

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ, ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ & ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

Κείμενο Διδακτορικής Διατριβής

“ **Διαχρονική μεταβολή των θερμικών νησίδων στην Ελλάδα, με χρήση τηλεπισκόπησης, σε περιβάλλον Google Earth Engine.**

Περιβαλλοντικές και οικονομικές επιπτώσεις. ”

Εκπόνηση: Γκατζιούρα Η. Παρασκευή

Επιβλέπων Καθηγητής: Περάκης Κωνσταντίνος

Επταμελής Επιτροπή Εξέτασης:

Γκεμιτζή Αλεξάνδρα, Ευαγγελίδης Κωνσταντίνος, Ζαχείλας Λουκάς, Καραγεώργος Αντώνιος, Ντούρος Κωνσταντίνος, Περάκης Κωνσταντίνος, Χριστοπούλου Όλγα

ΒΟΛΟΣ, 2025

Βεβαίωση Εκπόνησης Διδακτορικής Διατριβής

«Δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα Διδακτορική Διατριβή εκπονήθηκε από εμένα προσωπικά και αντιπροσωπεύει τις προσωπικές μου απόψεις επί του θέματος. Το κείμενο είναι γραμμένο με τα δικά μου λόγια και δεν αποτελεί προϊόν λογοκλοπής από τρίτες πηγές. Οι πηγές στις οποίες ανέτρεξα για την εκπόνηση της συγκεκριμένης Διδακτορικής Διατριβής αναφέρονται στο σύνολό τους, δίνοντας πλήρεις αναφορές στους συγγραφείς, συμπεριλαμβανομένων και των πηγών που ενδεχομένως χρησιμοποιήθηκαν από το διαδίκτυο.»

Η Δηλούσα

Παρασκευή Η. Γκατζιούρα

Ευχαριστίες

Carpe Diem

(*Αδραξε την ημέρα*)

Μέσα σε λίγες γραμμές θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς τους ανθρώπους που συνέβαλαν στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας και πίστεψαν σε μένα.

Πρωτίστως, θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή μου κύριο Κωνσταντίνο Περάκη, για την επιστημονική, ηθική και πνευματική συμπαράσταση σε όλα τα στάδια διεξαγωγής της έρευνας έως και σήμερα. Παράλληλα, ευχαριστώ την κυρία Χριστοπούλου Όλγα – Καθηγήτρια του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας και τον κύριο Ντούρο Κωνσταντίνο - Επίκουρο Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Τοπογραφίας & Γεωπληροφορικής του Διεθνούς Πανεπιστημίου Ελλάδος για την επιστημονική και ηθική υποστήριξη.

Σε κάθε στάδιο της έρευνας είχα πολύτιμους συμμάχους οικογένεια, φίλους, ανθρώπους που συναντούσα κατά τη διάρκεια αυτής. Για τη συντακτική διόρθωση του κειμένου, θα ήθελα να ευχαριστήσω την κυρία Αθανασιάδου Παναγιώτα, η οποία διόρθωσε πολλαπλές φορές τις ποικίλες εκδόσεις μέχρι να καταλήξουμε στην τελική έκδοση.

Σας ευχαριστώ θερμά όλους και ιδιαιτέρως αυτούς που με δίδαξαν την αξία της συνεχούς προσπάθειας για τα όνειρά μου, ελπίζοντας ότι πάντα θα υπάρχει η ίδια διάθεση και προκοπή για την επίλυση χωρικών και μη ερωτημάτων...

Περίληψη

Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (Urban Heat Island – UHI) αποτελεί δυναμικό κλιματολογικό φαινόμενο, άρρηκτα συνδεδεμένο με τις αυξημένες θερμοκρασίες τόσο του αέρα όσο και της γήινης επιφάνειας. Έχει εκτεταμένες επιπτώσεις στην ενεργειακή κατανάλωση, στην ποιότητα ζωής και στο αστικό μικροκλίμα. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας εξετάζεται η διαχρονική εξέλιξη της ΑΘΝ σε δέκα επιλεγμένες Περιφερειακές Ενότητες της Ελλάδας, με στόχο την αποτύπωση των χωρικών και χρονικών διαφοροποιήσεών της, καθώς και την εκτίμηση των περιβαλλοντικών και οικονομικών συνεπειών που απορρέουν από την έντασή της.

Η μεθοδολογική προσέγγιση στηρίχθηκε σε δορυφορικά δεδομένα θερμοκρασίας γήινης επιφάνειας για την ποσοτικοποίηση των δεικτών UHI και UTFVI, καθώς και σε δεδομένα θερμοκρασίας αέρα για τον υπολογισμό των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών (Heating και Cooling Degree Days). Η Επεξεργασία πραγματοποιήθηκε στην πλατφόρμα γήινης ανάλυσης Google Earth Engine (GEE) για το χρονικό διάστημα 2019–2023. Επιπλέον, οι Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένες Ημέρες συσχετίστηκαν με την ένταση της ΑΘΝ, ώστε να προσδιοριστούν οι ανάγκες θέρμανσης και ψύξης των κατοικιών.

Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες παρουσιάζονται ιδιαίτερες κλιματικές και χωρικές ιδιαιτερότητες, οι οποίες διαμορφώνουν την ένταση της ΑΘΝ και επηρεάζουν την ενεργειακή κατανάλωση. Συγκεκριμένα, σε αρκετές περιοχές παρατηρήθηκε αρνητικό ενεργειακό κόστος, καθώς η άνοδος της θερμοκρασίας μείωσε τις ανάγκες θέρμανσης, ενώ σε άλλες το ισοζύγιο ήταν θετικό, εξαιτίας της αυξημένης κατανάλωσης για ψύξη. Η διττή αυτή εικόνα καταδεικνύει ότι οι επιπτώσεις της ΑΘΝ δεν είναι ενιαίες, αλλά διαφοροποιούνται χωρικά, γεγονός το οποίο αναδεικνύει την αναγκαιότητα διαμόρφωσης στοχευμένων στρατηγικών μείωσης της έντασης του φαινομένου, ανάλογα με τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε περιοχής.

Λέξεις Κλειδιά: Αστική Θερμική Νησίδα, Κλιματική Κρίση, Κατανάλωση Ενέργειας, Τηλεπισκόπηση, Google Earth Engine, Ενεργειακό Κόστος, Δείκτες UHI & UTFVI, Περιβαλλοντικές Επιπτώσεις

Abstract

The phenomenon of the Urban Heat Island (UHI) constitutes a dynamic climatological process, intrinsically linked to the increased temperatures of both the air and the Earth's surface. It has extensive impacts on energy consumption, quality of life, and the urban microclimate. Within the framework of the present research, the temporal evolution of UHI is examined across ten selected Regional Units of Greece, with the aim of capturing its spatial and temporal variations, as well as assessing the environmental and economic consequences derived from its intensity.

The methodological approach was based on satellite-derived land surface temperature (LST) data for the quantification of the UHI and UTFVI indices, as well as on air temperature data for the calculation of Heating and Cooling Degree Days (HDD and CDD). Data processing was conducted on the Google Earth Engine (GEE) platform for the period 2019–2023. Furthermore, the Degree Days were correlated with UHI intensity in order to determine the heating and cooling requirements of residential buildings.

The results revealed that the studied regions exhibit distinctive climatic and spatial characteristics that shape UHI intensity and influence energy consumption. Specifically, in several areas a negative energy cost was observed, as rising temperatures reduced heating requirements, while in others the balance was positive due to increased cooling demand. This dual outcome demonstrates that the impacts of UHI are not uniform but spatially differentiated, highlighting the necessity for targeted strategies to mitigate the phenomenon's intensity according to the specific characteristics of each area.

Keywords: Urban Heat Island (UHI), Climate Crisis, Energy Consumption, Remote Sensing, Google Earth Engine, Energy Cost, UHI & UTFVI Indices, Environmental Impacts

Περιεχόμενα

Εισαγωγή	7
1 Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ)	10
1.1 Ορισμός & Έννοιες	10
1.2 Μέθοδοι Παρατήρησης των ΑΘΝ	13
1.3 Αίτια Εμφάνισης του Φαινομένου των ΑΘΝ	16
1.4 Επιπτώσεις & Θερμικά Αποτελέσματα των ΑΘΝ.....	20
1.5 Εφαρμογές Στρατηγικών Μείωσης της Έντασης του Φαινομένου των ΑΘΝ	26
1.6 Ανασκόπηση του Φαινομένου των ΑΘΝ στην Ελλάδα	31
2 Λογισμικά, Υλισμικά και Ανθρώπινο Δυναμικό στην Ανάλυση Γεωχωρικών Δεδομένων 35	
2.1 Σύγχρονες Τάσεις στον Τομέα των Γεωχωρικών Δεδομένων	35
2.2 Η πλατφόρμα γήινης ανάλυσης "Google Earth Engine (GEE)"	38
2.2.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση του Φαινομένου των ΑΘΝ στην Πλατφόρμα του GEE.44	
3 Η έρευνα	50
3.1 Επιλογή περιοχών μελέτης	50
3.2 Μεθοδολογία.....	56
3.2.1 Δορυφορικά Δεδομένα	56
3.2.2 Εκτίμηση δεικτών UHI & UTFVI.....	56
3.2.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων.....	59
4 Εκτίμηση Ενεργειακού Κόστους	93
4.1 Μεθοδολογία.....	93
4.1.1 Δείκτες Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για τις μεταβλητές Θέρμανσης & Ψύξης93	

4.1.2 Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας στους Δείκτες Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών	98
4.1.3 Επίδραση του Φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην Ενεργειακή Κατανάλωση	105
4.1.4 Εκτίμηση της Ενέργειας Κατανάλωσης με Βάση Θερμοκρασιακούς Δείκτες	108
4.1.5 Ανάλυση Κόστους Ενεργειακής Κατανάλωσης.....	114
4.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων	118
4.2.1 Ψηφιακή Χαρτογραφική Αποτύπωση της Εξέλιξης του Φαινομένου της ΑΘΝ	121
4.2.2 Συσχέτιση Κόστους και Ετήσιας Κατανάλωσης Ενέργειας για Ψύξη	127
5 Συμπεράσματα	132
Παράρτημα.....	136
Βιβλιογραφία	146

Ευρετήριο Εικόνων

Εικόνα 1: Το περιβάλλον εργασίας του Earth Engine Editor	39
Εικόνα 2: Το περιβάλλον του Google Earth Timelapse στη διαδικτυακή πλατφόρμα Google Earth Engine	40
Εικόνα 3: Το περιβάλλον της διαδικτυακής πλατφόρμας Climate Engine (CE).....	46
Εικόνα 4: Χαρτογραφική απεικόνιση των διοικητικών ορίων του λειτουργικού αστικού κέντρου της Λάρισας	62
Εικόνα 5: Παράγοντες επίδρασης της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ στις υπό μελέτη ελληνικές περιοχές.....	69
Εικόνα 6: Διαχρονική εξέλιξη του Δείκτη Αξιολόγησης Οικολογικής Κατάστασης (2019–2023) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες	75
Εικόνα 7: Διαχρονική εξέλιξη του βαθμού έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (2019–2023) με έμφαση στις ενδοπεριφερειακές χωρικές διαφοροποιήσεις	126

Ευρετήριο Χαρτών

Χάρτης 1: Χαρτογραφική αποτύπωση των υπό μελέτη περιοχών	55
Χάρτης 2: Χαρτογραφική αποτύπωση της Διαχρονικής Μεταβολής της έντασης του Φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (2019-2023).....	122

Ευρετήριο Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1: Τα γενεσιουργά αίτια δημιουργίας του φαινομένου των ΑΘΝ	16
Διάγραμμα 2: Οι επιπτώσεις του φαινομένου των ΑΘΝ τους θερινούς και χειμερινούς μήνες ..	21
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα Bi-plot συσχέτισης του δείκτη βλάστησης με τη θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας για την πρωτεύουσα της Βουλγαρίας	47
Διάγραμμα 4: Διάγραμμα Bi-plot συσχέτισης του δείκτη βλάστησης με τη θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας για την πόλη της Φιλιππούπολης.....	48
Διάγραμμα 5: Διαχρονική Μεταβολή της Μέσης Θερμοκρασίας για το σύνολο των υπό μελέτη περιοχών.....	70
Διάγραμμα 6: Διαχρονική Μεταβολή του δείκτη UHI για το σύνολο των υπό μελέτη περιοχών	71
Διάγραμμα 7: Διαχρονική Μεταβολή της Διάμεσης Θερμοκρασίας για το σύνολο των υπό μελέτη περιοχών.....	71
Διάγραμμα 8: Διαχρονική Μεταβολή του δείκτη UTFVI για το σύνολο των υπό μελέτη περιοχών	72
Διάγραμμα 9: Συγκριτική αποτύπωση των συσχετίσεων στο σύνολο των υπό μελέτη περιοχών	78
Διάγραμμα 10: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας	79
Διάγραμμα 11: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Λάρισας	80
Διάγραμμα 12: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Φθιώτιδας.....	81
Διάγραμμα 13: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Βοιωτίας.....	82
Διάγραμμα 14: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Αιτωλοακαρνανίας.....	83
Διάγραμμα 15: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Χανίων	85
Διάγραμμα 16: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Ηρακλείου	86
Διάγραμμα 17: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Εύβοιας	88

Διάγραμμα 18: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Κορινθίας	89
Διάγραμμα 19: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Αχαΐας	91
Διάγραμμα 20: Διαγραμματική απεικόνιση της ποσοστιαίας μεταβολής των Βαθμοημερών Θέρμανσης (HDD) και Ψύξης (CDD) ανά Περιφερειακή Ενότητα.....	103
Διάγραμμα 21: Μεθοδολογική απεικόνιση του ποσοτικού προσδιορισμού της ετήσιας κατανάλωσης και του κόστους ενέργειας για θέρμανση και ψύξη των κατοικιών υπό την επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (UHI).....	116
Διάγραμμα 22: Συγκριτική διαγραμματική απεικόνιση των οικονομικών επιπτώσεων λόγω της επίδρασης του φαινομένου της ΑΘΝ.....	118
Διάγραμμα 23: Διαχρονική εξέλιξη της μέσης έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ για το χρονικό διάστημα 2019-2023	124
Διάγραμμα 24: Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του συνολικού κόστους και της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη (Ec_UHI_MO) στις υπό μελέτη Περιφερειακές Ενότητες Πηγή: Ιδία Επεξεργασία	127
Διάγραμμα 25:Γραμμική παλινδρόμηση της συσχέτισης μεταξύ του συνολικού κόστους και της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση (Eh_UHI_MO) στις υπό μελέτη Περιφερειακές Ενότητες.....	128
Διάγραμμα 26: Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του συνολικού κόστους και της αναλογίας αστικού πληθυσμού στις υπό μελέτη Περιφερειακές Ενότητες	129
Διάγραμμα 27: Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του συνολικού κόστους και του περι-αστικού πληθυσμού στις υπό μελέτη Περιφερειακές Ενότητες	130

Ευρετήριο Πινάκων

Πίνακας 1: Παράγοντες που επιδρούν στη δημιουργία ΑΘΝ με την ανάλογη βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	19
Πίνακας 2: Ομαδοποίηση των επιπτώσεων του φαινομένου των ΑΘΝ.....	25
Πίνακας 3: Κατά Κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν ανά περιφέρεια και υπολογισμός ποσοστιαίας μεταβολής για το χρονικό διάστημα 2011-2020.....	51
Πίνακας 4: Κατά Κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν στις είκοσι περιφερειακές ενότητες με τις υψηλότερες τιμές ανάπτυξης για το έτος 2020 (Σε τρέχουσες τιμές και σε εκατομμύρια ευρώ). 52	
Πίνακας 5: Οι είκοσι περιφερειακές ενότητες με την μεγαλύτερη πληθυσμιακή συγκέντρωση (απογραφή 2021)	54
Πίνακας 6: Οι περιοχές έρευνας	55
Πίνακας 7: Όρια τιμών του Δείκτη Θερμικής Διασποράς Αστικού Πεδίου (UTFVI) και προσδιορισμός του Δείκτη Αξιολόγησης του οικολογικού επιπέδου.....	58
Πίνακας 8: Συσχετίσεις μεταξύ του Δείκτη UHI, του UTFVI και της Μέσης Θερμοκρασίας (LST) για τις υπό μελέτη περιοχές	76
Πίνακας 9: Διαχρονική Ανάλυση (2019-2023) των Βαθμοημερών Ψύξης (CDD) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες.....	95
Πίνακας 10: Διαχρονική Ανάλυση (2019-2023) των Βαθμοημερών Θέρμανσης (HDD) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες.....	96
Πίνακας 11: Διαχρονική Ανάλυση των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση(HDD) και των αντίστοιχων τιμών υπό την Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (HDD_UHI) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019 - 2023).....	100
Πίνακας 12: Διαχρονική Ανάλυση Ποσοστιαίας Μεταβολής των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (HDD) και των τιμών τους υπό την Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019 – 2023).....	100
Πίνακας 13: Διαχρονική Ανάλυση των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (CDD) και των αντίστοιχων τιμών υπό την Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (HDD_UHI) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019 - 2023)	102
Πίνακας 14: Διαχρονική Ανάλυση Ποσοστιαίας Μεταβολής των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Ψύξη (CDD) και των τιμών τους υπό την Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019 – 2023)	102

Πίνακας 15: Πληθυσμιακή Κατανομή και Αναλογίες αστικών και περι-αστικών περιοχών.....	107
Πίνακας 16: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m ²) ανά Κλιματική Ζώνη.....	109
Πίνακας 17: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m ²) ανά Κλιματική Ζώνη.....	110
Πίνακας 18: Διαχρονική Εξέλιξη των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Ψύξη (CDD) και Κατηγοριοποίηση των υπό μελέτη χωρικών ενοτήτων σε Κλιματικές Ζώνες (2019-2023)	112
Πίνακας 19: Διαχρονική Εξέλιξη των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Ψύξη (CDD) και της Ενεργειακής Κατανάλωσης υπό την επίδραση της ΑΘΝ στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019–2023).....	112
Πίνακας 20: Διαχρονική Εξέλιξη των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (HDD) και Κατηγοριοποίηση των υπό μελέτη χωρικών ενοτήτων σε Κλιματικές Ζώνες (2019-2023)	113
Πίνακας 21: Διαχρονική Εξέλιξη των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (HDD) και της Ενεργειακής Κατανάλωσης υπό την επίδραση της ΑΘΝ στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019–2023).....	113
Πίνακας 22: Εκτίμηση του τελικού κόστους θέρμανσης (€/kWh) με βάση την τιμή ενέργειας, την απόδοση και το ποσοστό χρήσης ανά πηγή θέρμανσης	115
Πίνακας 23: Εκτίμηση του οικονομικού κόστους που προκύπτει από την επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) στο σύνολο των υπό μελέτη περιοχών	120
Πίνακας 24: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών της έντασης της ΑΘΝ (SUHI) σε°C ανά Περιφερειακή Ενότητα για την περίοδο 2019–2023	123

Εισαγωγή

Τα αστικά τοπία τείνουν να αναδεικνύονται σε δυναμικά, συνεχώς εξελισσόμενα συστήματα. Αυτή η ιδιαιτερότητα απαιτεί νέου τύπου προσέγγιση των φαινομένων που συνδέονται με τα κλιματολογικά δεδομένα και τις περιβαλλοντικές προκλήσεις. Σε πολλές περιπτώσεις καθίσταται δύσκολο ακόμα και για επιστήμονες συναφών αντικειμένων να αναγνωρίσουν και να προσεγγίσουν τις αιτίες των κλιματικών διαφοροποιήσεων στο σύνολο του δομημένου περιβάλλοντος. Τα χαρακτηριστικά και τα αποτελέσματά τους διαφέρουν ανάλογα με τη χωρική κλίμακα εντοπισμού και την εποχή παρατήρησης (Abulibdeh, 2021).

