνεται 4,60°C και 4,70°C όταν εξετάζονται μόνο οι θερινοί μήνες. Επιπλέον διαφορές παρατηρούνται για τις τιμές της ταχύτητας του ανέμου και της σχετικής υγρασίας. Οι ταχύτητες του ανέμου στη Ρώμη, η οποία είναι μια αντιπροσωπευτική μεσογειακή μητροπολιτική πόλη, είναι χαμηλότερες λόγω της πολύπλοκης αστικής γεωμετρίας που επηρεάζει τις ροές του ανέμου. Σημαντικές διαφορές εντοπίστηκαν και για τη σχετική υγρασία, ιδίως κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού. Από την άλλη πλευρά, συγκρίνοντας τη Ρώμη και το Τσιαμπίνο, οι διαφορές θερμοκρασίας είναι μικρότερες και κατά συνέπεια, το φαινόμενο της αστικής νησίδας φαίνεται να είναι λιγότερο σημαντικό. Ωστόσο, δεν μπορεί να θεωρηθεί αμελητέο, καθώς φθάνει σε τιμές έως και 2,2°C κατά τη διάρκεια της ημέρας και 3,2°C κατά τη διάρκεια της νύχτας (Guattari, Evangelisti, & Balaras, 2018).

Οι Karaca, Anterplioğlu, & Karsan μελέτησαν το φαινόμενο της θερμής αστικής νησίδας και την επίδραση της αστικοποίησης στην Κωνσταντινούπολη και στην Άγκυρα της Τουρκίας. Οι πολυετείς διαφορές ελάχιστης θερμοκρασίας από επτά αστικούς και αγροτικούς σταθμούς στην Κωνσταντινούπολη δείχνουν μια τάση προς αύξηση της έντασης του φαινομένου. Οι διαφορές μεταξύ αστικών και αγροτικών σταθμών είναι κοντά στους 2°C, ενώ για την Άγκυρα, οι ανάλυση των

Θερμοκρασιών δεν δείχνει καμία τάση αύξησης της θερμοκρασίας (Karaca, Anterplioğlu, & Karsan, 1995).

Στην Ουγγαρία ο Unger εξέτασε την επίδραση των αστικών και μετεωρολογικών παραγόντων στην ένταση της θερμικής νησίδας στην πόλη Στζέγκεντ. Χρησιμοποίησαν κινητές και σταθερές μετρήσεις, κάτω από διαφορετικές καιρικές συνθήκες το Φεβρουάριο-Μάρτιο του 2000 και τον Απρίλιο-Οκτώβριο του 2002. Διαπιστώθηκε ότι η ένταση της θερμικής νησίδας στο κέντρο της πόλης είναι κοντά στους 2,1°C κατά τη διάρκεια της θερινής περιόδου και 3,1°C κατά τη διάρκεια της χειμερινής (η σύγκριση αναφέρεται στις ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες) (Unger, 1996).

Η Γρανάδα μια μεσαίου μεγέθους πόλη που βρίσκεται στην Νότια Ισπανία, μελετήθηκε από τους Montánvez, Rodríguez και Jiménez. Στην μελέτη αυτή εξετάστηκε μια χρονοσειρά ωριαίων δεδομένων θερμοκρασίας από ένα σταθμό που βρίσκεται εντός πόλης, που δείχνει την επίδραση της αστικοποίησης. Επιπλέον έγινε και μια στατιστική ανάλυση των διαφορών στην θερμοκρασία ανάμεσα σε δύο σταθμούς όπου ο ένας ήταν σε μια θερμή περιοχή της πόλης και ο δεύτερος σταθμός ήταν στην ύπαιθρο, ώστε να βρεθεί η ένταση της θερμικής νησίδας (Montánvez, Rodríguez, & Jiménez, 2000).

Τα αποτελέσματα από την έρευνα αυτή, έδειξαν ότι η ανάπτυξη της πόλης είχε ως αποτέλεσμα την μεγάλη αύξηση των ελάχιστων θερμοκρασιών. Η μέση θερμοκρασία των προαστίων είναι πάντα μικρότερη από αυτή της πόλης. Επιπλέον προέκυψε ότι το φαινόμενο της θερμής αστικής νησίδας είναι πιο έντονο κατά την διάρκεια της νύχτας και κυρίως τους χειμερινούς μήνες. Πιο συγκεκριμένα οι μεγαλύτερες διαφορές είναι περίπου στους 3°C, ενώ από την άλλη πλευρά οι ελάχιστες διαφορές είναι μεγαλύτερες το φθινόπωρο και χαμηλότερες το καλοκαίρι.

Η κυκλοφορία αστικής θερμικής νησίδας (ΚΑΘΝ) μελετήθηκε από τους, Eliasson και Holmér για την περίοδο 1981-1986 κατά την διάρκεια χειμωνιάτικων βραδιών με αντικυκλωνικές συνθήκες για την πόλη του Γκέτεμποργκ. Το Γκέτεμποργκ είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη της Σουηδίας με πληθυσμό περίπου 500.000.

Η κυκλοφορία αστικής θερμικής νησίδας είναι μια ασθενής ροή κοντά στο έδαφος με κατεύθυνση προς το κέντρο της πόλης. Αιτία του φαινομένου αυτού είναι η θερμική αστική νησίδα. Το φαινόμενο αυτό αναπτύσσεται γενικά σε μεγάλη αρνητική καθαρή ακτινοβολία, όταν η ένταση της θερμικής νησίδας είναι τουλάχιστον 2.5°C, η ταχύτητα του ανέμου είναι μικρότερη από 3 m/s και ο ουρανός είναι καθαρός. Εάν οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές, η ΚΑΘΝ αρχίζει 4-6 ώρες μετά τα μεσάνυχτα και σταματά λίγες ώρες μετά την ανατολή του ηλίου. Το φαινόμενο αυτό είναι αρκετά σημαντικό για τις συγκεντρώσεις ατμοσφαιρικών

ρύπων στην πόλη του Γκέτεμποργκ, διότι μεταφέρει τόσο μολυσμένο όσο και καθαρό αέρα (I Eliasson & Holmer, 1990).

Οι Yagüe, Zurita και Martinez, ανέλυσαν τις θερμοκρασίες στην ευρύτερη περιοχή της Μαδρίτης για την τάση της θερμοκρασίας την περίοδο από το 1965 έως και το 1987. Οι μετρήσεις πάρθηκαν από τέσσερις σταθμούς εκ των οποίων ένας ήταν στο κέντρο της πόλης και οι άλλοι τρεις ήταν αγροτικοί. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι υπήρξε μια σημαντική αύξηση της αστικής θερμοκρασίας ενώ αντίθετα στην αγροτική περιοχή δεν παρατηρήθηκε κάποια αξιόλογη μεταβολή. Επιπλέον η ένταση της θερμικής αστικής νησίδας παρουσιάζει ελάχιστη τιμή την άνοιξη και μέγιστη τιμή το καλοκαίρι (3,1°C). Τέλος όσον αφορά της ημερήσιες ελάχιστες θερμοκρασίες, διαπιστώθηκε ότι οι υψηλότερες τιμές αντιστοιχούν σε αντικυκλωνικές συνθήκες κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου και οι χαμηλότερες αντιστοιχούν σε κυκλωνικές συνθήκες (Yagüe, Zurita, & Martinez, 1991).

Ο Böhm αναλύει την θερμοκρασία για την πόλη της Βιέννης την περίοδο 1951 έως 1995. Η Βιέννη είναι η μεγαλύτερη πόλη και πρωτεύουσα της Αυστρίας με πληθυσμό γύρω στα 2.000.000. Σε σύγκριση με άλλες πόλεις η Βιέννη παρουσιάζει διαφορετικά χαρακτηριστικά αστικής ανάπτυξης. Η πόλη είχε μηδενική αύξηση του πληθυσμού κατά την περίοδο 1951-1995 σε σχέση με άλλες πόλεις που παρουσίαζαν ραγδαία ανάπτυξη. Για την μελέτη αυτή πάρθηκαν δεδομένα από εννιά μετεωρολογικούς σταθμούς σε μια έκταση περίπου 1450 km². Τρεις σταθμοί ήταν στην αγροτική περιοχή και οι υπόλοιποι έξι ήταν στην αστική περιοχή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, παρά την μηδενική αύξηση του πληθυσμού της πόλης, η θερμοκρασία παρουσιάζει αυξητική τάση. Επιπλέον διαπιστώθηκε ότι οι ακραίες αστικές θερμοκρασίες διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή, από 0,2°C στις προαστιακές περιοχές μέχρι 1,6°C στις πιο πυκνές κατοικημένες. Τέλος αναφέρεται επίσης ότι το αστικό φαινόμενο στη Βιέννη επηρεάζεται περισσότερο από το τοπικό περιβάλλον της τοποθεσίας παρά από την πόλη στο σύνολό της (Böhm, 1998).

2.8.2. Ασία

Το φαινόμενο της θερμικής νησίδας μελέτησαν και οι Tawfeek, Jasim και Al-Jiboori για την πρωτεύουσα του Ιράκ, την Βαγδάτη. Για την έρευνα αυτή, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες Landsat και ημερήσιες θερμοκρασίες αέρα σε ύψος δύο μέτρων για το χρονικό διάστημα τριών ετών: 2008, 2013 και 2019. Για τις ημερήσιες θερμοκρασίες του αέρα, τα δεδομένα πάρθηκαν από δύο αυτόματους μετεωρολογικούς σταθμούς, ένας στο κέντρο της πόλης και ο δεύτερος σταθμός στο διεθνές αεροδρόμιο της Βαγδάτης που βρίσκεται στην ύπαιθρο. Οι δορυφορικές εικόνες χρησιμοποιήθηκαν για να εξαχθεί ο δείκτης δόμησης. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι κατοικημένες περιοχές στην πόλη έχουν αυξηθεί από 621 km² το 2008 σε 727 km² το 2019. Αυτή η αύξηση σε συνδυασμό με την υψηλή πυκνότητα πληθυσμού παρήγαγε δυσμενής θερμικές επιπτώσεις στο περιβάλλον

που αντιπροσωπεύεται από την θερμική αστική νησίδα. Αυτό επαληθεύτηκε και με την ανάλυση των εποχιακών και ετήσιων μέσων όρων της θερμοκρασίας του αέρα για τις δύο περιοχές. Χρησιμοποιώντας την διαφορά των ημερήσιων θερμοκρασιών μεταξύ των δύο τοποθεσιών, υπολογίζεται η ένταση του φαινομένου. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέγιστη ημερήσια ΘΑΝ εντοπίζεται το καλοκαίρι (Ιούλιο μήνα) με τιμή 3.4 °C ενώ οι ετήσιοι μέσοι όροι κυμαίνονται από 1.5 (τόσο το 2008 όσο και το 2013) έως 2.4 (2019) (Tawfeek, Jasim, & Al-Jiboori, 2020).

Οι Liu, Ji, Zhong, Jiang, και Zheng μελέτησαν τη διαχρονική τάση καθώς και την εποχιακή και ωριαία διακύμανση της αστικής θερμότητας στην ευρύτερη περιοχή του Πεκίνου για την περίοδο 1977-2000. Τα δεδομένα της επιφανειακής θερμοκρασίας του αέρα πάρθηκαν από έναν σταθμό στο κέντρο της πόλης και έναν σταθμό 70km μακριά. Διαπιστώθηκε ότι οι θερμοκρασίες στο κέντρο της πόλης αυξήθηκαν περισσότερο σε σύγκριση με τις θερμοκρασίες στην περιαστική περιοχή. Πιο συγκεκριμένα η ελάχιστη θερμοκρασία παρουσιάζει μεγαλύτερη αύξηση στο κέντρο της πόλης ενώ η μέγιστη θερμοκρασία έχει μεγαλύτερη αύξηση στην περιαστική περιοχή. Η εποχιακή διακύμανση της ΘΑΝ δείχνει ότι για την μέση και ελάχιστη θερμοκρασία του αέρα, η ένταση του ΑΘΝ είναι μεγαλύτερη τον χειμώνα. Ωστόσο για την μέγιστη θερμοκρασία η ένταση του φαινομένου είναι μεγαλύτερη την άνοιξη. Τέλος όσον αφορά την ωριαία διακύμανση παρατηρείται ότι το φαινόμενο είναι εντονότερο κατά την διάρκεια της νύχτας. (Liu, Ji, Zhong, Jiang, & Zheng, 2007).

Το φαινόμενο της ΑΘΝ μελετήθηκε από τους Chow και Roth για την Σιγκαπούρη το έτος 2003. Χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα τα οποία ελήφθησαν από τέσσερις σταθμούς που βρίσκονταν στην αστική περιοχή της πόλης και από έναν σταθμό που βρισκόταν στην ευρύτερη περιοχή. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μέγιστη ένταση του φαινομένου εμφανίζεται 3-4 ώρες μετά την δύση του ηλίου στην αστική περιοχή. Οι υψηλότερες εντάσεις εμφανίζονται τους μήνες Μάιο και Αύγουστο με μέγιστη ένταση, 7°C (Chow & Roth, 2006).

Το Δελχί είναι η πρωτεύουσα της Ινδίας. Σύμφωνα με τις απογραφές η πόλη τα τελευταία χρόνια γνωρίζει ταχεία αύξηση του πληθυσμού. Το 1991 ο πληθυσμός ήταν 9,4 εκατομμύρια, το 2001 αυξήθηκε στα 13,8 εκατομμύρια και το 2011 έφτασε τα 16,7 εκατομμύρια. Ο Yadav και ο Sharma προκειμένου να μελετήσουν το φαινόμενο συλλέξαν μετεωρολογικά δεδομένα κατά τους διάρκεια των μουσώνων και τον χειμώνα του 2014. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η μικρότερη ένταση του φαινομένου εμφανίζεται τις απογευματινές ώρες (0-2°C), ενώ η υψηλότερη εμφανίζεται κατά την διάρκεια της νύχτας ή οποία έφτανε έως και 8°C (Yadav & Sharma, 2018)

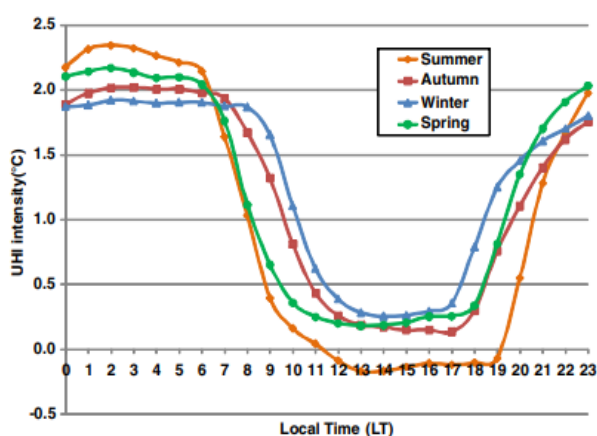
2.8.3. Αμερική

Για την διερεύνηση του φαινομένου της ΑΘΝ χρησιμοποιήθηκαν ωριαία δεδομένα θερμοκρασίας για τα έτη 1997-1998 από τους Εθνικούς Μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Νέας Υόρκης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το φαινόμενο δημιουργείται με γρήγορο ρυθμό αργά το απόγευμα, και εξαφανίζεται ακόμα πιο γρήγορα λίγο μετά την αυγή. Επιπλέον η έρευνα έδειξε ότι το καλοκαίρι και την άνοιξη ο μέσος όρος είναι περίπου 4°C, ενώ το φθινόπωρο και τον χειμώνα είναι 3°C. Τέλος από την έρευνα προκύπτει ότι κατά την διάρκεια της άνοιξης και του καλοκαιριού οι θαλάσσιοι άνεμοι συνήθως μειώνουν και καθυστερούν το φαινόμενο (Gedzelman et al., 2003).

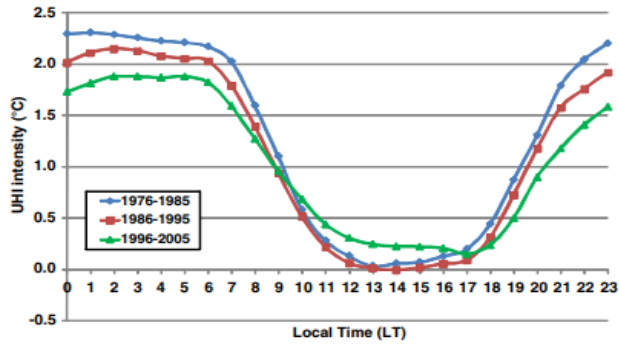
Ο Balling μελέτησε την θερμοκρασία για την πρωτεύουσα της Αριζόνα, το Φοίνιξ. Το Φοίνιξ είναι η πέμπτη μεγαλύτερη πόλη στην Ηνωμένες πολιτείες καθώς και η πιο πυκνοκατοικημένη. Πάρθηκαν ημερήσια δεδομένα για τις μέσες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες για τα έτη 1920-1984 από 961 σταθμούς. Κατά την περίοδο εκείνη ο πληθυσμός της αστικής περιοχής του Φοίνιξ, τριπλασιάστηκε. Από την μελέτη αυτή τα συμπεράσματα που προέκυψαν είναι ότι η μέση θερμοκρασία κατά την διάρκεια των θερινών μηνών αυξήθηκε με ετήσιο ρυθμό 0.072°C (Balling Jr, Skindlov, & Phillips, 1990).

Η Camilloni και η Barrucand μελέτησαν το φαινόμενο για την πόλη του Μπουένος Άιρες. Το Μπουένος Άιρες της Αργεντινής είναι μια από τις πιο πυκνοκατοικημένες πόλεις στην Νότια Αμερική. Η πόλη εκτείνεται σε 4.000 km² και ο πληθυσμός της υπερβαίνει τα 13 εκατομμύρια.

Η επίδραση του φαινομένου μελετάται με τη χρήση ωριαίων θερμοκρασιών από έναν σταθμό που βρίσκεται στο κέντρο της πόλης και από τον σταθμό που βρίσκεται στο διεθνές αεροδρόμιο, 30 km μακριά από το κέντρο. Η περίοδος μελέτης ήταν από το 1976 έως το 2007.



Εικόνα 6 Εποχιακή Ημερήσια διακύμανση ΑΘΝ (Camilloni & Barrucand, 2012)



Εικόνα 7 Ωριαία διακύμανση ΑΘΝ ανά δεκαετία (Camilloni & Barrucand, 2012)

Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι το φαινόμενο είναι εντονότερο το καλοκαίρι με την ένταση να είναι λίγο παραπάνω από τους 2°C. Επίσης φαίνεται ότι παρόλο την ραγδαία αύξηση του πληθυσμού στην μητροπολιτική περιοχή του Μπουένος Άιρες η ένταση του φαινομένου φαίνεται να μειώνεται με την πάροδο των χρόνων (Camilloni & Barrucand, 2012).

Χρησιμοποιώντας κλιματικά δεδομένα για την πόλη Φέρμπανκς και την αεροπορική βάση Eielson στην εσωτερική Αλάσκα, μελετήθηκε η ανάπτυξη της θερμικής νησίδας για τη χρονική περίοδο 1949-1997. Κατά τη διάρκεια της περιόδου των 49 ετών, ο πληθυσμός του Fairbanks αυξήθηκε περισσότερο από 500%, ενώ ο πληθυσμός του Eielson παρέμεινε σχετικά σταθερός. Η μέση ετήσια θερμική νησίδα που παρατηρήθηκε στο διεθνές αεροδρόμιο του Φέρμπανκς αυξήθηκε κατά 0,4 °C, με τους χειμερινούς μήνες να παρουσιάζουν σημαντικότερη αύξηση κατά 1,0 °C. Στόχος της μελέτης αυτής ήταν να χαρακτηριστεί μακροπρόθεσμα το φαινόμενο με βάση την εποχή, την ταχύτητα του ανέμου, τη νεφοκάλυψη και την ώρα της ημέρας. Σε όλες τις περιπτώσεις, οι ελάχιστες θερμοκρασίες επηρεάστηκαν περισσότερο από τις μέγιστες. Τέλος στις περιόδους που υπήρχε άπνοια ή χαμηλή ταχύτητα ανέμου το φαινόμενο γινόταν πιο έντονο (Magee, Curtis, & Wendler, 1999).

2.8.4. Ελλάδα

Αρκετές μελέτες έχουν γίνει και για τις μεγάλες πόλεις της Ελλάδας. Μερικές από αυτές παρουσιάζονται παρακάτω.

2.8.4.1. Αθήνα

Οι Livada, Santamouris, Niachou, Papanikolaou και Mihalakakou μελέτησαν το φαινόμενο της ΑΘΝ για την ευρύτερη περιοχή της Αθήνας. Χρησιμοποίησαν ωριαία δεδομένα από 20 μετεωρολογικούς σταθμούς οι οποίοι ήταν τοποθετημένοι τόσο στο κέντρο όσο και στα προάστια της Αθήνας. Πάρθηκαν μετρήσεις για 22 μήνες από τον Ιούλιο του 1996 έως το Μάρτιο του 1998. Από την έρευνα αυτή παρατηρείται ότι στο κέντρο και στην δυτική περιοχή της πόλης (Βιομηχανική ζώνη) το φαινόμενο είναι πιο έντονο. Παρόλα αυτά, υπάρχουν περιοχές κοντά στο κέντρο της πόλης που η ένταση του φαινομένου διαφέρει αρκετά, λόγω του ότι έχουν

πυκνή βλάστηση και είναι πιο αραιοκατοικημένες. Επιπλέον σε περιοχές που είναι κοντά στην θάλασσα, παρατηρήθηκε ότι οι θερμοκρασίες του αέρα είναι υψηλότερες κατά την ψυχρή περίοδο, όχι λόγω της αστικοποίησης αλλά εξαιτίας της θαλάσσιας αύρας, η οποία ευνοεί την διατήρηση πιο υψηλών θερμοκρασιών (Livada, Santamouris, Niachou, Papanikolaou, & Mihalakakou, 2002).

Σε άλλη μελέτη για την πόλη της Αθήνας, χρησιμοποιήθηκαν χάρτες θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης (LST) κατά την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, που απεικονίζουν της χωρικές μεταβολές της επιφανειακής θερμοκρασίας στην πόλη. Χρησιμοποίησαν δύο θερμικές δορυφορικές εικόνες. Μια για το νυκτερινές ώρες της 11 Οκτωβρίου του 2003 και άλλη μία κατά την διάρκεια της ημέρα της 12 Οκτωβρίου του 2003. Οι συγκεκριμένες ημερομηνίες επιλέχθηκαν διότι σύμφωνα με τον Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, το έτος αυτό θεωρείται ένα από τα πιο ζεστά έτη στην ιστορία της Αθήνας και ο Οκτώβρης του 2003 θεωρείται επίσης ο πιο ζεστός τα τελευταία χρόνια. Κατά την διάρκεια της ημέρας, η θερμική εικόνα αποκαλύπτει την ύπαρξη της αστική ψυχρής νησίδας. Η ψυχρή νησίδα είναι το φαινόμενο στο οποίο οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι τα προάστια. Επομένως οι αστικές περιοχές βρέθηκαν να είναι κατά μέσο όρο περίπου 1°C πιο ψυχρές από τις περιαστικές. Αντίθετα όμως κατά την διάρκεια της νύχτας το φαινόμενο αντιστράφηκε. Πιο συγκεκριμένα, οι πυκνό-κατοικημένες περιοχές βρέθηκαν κατά 4°C πιο ζεστές σε σύγκριση με τις γύρω αγροτικές περιοχές (Stathoroulou et al., 2009).