Η παρατηρούμενη αύξηση της θερμοκρασίας της ατμόσφαιρας σε συνδυασμό με τη θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας συντελούν καθοριστικά στην κλιματική κρίση (Mustafa et al., 2020). Έως το 2050 αναμένεται ότι το 68% του παγκόσμιου πληθυσμού θα συγκεντρώνεται στις αστικές περιοχές, γεγονός που θα οδηγήσει στην εξάπλωση των δομημένων εκτάσεων κυρίως στην περίμετρο των σημερινών διοικητικών τους ορίων (United Nations, 2020). Σύμφωνα με την Παγκόσμια Τράπεζα, η έκταση των αστικών περιοχών των οποίων η πληθυσμιακή πυκνότητα ξεπερνάει τους 100.000 κατοίκους, έως το 2030, θα τριπλασιαστεί σε σχέση με τη σημερινή στις αναπτυσσόμενες χώρες ενώ στις αναπτυγμένες, ανεξαρτήτως πληθυσμιακής κατανομής, η έκταση θα διπλασιαστεί (Angel et al., 2005).

Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας σχετίζεται άμεσα με την κλιματική κρίση και τις περιβαλλοντικές μεταβολές. Οι αστικές περιοχές, άρχισαν να ξεπερνούν τις κρίσιμες βαθμίδες μεγέθους τόσο σε έκταση όσο και σε πληθυσμιακή πυκνότητα, με αποτέλεσμα να παρατηρείται συσσώρευση αστικής θερμότητας, εντατικοποιώντας την υπερθέρμανση του πλανήτη. Ως άμεση απόρροια διαπιστώνεται η αύξηση της θερμοκρασίας αλλά και η επιμήκυνση των περιόδων καύσωνα κυρίως κατά τη διάρκεια της ημέρας τους καλοκαιρινούς μήνες.

Η αντιμετώπιση της εγκλωβισμένης αστικής θερμότητας οδηγεί σε αυξημένη ζήτηση ηλεκτρικής ενέργειας για ψύξη, προκειμένου να εξασφαλιστεί ο κλιματισμός των κτιριακών αποθεμάτων και οι βέλτιστες δυνατές συνθήκες διαβίωσης και εργασίας, αυξάνοντας παράλληλα το ρυθμό με τον οποίο απελευθερώνονται τα αέρια του θερμοκηπίου στην ατμόσφαιρα. Το μεγαλύτερο πρόβλημα εντοπίζεται στις αναπτυσσόμενες χώρες, οι οποίες

δεν είναι σε θέση πάντοτε να καλύψουν την εν λόγω αύξηση ιδίως λόγω έλλειψης φυσικών πόρων, αντιμετωπίζοντας ζητήματα οικονομικής πίεσης (TERI, 2017). Εντοπίζεται έτσι, μια σταθερή σχέση, εντός του αστικού περιβάλλοντος, μεταξύ της αξιοποίησης των φυσικών πόρων για ενέργεια και αυξανόμενων αναγκών για ψύξη και θέρμανση. Η επίταση της σχέσης αυτής συνιστά απειλή για την οικονομική λειτουργία των αστικών κέντρων, θέτοντας σε δοκιμασία την ανθεκτικότητα των πόλεων. Το ζήτημα της αστικής ανθεκτικότητας αποτελεί έναν από τους 17 Στόχους Βιώσιμης Ανάπτυξης, όπως αυτοί διατυπώθηκαν από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών (Ο.Η.Ε.).

Κατά συνέπεια, γίνεται σαφές ότι η εφαρμογή στρατηγικών μείωσης της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας μπορεί να μειώσει τις επιπτώσεις από την κλιματική αλλαγή. Βασική προϋπόθεση γι' αυτό είναι η ενσωμάτωση ενεργειών που θα αφορούν στον αστικό σχεδιασμό, στη βελτίωση του μικροκλίματος εντός του δομημένου περιβάλλοντος και στον εντοπισμό του περιβαλλοντικού αποτυπώματος των ανθρώπινων δραστηριοτήτων καθιστώντας το ελάχιστο δυνατό.

Προκειμένου να υλοποιηθεί αυτό απαιτείται η εκτίμηση του ενεργειακού οικονομικού κόστους το οποίο προκύπτει από την ύπαρξη του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Κατά τη διαδικασία της έρευνας διατυπώθηκαν τα εξής ερευνητικά ερωτήματα:

1. Αν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας εμφανίζεται με τον ίδιο τρόπο ή την ίδια ένταση μεταξύ αστικών και περι-αστικών περιοχών και αν επηρεάζεται από την εποχή εμφάνισης (καλοκαίρι, φθινόπωρο, χειμώνας, άνοιξη)
2. Αν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας προσεγγίζεται θεωρητικά και πρακτικά με τεχνικές που αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία - πρότυπα
 - 2.1 Η εξέλιξη και η προσέγγιση του φαινομένου που περιγράφεται στη διεθνή βιβλιογραφία για το φαινόμενο σε σχέση με το αντίστοιχο της Ελλάδας σε ό,τι αφορά την μορφή, την ένταση και τη διαχρονικότητα αυτού στην Ελλάδα σε σχέση με την εμπειρία και τα παραδείγματα του εξωτερικού
 - 2.2 Αν οι ελληνικές πόλεις εμφανίζουν σημαντικές ιδιαιτερότητες και πως αυτές εξελίσσονται διαχρονικά; Ποιες είναι αυτές; Πώς το επηρεάζουν και ποιοι είναι οι παράγοντες που διαμορφώνουν την ένταση του φαινομένου στις υπό μελέτη περιοχές;
 - 2.3 Υπάρχει μοναδικότητα στις εμφανίσεις του φαινομένου; Πώς εντοπίζεται;

3. Ποσοτικοποίηση και βαθμονόμηση του φαινομένου – κωδικοποίηση. Η διαμόρφωση μοντέλου για τη διαχρονική μελέτη και τον εντοπισμό της έντασης της θερμικής νησίδας σε επιλεγμένες περιφερειακές ενότητες με προσαρμοσμένο κώδικα σε cloud πλατφόρμα

3.1 Ποια είναι η καταλληλότερη μεθοδολογία και ποιος ο τρόπος μέτρησης και ανάλυσης;

3.2 Υπάρχουν μοντέλα προσδιορισμού της αστικής θερμικής νησίδας; Και αν ναι, σε τι βαθμό δύνανται να αφομοιωθούν για την μελέτη του ελλαδικού χώρου;

4. Αν είναι επαρκής η μοντελοποίηση των συντελεστών κόστους, ώστε να εκτιμηθεί, σε νομισματικές μονάδες, το πάγιο κόστος της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Ποιοι συντελεστές συμβάλλουν στον προσδιορισμό του κόστους και πώς διαμορφώνεται η μεταξύ τους συσχέτιση;

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας και για την προσέγγιση των ερευνητικών στόχων, η παρούσα έρευνα οργανώθηκε ως εξής: Στην **πρώτη** ενότητα διαμορφώθηκε η θεωρητική βάση της έρευνας για την ανάλυση του φαινομένου της θερμικής νησίδας. Στη **δεύτερη** ενότητα παρουσιάστηκαν οι τεχνολογικές πλατφόρμες και οι μεθοδολογικές τεχνικές που χρησιμοποιήθηκαν, με ιδιαίτερη έμφαση στην πλατφόρμα Google Earth Engine (GEE) και στις δυνατότητές της για Επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων υψηλής ανάλυσης, καθώς και η βιβλιογραφική ανασκόπηση για την προσέγγιση του φαινομένου σε διεθνή κλίμακα.

Στην **τρίτη** ενότητα επιλέχθηκαν οι υπό μελέτη περιοχές, αναλύθηκαν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά τους με σκοπό την ανάλυση της θερμικής ανομοιογένειας με σκοπό την ενδοπεριφερειακή ανάλυση με την επιλογή κατάλληλων δεικτών. Στην **τέταρτη** ενότητα πραγματοποιήθηκε η εκτίμηση του ενεργειακού και οικονομικού κόστους που προκαλείται από το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, μέσω επιλογής των κατάλληλων δεικτών προσδιορισμού. Η παρουσίαση των αποτελεσμάτων της έρευνας και η σύνοψη των απαντήσεων στα ερευνητικά ερωτήματα γίνεται στην **πέμπτη** ενότητα, ενώ ακολουθεί η παράθεση της βιβλιογραφίας.

1 Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ)

1.1 Ορισμός & Έννοιες

Από το δεύτερο μισό του 20^{ου} αιώνα, η ταχεία αστικοποίηση των πόλεων σε συνδυασμό με την τεχνολογική εξέλιξη, την ανθρώπινη ευημερία και τη γενικότερη αύξηση του πληθυσμού συνδέθηκε άμεσα με την οικονομική ανάπτυξη και τη βιωσιμότητα των πόλεων (Filho et al., 2017). Η εντατικοποίηση του φαινομένου αποτέλεσε ίσως την πιο καθοριστική πρόκληση του 21^{ου} αιώνα σε παγκόσμιο επίπεδο. Επήλθαν δραματικές αλλαγές στις φυσικές καλύψεις γης, για να επιλυθούν ζητήματα σχετικά με την οικονομική ανάπτυξη των πόλεων και τις ανάγκες των κατοίκων (Rimal et al., 2018), γεγονός που οδήγησε στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα μεταξύ αστικού και περι-αστικού/ύπαιθρου χώρου. Η παρατηρούμενη θερμοκρασιακή απόκλιση κυμαίνεται μεταξύ 3,5°C – 4,5°C, ενώ σύμφωνα με τον Corburn (2009) η απόκλιση θα παρουσιάσει μοναδιαία αύξηση ανά δεκαετία.

Το φαινόμενο αυτό ορίζεται ως “Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ – Urban Heat Island)”, περιγράφει τις χωρικά εντοπισμένες κλιματολογικές αποκλίσεις της θερμοκρασίας¹ και παρατηρείται τόσο κατά τη διάρκεια της ημέρας όσο και της νύχτας κυρίως σε περιοχές των μεσαίων γεωγραφικών πλατών. Ωστόσο, η διαφορά της θερμοκρασίας είναι μεγαλύτερη κατά τις νυχτερινές ώρες σε σχέση με τις πρωινές και μεγαλύτερη κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου οι άνεμοι πνέουν ασθενείς (Eliasson, 1996). Η εξέλιξη του φαινομένου σχετίζεται με τα γεωμετρικά και πολεοδομικά χαρακτηριστικά (μέγεθος και πυκνότητα δόμησης, κατανομή χρήσεων γης) των αστικών περιοχών καθώς και με τις επικρατούσες περιβαλλοντικές κλιματικές συνθήκες (Oke, 1982).

Οι θερμικές νησίδες διακρίνονται σε 2 βασικές κατηγορίες, ανάλογα με την μέθοδο παρατήρησης και την προσπίπτουσα επιφάνεια στην οποία ανακλάται η ηλιακή ακτινοβολία. Η πρώτη κατηγορία αφορά στη θερμική νησίδα της γήινης επιφάνειας (Surface Heat Island – SHI). Είναι αποτέλεσμα υπολογισμού των θερμοκρασιών των επιφανειών εντός του

¹ Στο πλαίσιο της παρούσας διατριβής για την περιγραφή του όρου “Αστική/ές Θερμική/ές Νησίδα/ες”, θα χρησιμοποιείται το αρκτικόλεξο “ΑΘΝ”. Θα χρησιμοποιείται εκ περιτροπής και ο αγγλοσαξονικός όρος UHI (Urban Heat Island), με τον οποίο το φαινόμενο αναφέρεται στη διεθνή αρθρογραφία. Η συντομογραφία ΑΘΝ είναι η απόδοση στα ελληνικά του όρου UHI.

αστικού περιβάλλοντος σε σύγκριση με τις αντίστοιχες των περι-αστικών περιοχών και μελετάται κυρίως με τη χρήση μεθόδων και τεχνικών τηλεπισκόπησης. Η περαιτέρω έρευνα της θερμικής νησίδας της γήινης επιφάνειας είχε ως αποτέλεσμα την παρατήρηση θερμικών κηλίδων, γεωχωρικά εντοπισμένων εντός του αστικού περιβάλλοντος, οι οποίες περιγράφονται ως επιφανειακές ενδο - αστικές θερμικές νησίδες (Surface intra-UHI) (Martin et al., 2015). Οι επιφανειακές ενδο - αστικές θερμικές νησίδες είναι αποτέλεσμα συγκρίσεων των απόλυτων θερμοκρασιακών αποκλίσεων από τη μέση τιμή της θερμοκρασίας της υπό μελέτη επιφάνειας.

Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τις ατμοσφαιρικές θερμικές νησίδες που διακρίνονται στη Θερμική Νησίδα Οριακού Στρώματος (Boundary Layer Urban Heat Island - BLUHI) και στη Θερμική Νησίδα Αστικού Θόλου (Canopy Layer Urban Heat Island - CLUHI). Για τον ακριβή προσδιορισμό της ατμοσφαιρικής θερμικής νησίδας, τα επίπεδα της ατμόσφαιρας διακρίνονται σε χωρικές κλίμακες, όπου 1-100 μέτρα προσδιορίζουν την μικροκλίμακα, 1-10 χιλιόμετρα την τοπική κλίμακα και 10 χιλιόμετρα και άνω την μακροκλίμακα.

Η Θερμική Νησίδα Οριακού Στρώματος (BLUHI) επηρεάζεται από τις κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής και ξεκινάει από τις οριογραμμές των υψηλότερων επιφανειών των κτιρίων. Είναι χωρικά εντοπισμένη και εκτείνεται καθ' ύψος 1000 μέτρα από την υψηλότερη επιφάνεια του κτιρίου κατά τις νυχτερινές ώρες, ενώ κατά τη διάρκεια της ημέρας εντοπίζεται πλησίον των κτιριακών δομών. Η ένταση και η εξέλιξη του φαινομένου επηρεάζεται από την ταχύτητα του ανέμου, ενώ μεγιστοποιείται κατά τα χρονικά διαστήματα όπου οι άνεμοι πνέουν με μικρή ένταση και σε περιοχές με έντονη ανθρώπινη παραγωγική δραστηριότητα.

Η Θερμική Νησίδα Αστικού Θόλου (CLUHI) εντοπίζεται χωρικά στα όρια της κάθε γειτνίασης στο στρώμα του αέρα που μεσολαβεί μεταξύ της γήινης επιφάνειας και της οριογραμμής των ψηλότερων επιφανειών των κτιρίων. Μελετάται κυρίως με δεδομένα προερχόμενα από χωρικά εντοπισμένους μετεωρολογικούς σταθμούς ή in situ παρατηρήσεις με τις υψηλότερες θερμοκρασιακές αποκλίσεις να εντοπίζονται τα διαστήματα μετά τη δύση του ηλίου (W. Peng et al., 2022).

Η πρώτη ερευνητική εργασία για τον εντοπισμό και την ποσοτικοποίηση φαινομένων χωρικών ανισορροπιών στις θερμοκρασιακές κατανομές αφορούσε στην πόλη του Λονδίνου

(1818), ενώ χρονικά παρόμοιες μελέτες κίνησαν το ερευνητικό ενδιαφέρον από τις αρχές του 1830 (Mills, 2008). Η εργασία που αφορούσε στη λονδρέζικη πρωτεύουσα εκπονήθηκε από τον Luke Howards, ο οποίος διαπίστωσε θερμοκρασιακές διαφορές ανάμεσα στις αστικές και περι-αστικές περιοχές του Λονδίνου. Αποτέλεσε την πρώτη ολοκληρωμένη συστηματική αστική κλιματική μελέτη μέσω επίγειων οργάνων μέτρησης της θερμοκρασίας, η οποία προσέγγιζε τα αίτια δημιουργίας του φαινομένου της ΑΘΝ (Fernando, 2013).

Έκτοτε, διαπιστώθηκε αύξηση όχι μόνο της πληθυσμιακής πυκνότητας αλλά και της χωρικής έκτασής των αστικών κέντρων. Οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες που εντοπίζονταν εντός των διοικητικών τους ορίων είχαν αρχίσει να έχουν εμφανές θερμικό χωρικό αποτύπωμα, ανάλογο της ζήτησης και της κατανάλωσης ενέργειας που παρατηρούνταν σε αυτά (Shahmohamadi et al., 2011). Ακολούθησε μια σειρά ερευνητικών εργασιών σε ευρωπαϊκό επίπεδο για αρκετές πόλεις μεταξύ των οποίων συμπεριλαμβάνονταν το Παρίσι (1855, 1862, 1868), η Βιέννη (1917, 1929), ενώ στην Ελλάδα σχετικές έρευνες υλοποιήθηκαν κυρίως μετά τον 21^ο αιώνα (Αδαμαντία & Μιχαήλ, 2011). Στο μεγαλύτερο μέρος των έρευνών που έχουν υλοποιηθεί, οι παρατηρούμενες κατηγορίες αστικής θερμικής νησίδας διαφέρουν ανάλογα με τη μέθοδο, τα όργανα παρατήρησης και τους υπό διερεύνηση στόχους (π.χ. προσδιορισμός της έντασης του φαινομένου των ΑΘΝ, διερεύνηση πιθανών σημείων με αυξημένη θερμοκρασία εντός του δομημένου περιβάλλοντος κ.α.) (Sahu & Mukherjee, 2014).