2.8.4.2. Θεσσαλονίκη

Μελέτες έχουν γίνει και για την περιοχή της Θεσσαλονίκη. Στην συγκεκριμένη μελέτη μελετάται το φαινόμενο χρησιμοποιώντας δεδομένα θερμοκρασίας κοντά στην επιφάνεια της θάλασσας που μετρήθηκαν σε 7 σημεία στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης για την περίοδο ενός έτους, από τον Μάρτιο του 2008 έως τον Φεβρουάριο του 2009. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η θερμική αστική νησίδα είναι εντονότερη την νύχτα σε σύγκριση με την ήμερα και μειώνεται αισθητά όταν αυξάνεται η ταχύτητα του ανέμου. Επίσης φαίνεται ότι το φαινόμενο είναι πιο έντονο κατά την διάρκεια του θερμών μηνών. Πιο αναλυτικά η μέγιστη ένταση του φαινομένου κυμαίνεται από 2°C έως 4°C κατά την διάρκεια της θερμής περιόδου και από 1°C έως 3°C κατά την διάρκεια της ψυχρής περιόδου. Οι μεγαλύτερες τιμές παρατηρούνται συνήθως μετά τη δύση του ηλίου, ενώ αντίθετα οι ελάχιστες τιμές εντοπίζονται κατά την διάρκεια του μεσημεριού. Η ένταση του φαινομένου φαίνεται να μειώνεται αισθητά, όταν η ταχύτητα του ανέμου είναι μεγαλύτερη από 4 m/s . Τέλος διαπιστώνεται ότι το κέντρο της πόλης παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές του δείκτη δυσφορίας. Πιο συγκεκριμένα, μια αύξηση κατά $1,5^{\circ}\text{C}$ στην ένταση της αστικής νησίδας, φαίνεται να οδηγεί σε μια μέση αύξηση κατά 1°C στον δείκτη δυσφορίας (Giannaros & Melas, 2012).

Άλλη μια μελέτη που έχει δημοσιευθεί για την πόλη της Θεσσαλονίκης είναι από τους Balafoutis και Makrogiannis. Στην έρευνα αυτή, μελετήθηκε η ένταση του φαινομένου κατά την περίοδο 1950-1995, χρησιμοποιώντας δεδομένα της ελάχιστης θερμοκρασίας του αέρα σε έναν αστικό σταθμό που ήταν στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και σε έναν αγροτικό σταθμό, το Αεροδρόμιο Μακεδονία. Από τα αποτελέσματα συμπεράναν την ύπαρξη ενός έντονου φαινομένου της θερμικής νησίδας στην πόλη της Θεσσαλονίκης. Οι ημερήσιες διαφορές σε ορισμένες περιπτώσεις ξεπερνούν το $\pm 6^{\circ}\text{C}$. (Balafoutis & Makrogiannis, 1999).

2.8.4.3. Υπόλοιπη Ελλάδα

Οι Papanastasiou και Kittas ερεύνησαν το φαινόμενο για την πόλη του Βόλου, μια μεσαίου μεγέθους παραθαλάσσια πόλη στην κεντρική Ελλάδα. Συλλέξαν δεδομένα για μια χειμερινή περίοδο (Δεκέμβριος 2009 - Φεβρουάριος 2010) και μια καλοκαιρινή περίοδο (Ιούνιος 2010 - Αύγουστος 2010). Η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρου της πόλης και ενός προαστίου βρέθηκε να είναι $3,4^{\circ}\text{C}$ κατά την διάρκεια του χειμώνα και $3,1^{\circ}\text{C}$ το καλοκαίρι. Όσον αφορά την μέση μέγιστη ένταση, αυτή είναι ίδια και για τις δύο εποχές ($2,0^{\circ}\text{C}$). Και σε αυτή την περίπτωση, η ΑΘΝ αρχίζει συνήθως να αναπτύσσεται μετά την δύση του ηλίου. Επιπλέον η ανάλυση αποκαλύπτει ότι κατά την διάρκεια και των δύο εποχών η μέγιστη ωριαία ένταση του φαινομένου συσχετίζεται θετικά με τη μέγιστη ωριαία ένταση της προηγούμενης ημέρας και αρνητικά με την ταχύτητα του ανέμου. Τέλος διαπιστώθηκε ότι η θαλάσσια αύρα καθυστερεί την ανάπτυξη της ΑΘΝ το καλοκαίρι (Papanastasiou & Kittas, 2011).

Με την χρήση χαρτών θερμοκρασίας της επιφάνεια της γης (LST) διερευνήθηκε το φαινόμενο και για την πόλη της Πάτρας. Οι δορυφορικές εικόνες δείχνουν ότι και στην πόλη της Πάτρας παρατηρείται αύξηση της επιφανειακής θερμοκρασίας στο κέντρο της πόλης σε σύγκριση με τις αγροτικές περιοχές. Οι τιμές της επιφανειακής θερμοκρασίας κυμαίνονται από $30,7^{\circ}\text{C}$ για τις αγροτικές περιοχές, $32,2^{\circ}\text{C}$ για τα προάστια της πόλης και φτάνει έως $33,4$ για τις αστικές – πυκνοκατοικημένες περιοχές. Επομένως η ένταση κατά την διάρκεια της ημέρας φτάνει έως και 3°C . Επιπλέον, η βιομηχανική περιοχή που βρίσκεται βορειοανατολικά της Πάτρας, μεταξύ της περιοχής του Ρίου και του Αγίου Βασιλείου, λαμβάνει υψηλές τιμές επιφανειακής θερμοκρασίας, περίπου $35,4^{\circ}\text{C}$, δηλαδή φαίνεται να είναι και 2°C πιο θερμή από το κέντρο της πόλης (Stathopoulou & Cartalis, 2007).

Επίσης και για την περιοχή του Ηρακλείου, με την χρήση των χαρτών θερμοκρασίας για της επιφάνειας της γης, κατά την διάρκειας της 9^{ης} Ιουλίου του 2000, εκτιμήθηκε η ένταση της ΑΘΝ. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι πυκνοδομημένες περιοχές που βρίσκονται κοντά στην περιοχή του λιμανιού, παρουσίασαν τις υψηλότερες θερμοκρασίες. Η διαφορά της αστικής περιοχής με την αγροτική είναι κοντά στους 2°C . Με βάση τον χάρτη κατανομής της επιφανειακής θερμοκρασίας, οι

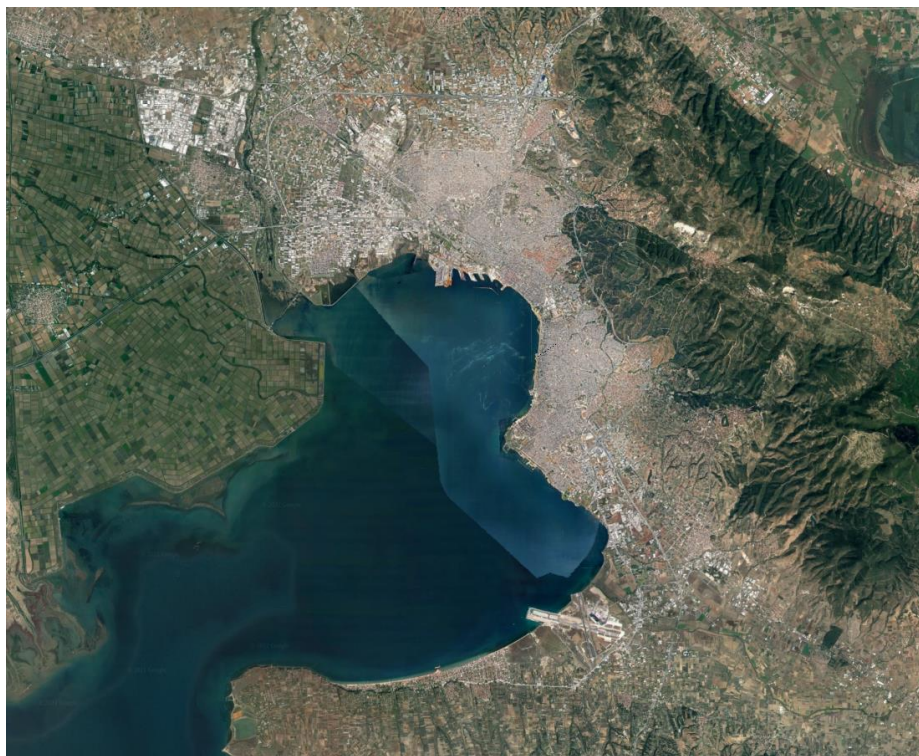
υψηλότερες θερμοκρασίες εντοπίστηκαν στην Νέα Αλικαρνασσό όπου βρίσκεται το αεροδρόμιο του Ηρακλείου (Stathopoulou & Cartalis, 2007).

Τέλος με την χρήση δεδομένων θερμοκρασίας αλλά και υγρασίας μελετήθηκε το φαινόμενο της ΑΘΝ για μια παράκτια πυκνοδομημένη μεσογειακή πόλη, τα Χανιά της Κρήτης. Στην συγκεκριμένη μελέτη χρησιμοποιήθηκαν εννέα αστικοί και τρεις μετεωρολογικοί σταθμοί παρέχοντας δεδομένα θερμοκρασίας και υγρασίας για την καλοκαιρινή περίοδο του 2007 και πιο συγκεκριμένα από τις 26 Μαΐου του 2007 έως και της 24 Οκτωβρίου του 2007. Επιπλέον επεξεργάστηκαν και δεδομένα που αφορούν την διεύθυνση και την ταχύτητα του ανέμου, καθώς και την ηλιακή ακτινοβολία και την βροχόπτωση. Τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής έδειξαν ότι, κατά την θερινή περίοδο, όπου παρατηρούνται οι μέγιστες θερμοκρασίες, το φαινόμενο της ΑΘΝ είναι πιο έντονο με μέγιστη ένταση τους 8°C (Kolokotsa et al., 2009).

3. ΜΕΛΕΤΗ ΠΕΡΙΠΤΩΣΗΣ-ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.2. Μελέτη Περίπτωσης

Η Θεσσαλονίκη είναι η δεύτερη μεγαλύτερη πόλη στην Ελλάδα, με πληθυσμό που ανέρχεται στους 818.159 κατοίκους, ενώ η μητροπολιτική περιοχή της Θεσσαλονίκης έχει πληθυσμό 1.004.589 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή του 2021.



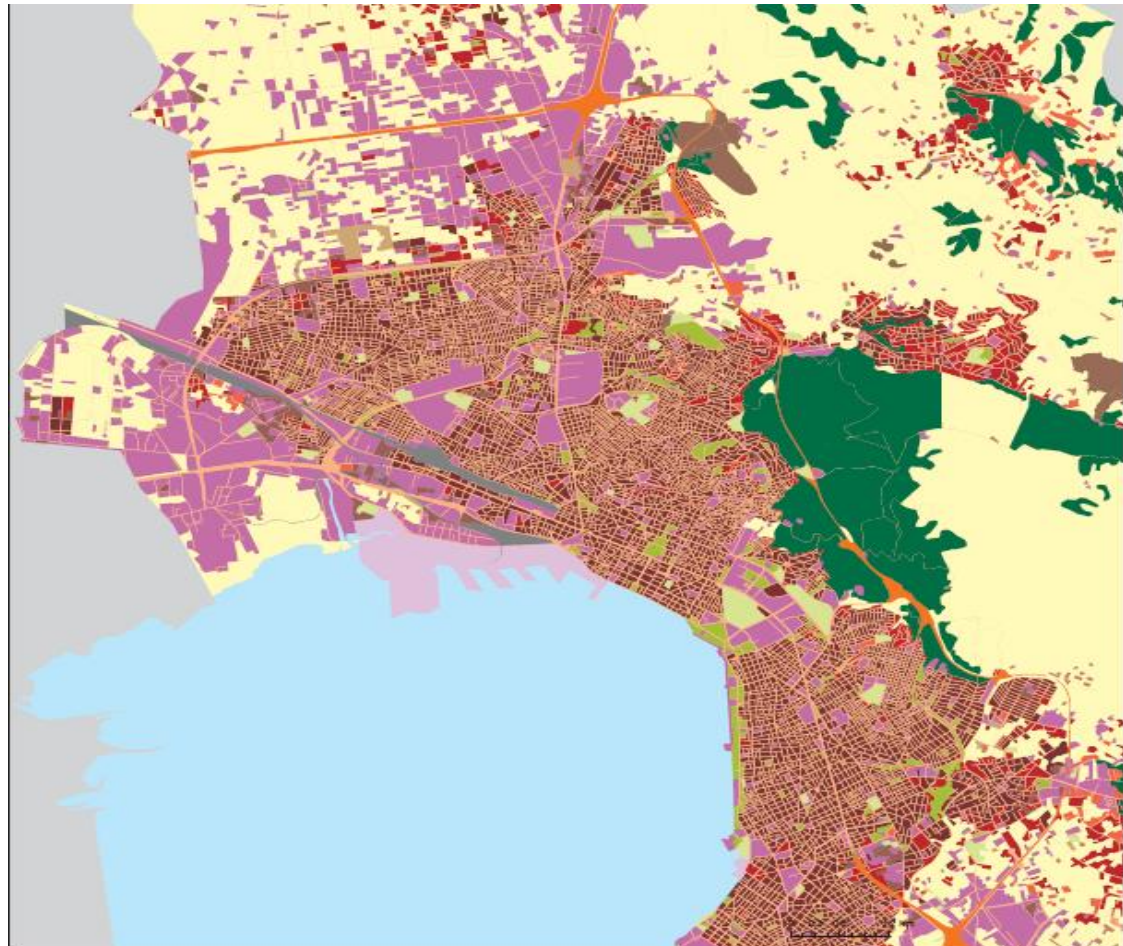
Εικόνα 8 Δορυφορική άποψη του Θερμαϊκού κόλπου και της ευρύτερης περιοχής της Θεσσαλονίκης

Η πόλη της Θεσσαλονίκης είναι κτισμένη κατά μήκος της βορειοανατολικής ακτής του Θερμαϊκού κόλπου. Ανατολικά της πόλης υπάρχει το βουνό Χορτιάτης, το ύψος του οποίου είναι 1200 m, ενώ στα δυτικά υπάρχει μια εκτεταμένη επίπεδη περιοχή όπου βρίσκεται η βιομηχανική περιοχή της Σίνδου. Η θέση της πόλης στην ευρύτερη περιοχή της Μακεδονίας και η ύπαρξη του λιμανιού, καθιστούν τη Θεσσαλονίκη σε σημαντικό εμπορικό, συγκοινωνιακό και πολιτιστικό σταυροδρόμι από την αρχαιότητα έως σήμερα.

Η Θεσσαλονίκη, χαρακτηρίζεται από πυκνή δόμηση, με υψηλά κτίρια, στενούς δρόμους και ουσιαστικά έλλειψη κοινόχρηστου υπαίθριου χώρου. Ανοιχτοί χώροι και εκτάσεις πρασίνου έχουν μειωθεί κατά 20% από το 1979 μέχρι σήμερα. Μόνο το 4% της πόλης αποτελείται από πράσινο και ελεύθερους χώρους. Αντιστοιχούν 2,73 τ.μ. πρασίνου (μαζί με το περιαστικό δάσος) ανά κάτοικο ενώ το κατώτατο διεθνώς αποδεκτό όριο είναι 10 τ.μ. ανά κάτοικο.

Το κλίμα στη Θεσσαλονίκη μπορεί να θεωρηθεί ως μεσογειακό, με γενικά ζεστά και ξηρά καλοκαίρια, και ήπιους υγρούς χειμώνες. Σύμφωνα με την ΕΜΥ η μέση ετήσια

Θερμοκρασία για την πόλη της Θεσσαλονίκης είναι περίπου 17°C. Ο θερμότερος μήνας για την πόλη είναι ο Ιούλιος με μέση θερμοκρασία γύρω στους 27°C ενώ ο πιο ψυχρός είναι ο Ιανουάριος με μέση θερμοκρασία 5,4 °C.



- Continuous Urban fabric (S.L. > 80%)
- Discontinuous Dense Urban Fabric (S.L.: 50% - 80%)
- Discontinuous Medium Density Urban Fabric (S.L.: 30% - 50%)
- Discontinuous Low Density Urban Fabric (S.L.: 10% - 30%)
- Discontinuous Very Low Density Urban Fabric (S.L. < 10%)
- Isolated Structures
- Industrial, commercial, public, military and private units
- Fast transit roads and associated land
- Other roads and associated land
- Railways and associated land
- Port areas
- Airports
- Mineral extraction and dump sites
- Construction sites
- Land without current use
- Green urban areas
- Sports and leisure facilities
- Agricultural Areas, semi-natural areas and wetlands
- Forests
- Water
- No data

Εικόνα 9 Περιοχή Θεσσαλονίκη, χάρτης κάλυψης και χρήσης γης (European Environment Agency)

3.3. Μεθοδολογία

Για να μελετηθεί το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, πάρθηκαν δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς οι οποίοι βρίσκονται στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Οι σταθμοί αυτοί ανήκουν στην Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY) και παρέχουν δεδομένα με χρονικό βήμα 10 λεπτών. Εκτός του δικτύου της EMY χρησιμοποιήθηκαν και δεδομένα από την ιστοσελίδα <https://www.meteothes.gr/>. Ο τύπος των σταθμών είναι Davis Vantage Pro 2. Οι σταθμοί αυτοί καταγράφουν τις παρακάτω παραμέτρους:

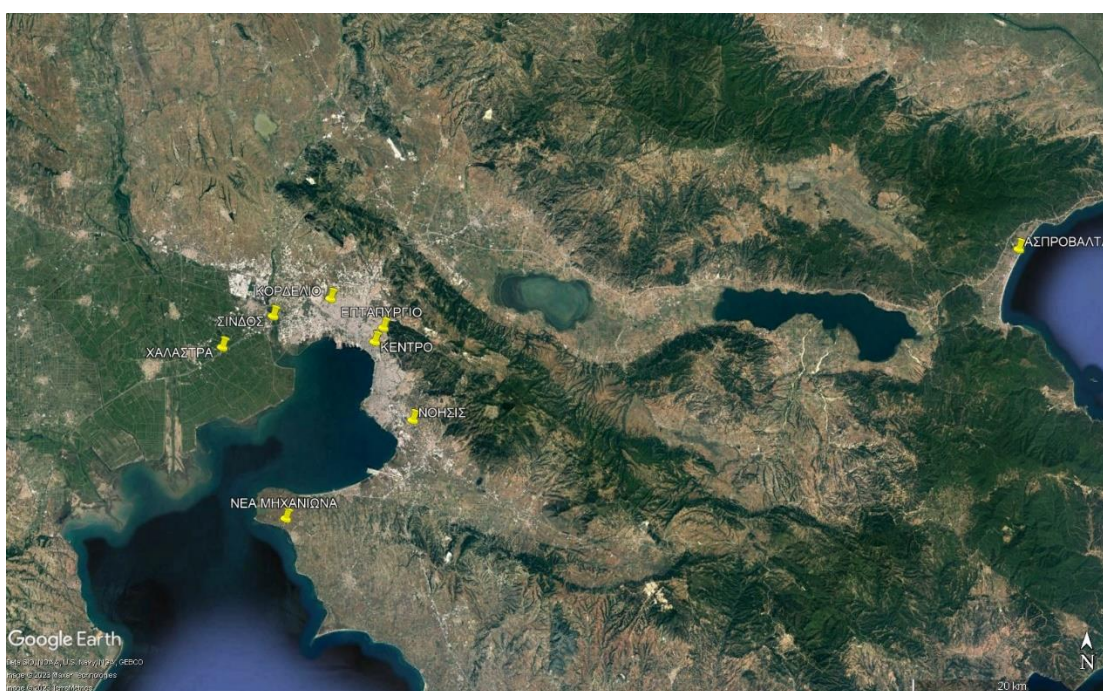
1. Ατμοσφαιρική πίεση
2. Θερμοκρασία
3. Σχετική υγρασία
4. Βροχόπτωση
5. Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου

Πίνακας 1 Τεχνικά Χαρακτηριστικά των αυτόματων σταθμών (Davis instruments, 2010)

Παράμετρος	Είδος αισθητήρα	Εύρος λειτουργίας	Διακριτική ικανότητα	Ακρίβεια	Απόκριση
Θερμοκρασία	Ηλεκτρονικός – δίοδος πυριτίου PN	-40 έως +65°C	0.1°C, - 23.3 έως +37.8°C 0.2°C αλλιώς	± 0.3°C, 15.6-37.8°C ±1.7°C, -40°C ±1.1°C, +65°C	10-12 sec
Υγρασία	Ηλεκτρονικός - Πυκνωτής Φιλμ	0 έως 100%	1%	±3%, 0-90% ±4%, 90-100%	50-60 sec
Διεύθυνση ανέμου	Ανεμοδείκτης – Ποτενσιόμετρο	0 έως 360°	1°	±3°	2.5-60 sec
Ταχύτητα ανέμου	Κυπελλοφόρο με μαγνητικό διακόπτη	1-67 m/s, 3-241 km/h (μεγάλα κύπελλα) 1.5-79 m/s, 5-282 km/h (μικρά κύπελλα)	1 km/h 0.5 m/s	±max (5%, 3 km/h/1m/s (Μεγάλα κύπελλα) ±max (5%, 1.5 km/h/1m/s (Μικρά κύπελλα)	2.5-3 sec
Βροχόπτωση	Ανατρεπόμενου δοχείου	0 έως 100 mm/hr	0.2 mm	±max (3%, 0.2mm) έως 50mm/hr ±max (3%, 0.25mm) αλλιώς	20-24 sec
Ατμοσφαιρική πίεση	Ηλεκτρονικός	540-1 100 h Pa	0.1 hPa	±1.0 hPa	60 sec
Ηλιακή ακτινοβολία	Φωτοδίοδος πυριτίου με διάχυτη (400-1 100mm)	0-1 800 Wm ⁻²	1 Wm ⁻²	±5%	50-60 sec

Στην συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πάρθηκαν δεδομένα από μετεωρολογικούς σταθμούς που βρίσκονται τόσο στην πόλη της Θεσσαλονίκης όσο και στην ευρύτερη υπεραστική περιοχή. Οι σταθμοί είναι οι εξής

1. Ασπροβάλτα
2. Επταύριο
3. Κέντρο
4. Κορδελιό
5. Νέα Μηχανιώνα
6. Νόησις
7. Σίνδος
8. Χαλάστρα



Εικόνα 10 Η ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης και οι σταθμοί

Από την παραπάνω εικόνα βλέπουμε τις θέσεις των σταθμών στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Πιο συγκεκριμένα βλέπουμε ότι τρεις σταθμοί είναι στην αστική περιοχή (Κέντρο, Επταύριο, Κορδελιό) και οι υπόλοιποι πέντε βρίσκονται περίξ του αστικού ιστού

Στον παρακάτω πίνακα δίνονται ορισμένες πληροφορίες για τους μετεωρολογικούς σταθμούς όπως, η ακριβής θέση τους, το υψόμετρο αλλά και διάφορα χαρακτηριστικά τους.