1.2 Μέθοδοι Παρατήρησης των ΑΘΝ

Οι έρευνες που αφορούν στην προσέγγιση του φαινομένου των ΑΘΝ και στην κατηγοριοποίηση και βαθμονόμηση των ποσοτικών αποτελεσμάτων αυτού ακολουθεί δυο μεθοδολογίες, οι οποίες από το 1810 όπου παρατηρήθηκε το φαινόμενο για πρώτη φορά, εξελίχθηκαν, τροποποιήθηκαν και βελτιώθηκαν, ανάλογα με τις εκάστοτε απαιτήσεις και τα διαθέσιμα τεχνικά μέσα. Εμπειρικές διαπιστώσεις προερχόμενες από παρατηρήσεις και με χωρικό εντοπισμό του φαινομένου πρακτικά, παρουσιάζουν αποκλίσεις από τις μετέπειτα ποσοτικές προσεγγίσεις.

Σύμφωνα με τον Arnfield, (2003), η παρουσία του φαινομένου των ΑΘΝ μειώνεται σε περιόδους όπου παρατηρούνται υψηλή νέφωση, υψηλές τιμές του ανέμου στην κλίμακα μποφόρ, ενώ μεγιστοποιείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Αντιθέτως, τείνει να αυξάνεται σε αστικά περιβάλλοντα μεγάλης χωρικής έκτασης, με μεγάλη πληθυσμιακή πυκνότητα. Τα ως άνω συμπεράσματα ήρθαν σε αντίθεση με τα αποτελέσματα ποσοτικών προσεγγίσεων, όπου το φαινόμενο παρατηρήθηκε με ιδανικές καιρικές συνθήκες (Ripley et al., 1996) με τη μέγιστη ένταση να εντοπίζεται στον αγροτικό χώρο (Steinecke, 1999). Οι παρατηρούμενες διαφορές μεταξύ των προσεγγίσεων οφείλονται στην απουσία συσχέτισης στατιστικών παραμέτρων σύμφωνα με την εμπειρική μεθοδολογία.

Αναφορικά με τις ποσοτικές προσεγγίσεις, η πρώτη εξ' αυτών βασίζεται σε δεδομένα προερχόμενα από χωρικά εντοπισμένους μετεωρολογικούς σταθμούς, τοποθετημένους στα όρια αστικής – αγροτικής ζώνης και σε κοντινή χιλιομετρική απόσταση μεταξύ τους (Bottyan & Unger, 2003).

Πρόκειται για μετρήσεις τιμών της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας, οι οποίες επηρεάζονται από τις κλιματολογικές, μορφολογικές και λοιπές συνθήκες ανθρωπογενούς περιβάλλοντος (κίνηση οχημάτων και πεζών) της εκάστοτε περιοχής που μελετάται. Ενέχουν υψηλά κόστη εξοπλισμού και συντήρησης προκειμένου να εξασφαλίζεται η επανάληψη των μετρήσεων, σε σύντομα χρονικά διαστήματα, χωρίς να επιτρέπεται η ταυτόχρονη λήψη μετρήσεων σε πολλαπλά σημεία. Η διαχείριση των δεδομένων που συλλέγονται προϋποθέτει διευρυμένο δίκτυο απασχολούμενου προσωπικού, ενώ σε περίπτωση λήψης εκ νέου των δεδομένων, απαιτείται ο επαναπροσδιορισμός του δικτύου.

Η εν λόγω προσέγγιση με την εξέλιξη των τεχνολογικών μέσων βελτιώθηκε με τη δημιουργία δικτύου παρατηρήσεων εντός του αστικού ιστού, υποστηριζόμενο από αυτοκινούμενα οχήματα με σκοπό την ταχύτερη και πιο συχνή λήψη θερμοκρασιακών δεδομένων (Kotharkar et al., 2018). Τα αποτελέσματα των ερευνών όπως αυτά προκύπτουν χρησιμοποιούνται κατά κύριο λόγο για τον προσδιορισμό της έντασης και της χωρικής κατανομής του φαινομένου εντός του αστικού ιστού (P. A. Mirzaei & Haghighat, 2010).

Η δεύτερη ποσοτική προσέγγιση βασίζεται σε καταγραφές με δορυφορικά δεδομένα των εκπομπών του θερμικού φάσματος, για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας με διαφορετικές μεθοδολογικές προσεγγίσεις αφενός και σε δεδομένα προερχόμενα από μη επανδρωμένες αερομεταφερόμενες πλατφόρμες (UAV - Unmanned aerial vehicle) αφετέρου. Οι χρησιμοποιούμενες μέθοδοι τηλεπισκόπησης για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της εξέλιξης των ΑΘΝ βασίζονται σε δεδομένα χωρικής και χρονικής καταγραφής με ευρεία γεωγραφική κάλυψη και συνεχή χρονική διαθεσιμότητα. Ανάλογες έρευνες έχουν υλοποιηθεί για τη Βόρεια και Νότια Αμερική (Carneiro et al., 2021), (Litardo et al., 2020), (Hsu et al., 2021), την Ασία (Dewan et al., 2021), (Nandi & Dede, 2022), (Hassan et al., 2021), την Αυστραλία (Deilami et al., 2016), (Sharifi et al., 2015), την Αφρική (Simwanda et al., 2019), (X. Li, Stringer, et al., 2022), την Ευρώπη (Hoffmann et al., 2018), (Keramitsoglou et al., 2012) αλλά και μεγάλα αστικά κέντρα σε σύγκριση μεταξύ τους (S. Peng et al., 2012), (Wei et al., 2022).

Οι ανωτέρω μεθοδολογίες παρέχουν την οικονομικά και τεχνολογικά βέλτιστη λύση, επιτρέποντας την καταγραφή των διακυμάνσεων του φαινομένου (G. Wang et al., 2008), των μεταβολών του κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας (Nichol, 2005) αλλά και τον προσδιορισμό των υψηλότερων και χαμηλότερων θερμοκρασιών εντός του αστικού ιστού (Rasul et al., 2017). Η διαμόρφωση χρονοσειρών της θερμοκρασίας εδάφους αποτέλεσε συγκριτικό πλεονέκτημα για την παρακολούθηση των ΑΘΝ, κυρίως μετά την εξέλιξη της πλατφόρμας Google Earth Engine (de Almeida et al., 2021). Επίσης, οι χρονοσειρές συνέβαλαν στον ευκολότερο προσδιορισμό τοπικών κλιματικών ζωνών (LCA - Local Climate Zones) για τη συμπεριφορά των ΑΘΝ, σε μεγάλο πλήθος πόλεων (Bechtel et al., 2019). Έτσι εξασφαλίστηκε, για όσους δραστηριοποιούνται στο σχεδιασμό ή στις αναπλάσεις των αστικών περιοχών, η δυνατότητα να συμπεριλάβουν στα σχέδια τους,

κατευθύνσεις και μέτρα για τον μετριασμό των επιπτώσεων των ΑΘΝ και την αύξηση της ανθεκτικότητας των αστικών περιοχών.

Έτσι καθίσταται σαφές ότι η μελέτη του φαινομένου των ΑΘΝ έχει πάρει εκθετική διάσταση, με τις περισσότερες δημοσιεύσεις πλέον, να μην βασίζονται σε χωρικά εντοπισμένα δεδομένα στην Ευρώπη ή τις πλέον αναπτυγμένες τεχνολογικά περιοχές κυρίως λόγω του οικονομικού ενδιαφέροντος που παρουσιάζει το φαινόμενο. Το ερευνητικό ενδιαφέρον πηγάζει από το γεγονός ότι η λειτουργικότητα των πόλεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την οικονομική ζωή. Το φαινόμενο των ΑΘΝ έχει άμεσα οικονομικά αποτελέσματα, τα οποία επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των πόλεων και απαιτούν άμεση αντιμετώπιση και προσαρμογή.

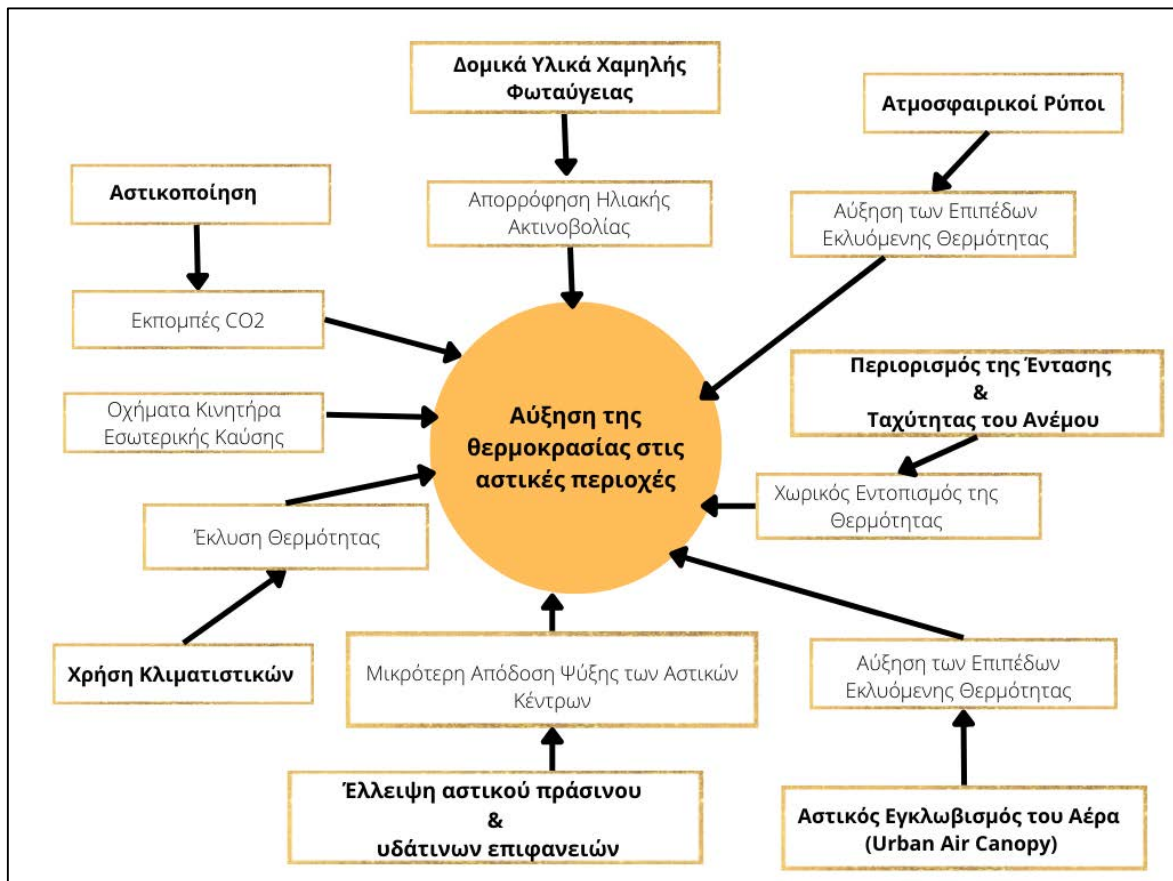
Ωστόσο, αξίζει να τονισθεί ότι οι χωρικά εντοπισμένες μετρήσεις συμπληρώνουν τα δεδομένα τηλεπισκόπησης, τα οποία είναι άμεσα συσχετισμένα με αυτές. Τα δορυφορικά δεδομένα σε αρκετές περιπτώσεις λόγω των τρισδιάστατων κτιριακών δομών και της μορφολογίας τους, αδυνατούν να καταγράψουν την θερμοκρασία των επιφανειών από την προσπίπτουσα ηλιακή ακτινοβολία, καθιστώντας αναγκαίες τις τοπικές μετρήσεις (P. A. Mirzaei & Haghighat, 2010).

Επιπλέον, η διόρθωση των σφαλμάτων των δορυφορικών δεδομένων, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνεται η ατμοσφαιρική διόρθωση ή η διόρθωση σφαλμάτων που οφείλονται στην τοπογραφία της εκάστοτε περιοχής, λειτουργούν σε ορισμένες περιπτώσεις μελέτης ανασταλτικά για τη χωροχρονική ανάλυση (Voogt & Oke, 2003).

1.3 Αίτια Εμφάνισης του Φαινομένου των ΑΘΝ

Οι ΑΘΝ αντιπροσωπεύουν κλιματολογικές θερμοκρασιακές αποκλίσεις του εδάφους πάνω από αστικές εκτάσεις σε σχέση με τον περιβάλλοντα αγροτικό χώρο. Οι αποκλίσεις αυτές προσεγγίζονται, μελετώνται και καταγράφονται συνήθως με χρήση τηλεπισκοπικών μέσων αλλά και χωρικά εντοπισμένων σταθμών μέτρησης της θερμοκρασίας (Susca & Pomponi, 2020).

Τα γενεσιουργά αίτια δημιουργίας και χωρικής διεύρυνσης των φαινομένων ΑΘΝ ποικίλουν, ενώ οι βασικότεροι παράγοντες σχετίζονται με τη συγκέντρωση του πληθυσμού στις πόλεις, τις ανθρωπογενείς εκπομπές θερμότητας, τις αδιαπέραστες καλύψεις επιφανειών εντός των πόλεων, αλλά και με άλλους παράγοντες όπως οι εποχιακές αλλαγές, η αστική σύνθεση, τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά και οι κοινωνικοοικονομικές δυναμικές (Derdouri et al., 2021).



Διάγραμμα 1: Τα γενεσιουργά αίτια δημιουργίας του φαινομένου των ΑΘΝ

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Η αστική γεωμετρία (πολεοδομικός σχεδιασμός) σε συνδυασμό με τις αναγκαιότητες που προκύπτουν από την αστικοποίηση συντέλεσε στην ταχύτατη εξάπλωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας σε παγκόσμια κλίμακα. Οι αναγκαιότητες δόμησης για τις ανάγκες της κατοικίας και της στέγασης επαγγελματικών χώρων περιόρισε τους ανοιχτούς χώρους πρασίνου (π.χ. πάρκα, πλατείες με δενδροφύτευση) με αποτέλεσμα να μειωθούν οι σκιασμένοι χώροι εντός του δομημένου περιβάλλοντος και να παρατηρείται αύξηση της ηλιακής προσπίπτουσας ακτινοβολίας στο έδαφος. Στις περιοχές αυτές έχει παρατηρηθεί να σημειώνονται θερμοκρασίες έως 88° C, έναντι των περιοχών όπου κυριαρχεί η βλάστηση και το υδάτινο στοιχείο και οι θερμοκρασίες φτάνουν έως τους 18° C (Vujovic et al., 2021).

Συγχρόνως, η απουσία πολεοδομικού σχεδιασμού στην οργάνωση και επέκταση των πόλεων αλλά και η κατασκευή κτιρίων μεγάλου ύψους μείωσε την προοπτική του ουρανού (J. Li & Donn, 2017)

και ενίσχυσε το φαινόμενο του αστικού φαραγγιού (urban canopy). Κατά τη διάρκεια του φαινομένου αυτού η προσπίπτουσα ακτινοβολία στα κτίρια δε δύναται να απεγκλωβιστεί λόγω των αλληπάλληλων κτιριακών επιφανειών που βρίσκονται σε κοντινές περιοχές, μη ακολουθώντας κάποιο γεωμετρικό κάναβο ως προς τη θέση τους. Η ταχύτητα του αέρα μεταξύ των κτιρίων μειώνεται με αποτέλεσμα να μειώνονται τα φυσικά επίπεδα ψύξης και να δεσμεύεται η θερμότητα από τις δομημένες επιφάνειες (Priyadarsini et al., 2008). Η ικανότητα των υλικών να δεσμεύουν τη θερμότητα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη θερμική αδράνεια και τις ιδιότητες που αυτά παρουσιάζουν. Με τον όρο θερμική αδράνεια νοείται η ικανότητα αντίστασης των δομικών υλικών σε οποιαδήποτε προσπάθεια θερμικής διαταραχής, η οποία οφείλεται στην ταχύτητα θέρμανσης ή ψύξης ενός υλικού στο περιβάλλον που βρίσκεται (Sidler, 2003).

Τα δομικά υλικά που χρησιμοποιούνται για τις ανθρωπογενείς κατασκευές (π.χ. οδικό δίκτυο, κτιριακό απόθεμα) παρουσιάζουν υψηλή θερμοχωρητικότητα, επιδρώντας στη χαμηλή ανακλαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας (χαμηλό albedo) και στη μείωση της εξατμισοδιαπνοής (Nuruzzaman, 2015). Ο προσδιορισμός του μέτρου της φωταύγειας (albedo) προκύπτει από την αναλογία της ανακλώμενης ηλιακής ενέργειας προς την προσπίπτουσα και εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διάταξη των ανακλώμενων επιφανειών (π.χ. δομικά υλικά, πεζοδρόμια, οδικό δίκτυο). Έτσι, επιδρά άμεσα στη

διαμόρφωση του αστικού μικροκλίματος μιας πόλης και επηρεάζεται από τον προσανατολισμό, την ετερογένεια και το χαρακτήρα της επιφάνειας των δομικών υλικών.

Αναφορικά με την ένταση του μέτρου, όσο χαμηλότερη είναι η τιμή της φωταύγειας στις αστικές περιοχές, τόσο περισσότερη θερμική ακτινοβολία αποθηκεύεται δημιουργώντας νέες συνθήκες αστικού μικροκλίματος (Bouyer et al., 2009). Συγχρόνως, οι συνθήκες αυτές εντατικοποιούνται από τη συνεχώς αυξανόμενη πληθυσμιακή πυκνότητα των πόλεων αλλά και την παραγωγή θερμότητας που οφείλεται στην κυκλοφορία των οχημάτων κινητήρα εσωτερικής καύσης και στη συχνή χρήση μέσων τεχνητού κλιματισμού κυρίως κατά τους θερινούς μήνες (Oke, 1982).

Οι παράγοντες δημιουργίας των ΑΘΝ δύνανται να διαχωρισθούν σε ελεγχόμενους και μη ελεγχόμενους ανάλογα με το βαθμό περιορισμού των επιπτώσεων αυτών. Περαιτέρω διάκριση γίνεται σε αυτούς που έχουν χαρακτήρα προσωρινής επίδρασης στο δομημένο περιβάλλον όπως η νεφοκάλυψη και η ταχύτητα του αέρα και σε αυτούς που έχουν μόνιμο χαρακτήρα όπως είναι τα υλικά δόμησης, οι χώροι πρασίνου, η ηλικιακή ακτινοβολία και οι ανθρωπογενείς εκπομπές θερμότητας (Ahmed Memon et al., 2008a).

Σύμφωνα με την παραπάνω ανάλυση, οι παράγοντες οι οποίοι αλληλεπιδρούν και συνδιαμορφώνουν την ένταση του φαινομένου των ΑΘΝ είναι πολλαπλοί και μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις κύριες κατηγορίες οι οποίες σχετίζονται με κοινωνικά, περιβαλλοντικά και τοπογραφικά χαρακτηριστικά (Πίνακας 1).

Πίνακας 1: Παράγοντες που επιδρούν στη δημιουργία ΑΘΝ με την ανάλογη βιβλιογραφική ανασκόπηση

Κατηγορία	Παράγοντας	Βιβλιογραφική αναφορά
Τοπογραφία - Μορφολογία	Χαρακτηριστικά επιφάνειας και υλικά δόμησης	(Doulos et al., 2004)
	Διαπνοή από κτίρια και υποδομές	(M. Mirzaei et al., 2020)
	Μετακινήσεις – Μέσα μεταφοράς	(Mohajerani et al., 2017)
	Διακοπή ροής αέρα ανάμεσα στα κτίρια - Τραχύτητα ανάγλυφου	(Stewart & Oke, 2012)
	Γεωμετρία των οικοδομικών τετραγώνων	(Harman & Belcher, 2006)
Κοινωνικοί & Οικονομικοί Παράγοντες	Σχετική αναλογία ύψους κτιρίων – πλάτους οδικού δικτύου	, (Y. Li et al., 2020) (Chen et al., 2012), (Takebayashi & Moriyama, 2012)
	Αναλογίες των κτηρίων	(Zhou et al., 2017a)
	Αλλαγή καλύψεων – χρήσεων γης	(Derdouri et al., 2021; Grossman-Clarke et al., 2010; Heusinkveld et al., 2014)
	Πράσινες Επιφάνειες – Ανοιχτοί χώροι – Πεζοδρόμια	(Chakraborty et al., 2021), (Ibrahim et al., 2018)
	Υδάτινες Επιφάνειες	(Gunawardena et al., 2017; Lai et al., 2019)
Περιβαλλοντικοί Παράγοντες	Θερμότητα προερχόμενη από ανθρωπογενείς δράσεις και χρήση ηλεκτρικών συσκευών	(Shahmohamadi et al., 2011)
	Πυκνότητα πληθυσμού	(Lee et al., 2020)
	Χρήσεις – Καλύψεις γης (Εμπόριο, βιομηχανία και κατοικία)	(Derdouri et al., 2021)
	Κλιματολογικές συνθήκες	(Ahmed Memon et al., 2008b; L. Zhao et al., 2014; Zhou et al., 2017b)
	Γεωγραφικά χαρακτηριστικά	(Miles & Esau, 2017)
	Απορρόφηση ακτινοβολίας μικρού και μεγάλου μήκους κύματος	(J. Li et al., 2020)

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία & ομαδοποίηση παραγόντων

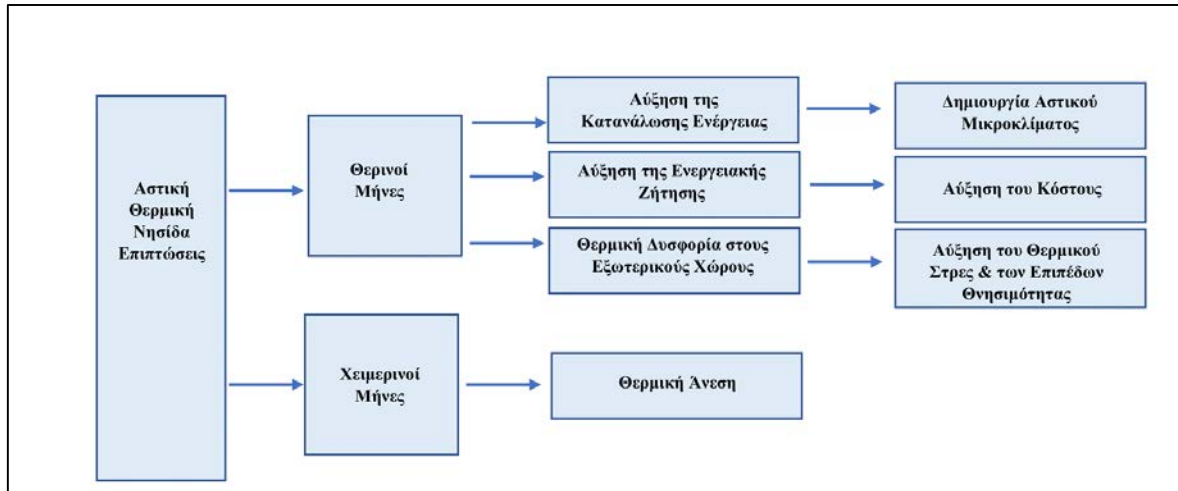
1.4 Επιπτώσεις & Θερμικά Αποτελέσματα των ΑΘΝ

Τα θερμικά αποτελέσματα των ΑΘΝ χαρακτηρίζονται ως επιμέρους προϊόντα, με κλιματολογικές επιδράσεις, στην αστική ανθρώπινη ανάπτυξη. Ο ακριβής προσδιορισμός των επιπτώσεων του φαινομένου των ΑΘΝ (UHIRIP – Urban Heat Island Regional Effects) εξαρτάται από την ένταση, τη χωρική κλίμακα εντοπισμού και την εποχή παρατήρησης αυτού (Nuruzzaman, 2015).

Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, ιδιαίτερα σε περιοχές με τροπικό κλίμα, παρατηρούνται υψηλές θερμοκρασίες, λόγω των ευνοϊκότερων συνθηκών, γεγονός που εντατικοποιεί τις επιπτώσεις του φαινομένου. Ως ευνοϊκές, χαρακτηρίζονται οι συνθήκες που εμπεριέχουν τη χαμηλή νέφωση, την υψηλή θέρμανση της γήινης επιφάνειας κατά τη διάρκεια της ημέρας και την ασθενή χαμηλή πίεση της κλίμακας μποφόρ προκαλώντας συγκέντρωση θερμών αέριων μαζών σε διάφορα τμήματα του αστικού ιστού. Οι συνθήκες αυτές συχνά συμπίπτουν με κύματα καύσωνα, όπου οι πληθυσμιακές ομάδες δέχονται τις επιπτώσεις του θερμικού φορτίου (Heaviside et al., 2017) με οικονομικές απώλειες και μειωμένη απόδοση στην εργασία. Σε ανάλογη έρευνα από τους Zander et al., (2015), σε ένα σύνολο 1.214 εργαζομένων, εκτιμήθηκε 35% μειωμένη απόδοση της παραγωγικότητας κατά το χρονικό διάστημα που ήταν εκτεθειμένοι στις υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος. Ανέφεραν, επίσης, πως ήταν λιγότερο παραγωγικοί για 10 μέρες του χρόνου -ημέρες με την υψηλότερη θερμοκρασία - παρά το γεγονός ότι εργάστηκαν 27 ώρες λιγότερο στην ίδια περίοδο.

Σύμφωνα με σχετική οδηγία της Αμερικάνικης Υπηρεσίας Περιβαλλοντικής Προστασίας (Environmental Protection Agency)², οι κυριότερες αρνητικές επιπτώσεις των ΑΘΝ είναι η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης για κλιματισμό, τα υψηλότερα επίπεδα όζοντος στα κατώτερα στρώματα της ατμόσφαιρας, η υποβάθμιση της δημόσιας υγείας και ποιότητας ζωής και η μείωση της διαθεσιμότητας καθώς και της ποιότητας του γλυκού νερού.

² (Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs, 2008)



Διάγραμμα 2: Οι επιπτώσεις του φαινομένου των ΑΘΝ τους θερινούς και χειμερινούς μήνες

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης για κλιματισμό ως απόρροια της αύξησης της θερμοκρασίας είναι υπεύθυνη για την αύξηση της κατανάλωσης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 5-10%, το οποίο συνεπάγεται οικονομικό κόστος πολλών δισεκατομμυρίων σε παγκόσμιο επίπεδο (Akbari et al., 2001).

Εξειδικεύοντας, αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας κατά 1° C συνεπάγεται με αύξηση της ενεργειακής ζήτησης σε ποσοστό 2-4% ιδίως τους καλοκαιρινούς μήνες σε ένα θερμοκρασιακό εύρος που ξεπερνάει τους 15-20° C και αύξηση της ενέργειας που καταναλώνεται κατά 5-10% (Akbari et al., 2001). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η περίπτωση της πόλης της Αθήνας, όπου για κάθε μονάδα ποσοστιαίας αύξησης της θερμοκρασίας διαπιστώθηκε αύξηση της ζήτησης ηλεκτρικής ενέργειας κατά 3-5% με τη συνολική θερμοκρασιακή μεταβολή να πλησιάζει τους 15° C στο ιστορικό κέντρο των Αθηνών. Στα προάστια αυτού, η θερμοκρασιακή μεταβολή εκτιμήθηκε σε ένα εύρος 2-6° C μικρότερο από την αντίστοιχη παρατηρούμενη στο κέντρο (Santamouris et al., 2001c) όπου εντοπίζονται δρόμοι έντονης αστικής κυκλοφορίας (Zoulia et al., 2009).

Η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης οδηγεί σε αύξηση των παγκόσμιων εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα (CO₂) (Akbari, 2005). Η παραγωγή ηλεκτρικής ενέργειας μέσω της καύσης ορυκτών πόρων απελευθερώνει στην ατμόσφαιρα διοξειδίου του θείου (SO₂), οξείδια του αζώτου (NO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO). Οι εκπομπές των αέριων ρύπων

υποβαθμίζουν την ποιότητα του αέρα και σε συνδυασμό με τις υψηλές θερμοκρασίες εγκλωβίζουν το όζον στην ατμόσφαιρα – στο επίπεδο του εδάφους – ενισχύοντας το αστικό νέφος (Jong, 2012) και την εμφάνιση όξινων μετεωρολογικών κατακρημνισμάτων, δηλαδή της όξινης βροχής.

Η όξινη βροχή δύναται να επηρεάσει την ανάπτυξη των οικοσυστημάτων μιας περιοχής αλλά και την ποιότητα του πόσιμου νερού, επειδή αυξάνεται η οξύτητά του καθιστώντας το επιβλαβές για την ανθρώπινη υγεία. Τα χερσαία φυτικά οικοσυστήματα πλήττονται είτε στο υπέργειο τμήμα τους είτε στο ριζικό, με αποτέλεσμα να επηρεάζεται η τροφή των φυτοφάγων ζωικών οργανισμών (Nazmi et al., 2012).

Κατά τους χειμερινούς μήνες οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις που παρατηρούνται είναι μικρότερες γεγονός που επηρεάζει σημαντικά τις συνθήκες άνεσης των ανθρώπων εντός των αστικών χώρων, μειώνοντας το ενεργειακό τους αποτύπωμα.

Με τον όρο θερμική άνεση περιγράφεται ο βαθμός προσαρμογής του εκάστοτε ατόμου στο θερμικό περιβάλλον το οποίο δραστηριοποιείται καθώς επίσης και ο βαθμός ικανοποίησης από τις συνθήκες που επικρατούν σε αυτό. Επηρεάζεται από ποικίλους παράγοντες, οι οποίοι διακρίνονται σε ατομικούς και περιβαλλοντικούς (Charmeg Building Technologies, 2017). Στους ατομικούς παράγοντες περιλαμβάνονται η ηλικία, η φυσική δραστηριότητα και λειτουργική ικανότητα του ατόμου, η κατάσταση της υγείας του και η προσαρμογή του στο φυσικό περιβάλλον (ρουχισμός). Τα άτομα της τρίτης ηλικίας εμφανίζουν μεγαλύτερη δυσκολία προσαρμογής στις υψηλές θερμοκρασίες κατά τους θερινούς μήνες με μεγαλύτερες ανάγκες δροσισμού, ενώ τις ίδιες δυσκολίες αντιμετωπίζουν και όσοι αθλούνται. Κατά την ώρα της άθλησης έχουν υψηλές θερμοκρασίες³ που επηρεάζουν το μεταβολισμό τους με αποτέλεσμα να προκαλούνται αφυδάτωση και καρδιακή δυσλειτουργία (αδυναμία, κόπωση, ζάλη), ιδιαίτερα τις περιόδους καύσωνα (Βελέντζα, 2019).

³ Η θερμική άνεση χαρακτηρίζεται ως “ανεκτή” από τον ανθρώπινο οργανισμό όταν η θερμότητα του ανθρώπινου σώματος δεν ξεπερνάει τα επίπεδα θερμότητας του περιβάλλοντος. Η θερμοκρασία του αέρα που επιτρέπει την θερμική άνεση του οργανισμού είναι μεταξύ 18° C και 22° C, υπό την προϋπόθεση η σχετική υγρασία να είναι μεταξύ 30% έως 60% και η ένταση του αέρα να μην ξεπερνάει τα 2 μ./δευτερόλεπτο (Τράπεζα της Ελλάδος, 2011).

Κατά τις περιόδους καύσωνα αυξάνεται το ποσοστό θνησιμότητας (Heaviside et al., 2016) (Brooke Anderson & Bell, 2011). Σύμφωνα με τους Goggins et al. (2018) σε αστικές περιοχές που εντοπίζεται το φαινόμενο της ΑΘΝ, για κάθε επιπλέον βαθμό Κελσίου (C) άνω των 29° C, το ποσοστό θνησιμότητας δύναται να αυξηθεί κατά 4,1%. Καθώς η συχνότητα εμφάνισης των περιόδων καύσωνα, ακολουθεί αυξητική πορεία εντός του ευρωπαϊκού χώρου, υπολογίζεται ότι αντίστοιχες τέτοιες περιόδους θα παρατηρούνται έως το 2040, κάθε 2 έτη με παρατεταμένη χρονική διάρκεια (Heaviside et al., 2016).

Επιπλέον, ως ευάλωτες ομάδες θεωρούνται οι κυοφορούσες των οποίων η καθημερινότητα επηρεάζεται αρνητικά από την περιβαλλοντική θερμότητα. Εξαιτίας της δημιουργούνται στρεσογόνες καταστάσεις, οι οποίες έχουν αντίκτυπο στην ανάπτυξη – εγκεφαλική λειτουργία του εμβρύου.

Στους περιβαλλοντικούς παράγοντες περιλαμβάνονται εκείνοι που σχετίζονται με τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, όπως η θερμοκρασία του αέρα, η ταχύτητα του ανέμου, η πίεση των υδρατμών και η μέση θερμοκρασία της ανακλώμενης ηλικιακής ακτινοβολίας. Οι εν λόγω παράγοντες επηρεάζονται σε μεγάλο βαθμό από τη γεωμετρία των πόλεων και δημιουργούν συνθήκες αστικού μικροκλίματος εντός του δομημένου περιβάλλοντος (Ανδρέου & Αξαρχή), (Ouali et al., 2018a).

Η μεταφορά θερμότητας μεταξύ αέρα και νερού είναι αμφίδρομη εντός του δομημένου περιβάλλοντος (Briciu et al., 2020). Η απορροή ομβρίων υδάτων στα δίκτυα και φρεάτια υδροσυλλογής, θερμοκρασιακά, επηρεάζεται από τα ύδατα που προέρχονται από τις στέγες των κατοικιών και το “ζεστό” πεζοδρόμιο. Η υδατόπτωση καθώς προσπίπτει σε θερμές επιφάνειες δύναται να αγγίζει τους 95 °F, ενώ το υδατικό σύνολο αυτής καταλήγει είτε στα δίκτυα υδροσυλλογής, αυξάνοντας τη θερμοκρασία εντός αυτών, είτε σε πηγές νερού επηρεάζοντας την υδρόβια ζωή και την τροφική ισορροπία της.

Τα ψάρια διαβιούν σε συγκεκριμένες θερμοκρασίες ύδατος, οι οποίες εάν ξεπεραστούν, επηρεάζονται τα επίπεδα οξυγόνου και δημιουργούνται συνθήκες ανισορροπίας (Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs, 2008).

Επίσης, η εντατικοποίηση του φαινομένου της αστικής νησίδας συνεπάγεται αύξηση της κατανάλωσης πόσιμου νερού τόσο για δροσισμό όσο και για άρδευση των πράσινων

εκτάσεων που εντοπίζονται στον αστικό χώρο. Το ζήτημα της διαχείρισης της βλάστησης των αστικών τοπίων έχει διττό χαρακτήρα. Σε περιοχές με εύκρατο κλίμα, όπου κυριαρχούν υψηλές θερμοκρασίες, παρατηρείται ταχύτατη ανάπτυξη της βλάστησης με παρατεταμένες περιόδους άνθησης. Αντιθέτως, σε περιοχές με τροπικό κλίμα όπου εντοπίζονται υψηλές θερμοκρασίες, άμεσα σχετιζόμενες με το φαινόμενο των ΑΘΝ, η ανάπτυξη των φυτικών συστημάτων σχετίζεται με την ευαισθησία της βλάστησης (Kabano et al., 2021). Γι' αυτό, οι πολεοδόμοι κατά την εκπόνηση στρατηγικών σχεδίων και μελετών, οφείλουν να αναπτύσσουν συγκεκριμένες κατευθύνσεις με στόχο τη βελτιστοποίηση των θετικών επιπτώσεων που προκύπτουν από τη βλάστηση, στον αστικό χώρο.

Στον Πίνακα 2 ομαδοποιούνται οι επιπτώσεις του φαινομένου των ΑΘΝ, ενώ επισημαίνεται και ο αντίκτυπός τους. Στην ομαδοποίηση περιέχονται όλες οι επιπτώσεις που εντοπίστηκαν στη βιβλιογραφική αναζήτηση. Η υλοποίηση αυτής έγινε με κριτήριο την ελάχιστη δυνατή αλληλεπίδραση μεταξύ των υποομάδων. Ωστόσο, σε ορισμένες περιπτώσεις ο διαχωρισμός είναι δύσκολος και κατά σύμβαση μόνο δυνατός. Για παράδειγμα, η δημόσια υγεία και η παραγωγικότητα στην εργασία είναι αυτονόητο πως αλληλεξαρτώνται ακόμα και αν στην παρούσα ομαδοποίηση δε συσχετίζονται. Επιπλέον, κατέστη σαφές ότι οι επιπτώσεις των ΑΘΝ συσσωρεύουν κόστη.

Τα κόστη είναι άμεσα και έμμεσα, βραχυπρόθεσμα και μακροπρόθεσμα. Οι αλλαγές που απαιτούνται στο αστικό τοπίο και στις υποδομές διακρίνονται σε δημόσιες και ιδιωτικές. Η προσαρμογή των μεθόδων μετριασμού απαιτεί ένα - σε πολλές περιπτώσεις - υψηλό κόστος που τόσο ως ιδιωτική όσο και ως δημόσια πρωτοβουλία δεν αποτελεί προτεραιότητα του υπερκείμενου σχεδιασμού.