Πίνακας 2 Χαρακτηριστικά Σταθμών

ΣΤΑΘΜΟΣ	ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΕΣ ΣΤΑΘΜΟΥ	LATITUDE	LONGITUDES	HASL	ΣΧΟΛΙΑ ΒΛΑΒΩΝ ΔΥΣΛΕΙΤΟΥΡΓΙΩΝ	ΣΥΝΟΛΟ ΜΕΤΡΗΣΕΩΝ
ΑΣΠΡΟΒΑΛΤΑ	Υψόμετρο 16 m, Θέση: Εντός οικισμού, Βρίσκεται σε έδαφος (πλακάκι). Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ : 2 m. Ύψος ανεμομέτρου : 2 m. Μέχρι 12/12/2015 βρισκόταν στον ίδιο χώρο, σε απόσταση λίγων μέτρων με ύψη αισθητήρων 2m/3.5m.	40,72493	23,71181	16		731
ΕΠΤΑΠΥΡΓΙΟ	Υψόμετρο 175 m, Θέση : Περιβαλλοντικός Οικισμός. Βρίσκεται σε έδαφος. Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ : 2 m. Ύψος ανεμομέτρου : 5 m. Μοντέλο: PRO2	40,64424	22,95844	175		731
ΚΕΝΤΡΟ	Υψόμετρο 60 m, Θέση : Παλαιών Πατρών Γερμανού. Βρίσκεται σε οροφή κτιρίου	40,631749	22,948172	60		731
ΚΟΡΔΕΛΙΟ	Υψόμετρο 37 m, Θέση : Πρώην Δημαρχείο Κορδελιού. Βρίσκεται σε οροφή κτηρίου. Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ : 2 m. Ύψος ανεμομέτρου : 2 m. Μοντέλο: PRO2	40,66964	22,89416	37		731
ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ	Υψόμετρο 7 m, Θέση: Σχολή ΑΕΝ Μακεδονίας. Βρίσκεται σε οροφή κτιρίου. Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ : 1,7 m. Ύψος	40,47132	22,84796	7	Απώλεια δεδομένων 26/11/2018 - 30/11/2018	728

	ανεμομέτρου : 1,9 m. Μοντέλο: PRO2.					
ΝΟΗΣΙΣ	Υψόμετρο 60 m, Θέση : ΝΟΗΣΙΣ - Κέντρο Διάδοσης Επιστημών & Μουσείο Τεχνολογίας. Βρίσκεται σε έδαφος. Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ : 2 m. Ύψος ανεμομέτρου : 5 m. Μοντέλο: PRO2	40,56165	22,99489	60	Ο σταθμός ξεκίνησε να παρέχει δεδομένα από τον 3 ^ο μήνα του 2020	550
ΣΙΝΔΟΣ	Υψόμετρο 4 m, Θέση : Αγροτεχνική Α.Ε. Βρίσκεται σε έδαφος. Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ : 2 m. Ύψος ανεμομέτρου : 5 m.	40,65364	22,82750	4	Απώλεια δεδομένων 27/1/2020 - 24/2/2020	704
ΧΑΛΑΣΤΡΑ	Υψόμετρο 1 m, Θέση : Κτήμα Κράββας. Βρίσκεται σε έδαφος. Ύψος αισθητήρων θερμ/υγρ : 2 m. Ύψος ανεμομέτρου : 7 m. Ο σταθμός διαθέτει αισθητήρα ηλιακής ακτινοβολίας.	40,62333	22,76994	1		731

3.4. Συλλογή και Επεξεργασία Δεδομένων

Τα δεδομένα που λήφθηκαν για την πραγματοποίηση της παρούσας εργασίας αφορούν τις σεζόν 2018-2019, 2019-2020. Πιο συγκεκριμένα από την 1^η Σεπτεμβρίου 2018 έως την 31^η Αυγούστου 2020. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι κατά την διάρκεια των 24 αυτών μηνών προέκυψε απώλεια δεδομένων για τους σταθμούς Νέα Μηχανιώνα, Νόησις και Σίνδος.

Τα δεδομένα που λήφθηκαν από την ιστοσελίδα της EMY έχουν αυτή την μορφή όπως φαίνεται στην παρακάτω φωτογραφία.

MONTHLY CLIMATOLOGICAL SUMMARY for SEP. 2018

NAME: Eptapyrgio CITY: STATE:
ELEV: 175 m LAT: 40° 38' 40" N LONG: 22° 57' 28" E

TEMPERATURE (°C), RAIN (mm), WIND SPEED (km/hr)

DAY	MEAN TEMP	HIGH	TIME	LOW	TIME	HEAT DEG DAYS	COOL DEG DAYS	RAIN	AVG WIND SPEED	HIGH	TIME	DOM DIR
1	28.1	32.7	15:50	23.7	7:00	0.0	9.8	0.0	4.3	22.5	4:40	WSW
2	28.6	34.1	17:20	23.8	6:40	0.0	10.2	0.0	3.4	20.9	14:00	E
3	27.8	32.3	15:40	23.2	7:50	0.0	9.5	0.0	4.2	24.1	3:00	E
4	27.2	32.4	16:40	23.6	6:50	0.0	8.9	0.0	5.8	25.7	15:00	W
5	26.3	31.1	16:10	22.1	7:30	0.0	7.9	0.0	11.1	37.0	14:00	NNE
6	25.1	30.5	16:20	20.4	6:50	0.0	6.7	0.0	11.7	35.4	5:20	NNE
7	25.7	30.7	15:00	20.9	5:50	0.0	7.4	0.0	4.5	24.1	3:30	W
8	25.4	29.9	14:40	22.0	7:10	0.0	7.1	0.0	6.3	29.0	16:50	NNE
9	25.6	30.9	15:50	20.8	7:30	0.0	7.2	0.0	10.5	30.6	23:10	NNE
10	25.1	30.2	16:20	20.3	7:30	0.0	6.7	0.0	12.7	40.2	6:10	NNE
11	24.6	29.8	17:10	20.7	7:40	0.0	6.2	0.0	12.7	43.5	6:50	NNE
12	24.2	29.7	16:50	19.2	00:00	0.0	5.8	1.4	7.1	40.2	20:40	NE
13	22.8	27.8	14:50	18.7	6:40	0.0	4.4	0.2	4.7	22.5	0:50	WSW
14	23.6	28.8	15:20	19.8	8:10	0.0	5.3	0.0	2.9	16.1	16:00	WSW
15	24.2	30.2	16:00	19.3	7:30	0.0	5.9	0.0	2.9	17.7	12:40	WSW
16	25.8	31.0	16:00	21.9	7:30	0.0	7.4	0.0	10.9	33.8	15:50	NNE
17	23.9	27.6	16:40	20.8	7:50	0.0	5.6	0.0	4.2	33.8	10:50	WSW
18	22.8	26.1	16:10	20.4	7:10	0.0	4.5	0.0	3.9	22.5	16:50	WSW
19	22.3	25.9	15:50	19.9	6:10	0.0	4.0	0.0	4.2	22.5	16:50	E
20	22.4	27.7	15:50	18.7	7:50	0.0	4.1	0.0	3.9	17.7	14:50	WSW
21	22.6	27.3	15:20	18.7	7:40	0.0	4.3	0.0	2.7	19.3	15:50	WSW
22	23.0	28.2	17:00	18.5	7:50	0.0	4.7	0.0	2.6	16.1	15:20	WSW
23	24.1	30.8	16:20	18.7	8:00	0.0	5.7	0.0	2.9	16.1	17:20	WSW
24	23.2	29.2	16:10	16.3	00:00	0.1	5.0	0.0	7.2	70.8	22:50	WSW
25	15.8	19.5	18:00	13.1	6:10	2.7	0.1	0.0	19.0	62.8	5:30	NNE
26	15.2	20.4	16:30	11.9	7:30	3.3	0.2	0.0	10.8	41.8	23:10	NNE
27	15.0	20.7	18:00	10.0	7:20	3.6	0.3	0.0	9.5	35.4	0:10	E
28	15.7	19.9	13:30	12.5	6:30	2.8	0.2	0.4	3.4	16.1	23:40	E
29	17.8	20.6	15:30	15.6	0:10	0.9	0.4	0.0	7.6	25.7	20:50	NE
30	14.8	16.8	0:30	13.6	15:20	3.5	0.0	3.0	6.3	24.1	1:10	NNE
<hr/>												
	23.0	34.1	2	10.0	27	16.9	155.6	5.0	6.8	70.8	24	NNE

Max >= 32.0: 4
Max <= 0.0: 0
Min <= 0.0: 0
Min <= -18.0: 0
Max Rain: 3.00 ON 30/09/18
Days of Rain: 4 (> .2 mm) 1 (> 2 mm) 0 (> 20 mm)
Heat Base: 18.3 Cool Base: 18.3 Method: Integration

Εικόνα 11 Μηνιαία κλιματολογική σύνοψη Σεπτεμβρίου 2018 στο Επταπύργιο (meteo.gr)

Όπως φαίνεται και από την εικόνα 10, τα δεδομένα αφορούν την μέση ημερήσια θερμοκρασία καθώς και την απολύτως μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία. Επιπλέον υπάρχουν δεδομένα για το ύψος της βροχής αλλά και για την ταχύτητα-διεύθυνση του ανέμου.

Για την μελέτη του φαινομένου της Θερμικής Αστικής Νησίδας τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι η μέση ημερήσια, η απολύτως μέγιστη και απολύτως ελάχιστη θερμοκρασία.

Τα δεδομένα αυτά μεταφέρθηκαν σε ένα φύλλο εργασίας του Microsoft Excel όπου εκεί έγινε η κατάλληλη μορφοποίηση και επεξεργασία των μετρήσεων.

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται το υπολογιστικό φύλλο excel το οποίο χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό της έντασης της αστικής θερμικής νησίδας

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1					KENTRO				ΕΠΤΑΠΥΡΓΙΟ				ΔΙΑΦΟΡΑ	
2	DATE	MONTH		MEAN T	MAX T	MIN T		MEAN T	MAX T	MIN T		MEAN T	MAX T	MIN T
3	1/9/2018	9		28,3	33,2	23,9		28,1	32,7	23,7		0,2	0,5	0,2
4	2/9/2018	9		28,7	33,7	24,8		28,6	34,1	23,8		0,1	-0,4	1
5	3/9/2018	9		28,1	31,5	24,4		27,8	32,3	23,2		0,3	-0,8	1,2
6	4/9/2018	9		28,2	31,8	24,4		27,2	32,4	23,6		1	-0,6	0,8
7	5/9/2018	9		27,9	31,8	23,8		26,3	31,1	22,1		1,6	0,7	1,7
8	6/9/2018	9		26,7	31,1	22,3		25,1	30,5	20,4		1,6	0,6	1,9
9	7/9/2018	9		26,7	30,4	22,8		25,7	30,7	20,9		1	-0,3	1,9
10	8/9/2018	9		26,8	30,2	24,2		25,4	29,9	22		1,4	0,3	2,2
11	9/9/2018	9		27,2	31,9	22,9		25,6	30,9	20,8		1,6	1	2,1
12	10/9/2018	9		26,7	31	22,4		25,1	30,2	20,3		1,6	0,8	2,1
13	11/9/2018	9		26,2	30,5	22,5		24,6	29,8	20,7		1,6	0,7	1,8
14	12/9/2018	9		25,7	30,3	22,6		24,2	29,7	19,2		1,5	0,6	3,4
15	13/9/2018	9		24,2	27,2	21,6		22,8	27,8	18,7		1,4	-0,6	2,9
16	14/9/2018	9		24,4	27,9	20,6		23,6	28,8	19,8		0,8	-0,9	0,8
17	15/9/2018	9		24,9	28,7	20,5		24,2	30,2	19,3		0,7	-1,5	1,2
18	16/9/2018	9		27,3	31,8	23,6		25,8	31	21,9		1,5	0,8	1,7
19	17/9/2018	9		25,1	27,8	22,3		23,9	27,6	20,8		1,2	0,2	1,5
20	18/9/2018	9		23,9	26,2	21,5		22,8	26,1	20,4		1,1	0,1	1,1
21	19/9/2018	9		23,7	25,8	21,8		22,3	25,9	19,9		1,4	-0,1	1,9
22	20/9/2018	9		23,6	26,8	20,2		22,4	27,7	18,7		1,2	-0,9	1,5
23	21/9/2018	9		23,6	26,7	20,2		22,6	27,3	18,7		1	-0,6	1,5
24	22/9/2018	9		23,7	27,8	19,2		23	28,2	18,5		0,7	-0,4	0,7
25	23/9/2018	9		24,8	29,8	19,3		24,1	30,8	18,7		0,7	-1	0,6
26	24/9/2018	9		24	29,3	18,1		23,2	29,2	16,3		0,8	0,1	1,8
27	25/9/2018	9		17,4	20,9	14,9		15,8	19,5	13,1		1,6	1,4	1,8

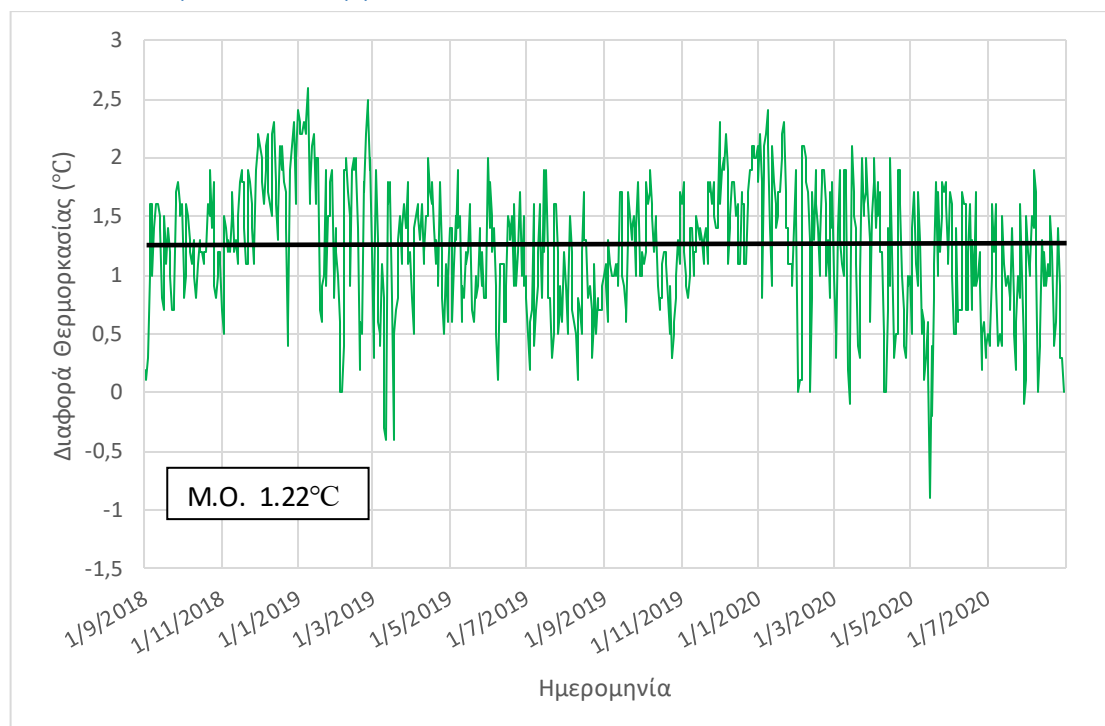
Εικόνα 12 Υπολογισμός έντασης με την χρήση υπολογιστικού φύλλου excel

Στην παρούσα εργασία μελετήθηκαν οι διαφορές θερμοκρασιών των σταθμών: Ασπροβάλτα, Επταπύργιο, Κορδελιό, Νέα Μηχανιώνα, Νόησις, Σίνδος, Χαλάστρα από τις αντίστοιχες θερμοκρασίες του σταθμού στο Κέντρο της Θεσσαλονίκης ο οποίος θεωρήθηκε ως ο σταθμός αναφοράς.

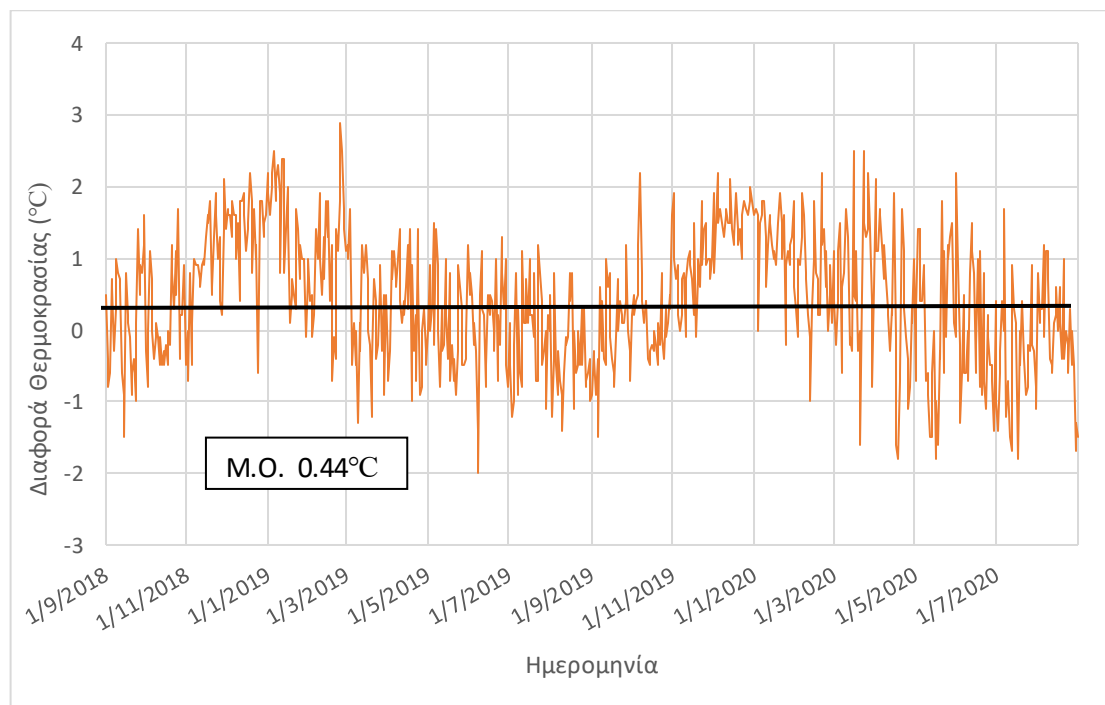
Με βάση αυτές τις διαφορές, δημιουργήθηκαν τα κατάλληλα διαγράμματα και πίνακες, τα οποία παρουσιάζονται στο επόμενο κεφάλαιο.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

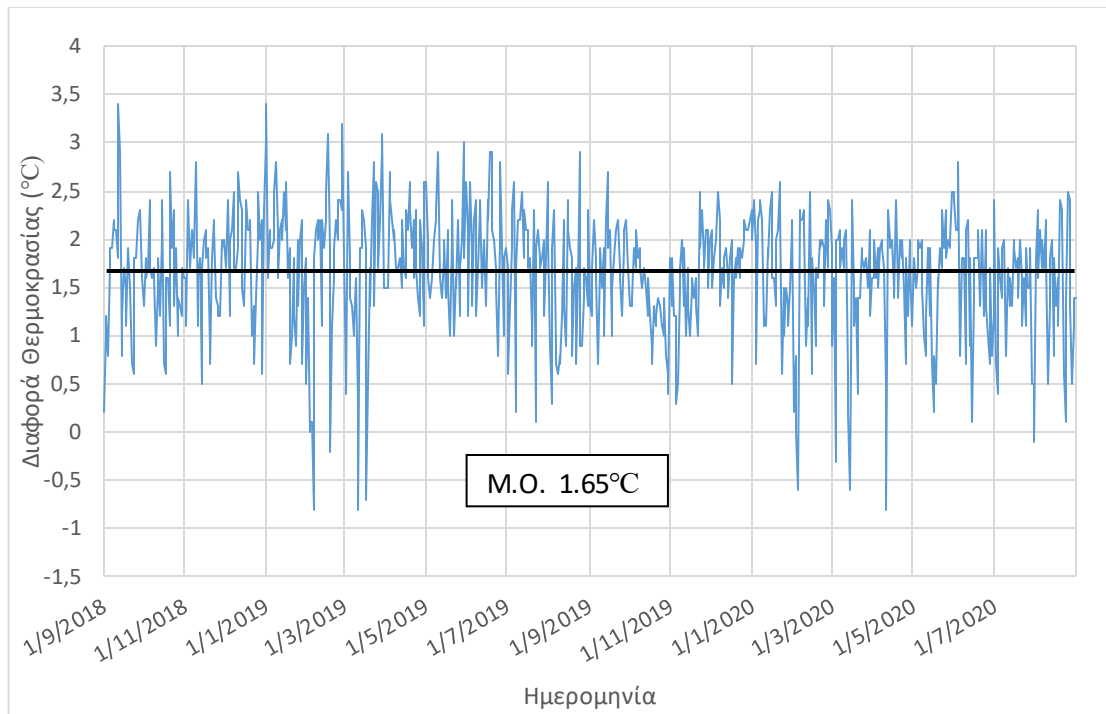
4.2. Κέντρο - Επταύργιο



Διάγραμμα 1 Διαφορά Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Επταύργιο



Διάγραμμα 2 Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Επταύργιο



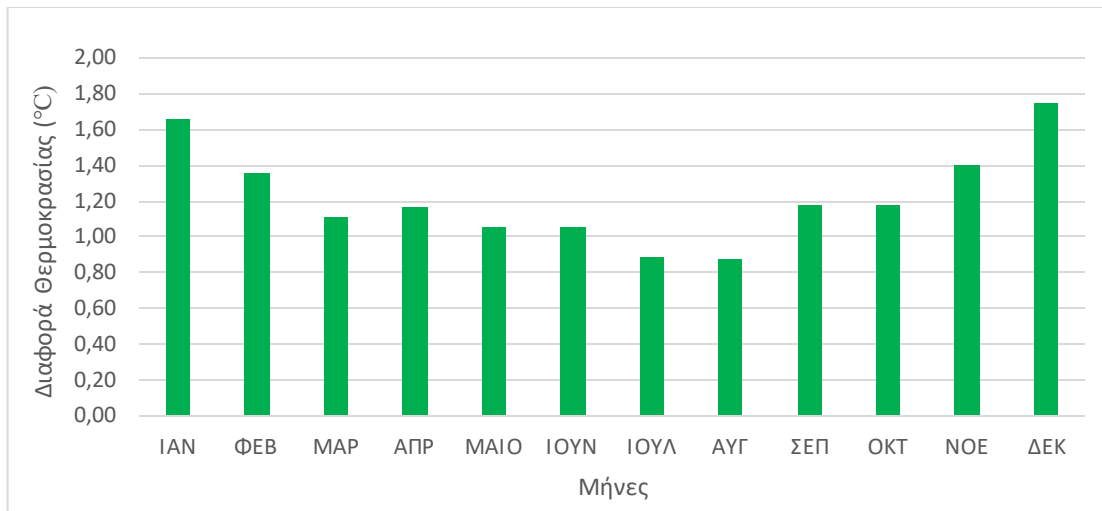
Διάγραμμα 3 Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Επταπύργιο

Από τα παραπάνω διαγράμματα παρατηρούμε τις διαφορές της θερμοκρασίας για την μέση, την απολύτως μέγιστη και την απολύτως ελάχιστη, ανάμεσα στο κέντρο και στο Επταπύργιο.

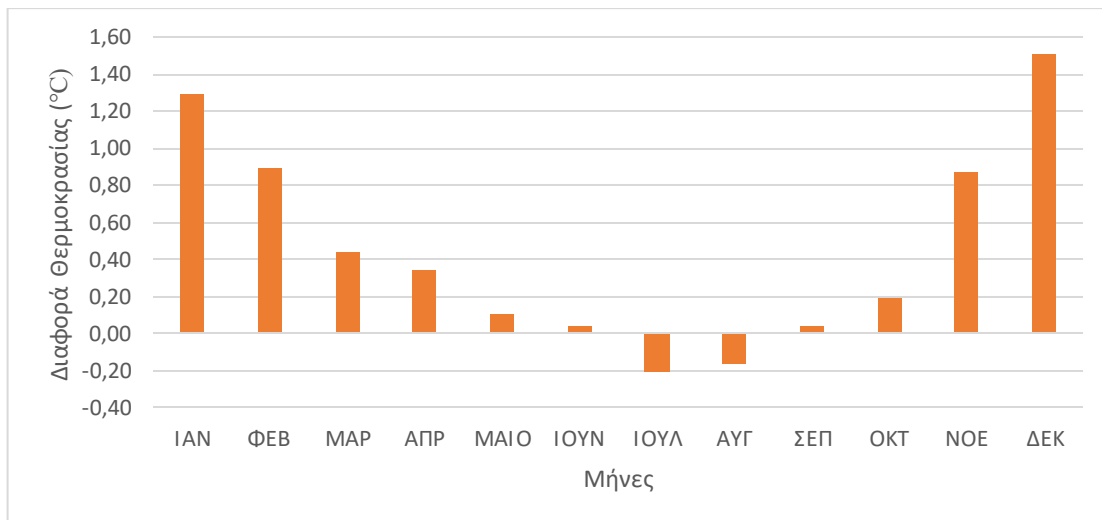
Από το 1^ο διάγραμμα για την μέση ημερήσια θερμοκρασία παρατηρείται ότι το κέντρο της Θεσσαλονίκης είναι πιο θερμό από την περιοχή του Επταπύργιου. Πιο συγκεκριμένα η μέγιστη διαφορά ήταν κάτι παραπάνω από 2,5°C η οποία παρουσιάστηκε τον Ιανουάριο του 2019 ενώ η μικρότερη διαφορά ήταν -1°C τον Απρίλιο του 2020, το οποίο σημαίνει ότι το Επταπύργιο για εκείνη την ημέρα ήταν πιο θερμό από το κέντρο. Τέλος, η μέση διαφορά μεταξύ των δύο σταθμών είναι 1,2°C.

Από το 2^ο διάγραμμα βλέπουμε ότι η διαφορά της απολύτως μέγιστης ημερήσιας θερμοκρασίας για τους δύο σταθμούς μειώνεται αρκετά. Πιο συγκεκριμένα, ο μέσος όρος πέφτει στους 0,45°C

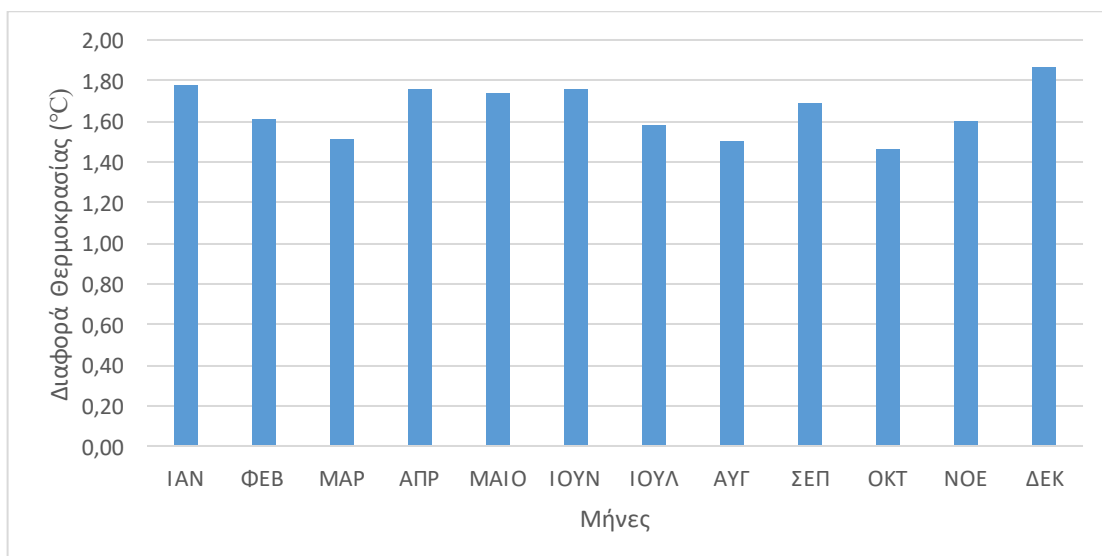
Τέλος για την διαφορά της απολύτως ελάχιστης ημερήσιας θερμοκρασίας υπάρχουν ημέρες που η διαφορά φτάνει ακόμα και στους 3,5°C. Εδώ η μέση διαφορά είναι 1,66°C.



Διάγραμμα 4 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο – Επταπύργιο



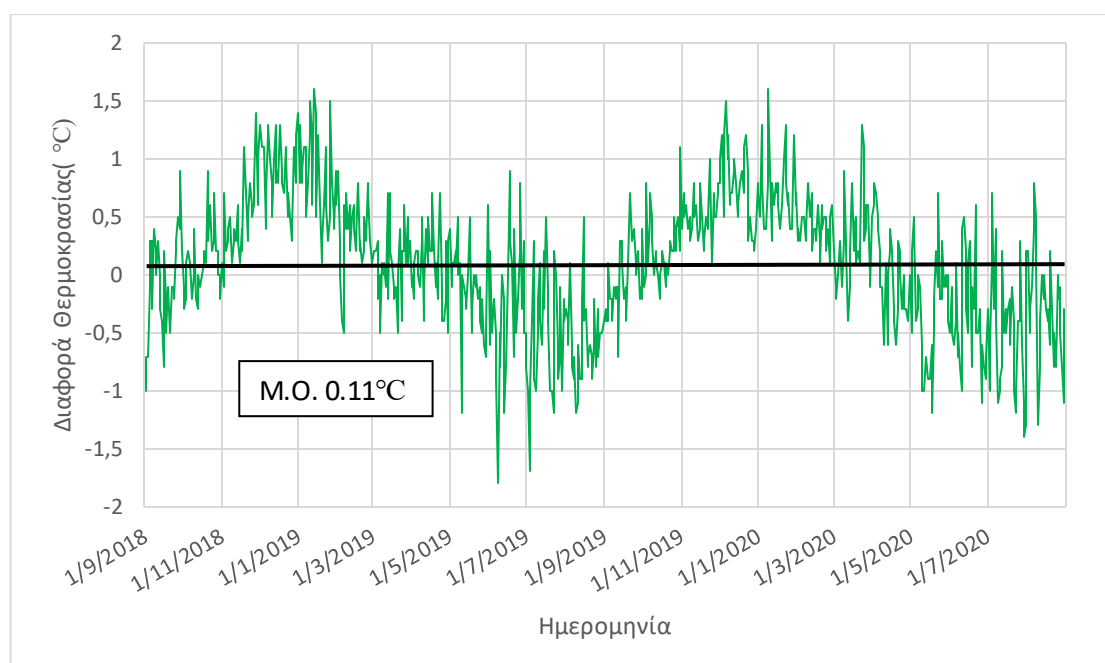
Διάγραμμα 5 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο - Επταπύργιο



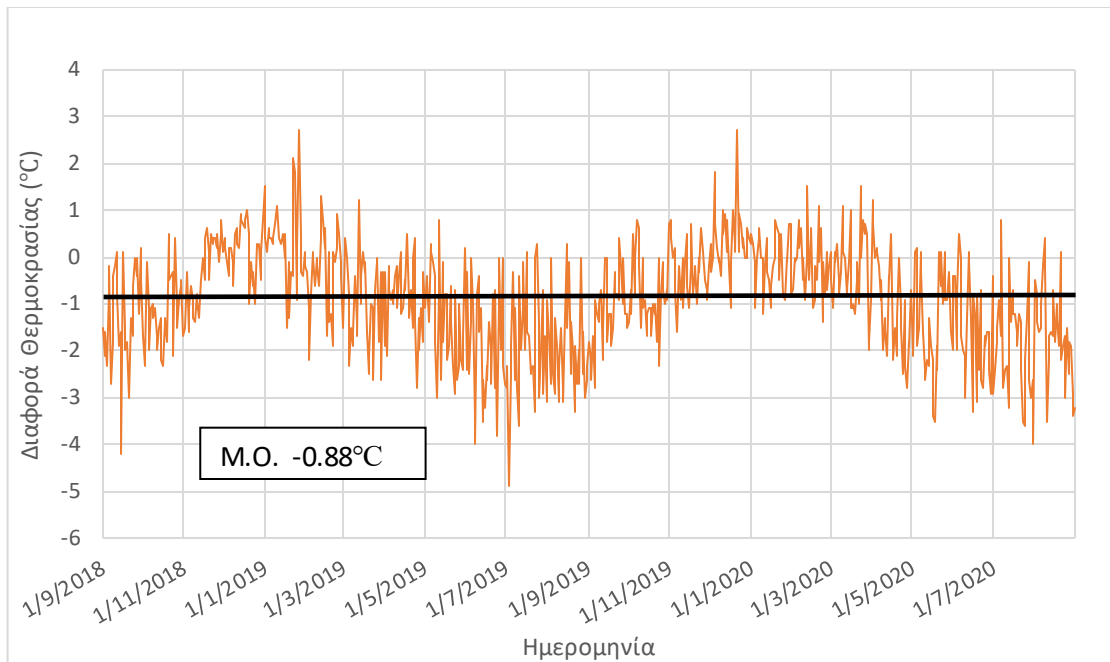
Διάγραμμα 6 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Επταπύργιο

Από τα διαγράμματα 4 και 5 παρατηρούμε ότι η ένταση του φαινομένου είναι μεγαλύτερη κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών, κυρίως τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο όπου η ένταση φτάνει $1,6^{\circ}\text{C}$ για την μέση θερμοκρασία και $1,4$ για την απολύτως μέγιστη. Επίσης από το διάγραμμα 5, παρατηρούμε ότι κατά την διάρκεια του καλοκαιριού το Επταπύργιο παρουσιάζει μεγαλύτερες μέγιστες τιμές από ότι το κέντρο της Θεσσαλονίκης. Τέλος από το διάγραμμα 6 βλέπουμε ότι η ένταση του φαινομένου για τις απολύτως ελάχιστες θερμοκρασίες παραμένει σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου.

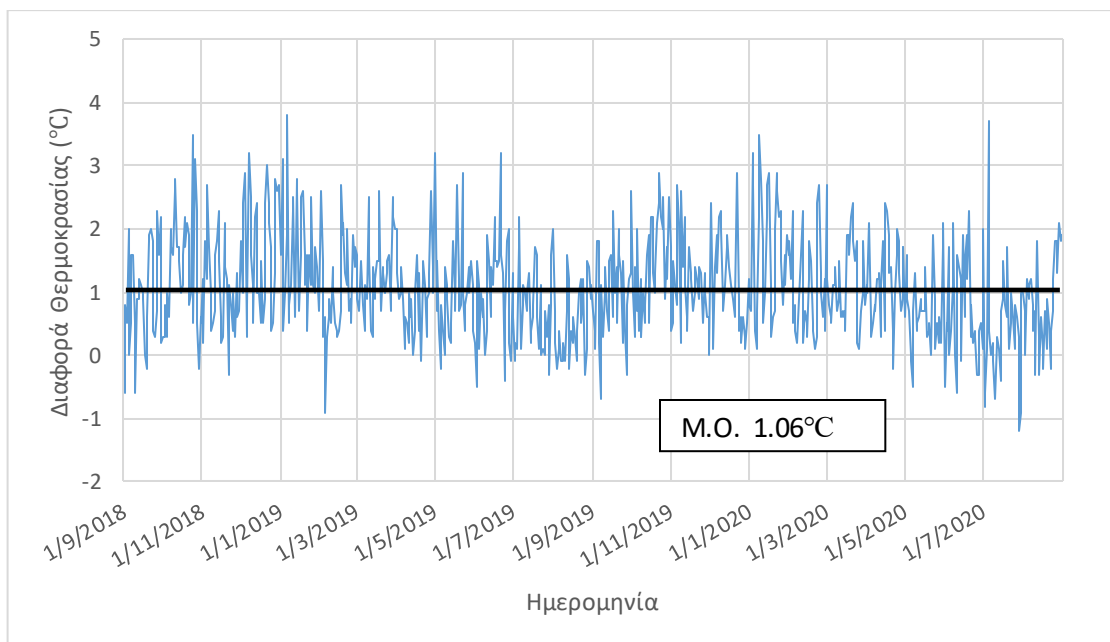
4.3. Κέντρο – Κορδελιό



Διάγραμμα 7 Διαφορά Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Κορδελιό



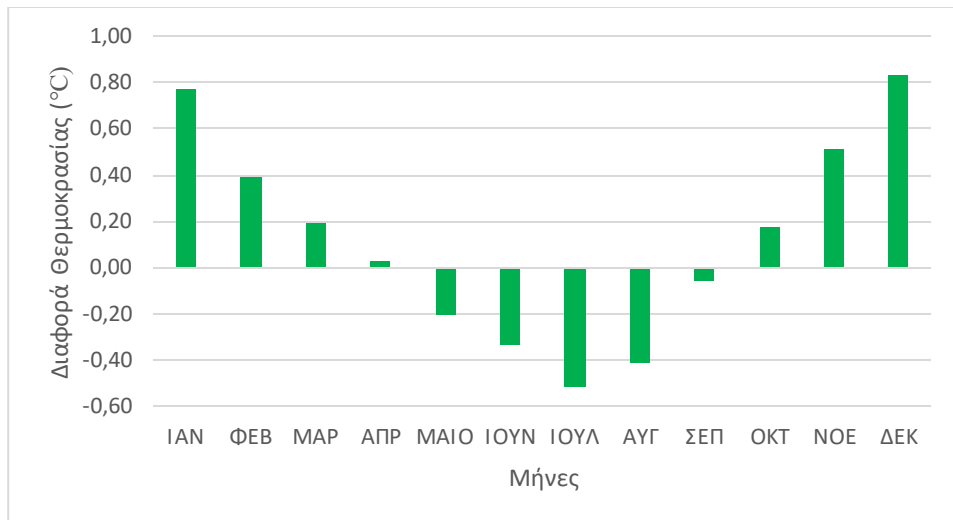
Διάγραμμα 8 Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Κορδελιό



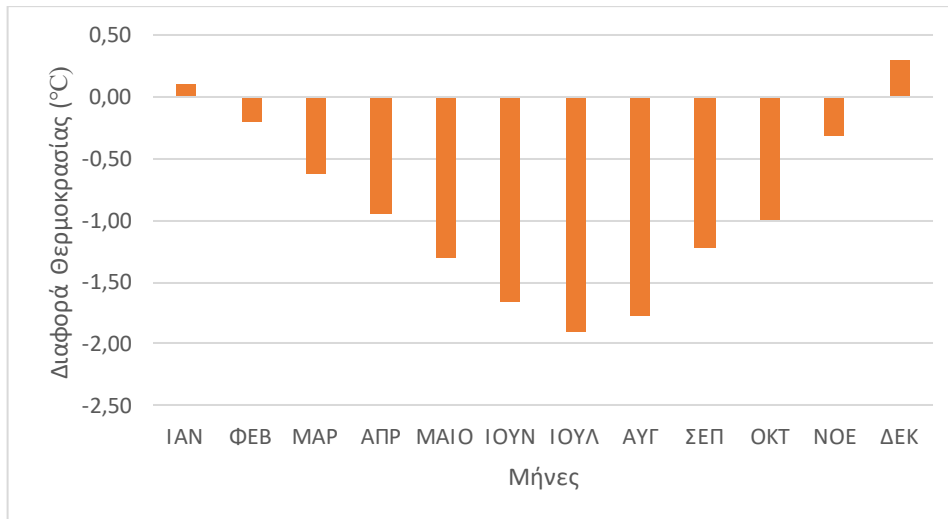
Διάγραμμα 9 Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Κορδελιό

Από το διάγραμμα για την διαφορά της μέσης θερμοκρασίας (διάγραμμα 7) ανάμεσα στο κέντρο και στο Κορδελιό βλέπουμε ότι παρουσιάζουν πολύ μικρή διαφορά της τάξης του $0,11^{\circ}\text{C}$. Αυτό σημαίνει ότι η περιοχή του Κορδελιού έχει σχεδόν την ίδια θερμοκρασία με αυτή στο κέντρο της πόλης. Όσον αφορά τις απολύτως μέγιστες θερμοκρασίες, το Κορδελιό παρουσιάζει υψηλότερες τιμές σε σχέση με το κέντρο. Πιο συγκεκριμένα το Κορδελιό είναι πιο θερμό κατά $0,88^{\circ}\text{C}$.

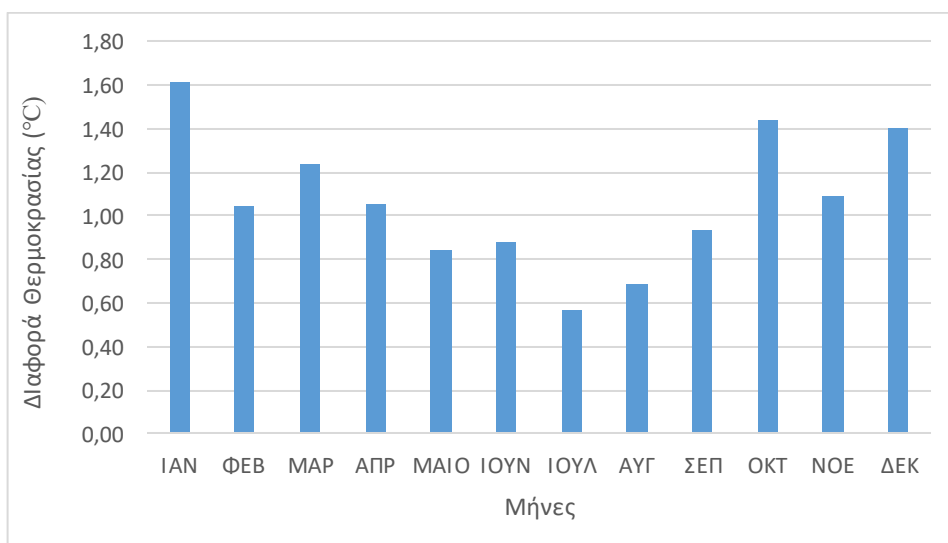
Τέλος για τις απολύτως ελάχιστες θερμοκρασίες, παρατηρείται ότι το κέντρο είναι πιο θερμό σε σχέση με το Κορδελιό και οι μέγιστες διαφορές φτάνουν έως και 4°C .



Διάγραμμα 10 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο – Κορδελιό



Διάγραμμα 11 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Κορδελιό

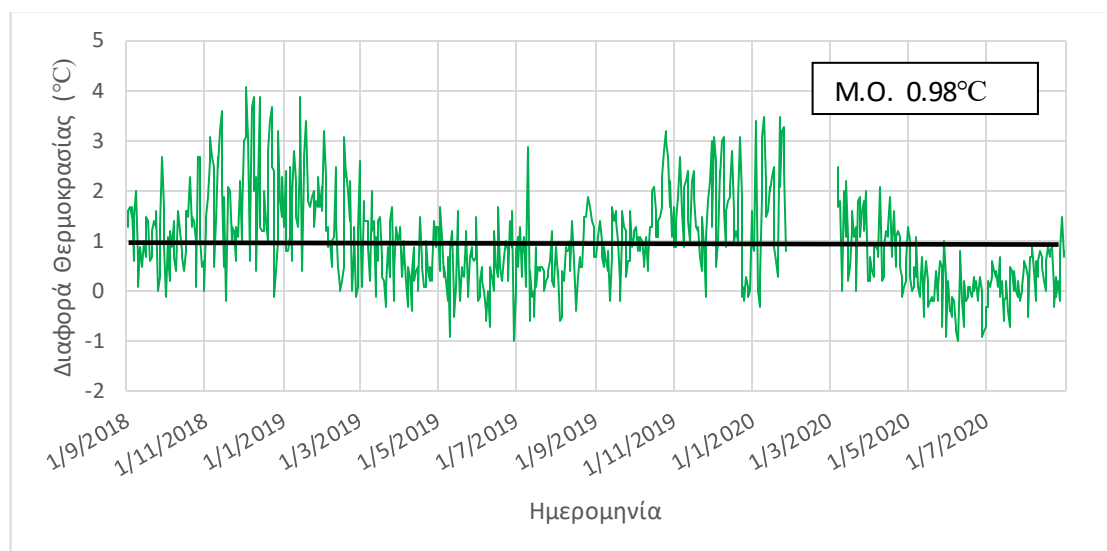


Διάγραμμα 12 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Κορδελιό

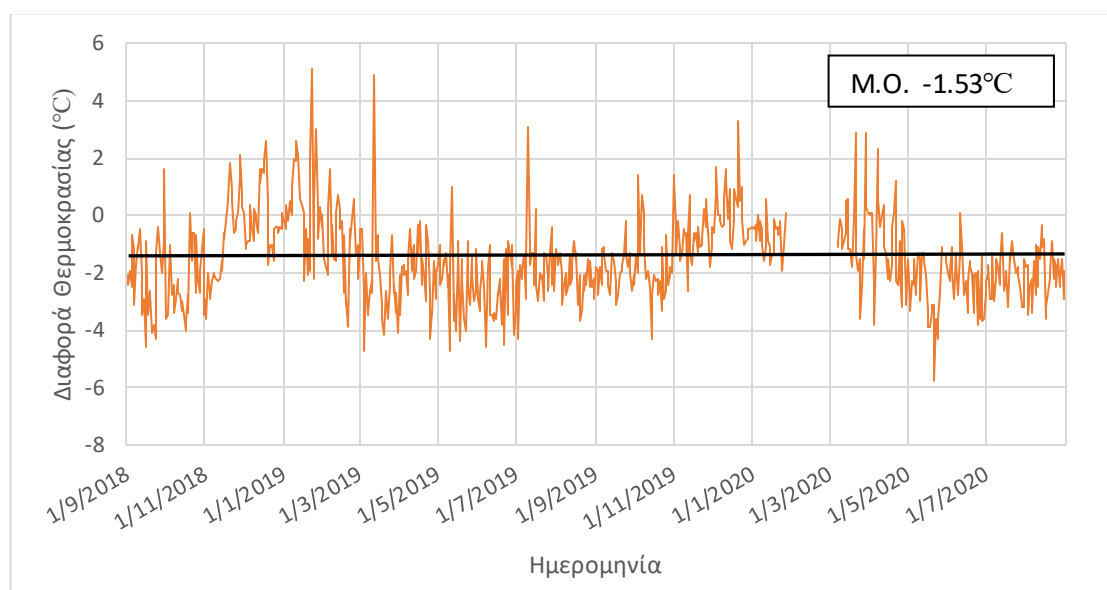
Από το διάγραμμα 10 για την μηνιαία μέση διαφορά θερμοκρασίας προκύπτει το συμπέρασμα ότι κατά την διάρκεια των θερινών μηνών η περιοχή του Κορδελιού είναι πιο θερμή από το κέντρο της πόλης κατά $0,5^{\circ}\text{C}$. Αντίθετα για του μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο η διαφορά ανάμεσα στον σταθμό του κέντρου και του Κορδελιού φτάνει τους $0,8^{\circ}\text{C}$.

Όσον αφορά τις απολύτως μέγιστες θερμοκρασίες, εκεί το Κορδελιό υπερτερεί σχεδόν όλο τον χρόνο με την μέγιστη διαφορά να είναι τον Ιούλιο με 2°C . Τέλος για τις απολύτως ελάχιστες θερμοκρασίες παρατηρείται ότι το κέντρο είναι εκ νέου πιο θερμό κατά την διάρκεια του χειμώνα ($1,6^{\circ}\text{C}$) σε σύγκριση με το Κορδελιό. Η διαφορά πάντως μειώνεται κατά την διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών, χωρίς όμως το Κορδελιό να ξεπερνάει το κέντρο.