Πίνακας 2: Ομαδοποίηση των επιπτώσεων του φαινομένου των ΑΘΝ

Κατηγορία	Επίπτώσεις	
	-	+
Κοινωνική Λειτουργικότητα	Μείωση παραγωγικότητας - απόδοσης στην εργασία Επιβάρυνση των συνθηκών διαβίωσης	
Δημόσια Υγεία	Αύξηση ποσοστού θνησιμότητας	Θερμική άνεση κατά τους χειμερινούς μήνες
	Αύξηση συχνότητας νοσηρότητας	
Φυσικοί Πόροι & Βλάστηση	Αύξηση ζήτησης νερού για δροσισμό και άρδευση	Ανάπτυξη του φυτικού κεφαλαίου σε περιοχές με εύκρατο κλίμα
	Επιβάρυνση ποιότητας νερού	
	Υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα	
	Υποβάθμιση της ποιότητας του εδάφους	
Ενέργεια	Αύξηση του κόστους συντήρησης του δικτύου υδροσυλλεκτών - Θερμοκρασιακή επιβάρυνση του δικτύου	
	Αύξηση ενεργειακής ζήτησης για κλιματισμό	
Υποδομές	Αύξηση της ζήτησης και του κόστους συντήρησης στις δημόσιες δομές	
	Συντήρηση χώρων πρασίνου - αναψυχής	
	Συντήρηση δημόσιων χώρων	

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία & ομαδοποίηση επιπτώσεων

1.5 Εφαρμογές Στρατηγικών Μείωσης της Έντασης του Φαινομένου των ΑΘΝ

Το αποτέλεσμα της εφαρμογής των στρατηγικών μετριασμού των ΑΘΝ δύναται να είναι χωρικά εντοπισμένο - άμεσο (π.χ. στα διοικητικά όρια μιας πόλης, σ' ένα κτίριο) ή έμμεσο σε μεγαλύτερη χωρική κλίμακα – παρουσιάζοντας μια αθροιστική δράση. Σύμφωνα με την Υπηρεσία Προστασίας Περιβάλλοντος (U.S. Environmental Protection Agency - EPA) των Ηνωμένων Πολιτειών⁴ για τον επιτυχή μετριασμό των επιπτώσεων των ΑΘΝ, οι κατευθύνσεις του σχεδιασμού, σε επίπεδο πόλης, θα πρέπει να περιλαμβάνουν αύξηση της φυτικής κάλυψης, πράσινες οροφές και αφομοίωση των υλικών χαμηλής φωταύγειας.

Το μέγεθος των ΑΘΝ σε συνδυασμό με το τοπικό κλίμα και το ποσοστό των κεντρικών επιφανειών πρασίνου που εντοπίζονται στο εκάστοτε αστικό κέντρο, αποδεικνύονται σημαντικοί παράγοντες στη διαμόρφωση των μέγιστων τιμών θερμοκρασίας επιφάνειας. Το υψηλό ποσοστό παρουσίας αστικού πρασίνου δημιουργεί συνθήκες σκίασης και δροσισμού εντός του δομημένου περιβάλλοντος εξασφαλίζοντας επιφάνειες με χαμηλή φωταύγεια και υψηλή απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας (Sailor, 2019). Εντούτοις έχει παρατηρηθεί ότι πόλεις με ψυχρότερο κλίμα και μεγαλύτερο ποσοστό αστικής βλάστησης επηρεάζονται περισσότερο, για κάθε πρόσθετη θερμοκρασιακή βαθμίδα, κατά τη διάρκεια των περιόδων καύσωνα. Οι πόλεις της βόρειας Ευρώπης με ψυχρότερο κλίμα, φαίνεται να είναι περισσότερο ευάλωτες στα κύματα καύσωνα, έναντι των πόλεων στις νοτιότερες περιοχές οι οποίες είναι καλύτερα προσαρμοσμένες (Ward et al., 2016).

Ο δροσισμός των δομημένων επιφανειών, επιτυγχάνεται μέσω της εξατμισοδιαπνοής, όπου τα φυτά αποβάλλουν νερό στην ατμόσφαιρα με τους υδρατμούς επιτυγχάνοντας άμβλυνση των υψηλών θερμοκρασιών του αέρα ιδιαίτερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Taha, 1997). Σύμφωνα με τους Lawrence et al. (1991), η εξατμισοδιαπνοή συμβάλλει στη διαμόρφωση θερμοκρασιακής διαφοράς μεταξύ πράσινων αστικών και περι-αστικών χώρων, η οποία κυμαίνεται μεταξύ 2 – 8°C.

Ως αστικό πράσινο νοείται το σύνολο της φυτικής κάλυψης που εντοπίζεται σε δώματα και στέγες κτιρίων, γνωστές ως πράσινες οροφές (green roofs). Η χρήση συμβατικών δομικών

⁴ (U.S. Environmental Protection Agency, 2008)

υλικών (π.χ. πλάκες σκυροδέματος, μεταλλικά φύλλα αλουμινίου) για την κατασκευή των επικλινών στεγάστρων των κτιρίων συνεπάγεται με απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και εκπομπή πλεονάζουσας θερμότητας στον ατμοσφαιρικό αέρα. Έτσι, για να μειωθεί το ενεργειακό αποτύπωμα των κτιριακών αποθεμάτων, τόσο σε επίπεδο ευρωπαϊκής όσο και σε επίπεδο εθνικής κλίμακας, προβλέφθηκαν στρατηγικές μετριασμού. Αυτές είναι σημειακά εντοπισμένες σε επίπεδο πόλης και επηρεάζουν άμεσα τη θερμική συμπεριφορά των κτιρίων. Μια εξ' αυτών είναι η προώθηση των πράσινων δωματίων, οι οποίες λειτουργούν ως θερμοκρασιακοί μονωτές, συμβάλλοντας παράλληλα στην μείωση του ενεργειακού κόστους (Hoverter, 2012).

Τα πράσινα δώματα αφομοιώνονται στην εκάστοτε υποδομή, χωρίς να καταλαμβάνουν πρόσθετη κάλυψη γης του αστικού χώρου (Gaffin et al., 2006). Εξασφαλίζουν τη σκίαση των στεγάστρων (Akbari, 2002), την ψύξη του ατμοσφαιρικού αέρα έως και 1,4°C (Bass et al., 2002) μέσω της εξατμισοδιαπνοής, μεταφέροντας λιγότερη θερμότητα στο εσωτερικό των κτιρίων, καθυστερούν την απορροή των όμβριων υδάτων και μετριάζουν σε σημαντικό βαθμό τις επιπτώσεις που προκύπτουν από την αστική θερμική νησίδα (Arabi et al., 2015). Τα οφέλη αυτά οδήγησαν στην ανάπτυξη νέων τεχνικών φυτικής κάλυψης καθ' ύψος των κτιρίων, γνωστές ως “κάθετοι κήποι” – jardins verticaux (INAU – Institut National d'Aménagement et d'Urbanisme, 2010).

Παράλληλα, η παρουσία του αστικού πρασίνου συνδέεται με τη διαμόρφωση συνθηκών θερμικής άνεσης, τη μείωση των επιπέδων ατμοσφαιρικής ρύπανσης (Tallis et al., 2011), την αποθήκευση του άνθρακα (Escobedo et al., 2010), τη βελτίωση της ανθεκτικότητας των πόλεων καθώς και των συνθηκών διαβίωσης (Dallimer, Irvine, et al., 2012; Dallimer, Rouquette, et al., 2012), ενώ βρίσκεται σε άμεση συσχέτιση με το υδάτινο και το ατμοσφαιρικό στοιχείο.

Η κίνηση του ατμοσφαιρικού αέρα, σε συνδυασμό με την κατάλληλη επιλογή βλάστησης και την εποχή φύτευσης, εντός του δομημένου περιβάλλοντος, αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες του μικροκλίματος, οι οποίοι πρέπει να λαμβάνονται υπόψη σε αναπλάσεις δημόσιου χώρου και σε προσπάθειες δημιουργίας υπαίθριου αστικού πρασίνου (Ouali et al., 2018b). Σύμφωνα με προσομοιώσεις που υλοποιήθηκαν για την Αλγερία κατέστη σαφές ότι η γεωμετρία του αστικού χώρου και των κτιριακών αποθεμάτων επηρεάζει την κίνηση του

αέρα εντός του αστικού ιστού καθώς και τον δροσισμό του. Ο πολεοδομικός ιστός, σε περιοχές με μεγάλο υψόμετρο και κλιματολογικές συνθήκες που περιλαμβάνουν υψηλή υγρασία και υψηλές τιμές της κλίμακας μποφόρ, θα πρέπει να ακολουθεί κανονικοποιημένο σύστημα ανάπτυξης⁵ έναντι των περιοχών με χαμηλό υψόμετρο (Khaled, 2013).

Η φύτευση φυλλοβόλων δέντρων πλησίον των κτιριακών αποθεμάτων, ιδίως στο δυτικό τμήμα αυτών, αποτελεί ιδανική στρατηγική ψύξης εφόσον επιτυγχάνεται σκίαση των παραθύρων αλλά και ενός τμήματος της στέγης. Έχει παρατηρηθεί, ότι η σκίαση, τόσο στην ανατολική όσο και στη νότια πλευρά των κτιρίων μετριάζει τις ανάγκες ψύξης και κλιματισμού (Simpson & E.G. McPherson, 2001).

Κατά τους χειμερινούς μήνες, περιοχές όπου η βλάστηση αποτελείται από υψηλά δέντρα εμφανίζουν χαμηλή πίεση της κλίμακας μποφόρ. Ο αέρας εγκλωβίζεται μεταξύ των κτιριακών αποθεμάτων, με αποτέλεσμα να διατηρούνται θερμοκρασίες σε υψηλά για την εποχή επίπεδα και να μειώνονται τα κόστη που συνδέονται με την κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση. Ωστόσο, κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, τέτοιου είδους φύτευση δε συμβάλλει στη σκίαση των δομημένων επιφανειών ιδίως όταν ο ήλιος βρίσκεται ψηλά.

Ανάλογες παρατηρήσεις μπορούν να φανούν αρκετά χρήσιμες στους πολεοδόμους και στους τεχνοκράτες που είναι επιφορτισμένοι με το σχεδιασμό ή τις αναπλάσεις αστικών κέντρων και περιλαμβάνουν στα σχέδια τους την ανάσχεση των αποτελεσμάτων των ΑΘΝ και την αύξηση της ανθεκτικότητας των αστικών περιοχών. Ως εκ τούτου, οι προτεινόμενες παρεμβάσεις θα πρέπει να περιλαμβάνουν και ενέργειες αφομοίωσης των ψυχρών υλικών εντός του αστικού ιστού αλλά και στην προώθηση της πράσινης κινητικότητας.

Σύμφωνα με τους Battista et al. (2020), η αξιοποίηση ψυχρών υλικών για την κάλυψη των πεζοδρομίων μειώνουν την ημερήσια θερμοκρασία κατά 0,22°C. Η αντικατάσταση των δομημένων επιφανειών με υλικά υψηλής ανακλαστικότητας (προσπίπτουσα προς ανακλώμενη ακτινοβολία > 80 %) αποτελεί την πιο αποτελεσματική μέθοδο μετριασμού

⁵ Ως κανονικοποιημένο σύστημα ανάπτυξης του πολεοδομικού ιστού νοείται ο αστικός ιστός του οποίου τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά (γεωμετρία οικοδομικών τετραγώνων, πλάτος, προσανατολισμός) αναπτύσσονται βάσει κανάβου και δεν εμφανίζουν ακρότητες ως προς το σχεδιασμό

των επιπτώσεων των ΑΘΝ, η οποία, ωστόσο, εξαρτάται άμεσα από την ιδιωτική πρωτοβουλία (Sen et al., 2019). Σε συνδυασμό με ενέργειες που θέτουν σε προτεραιότητα φιλικούς για το περιβάλλον τρόπους μετακίνησης, όπως η ηλεκτροκίνηση, μπορούν να μειώσουν τις αυξημένες θερμοκρασίες της ατμόσφαιρας εντός του αστικού περιβάλλοντος. Τα οχήματα κινητήρα εσωτερικής καύσης εκλύουν στην ατμόσφαιρα περί το 60% του καιόμενου καύσιμου υπό μορφή θερμότητας (WSP USA, 2019). Στο Πεκίνο παρατηρήθηκε ότι η εκλυόμενη θερμότητα από τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα αντιστοιχεί σε ποσοστό 19,8 % της συνολικής. Σε περίπτωση αντικατάστασης του μεγαλύτερου ποσοστού των συμβατικών αυτοκινήτων από ηλεκτροκίνητα, η μείωση της θερμοκρασίας εντός του αστικού ιστού θα έφτανε τους 0,9° C (C. Li et al., 2015).

Η διαμόρφωση στρατηγικών μετριασμού της θερμοκρασιακής αύξησης σε επίπεδο πόλης, αποτελεί ένα πολυδιάστατο ζήτημα, το οποίο επηρεάζει την ανθεκτικότητα των αστικών κέντρων και μπορεί να οδηγήσει σε απώλειες οικονομικού χαρακτήρα. Η ανθεκτικότητα των πόλεων ορίζεται ως η ικανότητα αυτών να προβλέπουν, να αντιμετωπίζουν και να αφομοιώνουν προκλήσεις του παρόντος αλλά και να προετοιμάζονται για τις μελλοντικές. Οι προκλήσεις σχετίζονται με το ζήτημα της αστικοποίησης, της βιωσιμότητας, της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή αλλά και με κάθε προσπάθεια περιβαλλοντικής υποβάθμισης (ICLEI, 2019). Για το λόγο αυτό επιδιώκεται μια ενεργειακή μετάβαση σε τεχνολογίες με χαμηλό περιβαλλοντικό αποτύπωμα και χαμηλό κόστος παραγωγής για τον καταναλωτή, όπως οι ανανεώσιμες πηγές ενέργειας ηλιακή και αιολική, αλλά και η μετάβαση στην ηλεκτροκίνηση.

Η ηλιακή ενέργεια εξασφαλίζεται μέσω των ηλιακών συλλεκτών και δύναται να χρησιμοποιηθεί είτε για ενεργειακή αυτονομία των κτιριακών όγκων είτε για τη θερμότητα και την παροχή ζεστού νερού. Έτσι δημιουργούνται, νέες συνθήκες αστικού μικροκλίματος οι οποίες επηρεάζουν το ενεργειακό ισοζύγιο μεταξύ ατμόσφαιρας και κτιρίων, με μειωμένα επίπεδα εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και μικρότερη ενεργειακή εξάρτηση από τα ορυκτά καύσιμα. Σύμφωνα με τους Masson et al. (2014), η ύπαρξη ηλιακών συλλεκτών εντός του αστικού περιβάλλοντος έχει διττό χαρακτήρα. Η σκίαση των ανώτατων επιπέδων των κτιρίων αυξάνει την ανάγκη για οικιακή θέρμανση κατά 3% τους χειμερινούς μήνες. Το καλοκαίρι, όμως, μειώνεται η ενέργεια που απαιτείται για κλιματισμό κατά 12%, καθώς

επίσης και η θερμοκρασία που οφείλεται στο φαινόμενο των ΑΘΝ. Κατά τη διάρκεια της ημέρας έχει παρατηρηθεί μείωση της θερμοκρασίας κατά $0,2^{\circ}\text{K}$ και έως $0,3^{\circ}\text{K}$ τη νύχτα. Αναδύεται έτσι ως ευκαιρία η ανάγκη αφομοίωσης εναλλακτικών μορφών ενέργειας σε στρατηγικές μετριασμού των επιπτώσεων των ΑΘΝ.

1.6 Ανασκόπηση του Φαινομένου των ΑΘΝ στην Ελλάδα

Οι μέχρι τούδε έρευνες επικεντρώνονται στα μεγάλα αστικά κέντρα, και κυρίως στην Αθήνα, η οποία διακρίνεται για την έντονη παρουσία της ΑΘΝ λόγω της εντατικής εκβιομηχάνισης και της αστικοποίησης. Αυτές βασίζονται σε δεδομένα θερμοκρασίας αέρα προερχόμενα, είτε από χωρικά εντοπισμένους ή από κινητούς μετεωρολογικούς σταθμούς σε διάφορες χρονικές περιόδους. Σύμφωνα με τους Santamouris et al.(2001), διαπιστώθηκε ότι το φαινόμενο εκδηλώνεται τόσο κατά τους χειμερινούς όσο και κατά τους θερινούς μήνες, ενώ η θερμοκρασιακή απόκλιση μεταξύ του κέντρου της Αθήνας και των περι-αστικών περιοχών κυμαίνεται από 6° έως 12°C.

Χαρακτηριστικά των περιοχών του κέντρου είναι η πυκνή χωρικά παρουσία του δομημένου περιβάλλοντος και η έντονη αστική κυκλοφορία, γεγονότα που εκλύουν υψηλές ποσότητες θερμότητας και οδηγούν σε υψηλή ζήτηση σε ψύξη με επιπρόσθετο περιβαλλοντικό και οικονομικό κόστος. Η ένταση του φαινομένου τείνει να μειώνεται σε περιοχές με υψηλή και πυκνή βλάστηση, όπως ο Εθνικός Κήπος (Livada et al., 2002). Ανάλογη εικόνα με το κέντρο Αθήνας παρουσιάζουν περιοχές που βρίσκονται στο δυτικό τμήμα της πόλης, όπου η θερμοκρασιακή απόκλιση εντοπίζεται στους 5°C με εμφανές ποσοτικό οικολογικό αποτύπωμα (Santamouris et al., 2007), ενώ τόσο η μέση και περισσότερο η μέγιστη θερμοκρασία του αέρα ξεπερνάει τους 30°C τους θερινούς μήνες (Giannopoulou et al., 2011).

Αντίστοιχες έρευνες έχουν υλοποιηθεί για αρκετές αστικές περιοχές στην ηπειρωτική Ελλάδα και στο παράκτιο μέτωπο της χώρας. Στην πόλη του Βόλου, η οποία διακρίνεται για την κεντροβαρική της θέση και εντοπίζεται στον μυχό του Παγασητικού Κόλπου, παρατηρήθηκε ότι η ένταση του φαινομένου των ΑΘΝ οξύνεται κυρίως μετά το πέρας της δύσης του ήλιου, ενώ οι παρατηρούμενες θερμοκρασιακές αποκλίσεις μεταξύ αστικού και περι-αστικού χώρου κυμαίνονται σ' ένα εύρος 3°-3,5°C τόσο κατά τους χειμερινούς όσο και τους θερινούς μήνες (Papanastasiou & Kittas, 2012).