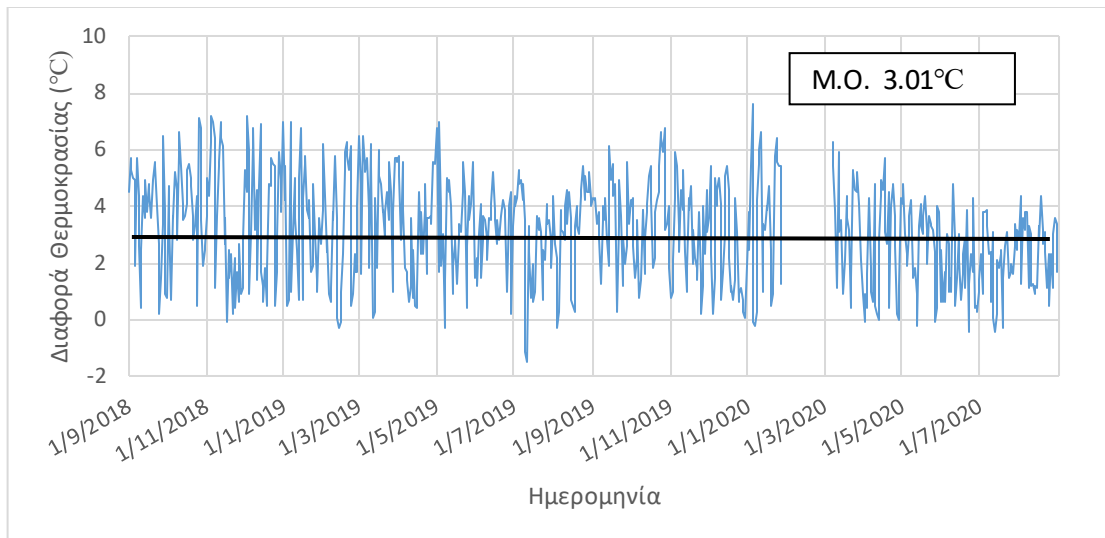
4.4. Κέντρο – Σίνδος



Διάγραμμα 13 Διαφορά Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Σίνδος



Διάγραμμα 14 Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Σίνδος

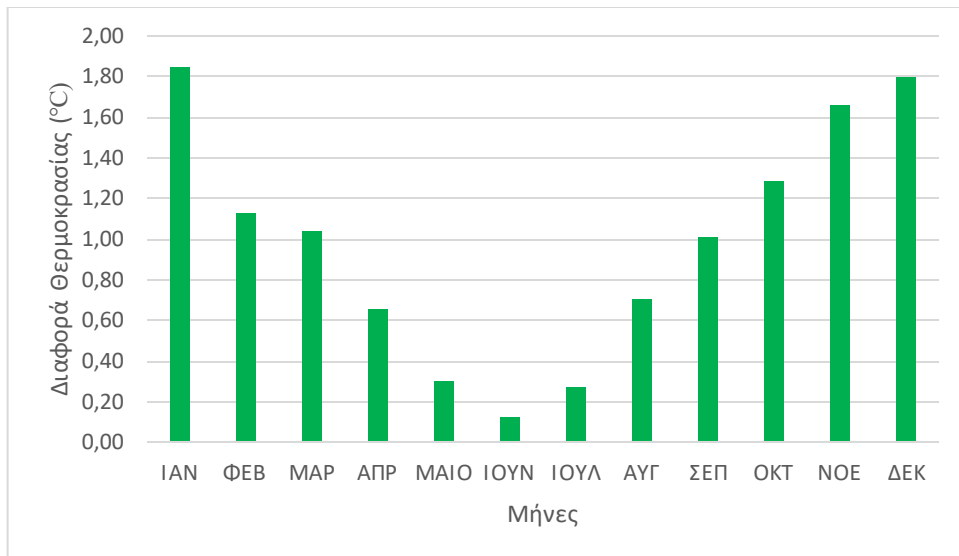


Διάγραμμα 15 Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Σίνδος

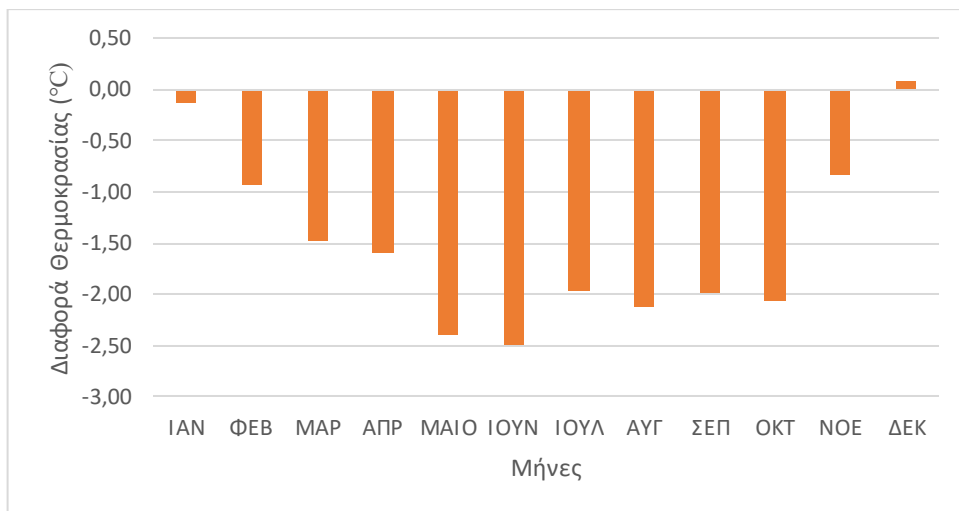
Από τα τρία παραπάνω διαγράμματα προκύπτει η διαφορά θερμοκρασίας για την μέση, την απολύτως μέγιστη και ελάχιστη ημερήσια θερμοκρασία ανάμεσα στο κέντρο και την Σίνδο. Αρχικά και στα τρία διαγράμματα παρατηρείται ένα κενό στις μετρήσεις για τον δεύτερο μήνα του 2020. Αυτό οφείλεται σε απώλεια δεδομένων του σταθμού της Σίνδου.

Από το διάγραμμα 13 για την μέση ημερήσια θερμοκρασία, προκύπτει ότι το κέντρο είναι αρκετά πιο ζεστό σε σύγκριση με την περιοχή της Σίνδου. Πιο συγκεκριμένα η μέση τιμή για τις μέσες θερμοκρασίες είναι 1°C . Κάποιες ημέρες του χειμώνα η μέγιστες διαφορές έφθασαν έως τους 4°C .

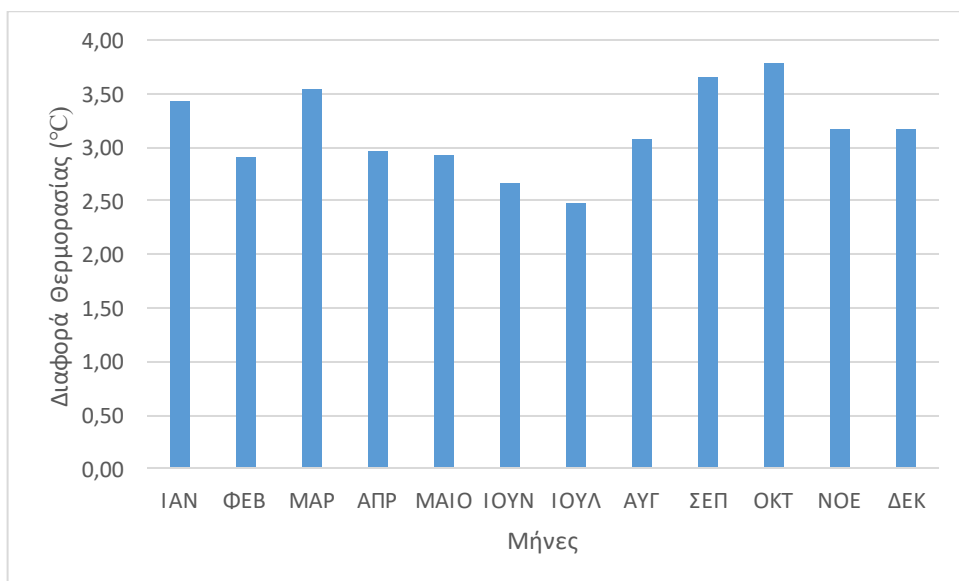
Σε αντίθεση με ότι ισχύει για την μέση ημερήσια θερμοκρασία, οι απολύτως μέγιστες θερμοκρασίες εμφανίζουν υψηλότερες τιμές στην Σίνδο. Πιο συγκεκριμένα η μέση τιμή δείχνει ότι η Σίνδος εμφανίζει υψηλότερες τιμές κατά $1,5^{\circ}\text{C}$. Τέλος, για τις απολύτως ελάχιστες ημερήσιες θερμοκρασίες το κέντρο παραμένει πιο θερμό, όπως και στις άλλες περιπτώσεις με την μέση τιμή να κυμαίνεται στους $3,1^{\circ}\text{C}$.



Διάγραμμα 16 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Κέντρο – Σίνδος



Διάγραμμα 17 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Σίνδος

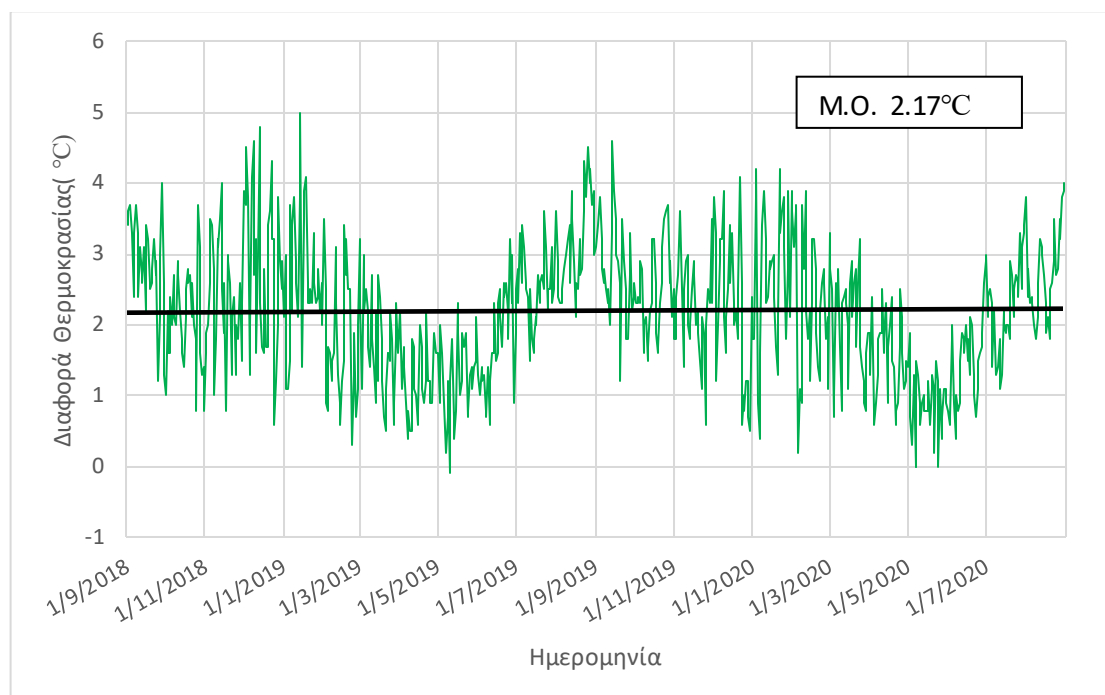


Διάγραμμα 18 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Σίνδος

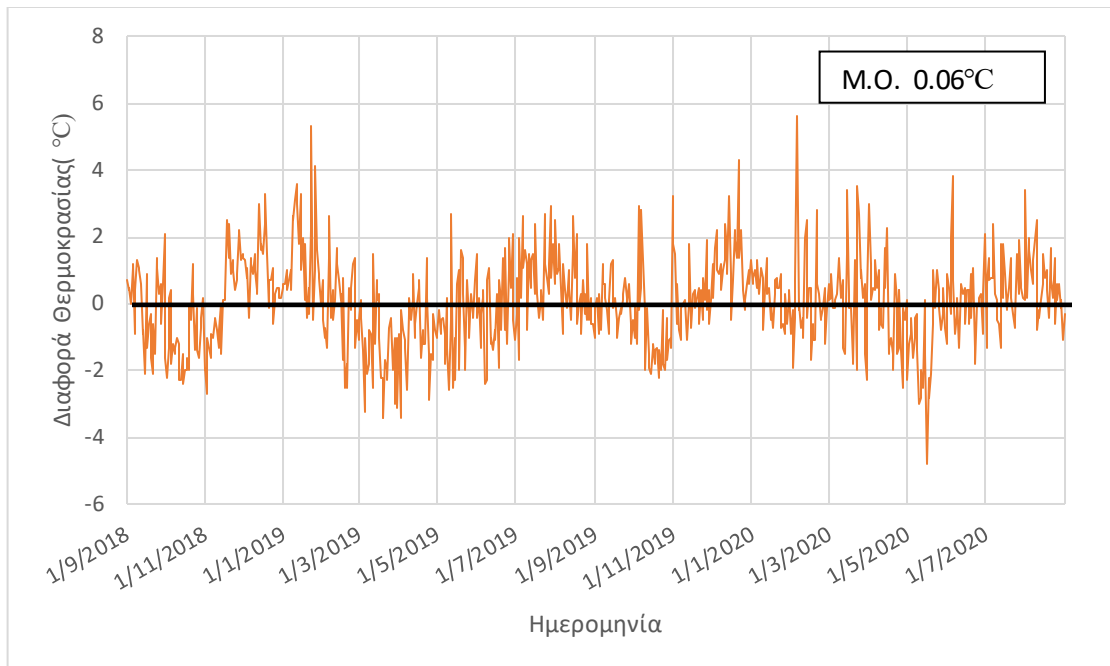
Στα τρία παραπάνω διαγράμματα παρουσιάζεται η μηνιαία διαφορά για τις τρεις θερμοκρασίες, μέση, απολύτως μέγιστη και απολύτως ελάχιστη. Αρχικά από το διάγραμμα 16 προκύπτει ότι η ένταση του φαινομένου της θερμικής αστικής νησίδας για την μέση ημερήσια θερμοκρασία είναι πιο έντονη τους μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο, όπου η ένταση φτάνει κοντά στους 2 °C. Όμως όσο πλησιάζει το καλοκαίρι η ένταση μειώνεται αισθητά, φτάνοντας τον Ιούνιο τους 0,1°C.

Από το διάγραμμα 17 φαίνεται ότι και στην περιοχή της Σίνδου εμφανίζονται υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες από ότι στο κέντρο της Θεσσαλονίκης. Πιο αναλυτικά φαίνεται ότι η περιοχή της Σίνδου είναι πιο ζέστη καθ' όλη την διάρκεια του έτους, ενώ τους μήνες από Μάιο έως Οκτώβριο η διαφορά φτάνει από 2 έως 2,5°C. Αντίθετα του μήνες Ιανουάριο και Δεκέμβριο παρουσιάζουν σχεδόν τις ίδιες θερμοκρασίες. Τέλος όσον αφορά τις απολύτως ελάχιστες θερμοκρασίες, το κέντρο είναι πιο ζεστό όλο το χρόνο με τις διαφορές να κυμαίνονται από 2,5 έως 3,8 °C

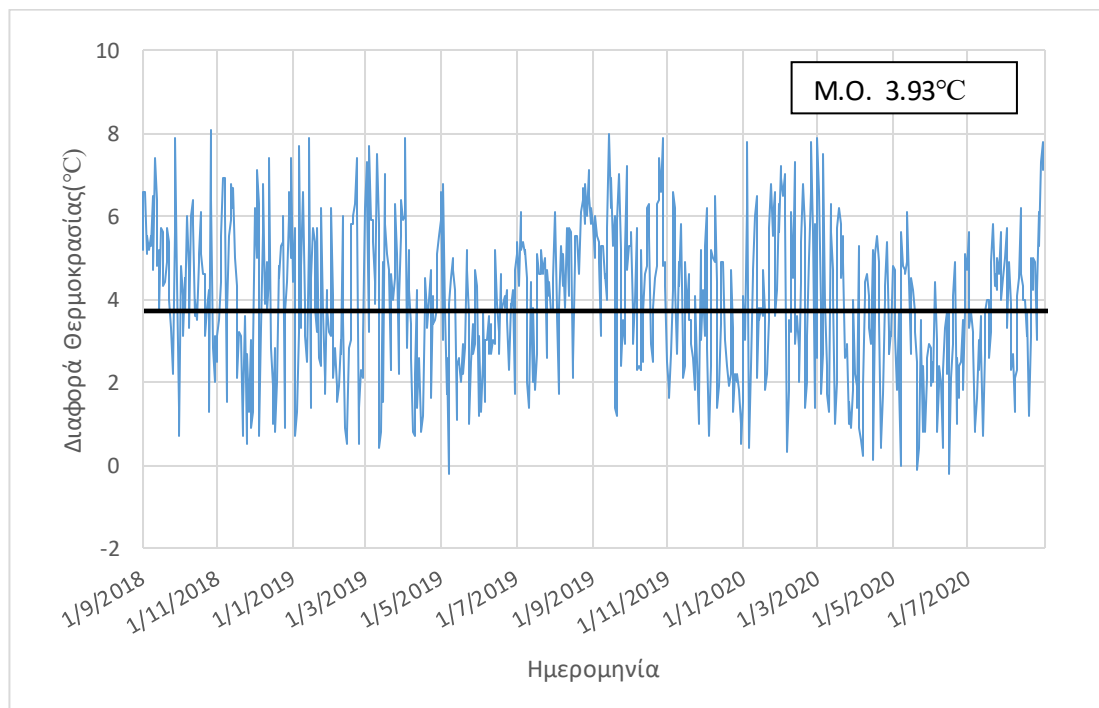
4.5. Κέντρο – Χαλάστρα



Διάγραμμα 19 Διαφορά Μέσης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 – 31/8/2020 Κέντρο – Χαλάστρα



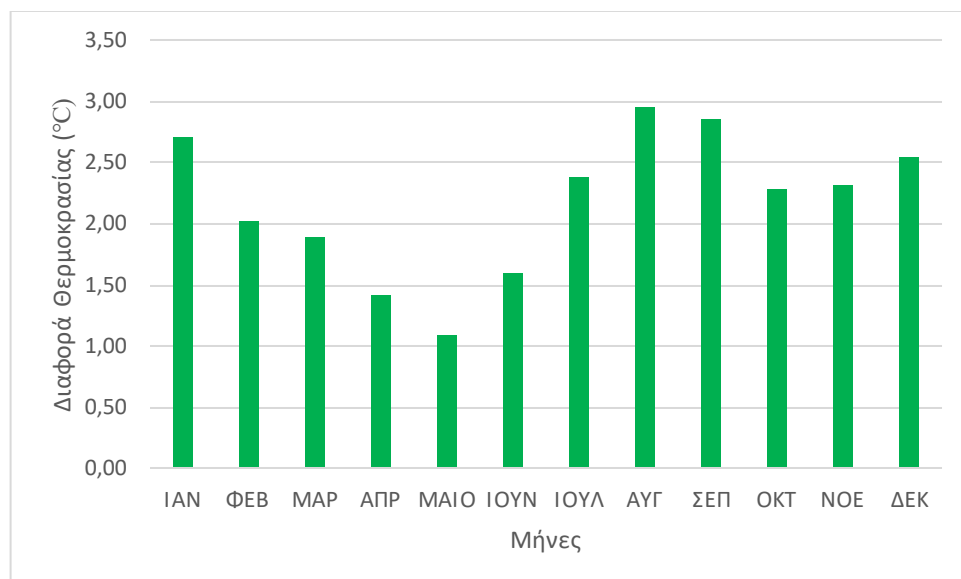
Διάγραμμα 20 Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Χαλάστρα



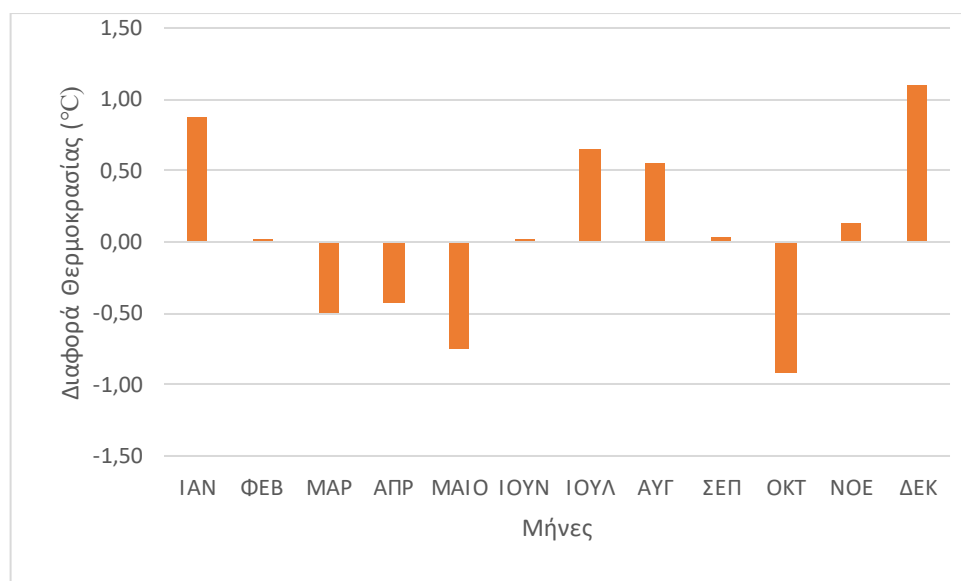
Διάγραμμα 21 Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Ημερήσιας Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Χαλάστρα

Στα παραπάνω διαγράμματα αποτυπώνονται οι διαφορές της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρο της πόλης και της Χαλάστρας. Πιο αναλυτικά για την μέση θερμοκρασία παρατηρήθηκε ότι το κέντρο της Θεσσαλονίκης είναι πιο θερμό από ότι η Χαλάστρα με την μέση τιμή να φτάνει τους 2,2 °C. Επιπλέον φαίνεται από το διάγραμμα ότι η μέγιστη διαφορά φτάνει τους 5°C. Όσον αφορά τις απολύτως μέγιστες θερμοκρασίες, εκεί φαίνεται να υπάρχει μια ισορροπία μεταξύ του κέντρου και της Χαλάστρας. Σε ότι έχει να κάνει όμως με

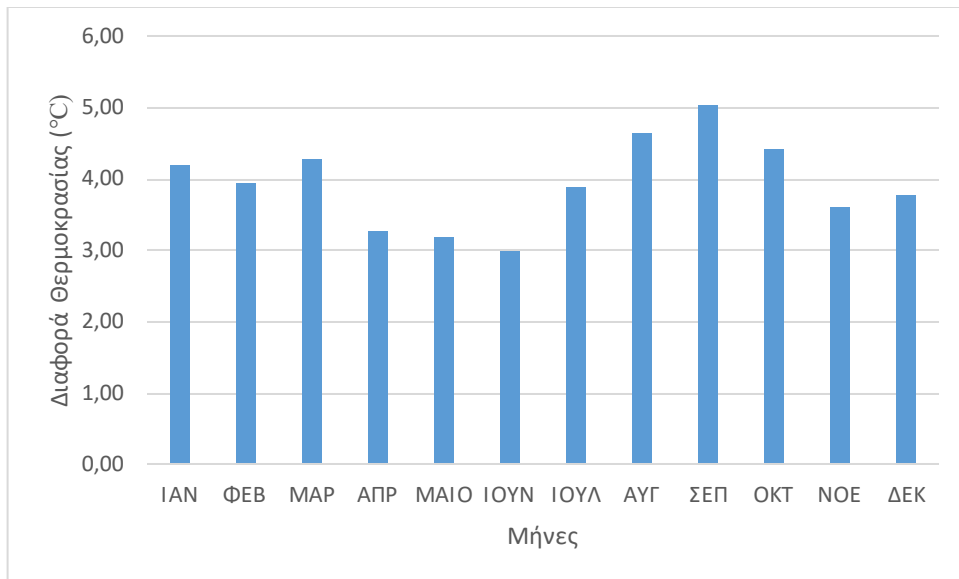
τις απολύτως ελάχιστες θερμοκρασίες, τα πράγματα εκεί είναι τελείως διαφορετικά. Παρατηρείτε ότι η μέση τιμή της διαφορά της ελάχιστης θερμοκρασίας είναι σχεδόν 4°C ενώ εντύπωση προκαλεί και η μέγιστη διαφορά ανάμεσα στις δύο περιοχές όπου φτάνει έως και τους 8°C.



Διάγραμμα 22 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο – Χαλάστρα



Διάγραμμα 23 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Χαλάστρα

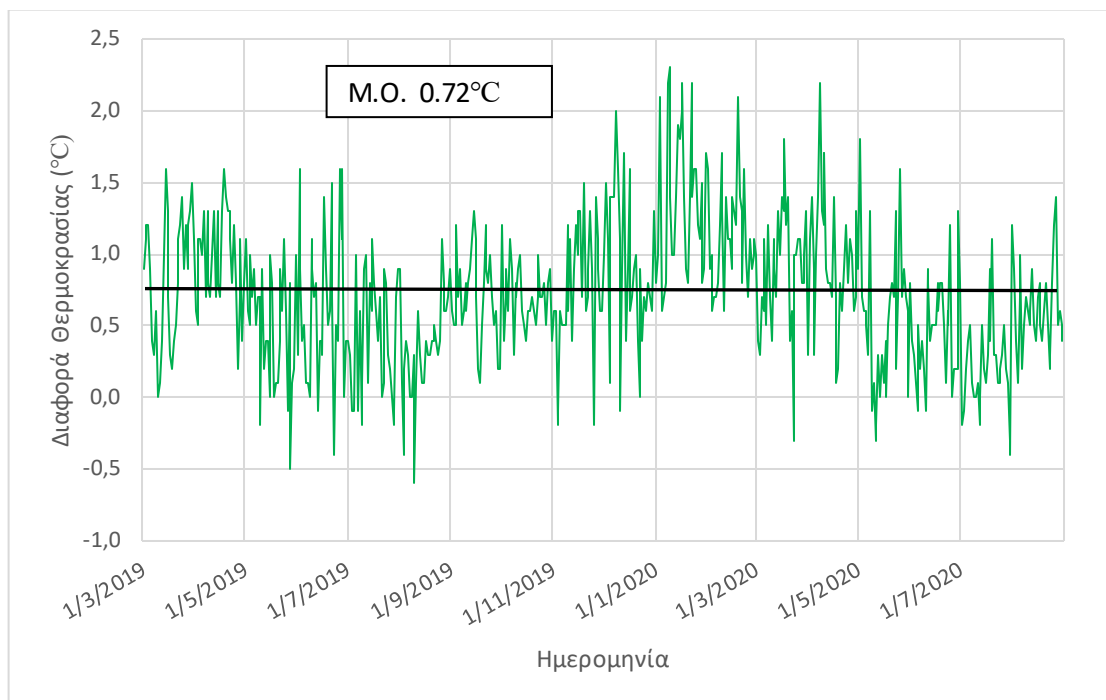


Διάγραμμα 24 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Χαλάστρα

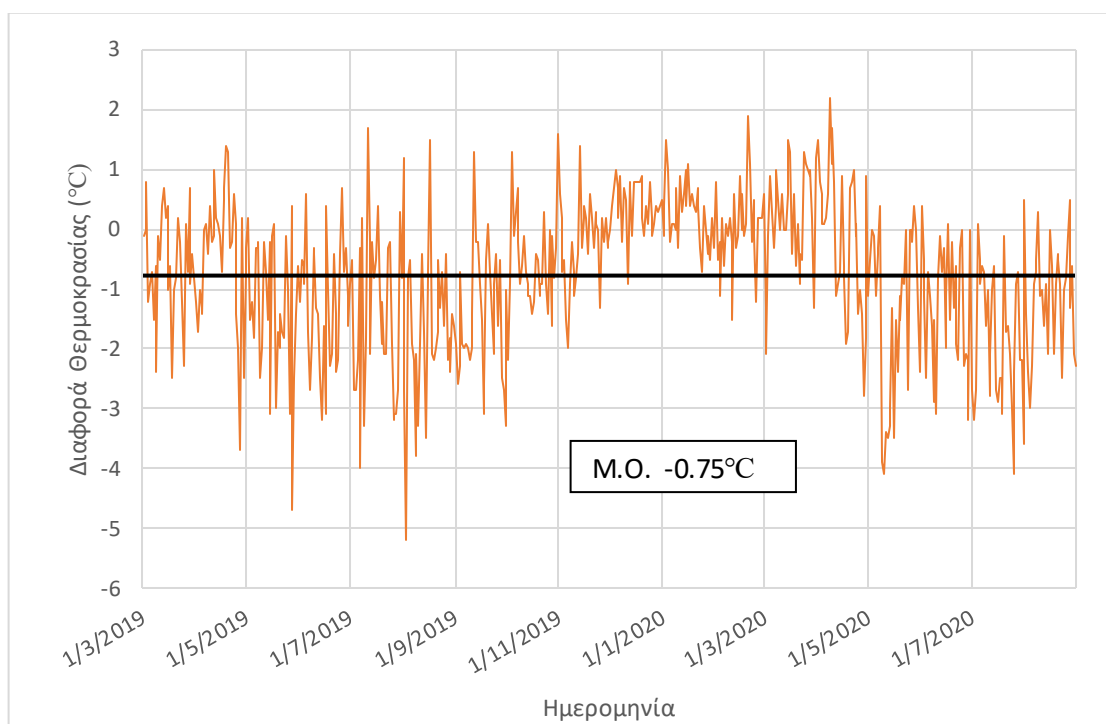
Από τα παραπάνω διαγράμματα φαίνεται η μηνιαία διακύμανση της διαφοράς θερμοκρασίας ανάμεσα στο κέντρο και στην Χαλάστρα. Αρχικά για την μέση θερμοκρασία (διάγραμμα 22) παρατηρείται ότι η το κέντρο της πόλης είναι πιο θερμό από ότι η περιοχή της Χαλάστρας. Σε αντίθεση όμως με το τι γίνεται με τις άλλες περιοχές, η μέγιστη διαφορά της μέσης θερμοκρασίας εμφανίζεται τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο ενώ η ελάχιστη διαφορά εμφανίζεται τον μήνα Μάιο. Η μέγιστη διαφορά φτάνει τους 3°C.

Από το διάγραμμα 23 που αφορά την διαφορά της απολύτως μέγιστης θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο περιοχές, παρατηρείται ότι η μέγιστη διαφορά φτάνει τον 1°C τους χειμερινούς μήνες, ενώ κατά την περίοδο της άνοιξης η χαλάστρα παρουσιάζει υψηλότερες τιμές. Τέλος για τις απολύτως ελάχιστες θερμοκρασίες το κέντρο παρουσιάζει και εδώ υψηλότερες τιμές με τις μέγιστες διαφορές να φτάνουν έως και τους 5°C.

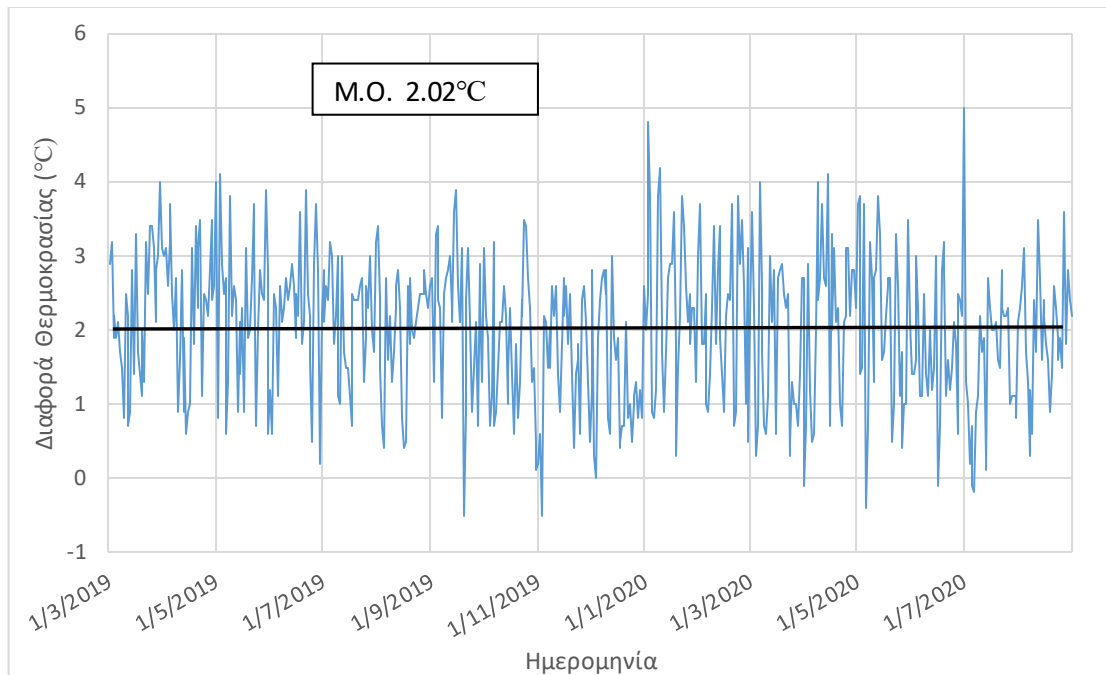
4.6. Κέντρο – Νόησις



Διάγραμμα 25 Διαφορά Μέσης Θερμοκρασίας 1/3/2019 – 31/8/2020 Κέντρο – Νόησις

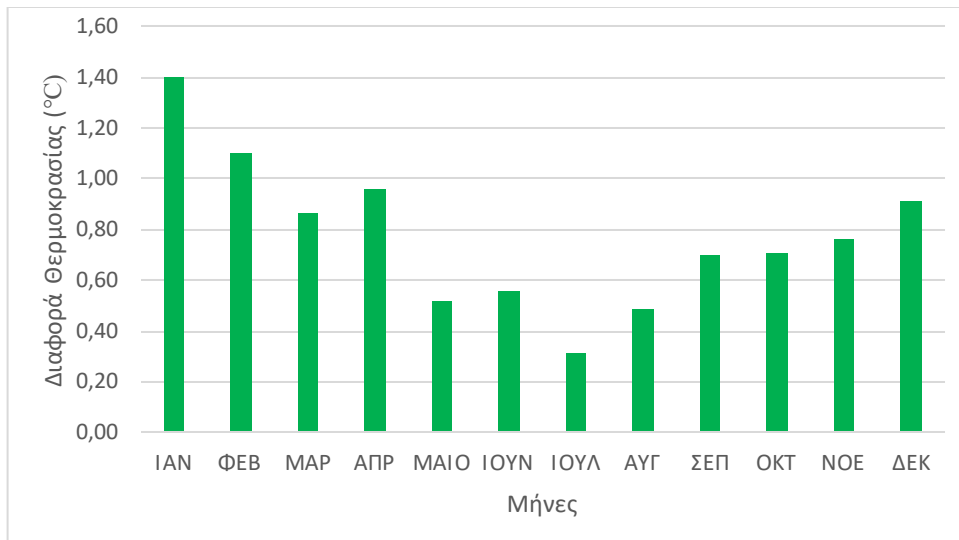


Διάγραμμα 26 Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας 1/3/2019 - 31/8/2020 Κέντρο - Νόησις

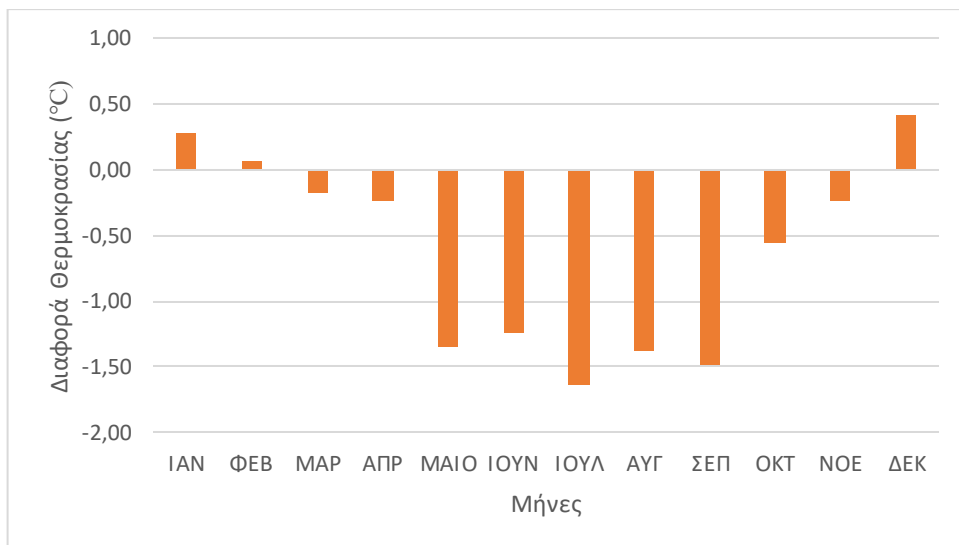


Διάγραμμα 27 Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας 1/3/2019 - 31/8/2020 Κέντρο – Νόησις

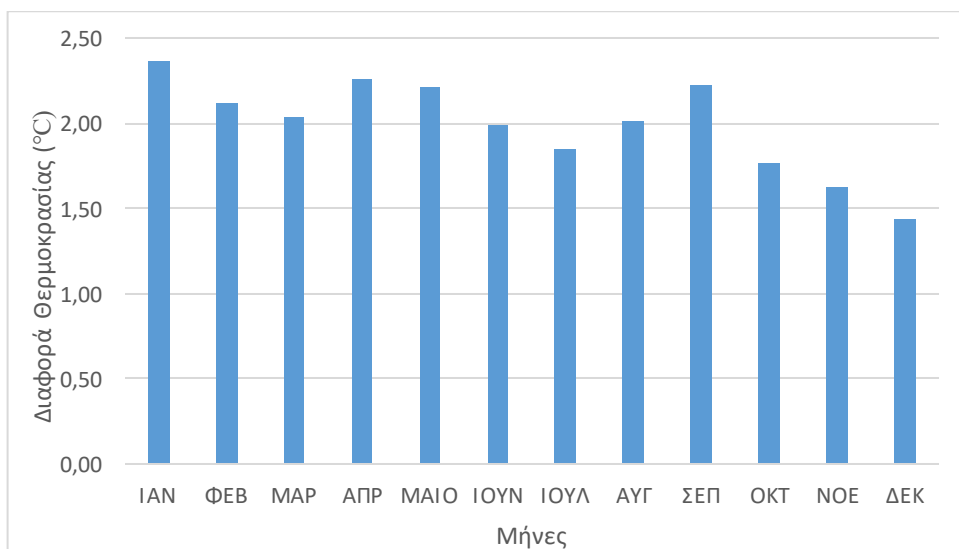
Στα διαγράμματα αυτά παρουσιάζεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρου της Θεσσαλονίκης και της Νόησις. Αρχικά θα πρέπει να ειπωθεί ότι τα δεδομένα για την περιοχή της Νόησις έχουν παρθεί από την 1^η Μαρτίου του 2019 και όχι από τον Σεπτέμβριο του 2018 όπως έχει γίνει με τις άλλες περιοχές. Από το διάγραμμα 25 προκύπτει ότι ο σταθμός στο κέντρο είναι πιο ζεστός από την Νόησις με τις μέγιστες διαφορές να εντοπίζονται τους πρώτους μήνες του 2020 με τιμές κοντά στους 2,5°C. Παρόλα αυτά η μέση τιμή είναι περίπου 0,7°C. Από το διάγραμμα 26 φαίνεται ότι η Νόησις παρουσιάζει υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες από ότι το κέντρο με την μέση τιμή να είναι 0,75°C. Όμως υπάρχουν μέρες μέσα στο έτος όπου η περιοχή της Νόησις να είναι 5°C πιο θερμή από ότι το κέντρο. Τέλος για τις απολύτως ελάχιστες θερμοκρασίες το κέντρο παραμένει και εδώ πιο υψηλό σχεδόν όλη την διάρκεια του έτους με τις μέγιστες διαφορές να φτάνουν κοντά τους 5°C.



Διάγραμμα 28 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο – Νόησις



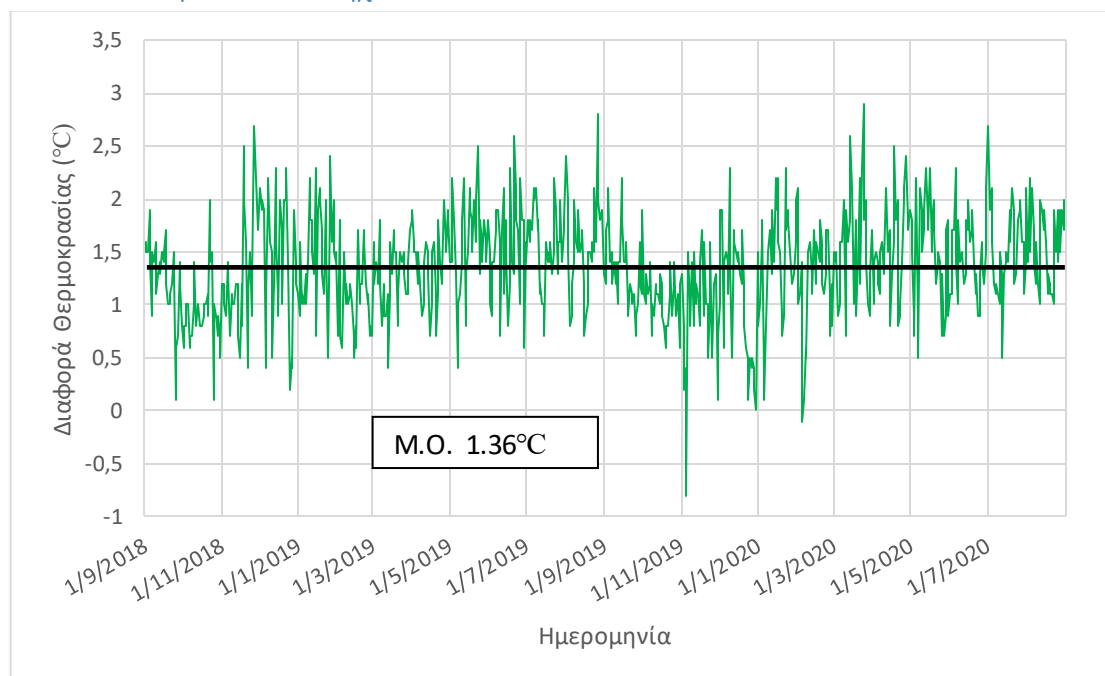
Διάγραμμα 29 Μέσος Όρος Μηνιαίας Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Νόησις



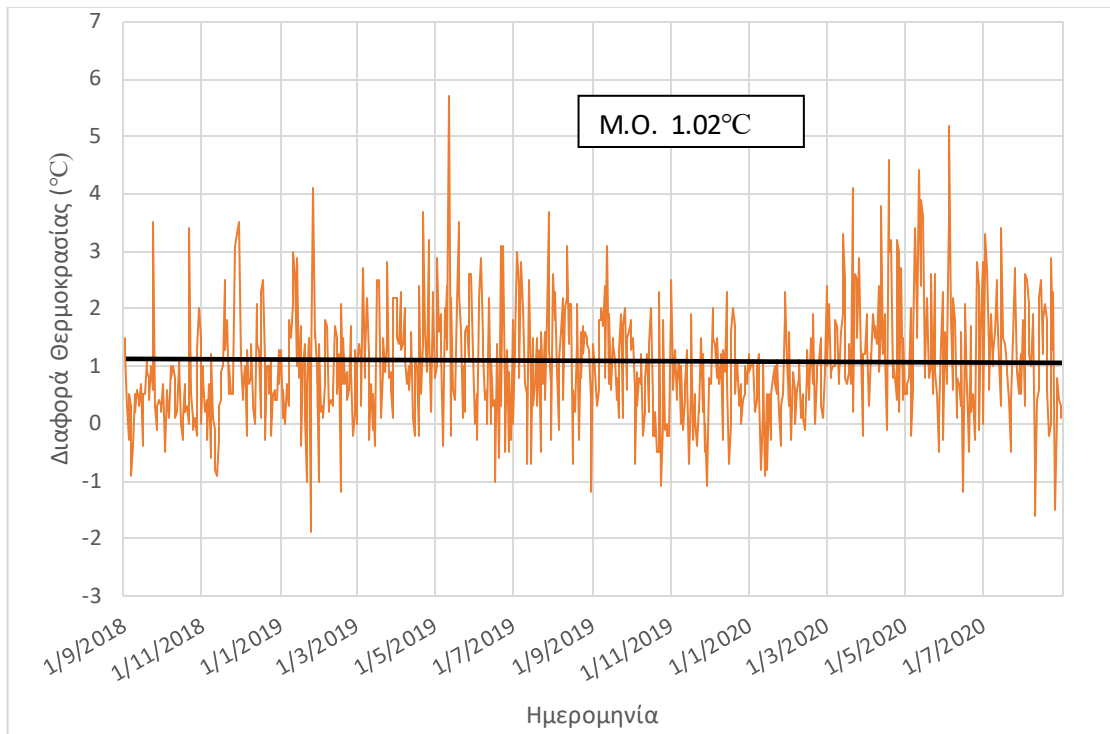
Διάγραμμα 30 Μέσος Όρος Μηνιαίας Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Νόησις

Στα διαγράμματα 29,30,31 παρουσιάζονται οι μηνιαίες διαφορές ανάμεσα στο κέντρο και στην Νόησις. Αρχικά για την μέση θερμοκρασία παρατηρείται ότι το φαινόμενο είναι πιο έντονο κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών, ενώ τους θερμούς μήνες η διαφορά μειώνεται αρκετά. Στις μέγιστες θερμοκρασίες φαίνεται και εδώ, ότι το Κέντρο έχει χαμηλότερες θερμοκρασίες από ότι η Νόησις. Πιο συγκεκριμένα τους χειμερινούς μήνες η διαφορά είναι σχεδόν στο μηδέν αλλά όσο πλησιάζει το καλοκαίρι η Νόησις είναι πιο θερμή από το κέντρο με την διαφορά να φτάνει τον 1,5°C. Τέλος για τις ελάχιστες θερμοκρασίες η ένταση του φαινομένου, καθ' όλη την διάρκεια του έτους υπερβαίνει τους 2°C, με την μέγιστη διαφορά να εμφανίζεται τους μήνες Ιανουάριο και Σεπτέμβριο.