Αντιθέτως, στην πόλη των Χανίων, παρά το γεγονός ότι η μέγιστη θερμοκρασιακή απόκλιση αστικού και περι-αστικού χώρου φτάνει έως και τους 8°C, παρατηρήθηκε ότι η γεωμετρική ανάπτυξη του πολεοδομικού ιστού, επιτρέπει την κίνηση του αέρα, μειώνοντας σημαντικά

τα επίπεδα εγκλωβισμένης θερμότητας (Kolokotsa et al., 2009). Η κίνηση του αέρα εντός του δομημένου περιβάλλοντος επηρεάζει την ένταση της αστικής θερμικής νησίδας και στην πόλη της Θεσσαλονίκης, όπου το φαινόμενο εντατικοποιείται κυρίως κατά τις νυχτερινές ώρες και ελαχιστοποιείται κατά τα χρονικά διαστήματα με την μέγιστη ηλιακή ακτινοβολία (Giannaros & Melas, 2012).

Παρόμοια εικόνα παρουσιάζει η εξέλιξη της έντασης του φαινομένου στην πόλη της Καλαμάτας, όπου οι μέγιστες θερμοκρασιακές αποκλίσεις εντοπίζονται κυρίως κατά τις νυχτερινές και τις πρώτες πρωινές ώρες (Kyriakopoulos et al., 2022). Στην πόλη του Αγρινίου η μέγιστη ένταση του φαινομένου των ΑΘΝ εντοπίζεται τις νυχτερινές ώρες πλησίον της κεντρικής πλατείας της πόλης, προσεγγίζοντας θερμοκρασιακή απόκλιση με τις περι-αστικές περιοχές $3,8^{\circ}\text{C}$, η οποία κατά τον μήνα Αύγουστο φτάνει έως και τους $5,6^{\circ}\text{C}$ (Vardoulakis et al., 2013).

Στο πλαίσιο συγκριτικής μελέτης με δορυφορικά δεδομένα Landsat-7 ETM που αφορούσε στις μεγαλύτερες αστικές περιοχές (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Βόλος), με βάση την πληθυσμιακή κατανομή, διαπιστώθηκε ότι το σύνολο αυτών εμφανίζει υψηλές θερμοκρασίες σε περιοχές με μεικτές χρήσεις γης (κατοικία, εμπορική και βιομηχανική δραστηριότητα όπου δεν υπάρχει σαφής οριοθέτηση). Στις εν λόγω περιοχές η αύξηση της θερμοκρασίας οφείλεται στην υψηλή παραγωγική δραστηριότητα και τη συγκέντρωση δομημένων επιφανειών.

Εξειδικεύοντας, οι παρατηρούμενες υψηλές θερμοκρασίες περιβάλλοντος στην Αθήνα εντοπίστηκαν, στα νοτιοδυτικά προάστια, σε περιοχές όπως η Πετρούπολη και η Νίκαια, στο κέντρο της Αθήνας αλλά και πλησίον των εγκαταστάσεων χωροθέτησης του Διεθνούς Αεροδρομίου του Ελληνικού. Αντίθετα, περιοχές όπως η Κηφισιά και το Χαλάνδρι διακρίνονται για την υψηλή παρουσία βλάστησης και την αραιή δόμηση.

Στην πόλη της Θεσσαλονίκης η εξέλιξη του θερμικού μοτίβου και των θερμοκρασιακών αποκλίσεων ακολουθεί την διάταξη του αστικού ιστού. Υψηλότερες θερμοκρασίες εντοπίζονται κατά μήκος του παράκτιου μετώπου αλλά και εντός του αστικού κέντρου, ενώ χαμηλότερες στις περι-αστικές περιοχές όπως η Σταυρούπολη, Πολίχνη, Τριανδρία και Πυλαία, όπου εντοπίζεται συγκέντρωση αστικού πρασίνου.

Αντίστοιχη εικόνα εντοπίζεται στην πόλη της Πάτρας, όπου υψηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται στις περιοχές του αστικού κέντρου αλλά και στη βιομηχανική περιοχή μεταξύ των προαστίων του Ρίου και του Αγίου Βασιλείου, με θερμοκρασιακές αποκλίσεις από τις περι-αστικές περιοχές, που κυμαίνονται μεταξύ 1,5-4°C. Οι παράκτιες πόλεις του Βόλου και του Ηρακλείου παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες εντός των αστικών κέντρων, ενώ οι περιοχές γύρω από το Διεθνή Αερολιμένα Ηρακλείου είναι θερμότερες έως και 7°C σε σχέση με τον αντίστοιχο αστικό και υπαιθρο χώρο (Stathopoulou & Cartalis, 2007).

Συμπερασματικά γίνεται σαφές ότι οι θερμοκρασιακές αποκλίσεις στο αστικό κέντρο της Αθήνας παρουσιάζουν διακυμάνσεις ανάλογα με το θερμικό φορτίο, την περιοχή και την περίοδο παρατήρησης, ενώ στο σύνολο των υπό μελέτη περιοχών διαπιστώνεται αύξηση της ενεργειακής κατανάλωσης για δροσισμό και θέρμανση, μειώνοντας το συντελεστή απόδοσης των συστημάτων ψύξης έως και 25%. Στις περιοχές με μεικτές χρήσεις γης και κυρίως σε εκείνες που συγκεντρώνεται η βιομηχανική δραστηριότητα, εντοπίζονται υψηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες είναι μεγαλύτερης έντασης από τις περι-αστικές περιοχές αλλά και από το δομημένο αστικό χώρο, ο οποίος είναι θερμότερος σε σχέση με τον υπαιθρο-αγροτικό (Paravantis et al., 2015).

Οι μελέτες που έχουν εκπονηθεί στο σύνολο τους, βασίζονται σε δεδομένα προερχόμενα από χωρικά εντοπισμένους σταθμούς, ενώ η έρευνα με δορυφορικά δεδομένα είναι περιορισμένης έκτασης. Εντούτοις, σε πρόσφατη έρευνα (Kalogeropoulos et al., 2022) που υλοποιήθηκε για την πόλη της Ξάνθης συσχετίστηκαν δεδομένα in-situ παρατηρήσεων με δορυφορικά δεδομένα MODIS. Η έρευνα υλοποιήθηκε κατά τους καλοκαιρινούς μήνες με σκοπό να προσδιορίσει την ένταση του φαινομένου της θερμικής νησίδας στο επίπεδο της γήινης επιφάνειας (SUHI) και σε επίπεδο αστικού θόλου (CUHI). Τα αποτελέσματα της έρευνας έδειξαν ότι στην ευρύτερη περιοχή της Ξάνθης παρατηρούνται υψηλές τιμές θερμοκρασίας αέρα, χαμηλή υγρασία και χαμηλές τιμές της κλίμακας μποφόρ. Η μέγιστη θερμοκρασιακή απόκλιση μεταξύ του αστικού κέντρου και των περι-αστικών περιοχών εντοπίστηκε στους 4°C, ενώ το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας εντατικοποιείται κυρίως κατά τις πρωινές και απογευματινές ώρες. Βασικοί παράγοντες ενίσχυσης του

φαινομένου αποτελούν η απουσία αστικού πρασίνου καθώς και τα μορφολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Αναφορικά με την μέθοδο παρατήρησης και τον προσδιορισμού του φαινομένου φάνηκε να υπάρχει συσχέτιση των δορυφορικών δεδομένων MODIS (1000 μέτρα χωρική ανάλυση) με τα αντίστοιχα δεδομένα από τους μετεωρολογικούς σταθμούς (10 μέτρα από την γήινη επιφάνεια). Η χαμηλή χωρική ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων έπαιξε σημαντικό ρόλο στην ποσοτικοποίηση των χαμηλών θερμοκρασιών. Η έρευνα διαμόρφωσε μοντέλο πρόβλεψης των συνθηκών θερμικής άνεσης για το πολεοδομικό κέντρο της Ξάνθης, η οποία σε μεγάλο βαθμό επηρεάζεται από τις παρατηρούμενες κλιματικές συνθήκες.

2 Λογισμικά, Υλισμικά και Ανθρώπινο Δυναμικό στην Ανάλυση Γεωχωρικών Δεδομένων

2.1 Σύγχρονες Τάσεις στον Τομέα των Γεωχωρικών Δεδομένων

Κατά την τελευταία δεκαετία, ο μεγάλος όγκος δεδομένων Τηλεπισκόπησης διαμόρφωσε νέες ανάγκες για την αποθήκευση, ανάλυση και Επεξεργασία αυτών έναντι των κλασσικών μεθόδων παρατήρησης της γήινης επιφάνειας (Narain et al., 2013). Ο μεγάλος όγκος δεδομένων Τηλεπισκόπησης σχετίζεται κυρίως με δεδομένα προερχόμενα από δορυφορικά συστήματα (διαστημική πλατφόρμα), τα οποία αποτελούν το μέσο για την παρακολούθηση της γήινης επιφάνειας και των μεταβολών της. Το σύνολο αυτών παρουσιάζει χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται με τη δυναμική, την ποικιλία, την ετερογένεια, την ταχύτητα μετάδοσης και την άμεση αφομοίωση της πληροφορίας που παρέχουν (L. Wang et al., 2019).

Έως το 2021, οι διαστημικές πλατφόρμες ανέρχονταν συνολικά σε 4.550 συλλέγοντας γεωχωρικές πληροφορίες για το σύνολο του πλανήτη σε συνεχή χρονική ροή. Το σύνολο αυτών προορίζεται για ποικίλους σκοπούς, μεταξύ των οποίων οι τηλεπικοινωνίες και το διαδίκτυο, η παρατήρηση της γης, η ανάπτυξη τεχνολογικών εργαλείων, ο γεωχωρικός εντοπισμός σε συνδυασμό με την πλοήγηση σε παγκόσμιο επίπεδο και η διερεύνηση των επιστημονικών πεδίων που σχετίζονται με την παρατήρηση και μελέτη του σύμπαντος. Σε ποσοστιαία κατανομή το 63% των διαστημικών πλατφορμών αφορά στις τηλεπικοινωνίες, το 22,1% στην παρατήρηση της γήινης επιφάνειας, το 7,8% στην ανάπτυξη νέων τεχνολογικών εργαλείων, το 3,6% στη διαμόρφωση συστημάτων πλοήγησης και γεωχωρικού εντοπισμού, ενώ το 3,5% σχετίζεται με τη διαστημική επιστήμη⁶.

Η διαχείριση των δεδομένων αυτών συνίσταται στον τρόπο διάθεσής τους προς το ευρύ κοινό. Το διαδίκτυο (Internet) και η διάθεση δεδομένων τεράστιου όγκου μέσω υπολογιστικού νέφους (Cloud Computing) αποτελέσαν δυο ικανά τεχνολογικά εξελισσόμενα μέσα διάθεσης, τα οποία επηρέασαν τη διάθεση των γεωχωρικών δεδομένων στο σύνολο τους (Q. Zhao et al., 2022). Το 2019 η Εθνική Διοίκηση Υπηρεσία Αεροναυτικής

⁶ <https://dewesoft.com/daq/every-satellite-orbiting-earth-and-who-owns-them>

και Διαστήματος των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (NASA - National Aeronautics and Space Administration) μέσω της Υπηρεσίας Παρατήρησης Γης και Πληροφοριακών Συστημάτων (EOSDIS - Earth Observing System Data and Information System) διαμόρφωσε πλατφόρμα νέφους γεωχωρικών δεδομένων (Earthdata Cloud), προκειμένου να διαχειριστεί τα δεδομένα που το 2021 ξεπερνούσαν τα 59 PB. Ο όγκος των γεωχωρικών δεδομένων τείνει να ακολουθεί συνεχώς αυξανόμενη πορεία, δεδομένου ότι υπολογίζεται ότι το 2023 θα ανέρχεται σε 148 PB, 205 PB το 2024, και 250 PB το 2025 ⁷.

Υπό αυτό το πρίσμα διαμορφώθηκαν νέες τάσεις στον τομέα της γεωχωρικής πληροφορίας, οι οποίες επικεντρώνονται στη δημιουργία νέων μοντέλων, προσεγγίσεων και πλατφορμών Επεξεργασίας και οι οποίες είναι συγχρόνως οικονομικά αποδοτικές, λιγότερο χρονοβόρες και επιτρέπουν την αξιοποίηση δεδομένων από πολλαπλά δορυφορικά συστήματα για τον εντοπισμό διαχρονικών μεταβολών (McDOUGALL & Koswate, 2018), (Gkatzioura et al., 2019). Οι πιο δημοφιλείς πλατφόρμες Επεξεργασίας σε υπολογιστικό νέφος είναι το Google Earth Engine (GEE), Amazon Web Services (AWS), Microsoft Azure, NASA Earth Exchange (NEX), Sentinel Hub (SH), Open Data Cube (ODC).

Η συνεχής ροή δορυφορικών δεδομένων, η οποία έχει επιτευχθεί σε μεγάλο βαθμό λόγω του μεγάλου αριθμού διαστημικών πλατφορμών, συνέβαλε σημαντικά στην άμεση απόκτηση και διάθεση. Ως άμεση απόρροια πλέον, εξασφαλίστηκε η δυνατότητα έγκαιρης διαμόρφωσης μακροπρόθεσμων στρατηγικών για την αποφυγή των επιπτώσεων από τις θερμές μάζες που εγκλωβίζονται εντός του αστικού χώρου. Οι πολεοδόμοι δύνανται να παρακολουθούν τις εναλλαγές στις θερμοκρασιακές μεταβολές, με δυνατότητα άμεσης παρέμβασης για την εκ νέου διαμόρφωση και ανά-προσαρμογή των υφιστάμενων πολιτικών με σκοπό κυρίως την αύξηση της ενεργειακής απόδοσης των κτιριακών αποθεμάτων.

Για τον χωρικό εντοπισμό των ΑΘΝ χρησιμοποιούνται κυρίως δορυφορικές εικόνες από τη φασματική περιοχή του θερμικού υπέρυθρου. Οι θερμικές υπέρυθρες εικόνες επιτρέπουν τον εντοπισμό των περιοχών με υψηλά επίπεδα εκπομπών θερμότητας προερχόμενων κυρίως από ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Ωστόσο, αξίζει να τονισθεί ότι τα δορυφορικά

⁷ <https://earthdata.nasa.gov/eosdis/cloud-evolution>

δεδομένα που χρησιμοποιούνται καταγράφουν τη θερμοκρασία εδάφους και όχι του αέρα με αποτέλεσμα να μην υπάρχει ακριβής προσδιορισμός των επιπτώσεων στην ανθρώπινη υγεία και των επιπέδων θερμικής άνεσης εντός του δομημένου περιβάλλοντος. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα ορισμένων αστικών περιοχών οδηγεί σε χονδροειδείς υπολογισμούς της γήινης θερμοκρασίας με αποτέλεσμα να μην υπάρχουν ακριβείς μετρήσεις για τη διαχρονική κατανόηση της εντατικοποίησης και της μεταβλητότητας του φαινομένου.

2.2 Η πλατφόρμα γήινης ανάλυσης "Google Earth Engine (GEE)"

Η πλατφόρμα του Google Earth Engine (GEE) τέθηκε σε λειτουργία το 2010 από την Google LLC και βασίστηκε στην υπολογιστική υποδομή που είχε διαμορφώσει η εταιρεία ως τότε καθώς και στα διαθέσιμα δεδομένα Τηλεπισκόπησης ανοιχτής πρόσβασης. Αποτελεί την πιο δημοφιλή πλατφόρμα Επεξεργασίας γεωχωρικών δεδομένων, μέσω της οποίας δεν απαιτείται η λήψη των δεδομένων για την Επεξεργασία εντός αυτής με ευρύ φάσμα εφαρμογών (Gorelick et al., 2017). Οι εφαρμογές σχετίζονται με την παρακολούθηση της βλάστησης (Zhang et al., 2019), των δασικών οικοσυστημάτων (Shimizu et al., 2019; Wei et al., 2020) και των γεωργικών καλλιεργειών, των αλλαγών των καλύψεων γης (Midekisa et al., 2017; X. Wang et al., 2020; Wu et al., 2019), των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής μέσω της της διαδικτυακής πλατφόρμας Climate Engine (CE)⁸, την μελέτη του αστικού περιβάλλοντος (Duan et al., 2019; Ranagalage et al., 2019), του υδρολογικού κύκλου (X. Li, Zhang, et al., 2022) και του παράκτιου μετώπου (Sagawa et al., 2019) καθώς και τη διερεύνηση φαινομένων αναφορικά με τις φυσικές καταστροφές (Kakooei & Baleghi, 2020; Khan et al., 2020; Meilianda et al., 2019; Uddin et al., 2019).

Επιπλέον, διαμορφώθηκε μια ακόμη διαδικτυακή πλατφόρμα, το Collect Earth⁹ για την αξιολόγηση των αλλαγών στις καλύψεις γης, αποτέλεσμα συνεργασίας της Google με το Διεθνή Οργανισμό Τροφίμων και Γεωργίας (Food and Agriculture Organization - FAO), τον Εθνικό Οργανισμό Αεροναυτικής και Διαστήματος (National Aeronautics and Space Administration – NASA) και το Υπουργείο Γεωργίας των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής (Saah et al., 2019).