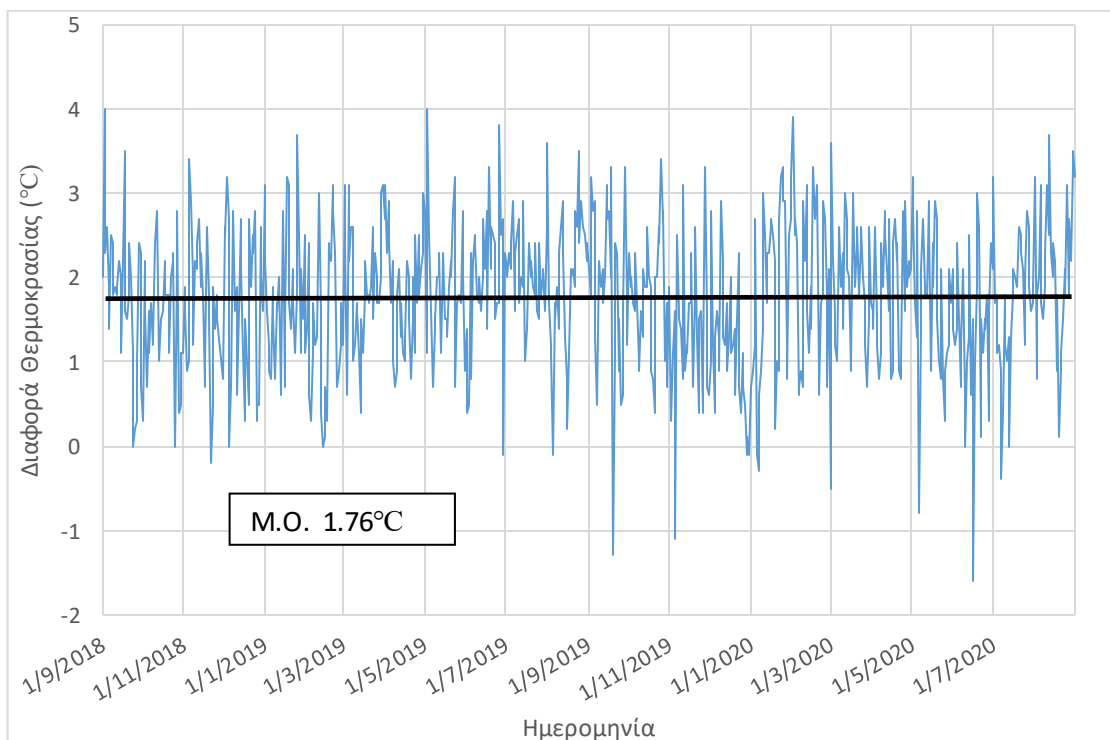
4.7. Κέντρο – Νέα Μηχανιώνα



Διάγραμμα 31 Διαφορά Μέσης Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Νέα Μηχανιώνα



Διάγραμμα 32 Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Νέα Μηχανιώνα

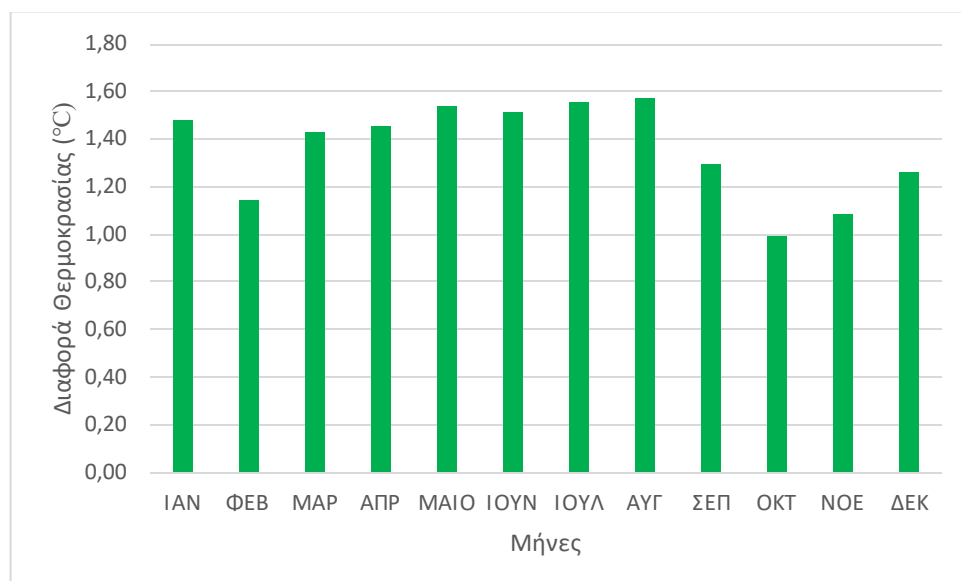


Διάγραμμα 33 Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Νέα Μηχανιώνα

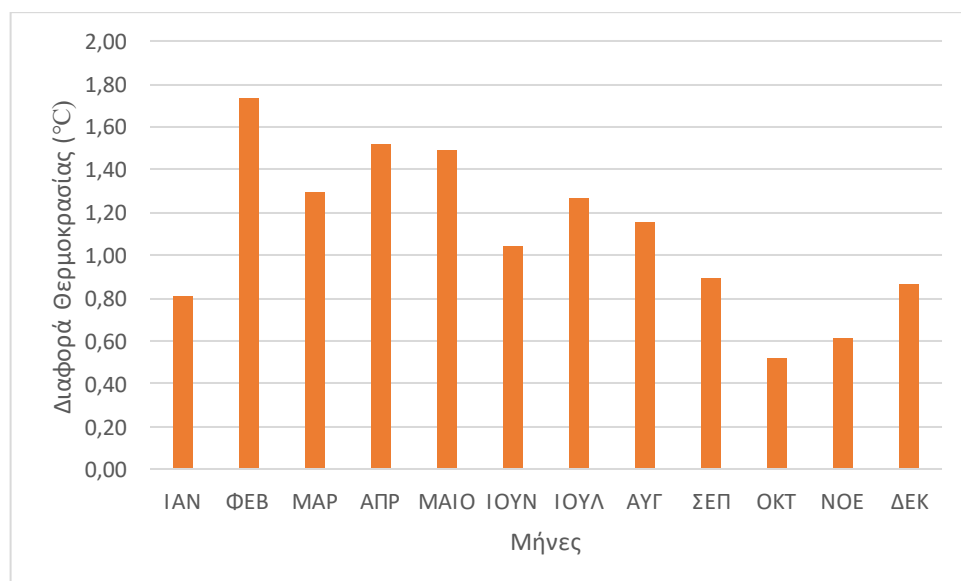
Στα παραπάνω διαγράμματα διακρίνεται η διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του κέντρου και της Νέας Μηχανιώνας. Από το διάγραμμα 32 προκύπτει ότι η μέση

τιμής της έντασης είναι $1,36^{\circ}\text{C}$ ενώ υπάρχουν στιγμές μέσα στον χρόνο όπου η ένταση φτάνει ακόμα και τους 3°C .

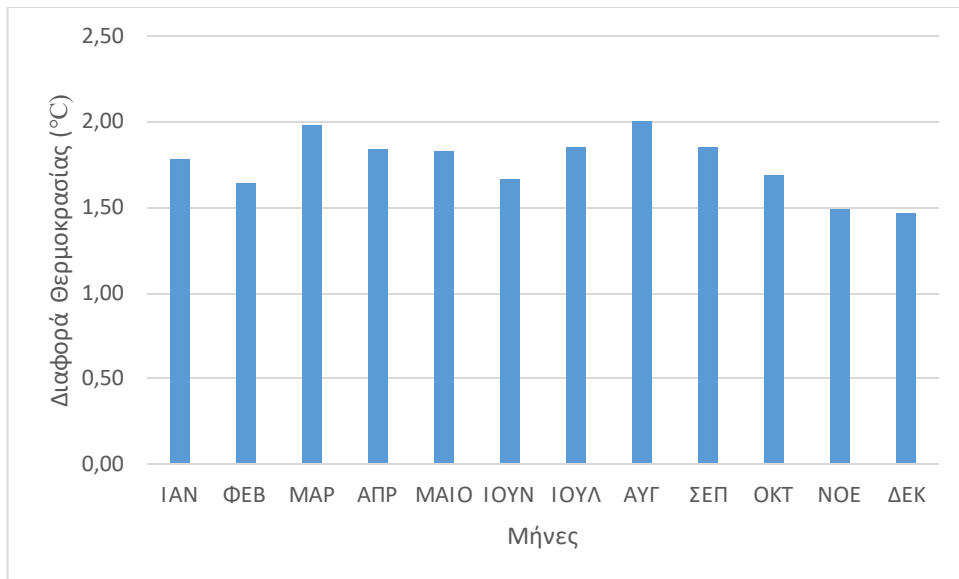
Σε αντίθεση με ότι γίνεται για τις μέγιστες θερμοκρασίες μεταξύ του κέντρου και των άλλων περιοχών, εδώ το κέντρο φαίνεται να δέχεται υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες από ότι η περιοχή της Νέας Μηχανιώνας. Υπάρχουν κάποιες ακραίες τιμές όπου η διαφορά φτάνει κοντά στους 6°C αν και η μέση τιμή είναι στον 1°C . Τέλος για τις ελάχιστες θερμοκρασίες, το κέντρο είναι πιο θερμό από ότι η Νέα Μηχανιώνα με την μέση τιμή να κοντά στο 2°C .



Διάγραμμα 34 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο - Νέα Μηχανιώνα



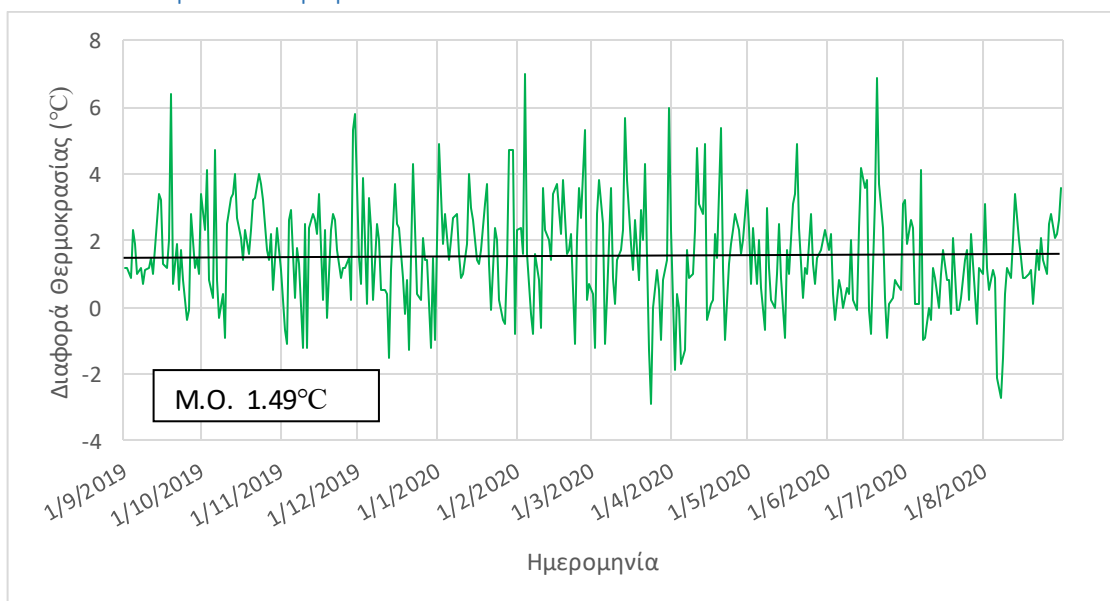
Διάγραμμα 35 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο - Νέα Μηχανιώνα



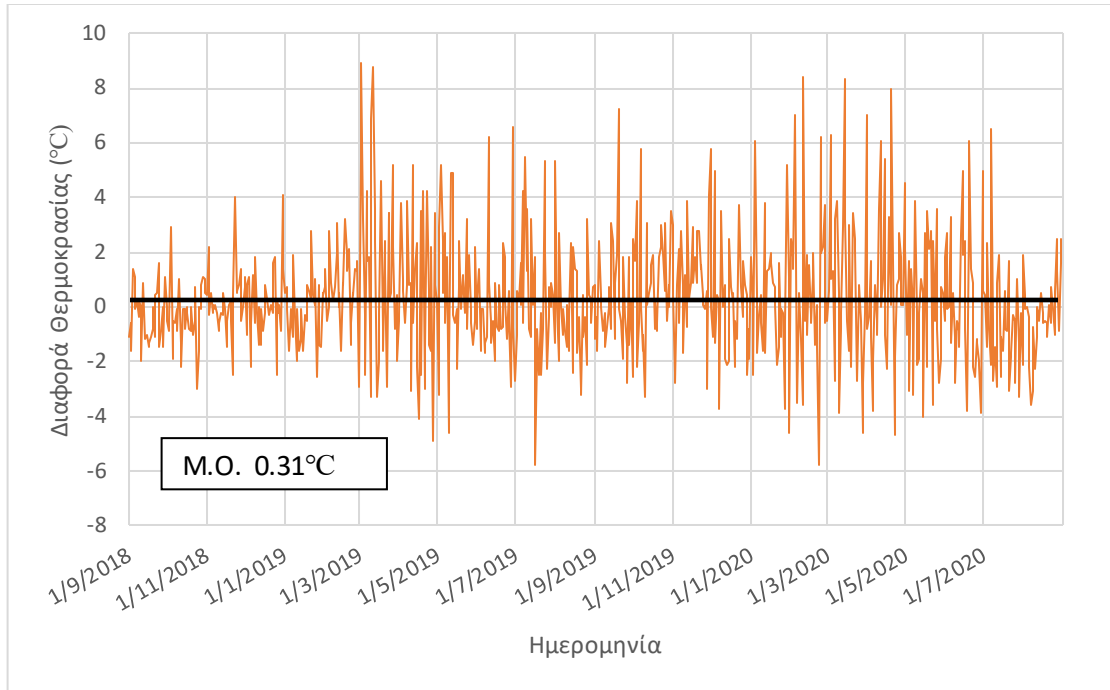
Διάγραμμα 36 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο - Νέα Μηχανιώνα

Τα διαγράμματα 35, 36, 37 δείχνουν τις μηνιαίες διαφορές ανάμεσα στις δύο αυτές περιοχές. Πιο αναλυτικά για την μέση θερμοκρασία, παρατηρείται ότι η ένταση της θερμικής αστικής νησίδας παραμένει σχεδόν σταθερή καθ' όλη την διάρκεια του έτους με μέγιστη τιμή τους καλοκαιρινούς μήνες (1,6°C) και ελάχιστη τον μήνα Οκτώβριο (1°C). Από το διάγραμμα 36 φαίνεται ότι υπάρχει μια διακύμανση στην διαφορά της θερμοκρασίας ανάμεσα στις δύο περιοχές. Πιο αναλυτικά φαίνεται ότι η μεγαλύτερη ένταση εντοπίζεται κατά την διάρκεια των θερινών μηνών, ενώ κατά την διάρκεια του χειμώνα η ένταση φαίνεται να μειώνεται. Παρόλα αυτά ο μήνας με την μεγαλύτερη ένταση είναι ο Φεβρουάριος με 1,7°C και μετά Ιούνιος, Ιούλιος με 1,6°C και 1,5°C αντίστοιχα. Τέλος η ελάχιστη θερμοκρασία παρουσιάζει μια σταθερή διαφορά η οποία κυμαίνεται από 1,5°C-2°C.

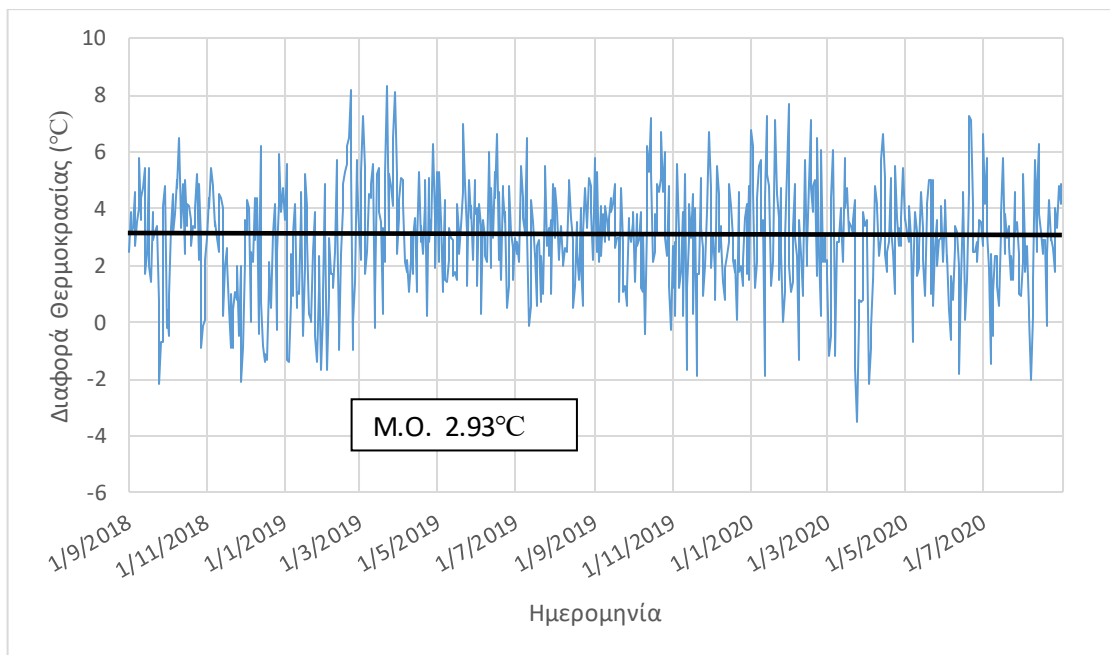
4.8. Κέντρο – Ασπροβάλτα



Διάγραμμα 37 Διαφορά Μέσης Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο - Ασπροβάλτα



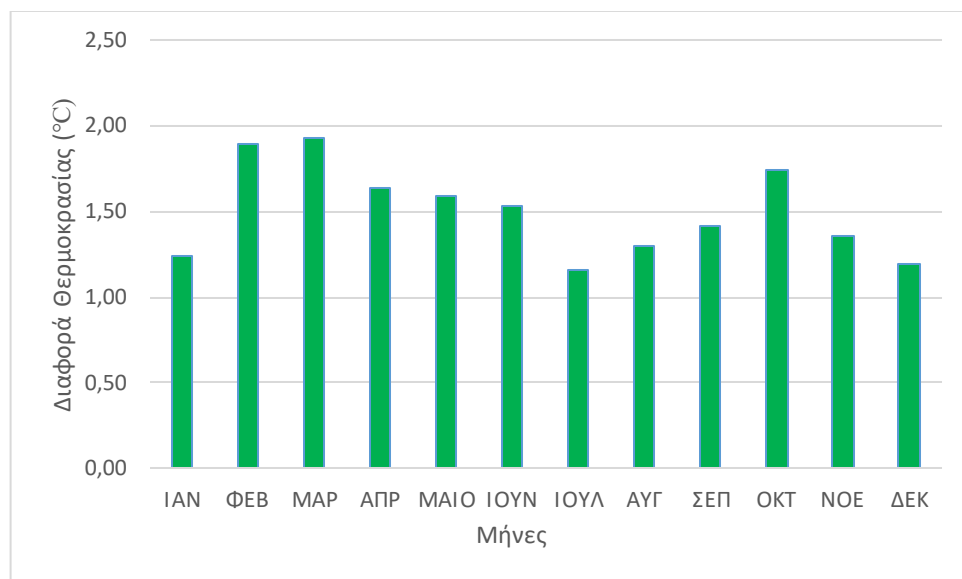
Διάγραμμα 38 Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Ασπροβάλτα



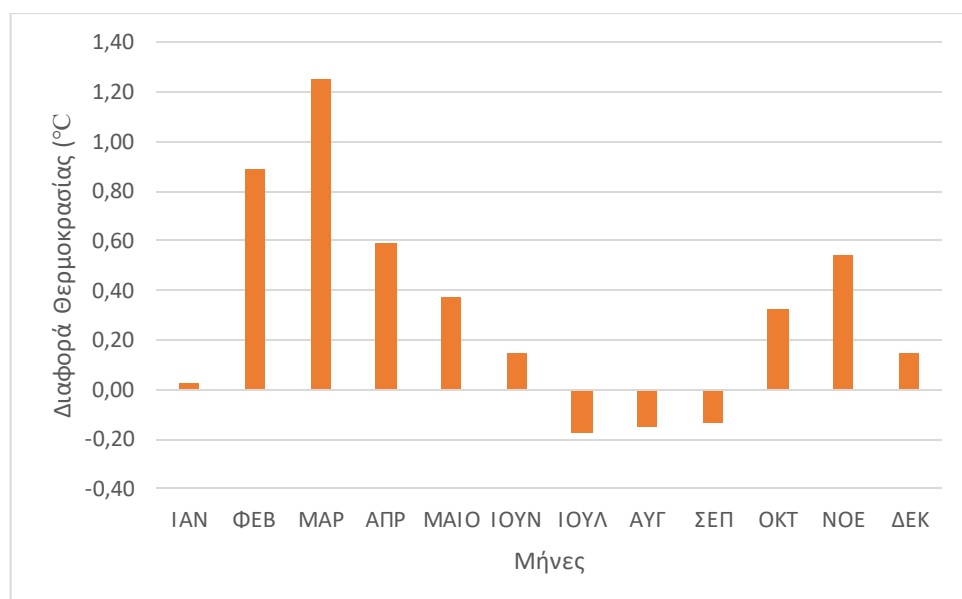
Διάγραμμα 39 Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας 1/9/2018 - 31/8/2020 Κέντρο – Ασπροβάλτα

Για την μέση θερμοκρασία, φαίνεται από το διάγραμμα 37 ότι και σε αυτή την περίπτωση το κέντρο είναι πιο θερμό από την περιαστική περιοχή. Πιο συγκεκριμένα η μέση τιμή της έντασης είναι $1,5^{\circ}\text{C}$, ενώ υπάρχουν μέρες μέσα στο έτος όπου η ένταση υπερβαίνει και τους 6°C . Από το διάγραμμα 38 προκύπτει ότι οι μέγιστες θερμοκρασίες που εμφανίζονται στις δύο αυτές περιοχές είναι πανομοιότυπες, με αποτέλεσμα η ένταση του φαινομένου να είναι σχεδόν μηδενική. Παρόλα αυτά υπάρχουν μεγάλες διακυμάνσεις στις μέγιστες

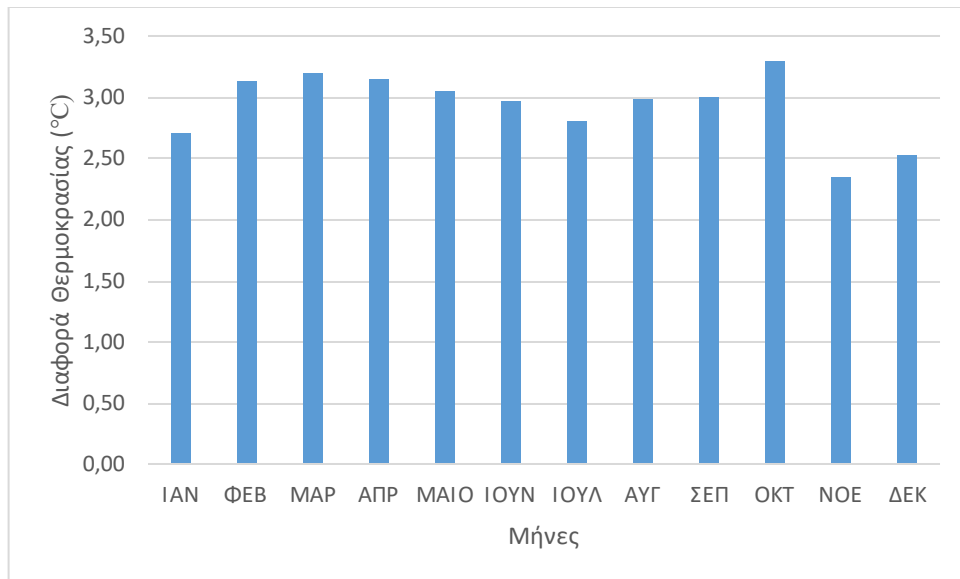
θερμοκρασίες, όπου μια περιοχή μπορεί να είναι 8°C θερμότερη από την άλλη. Όσον αφορά τις ελάχιστες θερμοκρασίες, εδώ διακρίνεται ξεκάθαρα ότι το κέντρο είναι πιο θερμό από ότι η Ασπροβάλτα με τις με την μέση τιμή της έντασης να είναι στους 3°C.