Η διαδικτυακή πλατφόρμα του GEE οργανώνεται σε τρεις επιμέρους ενότητες:

- ✓ Η πρώτη ενότητα αφορά στο περιβάλλον Earth Engine (EE) Explorer¹⁰, το οποίο επιτρέπει την προβολή του συνόλου των διαθέσιμων δορυφορικών δεδομένων για την επιλογή του κατάλληλου υπόβαθρου. Επιτρέπει επίσης, τη γρήγορη προβολή αυτών στο

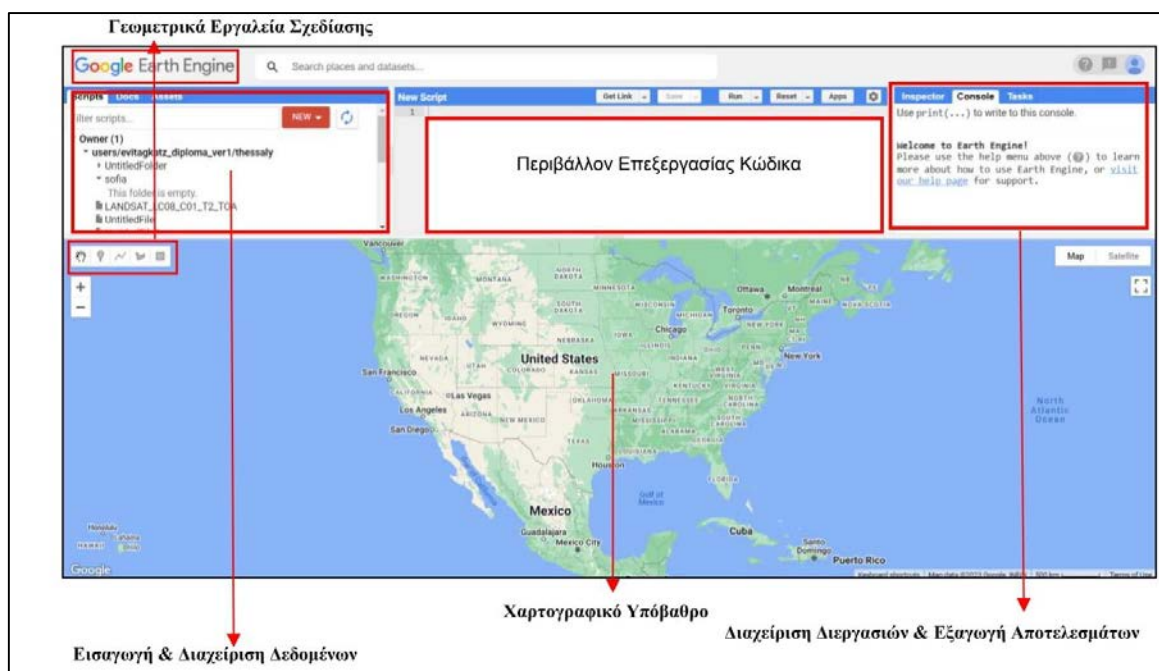
⁸ <https://app.climateengine.com/climateEngine>

⁹ <https://app.collect.earth/>

¹⁰ Earth Engine Explorer: <https://explorer.earthengine.google.com/#workspace>

χαρτογραφικό υπόβαθρο, την επιλογή επιμέρους περιοχών αλλά και την παραμετροποίηση αυτών.

✓ Η δεύτερη ενότητα αποτελείται από το EE Code Editor¹¹, μέσω του οποίου δίνεται η δυνατότητα αξιοποίησης γλωσσών προγραμματισμού, Python και Javascript, για την οπτικοποίηση των δεδομένων μέσω των εντολών και τη διαμόρφωση διαδικτυακών εφαρμογών πέραν των καθορισμένων προτύπων. Επιπλέον, δύνανται να επιλεγθούν μέσω κατάλληλων γεωμετρικών εργαλείων επιμέρους περιοχές από το χαρτογραφικό υπόβαθρο βάση των αναγκών της εκάστοτε μελέτης.



Εικόνα 1: Το περιβάλλον εργασίας του Earth Engine Editor

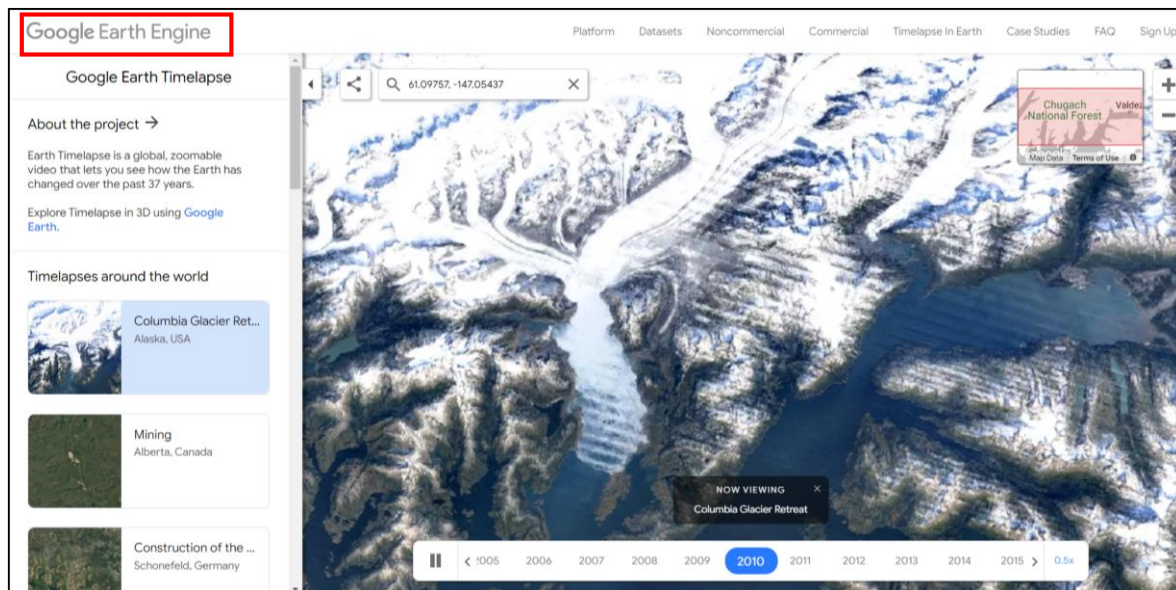
Πηγή: Google Earth Engine Code Editor, διαθέσιμο στο: <https://code.earthengine.google.com/>

✓ Η τρίτη ενότητα, η οποία είναι το EE Time-Lapse¹² συνδυάζει δορυφορικά δεδομένα πολλαπλών petabytes για την παραγωγή βίντεο – χρονικού στιγμιότυπου, τύπου time-lapse, για την αποτύπωση διαχρονικών μεταβολών. Η εφαρμογή αυτή αποδεικνύει την αξία της υπολογιστικής ισχύος της πλατφόρμας του GEE. Χαρακτηριστικά παραδείγματα time-lapse

¹¹ Earth Engine Code Editor: <https://code.earthengine.google.com/>

¹² Earth Engine Time – Lapse: <https://earthengine.google.com/timelapse/>

αποτελούν η αποψίλωση των δασών στη Βραζιλία και τη Βολιβία λόγω της εξορυκτικής δραστηριότητας, η αποξήρανση της λίμνης Αράλης καθώς επίσης και το λιώσιμο του παγετώνα Mendenhall στην Αλάσκα.



Εικόνα 2: Το περιβάλλον του Google Earth Timelapse στη διαδικτυακή πλατφόρμα Google Earth Engine

Πηγή: Google Earth Engine, διαθέσιμο στο: <https://earthengine.google.com/timelapse/>

Στο σύνολο των διαθέσιμων δορυφορικών δεδομένων της πλατφόρμας του GEE περιέχονται απεικονιστικά δεδομένα των δορυφόρων Sentinel, Landsat και MODIS για την προσέγγιση και Επεξεργασία περιβαλλοντικών δεδομένων, καθώς επίσης μετεωρολογικά, κλιματολογικά δεδομένα και δεδομένα πληθυσμιακής πυκνότητας. Επιπλέον, παρέχονται σύνολα δεδομένων με υπολογισμένους φασματικούς δείκτες (NDVI) σε διεθνές επίπεδο.

Συγκεκριμένα, από το σύνολο των δορυφόρων Landsat διατίθενται δεδομένα από έξι πολυφασματικούς δορυφόρους, προερχόμενα μεταξύ από τους Landsat 1–5 (1972-1999), Landsat-4 (1982-1993), Landsat-5 (1984-2012), Landsat-7 (1999–2021), Landsat-8 (2013–σήμερα), Landsat 9 (2021–σήμερα), με ευρεία γεωγραφική κάλυψη και έμφαση σε εφαρμογές στη δημιουργία χαρτών καλύψεων γης (H. Li et al., 2019). Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η δημιουργία χαρτογραφικού δασικού υπόβαθρου, η οποία βασίστηκε σε σύνολο 654.178 δορυφορικών εικόνων Landsat-7 συνολικού μεγέθους 707 terabytes σε

μόλις 100 ώρες. Εναλλακτικά, η αξιοποίηση διαφορετικού λογισμικού συνεπάγεται εκατομμύρια ώρες Επεξεργασίας για την παραγωγή του ως άνω υπόβαθρου (Hansen et al., 2013).

Τα δεδομένα Sentinel που προέρχονται από δορυφορικά συστήματα της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Διαστήματος (European Space Agency – ESA), περιλαμβάνουν:

- δεδομένα Radar από τον Sentinel-1 (Synthetic Aperture RADAR - SAR) (2014–σήμερα)
- πολυφασματικά δεδομένα από τον Sentinel-2 (2015–σήμερα)
- σύνολα δεδομένων κάλυψης των ωκεανών από τον Sentinel-3 (2016–σήμερα) και,
- σύνολα δεδομένων από τον Sentinel-5P (2018–σήμερα) σχετιζόμενα με τη σύσταση της ατμόσφαιρας

Το σύνολο των ως άνω δεδομένων παρέχει υψηλής ανάλυσης χωροχρονικά στοιχεία.

Χαρακτηριστικά παραδείγματα αξιοποίησης δεδομένων Sentinel στην πλατφόρμα του GEE αποτελούν η δημιουργία χαρτογραφικού υπόβαθρου για την παρακολούθηση της καλλιέργειας ρυζιού και των εποχικών αλλαγών με χρήση δεδομένων SAR από το δορυφόρο Sentinel-1 (Mandal et al., 2018), η δημιουργία χαρτογραφικού υπόβαθρου για τις περιοχές εντοπισμού φοινικέλαιου όπως αυτές καταγράφονταν το 2019¹³ καθώς και η δημιουργία χαρτών βαθυμετρίας σε τρεις διαφορετικές περιοχές του Αιγαίου Πελάγους συνδυαζόμενα με in-situ παρατηρήσεις .

Τα δορυφορικά δεδομένα MODIS (2000–σήμερα) παρέχουν πληροφορίες υψηλής φασματικής διακριτικής ικανότητας σχεδόν σε πραγματικό χρόνο (Near Real Time – NRT) με ευρεία γεωγραφική κάλυψη, σε 36 διαφορετικές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αξιοποίησης των δεδομένων MODIS στην πλατφόρμα GEE αποτελεί η δημιουργία παγκόσμιου υπόβαθρου για την προσέγγιση και συσχέτιση βιοφυσικών παραμέτρων όπως

- ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index – LAI)

¹³ https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog/BIOPAMA_GlobalOilPalm_v1

- δείκτης περιεκτικότητας υδάτινου στοιχείου που συγκεντρώνεται στο θόλο του φυλλώματος (Canopy water content)
- ο δείκτης κάλυψης της φυτικής βλάστησης (Fraction Vegetation Cover) και,
- ο δείκτης υπολογισμού της φωτοσυνθετικά απορροφούμενης ακτινοβολίας (Photosynthetically Active Radiation - PAR) (Campos-Taberner et al., 2018)

Τα διαθέσιμα δορυφορικά δεδομένα κατά την Επεξεργασία τους, συνοδεύονται με την πληροφορία των μεταδεδομένων, αποθηκεύονται στο διαδίκτυο αντί για την υπολογιστική δομή του εκάστοτε χρήστη ενώ παρέχονται προ-επεξεργασμένα και διορθωμένα είτε από σφάλματα γεωμετρίας είτε από τεχνικές αστοχίες. Τα δεδομένα του Sentinel-1 είναι ήδη επεξεργασμένα στο λογισμικό SNAP από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Διαστήματος (Tullio et al., 2018) και τα δεδομένα Landsat έχουν υποστεί ατμοσφαιρικές διορθώσεις (Calibrated Top of Atmosphere Landsat) (Sunar et al., 2019).

Παρέχεται ακόμα, η δυνατότητα δημοσίευσης χωρικών ψηφιακών δεδομένων στην πλατφόρμα, τόσο διανυσματικού τύπου (vector) όσο και ψηφιδωτού (raster), υπό την μορφή ιδιωτικού ή δημόσιου χαρακτήρα.

Εντούτοις, υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί λειτουργίας που σχετίζονται με τη χρήση της πλατφόρμας. Η αποθήκευση των δεδομένων γίνεται στον προσωπικό λογαριασμό του εκάστοτε χρήστη στη Google, με αποτέλεσμα το σύνολο αυτών να είναι προσπελάσιμο από δημόσιους φορείς και οργανισμούς αλλά όχι επεξεργάσιμο. Οι τεχνικές Επεξεργασίας εικόνων βασίζονται στα έτοιμα εργαλεία που διατίθενται μέσω του API, ενώ για περαιτέρω τεχνική ανάλυση οι χρήστες δύνανται να απευθυνθούν στη διαδικτυακή κοινότητα¹⁴ για την παροχή συμβουλευτικού υλικού για τη διαχείριση των δεδομένων και την επεξήγηση τυχόν λειτουργικών αναβαθμίσεων της πλατφόρμας.

Η πλατφόρμα GEE περιορίζεται σε συγκεκριμένους αλγόριθμους μηχανικής μάθησης και πιο συγκεκριμένα μοντέλα παλινδρόμησης και ταξινόμησης για εξόρυξη δεδομένων, ενώ υπάρχουν σχετικοί αλγόριθμοι CART (Classification and Regression Trees), RF (Random Forest) και SVM (Support Vector Machine) (Amani, Mahdavi, et al., 2019). Παρόλα αυτά,

¹⁴ <https://developers.google.com/earth-engine/>

σημειώνεται ότι η πλατφόρμα GEE δεν παρέχει τη δυνατότητα χρήσης νευρωνικών δικτύων, προτρέποντας στη χρήση ισχυρών βιβλιοθηκών της γλώσσας προγραμματισμού Python εξειδικευμένων στα νευρωνικά δίκτυα και πιο συγκεκριμένα των βιβλιοθηκών TensorFlow και PyTorch (<https://developers.google.com/earth-engine/guides/machine-learning>).

Η ταξινόμηση εικόνας, έχει βελτιωθεί σημαντικά με την αξιοποίηση της αντικειμενοστραφούς ανάλυσης εικόνας, παρά το ότι δεν υπάρχει ένας απολύτως αποτελεσματικός και ακριβής αλγόριθμος στο GEE (Amani, Brisco, et al., 2019). Φυσικά, η βελτίωση της ακρίβειας των ταξινομήσεων αυξάνεται με τον αριθμό των δειγματοληπτικών περιοχών, ενώ οι χρήστες είναι περιορισμένοι από καθορισμένο αριθμό δειγματοληπτικών περιοχών στις μεθόδους ταξινόμησης.

Στην πλατφόρμα του GEE, λόγω υπολογιστικών δομών, δεν υπάρχουν σύνθετοι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης εξαιτίας του μεγάλου όγκου δεδομένων ή της εκτενούς εκπαίδευσης που απαιτείται. Ωστόσο, οι χρήστες μπορούν να χρησιμοποιήσουν τέτοιου τύπου αλγόριθμους έξω από το περιβάλλον του GEE. Η απαίτηση σε λήψη δεδομένων, κατά τη διάρκεια εργασιών με άλλα σχετικά λογισμικά, προϋποθέτει σημαντική χρονική διάρκεια που οφείλεται στην περιορισμένη ταχύτητα του διαδικτύου και στον μεγάλο όγκο δεδομένων των ψηφιακών υποβάθρων.

Τα σύνθετα φασματικά δεδομένα SAR (complex SAR), όπως τα Sentinel-1 SLC, δεν υποστηρίζονται από το GEE λόγω μη συμβατότητας με την εσωτερική δομή των αρχείων κανάβου του GEE. Για το λόγο αυτό, οι εφαρμογές στην πολαρομετρία και στην ιντερφερομετρία είναι περιορισμένες.

2.2.1 Βιβλιογραφική Ανασκόπηση του Φαινομένου των ΑΘΝ στην Πλατφόρμα του GEE

Για τον προσδιορισμό και την ανάλυση της θερμικής συμπεριφοράς των αστικών περιοχών μέσω της πλατφόρμας του GEE διερευνήθηκε η συσχέτιση των δεδομένων θερμοκρασίας εδάφους (Land Surface Temperature – LST) με τους πλέον γνωστούς φασματικούς δείκτες, όπως ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (NDVI - Normalized Difference Vegetation Index), ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Νερού (NDWI - Normalized Difference Water Index), ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Δόμησης (NDBI – Normalized Difference Built-up Index), καθώς και με τις καλύψεις γης με τη χρήση δεδομένων από τη διαδικτυακή πλατφόρμα Climate Engine.

Για τον υπολογισμό της αστικής θερμικής νησίδας σε παγκόσμια κλίμακα αναπτύχθηκε από το Πανεπιστήμιο του Yale συγκεκριμένη διαδικτυακή εφαρμογή¹⁵ μέσω της πλατφόρμας του GEE. Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε βασίστηκε σε δεδομένα προερχόμενα από τους δορυφόρους MODIS Terra και Aqua, διακριτικής ικανότητας 1 χιλιομέτρου. Στο πλαίσιο της πλατφόρμας υπολογίζονται οι ετήσιες θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας σε 10.000 πόλεις από όλο τον κόσμο για το χρονικό διάστημα 2013 – 2018. Επιπλέον μέσω δυο διαγραμμάτων παρέχονται πληροφορίες για τη διακύμανση της έντασης του φαινομένου αλλά και για τη μηνιαία εξέλιξη αυτής κατά το ως άνω χρονικό διάστημα με δεδομένα 15αετίας (Galodha & Gupta, 2021).

Σε σχετική έρευνα που εκπονήθηκε από τους Galodha & Gupta (2021) για την περιοχή της βόρειας Ινδίας και συγκεκριμένα των περιοχών Παντζάμπ, Ρατζαστάν, Χαριάνα και Δελχί αναπτύχθηκε διαδικτυακή εφαρμογή μέσω της πλατφόρμας του GEE βασισμένη σε δορυφορικά δεδομένα MODIS καθώς επίσης και από τους δορυφόρους Landsat 5, 7 και 8 για το χρονικό διάστημα 2003 – 2018. Σκοπός της εφαρμογής αυτής ήταν η παρακολούθηση της έντασης των ΑΘΝ από δεδομένα θερμοκρασίας εδάφους για πόλεις που εμφανίζουν μέγιστη αστική θερμότητα τόσο στην Ινδία όσο και στο διεθνή χώρο.

¹⁵ <https://yceo.users.earthengine.app/view/uhimap>

Τα αποτελέσματα της δημοσίευσης απέδειξαν ότι τα δορυφορικά δεδομένα MODIS Terra σε συνδυασμό με τα υδρολογικά δεδομένα είναι σημαντικά για τον προσδιορισμό τόσο της θερμικής νησίδας όσο και για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας εδάφους. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι υπάρχει διαθεσιμότητα σε παγκόσμια κλίμακα ημερήσιων δεδομένων χωρικής διακριτικής ικανότητας 1 χιλιομέτρου καθώς επίσης και των βασικών στατιστικών παραμέτρων (π.χ. μέση τιμή μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας) που σχετίζονται με τις ημερήσιες και νυχτερινές θερμοκρασιακές μεταβολές.