Διάγραμμα 40 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Μέσης Θερμοκρασίας Κέντρο – Ασπροβάλτα



Διάγραμμα 41 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Ασπροβάλτα



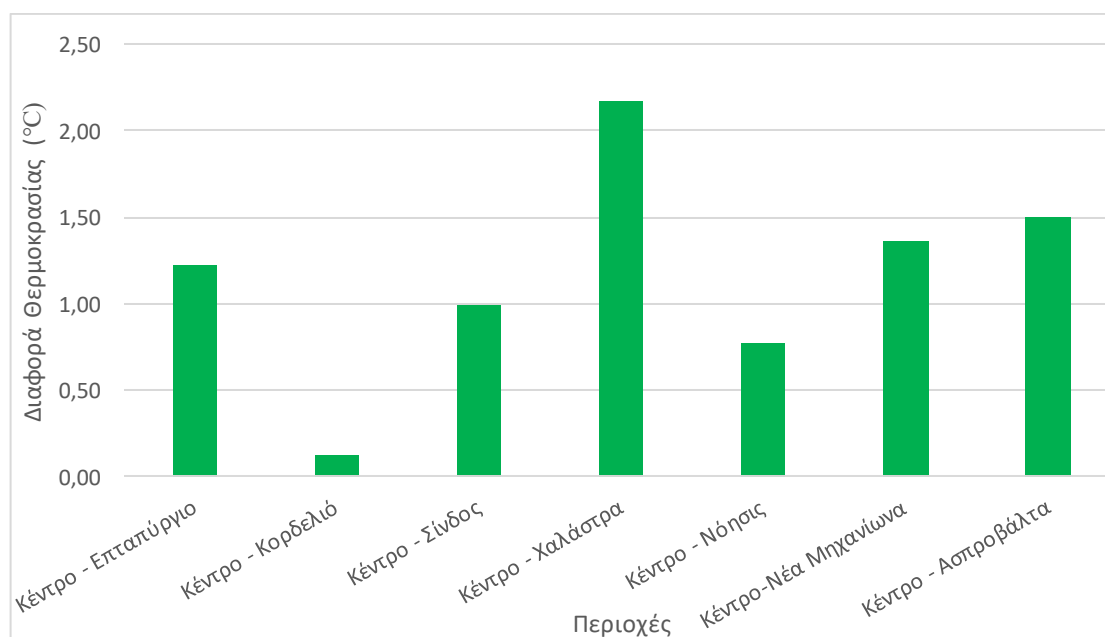
Διάγραμμα 4231 Μέσος Όρος Μηνιαίας Διαφοράς Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας Κέντρο – Ασπροβάλτα

Σύμφωνα με το διάγραμμα 40, για την μέση θερμοκρασία παρατηρείται ότι το κέντρο είναι πιο θερμό σε σύγκριση με την Ασπροβάλτα. Η μέγιστη ένταση εμφανίζεται τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο (2°C), ενώ τον Ιούλιο η ένταση πέφτει στον 1°C . Απο το διάγραμμα 41 για τις μέγιστες θερμοκρασίες προκύπτει ότι τον Φεβρουάριο η διαφορά ανάμεσα στο κέντρο και την Ασπροβάλτα φτάνει τους $1,2^{\circ}\text{C}$, ενώ τους μήνες Ιούλιο, Αύγουστο, Σεπτέμβριο η περιοχή της Ασπροβάλας εμφανίζει υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες. Τέλος, για τις ελάχιστες θερμοκρασίες, το κέντρο είναι πιο θερμό, παρουσιάζοντας μια σταθερότητα στις διαφορές που κυμαίνεται από $2,5^{\circ}\text{C}$ έως $3,3^{\circ}\text{C}$.

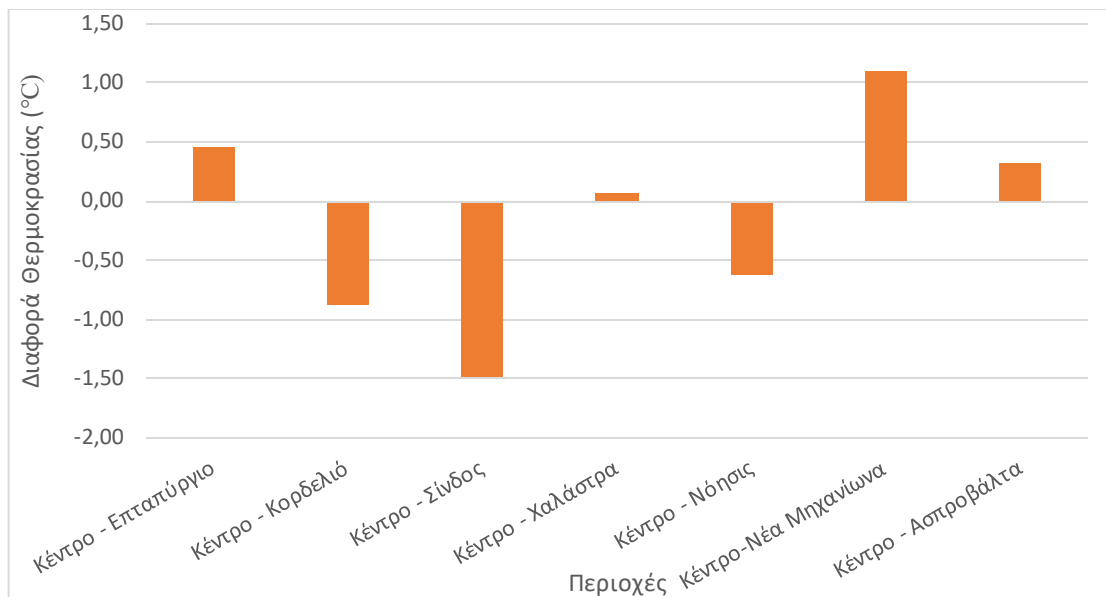
4.9. Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα

Περιοχές	Διαφορά Μέσης Θερμοκρασίας	Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας	Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας
Κέντρο - Επταπύργιο	1,22	0,45	1,66
Κέντρο - Κορδελιό	0,12	-0,88	1,06
Κέντρο - Σίνδος	0,99	-1,49	3,15
Κέντρο - Χαλάστρα	2,17	0,07	3,94
Κέντρο - Νόησις	0,77	-0,63	2,00
Κέντρο - Νέα Μηχανιώνα	1,36	1,10	1,76
Κέντρο - Ασπροβάλτα	1,50	0,32	2,94

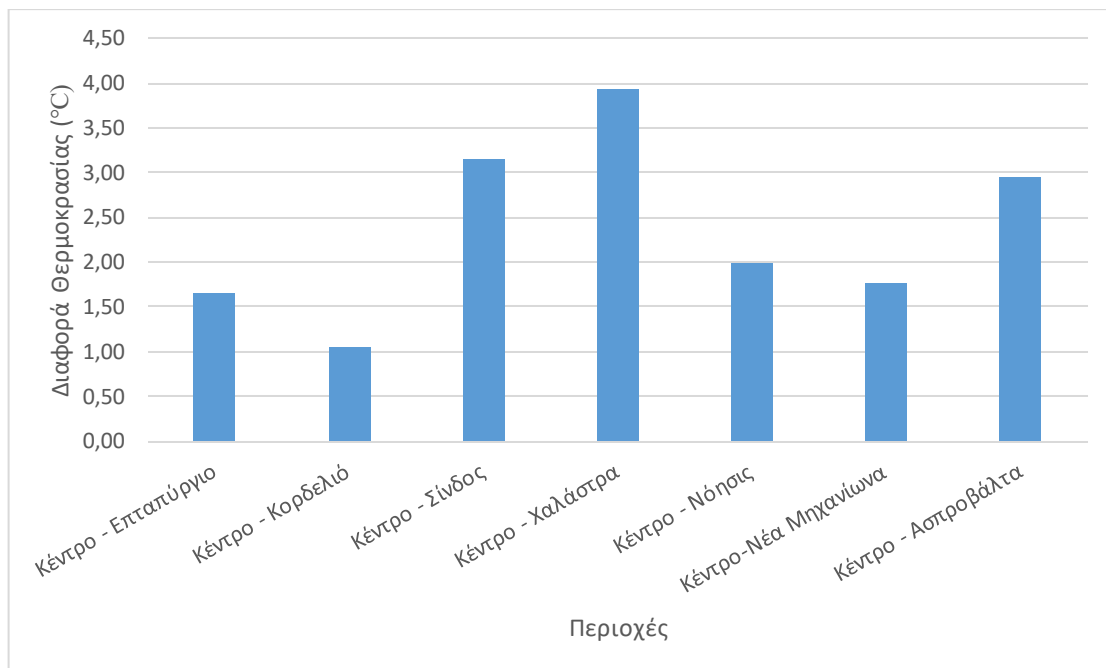
Πίνακας 3 Συγκεντρωτικά Αποτελέσματα για όλες τις περιοχές



Διάγραμμα 43 Μέσος Όρος Διαφορά Μέσης Θερμοκρασίας για όλη την περίοδο μελέτης



Διάγραμμα 44 Διαφορά Απολύτως Μέγιστης Θερμοκρασίας



Διάγραμμα 45 Διαφορά Απολύτως Ελάχιστης Θερμοκρασίας

Στα παραπάνω διαγράμματα απεικονίζονται οι μέσοι όροι διαφοράς της μέσης, μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας, ανάμεσα στο κέντρο της Θεσσαλονίκης και των εξεταζόμενων περιοχών, κατά την περίοδο της μελέτης.

Για την μέση θερμοκρασία παρατηρήθηκε ότι το κέντρο της Θεσσαλονίκης είναι πιο θερμό από όλες τις περιοχές που εξετάστηκαν. Διακρίνεται ότι το κέντρο είναι κατά 2,2°C πιο θερμό από την Χαλάστρα και 1,5°C από την περιοχή της Ασπροβάτας. Η ελάχιστη διαφορά παρατηρείται με την περιοχή του Κορδελιού 0,1°C.

Για τις μέγιστες θερμοκρασίες από το διάγραμμα 44 φαίνεται ότι το κέντρο είναι πιο θερμό από το Επταπύργιο ($0,45^{\circ}\text{C}$), τη Νέα Μηχανιώνα ($1,1^{\circ}\text{C}$) και την Ασπροβάλτα ($0,3^{\circ}\text{C}$). Αντίθετα, οι περιοχές του Κορδελιού, της Σίνδου και της Νόησις παρουσιάζουν υψηλότερες μέγιστες θερμοκρασίες από αυτές του κέντρου. Τέλος η Χαλάστρα φαίνεται να έχει σχεδόν ίδιες μέγιστες θερμοκρασίες.

Όσων αφορά τις απολύτως ελάχιστες θερμοκρασίες, το κέντρο είναι και εδώ η πιο ζεστή περιοχή. Η μεγαλύτερη διαφορά εμφανίζεται μεταξύ Κέντρου – Χαλάστρας με την τιμή να φτάνει κοντά στους 4°C ενώ η μικρότερη διαφορά είναι μεταξύ Κέντρου και Κορδελιού με τιμή 1°C .

5. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε το φαινόμενο της θερμής αστικής νησίδας στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Χρησιμοποιήθηκαν ημερήσιες μετρήσεις θερμοκρασίας (μέση, απολύτως μέγιστη και ελάχιστη) από οκτώ μετεωρολογικούς σταθμούς που βρισκόντουσαν τόσο στην αστική, όσο και στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Τα δεδομένα αφορούσαν την περίοδο, από τον Σεπτέμβριο του 2018 έως και τον Αύγουστο του 2020.

Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι το κέντρο της Θεσσαλονίκης είναι πιο θερμό από τις γύρω περιαστικές περιοχές. Το φαινόμενο δείχνει να είναι πιο έντονο κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών και κυρίως τον Δεκέμβριο και Ιανουάριο. Αυτό έρχεται σε μερική αντίθεση με τον Oke (Timothy R Oke, 1982) ο οποίος είχε αναφέρει ότι το φαινόμενο είναι εντονότερο το καλοκαίρι. Αυτό όμως, έχει να κάνει με τα μετεωρολογικά δεδομένα της κάθε περιοχής. Πιο συγκεκριμένα κατά την διάρκεια του καλοκαιριού η θαλάσσια αύρα επιφέρει μείωση της θερμοκρασίας στην πόλη της Θεσσαλονίκης με αποτέλεσμα την μείωση της έντασης του φαινομένου. Επίσης κατά την διάρκεια του χειμώνα οι κάτοικοι, τείνουν να περνούν περισσότερο χρόνο σε εσωτερικούς χώρους, με αποτέλεσμα την περαιτέρω αύξηση της κατανάλωσης ενέργειας και παραγωγής θερμότητας. Επιπλέον, η ταχύτητα του ανέμου στην πόλη της Θεσσαλονίκης κατά την διάρκεια των χειμερινών μηνών τείνει να είναι χαμηλότερη με αποτέλεσμα τον αργό ρυθμό ψύξης της πόλης.

Για την μέση ημερήσια θερμοκρασία παρατηρείται ότι η αστική περιοχή της Θεσσαλονίκης είναι πιο θερμή από τις γύρω περιοχές με την ένταση της αστικής θερμικής νησίδας να κυμαίνεται από 1-2°C. Η μεγαλύτερη διαφορά εντοπίστηκε με τον σταθμό της Χαλάστρας (2°C) ενώ φαίνεται ότι ο σταθμός του Κορδελιό έχει παρόμοιες θερμοκρασίες αέρα με αυτές του κέντρου. Το Κορδελιό αν και βρίσκεται στην "άκρη" της πόλης, τα τελευταία χρόνια παρουσιάζει σημαντική αύξηση πληθυσμού με αποτέλεσμα να εμφανίζει παρόμοιες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις με αυτές του κέντρου της πόλης.

Επιπλέον παρατηρείται ότι το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδα είναι πιο έντονο στις ελάχιστες θερμοκρασίες. Όπως αναφέρθηκε και στην βιβλιογραφία το φαινόμενο είναι πιο έντονο τις βραδινές ώρες διότι κατά την διάρκεια της νύχτας αστικές επιφάνειες διώχνουν την θερμοκρασία τους στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα τον αργό ρυθμό ψύξης της πόλης. Οι μεγαλύτερες διαφορές εντοπίζονται στις βορειοδυτικές περιοχές (Σίνδος, Χαλάστρα) όπου η διαφορά φτάνει τους 3-4°C ενώ η μικρότερη, εντοπίζεται στο Κορδελιό (1°C).

Τέλος για τις μέγιστες θερμοκρασίες προκύπτει το συμπέρασμα ότι η ένταση της αστικής θερμικής νησίδας είναι μικρότερη κατά την διάρκεια των υψηλών θερμοκρασιών που συμβαίνουν μέσα στην ημέρα. Αυτό είναι κάτι αναμενόμενο με

βάση την βιβλιογραφία, διότι κατά την διάρκεια της ημέρας και κυρίως τις μεσημβρινές ώρες, όπου εντοπίζονται οι μέγιστες θερμοκρασίες το φαινόμενο της ΑΘΝ μειώνεται σημαντικά (Stathopoulou et al., 2009). Μάλιστα για την περιοχή της Θεσσαλονίκης διαπιστώθηκε η ύπαρξη "αρνητικής θερμικής νησίδας", δηλαδή ότι η περιοχή στο κέντρο της πόλης είχε χαμηλότερη θερμοκρασία από τις γύρω περιοχές με λιγότερη πυκνή δόμηση.

5.1 Εισηγήσεις για Περαιτέρω Έρευνα

Στην παρούσα διπλωματική εργασία μελετήθηκε το φαινόμενο της θερμής αστικής νησίδας στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης. Στην μελέτη αυτή χρησιμοποιήθηκαν ημερήσια δεδομένα θερμοκρασίας. Για να εκτιμηθεί καλύτερα η συμπεριφορά του φαινομένου κατά την διάρκεια της ημέρας θα μπορούσε να χρησιμοποιηθούν ωριαία δεδομένα θερμοκρασίας. Επίσης θα μπορούσε να συμπεριληφθούν και δεδομένα για την ταχύτητα και την διεύθυνση του ανέμου ώστε να παρατηρηθεί αν ο άνεμος έχει σημαντική επίδραση στο φαινόμενο. Τέλος, ενδιαφέρον θα παρουσίαζε και η μελέτη του φαινομένου με την χρήση δορυφορικών δεδομένων.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Akbari, H., & Konopacki, S. (2005). Calculating energy-saving potentials of heat-island reduction strategies. *Energy policy*, 33(6), 721-756.
- Alcoforado, M. J., & Andrade, H. (2006). Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1), 151-159. doi:10.1007/s00704-005-0152-1
- Balafoutis, C., & Makrogiannis, T. (1999). Heat island and bioclimatic indexes in the city of Thessaloniki. *Acta Universitatis Lodzianae. Folia Geographica Physica*, 3.
- Balling Jr, R. C., Skindlov, J. A., & Phillips, D. H. (1990). The impact of increasing summer mean temperatures on extreme maximum and minimum temperatures in Phoenix, Arizona. *Journal of Climate*, 1491-1494.
- Bhargava, A., Lakmini, S., & Bhargava, S. (2017). Urban Heat Island Effect: it's relevance in urban planning. *J. Biodivers. Endanger. Species*, 5(187), 2020.
- Böhm, R. (1998). Urban bias in temperature time series—A case study for the city of Vienna, Austria. *Climatic Change*, 38(1), 113-128.
- Camilloni, I., & Barrucand, M. (2012). Temporal variability of the Buenos Aires, Argentina, urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 107(1), 47-58.
- Chow, W. T., & Roth, M. (2006). Temporal dynamics of the urban heat island of Singapore. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 26(15), 2243-2260.
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 67, 30-42.
- Eliasson, I. (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric environment*, 30(3), 379-392.
- Eliasson, I., & Holmer, B. (1990). Urban heat island circulation in Göteborg, Sweden. *Theoretical and Applied Climatology*, 42(3), 187-196.
- Gedzelman, S., Austin, S., Cermak, R., Stefano, N., Partridge, S., Quesenberry, S., & Robinson, D. (2003). Mesoscale aspects of the urban heat island around New York City. *Theoretical and Applied Climatology*, 75(1), 29-42.
- Giannaros, T. M., & Melas, D. (2012). Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Research*, 118, 103-120. doi:10.1016/j.atmosres.2012.06.006
- Guattari, C., Evangelisti, L., & Balaras, C. A. (2018). On the assessment of urban heat island phenomenon and its effects on building energy performance: A case study of Rome (Italy). *Energy and Buildings*, 158, 605-615. doi:10.1016/j.enbuild.2017.10.050
- Heaviside, C., Macintyre, H., & Vardoulakis, S. (2017). The urban heat island: implications for health in a changing environment. *Current environmental health reports*, 4(3), 296-305.
- Karaca, M., Antepioğlu, Ü., & Karsan, H. (1995). Detection of urban heat island in Istanbul, Turkey. *Il Nuovo Cimento C*, 18(1), 49-55. doi:10.1007/BF02561458
- Kim, Y.-H., & Baik, J.-J. (2005). Spatial and temporal structure of the urban heat island in Seoul. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 44(5), 591-605.
- Kleerekoper, L., Van Esch, M., & Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64, 30-38.
- Kolokotsa, D., Psomas, A., & Karapidakis, E. (2009). Urban heat island in southern Europe: The case study of Hania, Crete. *Solar Energy*, 83(10), 1871-1883.

- Liu, W., Ji, C., Zhong, J., Jiang, X., & Zheng, Z. (2007). Temporal characteristics of the Beijing urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, *87*(1), 213-221.
- Livada, I., Santamouris, M., Niachou, K., Papanikolaou, N., & Mihalakakou, G. (2002). Determination of places in the great Athens area where the heat island effect is observed. *Theoretical and Applied Climatology*, *71*(3), 219-230.
- Magee, N., Curtis, J., & Wendler, G. (1999). The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*, *64*(1), 39-47.
- Memon, R. A., Leung, D. Y., & Chunho, L. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of urban heat island. *J Environ Sci (China)*, *20*(1), 120-128. doi:10.1016/s1001-0742(08)60019-4
- Mills, G. (2008). Luke Howard and the climate of London. *Weather*, *63*(6), 153-157.
- Mohajerani, A., Bakaric, J., & Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *J Environ Manage*, *197*, 522-538. doi:10.1016/j.jenvman.2017.03.095
- Montávez, J. P., Rodríguez, A., & Jiménez, J. I. (2000). A study of the urban heat island of Granada. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, *20*(8), 899-911.
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly journal of the royal meteorological society*, *108*(455), 1-24.
- Oke, T. R. (1995). The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. *Wind climate in cities*, 81-107.
- Oke, T. R., Johnson, G. T., Steyn, D. G., & Watson, I. D. (1991). Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night part 2: Diagnosis of causation. *56*(4), 339-358. Retrieved from <https://doi.org/10.1007/BF00119211>
- Papanastasiou, D. K., & Kittas, C. (2011). Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city. *Theoretical and Applied Climatology*, *107*(3-4), 407-416. doi:10.1007/s00704-011-0491-z
- Santamouris, M., Cartalis, C., Synnefa, A., & Kolokotsa, D. (2015). On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings*, *98*, 119-124.
- Santamouris, M., Paraponiaris, K., & Mihalakakou, G. (2007). Estimating the ecological footprint of the heat island effect over Athens, Greece. *Climatic Change*, *80*(3-4), 265-276.
- Stathopoulou, M., & Cartalis, C. (2007). Daytime urban heat islands from Landsat ETM+ and Corine land cover data: An application to major cities in Greece. *Solar Energy*, *81*(3), 358-368.
- Stathopoulou, M., Synnefa, A., Cartalis, C., Santamouris, M., Karlessi, T., & Akbari, H. (2009). A surface heat island study of Athens using high-resolution satellite imagery and measurements of the optical and thermal properties of commonly used building and paving materials. *International journal of sustainable energy*, *28*(1-3), 59-76.
- Stewart, I. D. (2011). *Redefining the urban heat island*. University of British Columbia,
- Stewart, I. D. (2011). A systematic review and scientific critique of methodology in modern urban heat island literature. *International Journal of Climatology*, *31*(2), 200-217. doi:10.1002/joc.2141
- Taha, H. (1997). Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat. *Energy and Buildings*, *25*(2), 99-103.
- Taha, H., Sailor, D. J., & Akbari, H. (1992). High-albedo materials for reducing building cooling energy use.
- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., . . . Li, F. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International journal of biometeorology*, *54*(1), 75-84.

- Tawfeek, Y. Q., Jasim, F. H., & Al-Jiboori, M. H. (2020). A Study of Canopy Urban Heat Island of Baghdad, Iraq. *Asian Journal of Atmospheric Environment (AJAE)*, 14(3).
- Tzavali. (2015). Urban heat island : analysis of the phenomenon in Attica and investigation of its impacts to the school building's energy performance Retrieved from <http://hdl.handle.net/10889/9467>
- Unger, J. (1996). Heat island intensity with different meteorological conditions in a medium-sized town: Szeged, Hungary. *Theoretical and Applied Climatology*, 54(3), 147-151. doi:10.1007/BF00865157
- Vujovic, S., Haddad, B., Karaky, H., Sebaibi, N., & Boutouil, M. (2021). Urban heat island: Causes, consequences, and mitigation measures with emphasis on reflective and permeable pavements. *CivilEng*, 2(2), 459-484.
- Yadav, N., & Sharma, C. (2018). Spatial variations of intra-city urban heat island in megacity Delhi. *Sustainable cities and society*, 37, 298-306.
- Yagüe, C., Zurita, E., & Martinez, A. (1991). Statistical analysis of the Madrid urban heat island. *Atmospheric Environment. Part B. Urban Atmosphere*, 25(3), 327-332.
- Καρακούνος, Ι. Θ. (2013). *Πολοδομικός σχεδιασμός και αστικό μικροκλίμα*.
- Μπουντάς, Ν. Β. (2014). *Διερεύνηση της Αστικής Θερμικής Νησίδας των Ελληνικών Πόλεων*.
- Σάρρας, Χ. Π. (2020). *Αστική θερμική νησίδα στη Θεσσαλονίκη: κλιματολογία, διαχρονικές τάσεις και φυσικοί μηχανισμοί*. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,