Τα αποτελέσματα για την ευρύτερη περιοχή του Παντζάμπ κατέδειξαν ότι οι μεταβολές της θερμικής ακτινοβολίας είναι μεγαλύτερες στο νοτιοανατολικό τμήμα της, ενώ ότι το ετήσιο βροχομετρικό ύψος υποχώρησε τα τελευταία χρόνια. Οι παρατηρούμενες μεταβολές, τόσο στη θερμική ακτινοβολία όσο και στο βροχομετρικό ύψος, οδηγούν σε αύξηση της θερμοκρασίας, ενώ ελλοχεύουν παράμετροι ξηρασίας οι οποίες θεμελιώνουν την αύξηση εμφάνισης των αστικών θερμικών νησίδων καθώς και της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας.

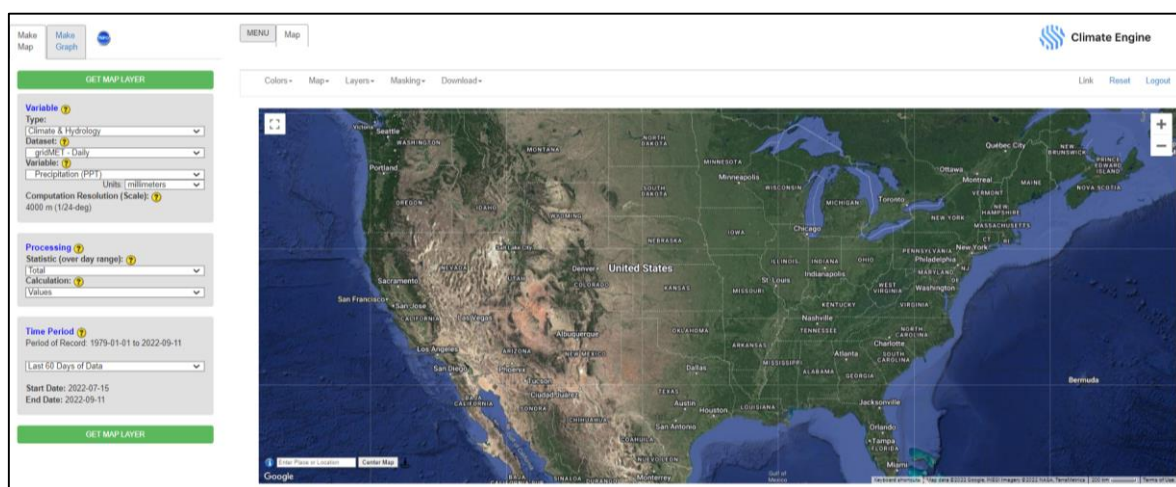
Η χρήση των αισθητήρων του Landsat 8 αισθητήρα και των εικόνων του είναι εξίσου σημαντική, κυρίως λόγω της υψηλής διακριτικής ικανότητας των 30 μέτρων, της βελτιστοποίησης της παρεχόμενης χωρικής πληροφορίας με άλλους παράγοντες όπως ο NDVI και της θερμικής χωρικής πληροφορίας των καναλιών 10 και 11. Αναφορικά με την περιοχή του Πατζάμπ πρόκειται για μια αγροτική περιοχή όπου οι τιμές του NDVI είναι μεγαλύτερες του 0 και κυμαίνονται σε ετήσια βάση από 0,1 έως 1. Η ετήσια υπολογιζόμενη βροχόπτωση, η οποία προέκυψε από δεδομένα της παγκόσμιας βάσης CHIRPS¹⁶ (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station) για τη χρονική περίοδο από το 1981 έως σήμερα, έδειξε ότι το Πατζάμπ επηρεάζεται κυρίως από τους νότιους και βορειοδυτικούς ανέμους. Οι παρατηρούμενες συνθήκες μεγάλων θερμικών ώσεων οφείλονται κυρίως στην παρουσία εκτενών καλοκαιριών και στην έλλειψη φυτικής κάλυψης.

¹⁶ Παγκόσμια βάση δορυφορικών δεδομένων για τον υπολογισμό του βροχομετρικού ύψους στη γήινη επιφάνεια.

Τα δεδομένα είναι διαθέσιμα στο σύνδεσμο: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>

Ανάλογο αποτέλεσμα παρείχε μελέτη σχετικά με την πόλη της Στουτγάρδης για την οποία δημιουργήθηκε διαδικτυακή εφαρμογή μέσω της πλατφόρμας του GEE βασιζόμενη σε δορυφορικά δεδομένα Landsat 8, για τον προσδιορισμό των θερμοκρασιακών αποκλίσεων μεταξύ χειμερινών και καλοκαιρινών μηνών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι περιοχές εντός του αστικού ιστού αλλά και οι λιβαδικές εκτάσεις παρουσιάζουν υψηλότερες θερμοκρασίες από τον περι-αστικό χώρο. Επιπλέον, έγινε συσχέτιση δεδομένων Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (DEM - Digital Elevation Model) με αντίστοιχα θερμοκρασιακά και διαπιστώθηκε ότι στις περιοχές με μεγαλύτερο ύψος παρουσιάζονται χαμηλότερες θερμοκρασίες (Zafirir et al., 2019).

Επίσης, πραγματοποιήθηκε και συσχέτιση των καλύψεων γης με τις μέγιστες θερμοκρασιακές τιμές της γήινης επιφάνειας σε περισσότερες από 6.000 δορυφορικές εικόνες Landsat για το χρονικό διάστημα 1992-2011 για έξι μητροπολιτικές περιοχές των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Η επιλογή της πλατφόρμας του GEE αποτέλεσε την καλύτερη δυνατή λύση, εξοικονόμησης χρόνου για την Επεξεργασία τους αλλά και κόστους. Για τον υπολογισμό της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST) χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα μέσω της διαδικτυακής πλατφόρμας Climate Engine (CE), η οποία υποστηρίζεται από την πλατφόρμα του GEE, δίνοντας στο ευρύ κοινό τη δυνατότητα πρόσβασης σε κλιματικά δεδομένα παγκόσμιας κλίμακας και σε δεδομένα τηλεπισκόπησης πραγματικού χρόνου.



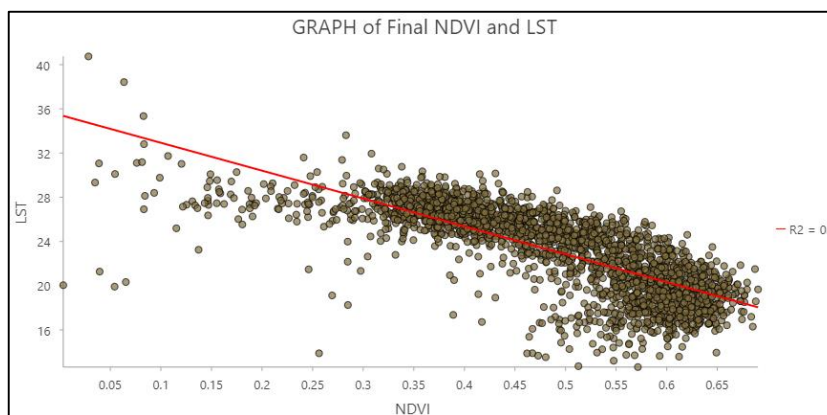
Εικόνα 3: Το περιβάλλον της διαδικτυακής πλατφόρμας Climate Engine (CE)

Πηγή: Climate Engine, διαθέσιμο στο: <https://app.climateengine.org/climateEngine>

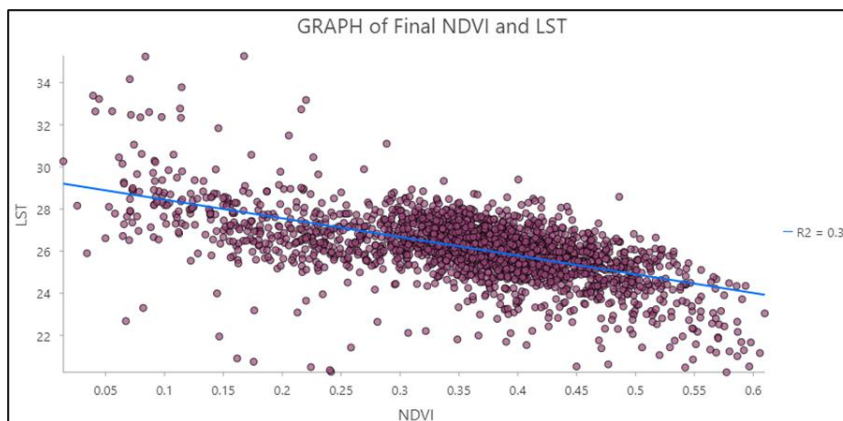
Τα αποτελέσματα της έρευνας απέδειξαν ότι η αστική ανάπτυξη των περιοχών αυτών συνδέεται με την αύξηση της θερμοκρασίας στη γήινη επιφάνεια (SUHI) (Ravanelli et al., 2018).

Αντίστοιχη έρευνα συσχέτισης δεδομένων θερμοκρασίας εδάφους με τις τιμές του δείκτη NDVI προερχόμενα από τη διαδικτυακή πλατφόρμα Climate Engine πραγματοποιήθηκε για τις πέντε μεγαλύτερες πόλεις της Βουλγαρίας με βάση την πληθυσμιακή τους πυκνότητα (Gkatzoura & Perakis, 2022). Η έρευνα αφορούσε στο χρονικό διάστημα 2012 – 2017 με δορυφορικά δεδομένα Landsat 5/7/8/9 Top of Atmosphere Reflectance. Τα αποτελέσματα κατέδειξαν ότι οι τιμές της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας και του δείκτη NDVI συσχετίζονται γραμμικά.

Η συσχέτιση που παρατηρήθηκε μεταξύ του δείκτη βλάστησης και της θερμοκρασία του εδάφους είναι αρνητική και οι τιμές του δείκτη συσχέτισης κυμαίνονται, για τις πέντε δειγματοληπτικές περιοχές, από -0.7 έως -0.5. Αυτό διαισθητικά είναι μεν φανερό, αλλά στην παρούσα έρευνα αποδεικνύεται και ποσοτικά. Το θεματικό αποτέλεσμα της έρευνας αυτής οδηγεί στο συμπέρασμα ότι πόλεις που διαθέτουν μεγάλες εκτάσεις πρασίνου ή αστικής βλάστησης έχουν μικρότερες πιθανότητες δημιουργίας ή και αύξησης των τιμών των ΑΘΝ. Οι παραπάνω ποσοτικές αρνητικές συσχετίσεις φαίνονται στα Διαγράμματα που ακολουθούν για κάποιες από τις πόλεις που μελετήθηκαν.



Διάγραμμα 3: Διάγραμμα Bi-plot συσχέτισης του δείκτη βλάστησης με τη θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας για την πρωτεύουσα της Βουλγαρίας



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα Bi-plot συσχέτισης του δείκτη βλάστησης με τη θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας για την πόλη της Φιλιππούπολης

Στο πλαίσιο της μελέτης του φαινομένου της ΑΘΝ στον ελλαδικό χώρο, υλοποιήθηκε αντίστοιχη έρευνα στην πλατφόρμα του GEE, όπου συσχετίστηκαν δεδομένα δορυφορικών εικόνων Landsat 8 για τον υπολογισμό της θερμοκρασίας εδάφους με δεδομένα καλύψεων γης του προγράμματος CORINE (Land Use Land Cover - LULC) και κλιματολογικές μετρήσεις από την Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία (EMY). Η μελέτη αφορούσε στο χρονικό διάστημα 2017-2021 με στόχο τον προσδιορισμό της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ στις πόλεις της Θεσσαλονίκης, της Λάρισας και της Τρίπολης.

Σύμφωνα με τους Stamou et al.(2024), οι τρεις υπό μελέτη περιοχές εμφανίζουν διαφορετικό βαθμό έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ και διαφορετική χωρική τυπολογία. Συγκεκριμένα, η Θεσσαλονίκη, εμφανίζει την υψηλότερη ένταση ΑΘΝ ανάμεσα στις υπό μελέτη περιοχές, ενώ η θερμοκρασία των αστικών περιοχών είναι κατά 2°C υψηλότερη έναντι των περι-αστικών. Χωρικά εντοπισμένες περιοχές, όπως πλησίον του σιδηρόδρομου, το αεροδρόμιο αλλά και περιοχές εξορύξεων, εμφανίζουν θερμοκρασιακή διαφορά με τις περι-αστικές η οποία ανέρχεται στους 3.5°C. Ως γενεσιουργές αιτίες νοούνται η υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, ο έντονος βιομηχανικός και εμπορικός χαρακτήρας της πόλης, καθώς και η έλλειψη επαρκών χώρων αστικού πρασίνου.

Στη περιοχή της Λάρισας, οι θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ αστικών και περι-αστικών είναι μικρότερες, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι η ΑΘΝ εμφανίζεται με μέτρια ένταση, η οποία ωστόσο δύναται να οφείλεται σε τμήματα του αστικού ιστού με πιο αραιή δόμηση και καλύτερη κατανομή πράσινων χώρων.

Αντιθέτως, η Τρίπολη παρουσιάζει ανάλογη εικόνα με την πόλη της Θεσσαλονίκης, δεδομένου ότι παρατηρήθηκε θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αστικών και περι-αστικών περιοχών η οποία ανερχόταν στους 3°C , ενώ μεταξύ των ζωνών εξόρυξης και των περι-αστικών περιοχών η διαφορά εντοπιζόταν στους $4,34^{\circ}\text{C}$.

Γίνεται σαφές ότι η χρήση υλικών όπως το τσιμέντο και η ασφαλτος, σε συνδυασμό με την έλλειψη επαρκών χώρου πρασίνου εντατικοποιούν το φαινόμενο της ΑΘΝ. Τα ως συμπεράσματα αναδεικνύουν την ανάγκη εφαρμογής στρατηγικών μετριασμού για την προστασία του μικροκλίματος και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής στις πόλεις μέσω της αύξησης των πράσινων υποδομών.

3 Η έρευνα

3.1 Επιλογή περιοχών μελέτης

Με την ολοκλήρωση του θεωρητικού υπόβαθρου για την ανάλυση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, όπως και την επιλογή των βασικότερων λογισμικών για την αξιοποίηση των σύγχρονων δορυφορικών δεδομένων, είναι σημαντικό να παρουσιαστούν οι μεταβλητές των περιοχών που επιλέχθηκαν προς έρευνα.

Τα βασικά κριτήρια για την επιλογή των υπό μελέτη περιοχών, σχετίζονται με την πληθυσμιακή πυκνότητα και την οικονομική δραστηριότητα αυτών. Το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν (ΑΕΠ) αποτελεί τον κύριο δείκτη για την ποσοτικοποίηση της οικονομικής δυναμικής μιας χώρας, ενώ αντικατοπτρίζει σε σημαντικό βαθμό την ευημερία της εκάστοτε χωρικής ενότητας και αποτελεί ένα ικανό ποσοτικό μέγεθος για τον υπολογισμό της συνολικής οικονομικής δραστηριότητας. Ο υπολογισμός του ΑΕΠ αφορά συγκεκριμένο χρονικό διάστημα (συνήθως με διάρκεια ενός έτους), ενώ προσμετρά τη συνολική καθαρή αξία όλων των παραγόμενων αγαθών, τόσο υλικών όσο και άυλων, που έχουν παραχθεί εντός της αγοράς και με νόμιμες διαδικασίες (Mankiw, 2019). Στον Πίνακα 3, παρουσιάζεται η ταξινόμηση των περιφερειακών ενοτήτων της Ελλάδας με βάση το Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν όπως αυτό καταγράφηκε το 2011 και 2020 από την Ελληνική Στατιστική Αρχή (ΕΛΣΤΑΤ).

Πίνακας 3: Κατά Κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν ανά περιφέρεια και υπολογισμός ποσοστιαίας μεταβολής για το χρονικό διάστημα 2011-2020

(Σε τρέχουσες τιμές και σε εκατομμύρια ευρώ)

Περιφερειακή Ενότητα	2020*	2011*	Μεταβολή (%)
ΑΤΤΙΚΗ	78,993	98,649.00	-24.88
Αττική	78,993	98,649.00	-24.88
ΒΟΡΕΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	36,131	45,074.00	-24.75
Κεντρική Μακεδονία	22,556	27,535.00	-22.07
Ανατολικής Μακεδονίας, Θράκη	6,509	8,011.00	-23.08
Ήπειρος	3,685	4,548.00	-23.42
Δυτική Μακεδονία	3,381	4,980.00	-47.29
ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΕΛΛΑΔΑ	35,007	40,536.00	-15.79
Θεσσαλία	8,672	9,718.00	-12.06
Στερεά Ελλάδα	8,498	9,232.00	-8.64
Πελοπόννησος	7,680	8,797.00	-14.54
Δυτική Ελλάδα	7,538	9,367.00	-24.26
Ιόνια Νησιά	2,619	3,422.00	-30.66
ΝΗΣΙΑ ΑΙΓΑΙΟΥ, ΚΡΗΤΗ	15,275	19,049.00	-24.71
Βόρειο Αιγαίο	2,331	2,897.00	-24.28
Νότιο Αιγαίο	5,066	6,564.00	-29.57
Κρήτη	7,878	9,588.00	-21.71

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία & ΕΛΣΤΑΤ¹⁷

Ο ρυθμός μεταβολής για τον υπολογισμό της ποσοστιαίας μεταβολής του ΑΕΠ (Gross Domestic Product – GDP) κατά το χρονικό διάστημα 2011-2020 υπολογίσθηκε σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο:

$$g_{2020} = \frac{GDP_{2020} - GDP_{2011}}{GDP_{2020}}$$

¹⁷ Ελληνική Στατιστική Αρχή: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SEL48/->

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που υπολογίσθηκαν, παρατηρείται μείωση του ΑΕΠ σε όλες τις περιφερειακές ενότητες, η οποία κυμαίνεται από 8 έως 47% επί του αρχικού έτους βάσης (2011).

Οι ποσοτικές ανισότητες δύνανται να οφείλονται σε μια πληθώρα παραγόντων μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται:

- Η απόσταση από τα δυο μεγάλα αστικά κέντρα της χώρας
- Οι διαφορετικές δυνατότητες ευημερίας μέσω των οικονομικών προγραμμάτων παρέχονται στους κατοίκους των εκάστοτε περιφερειών
- Η προσβασιμότητα στην Αθήνα και τη Θεσσαλονίκη κυρίως των περιφερειών που συγκεντρώνουν περιοχές με έντονο ορεινό χαρακτήρα
- Η πολιτική που εφαρμόζεται ανάλογα με το βαθμό ανάπτυξης και τη θέση που η εκάστοτε περιφέρεια καταλαμβάνει, μειονεκτική ή πλεονεκτική, ανάλογα με το που βρίσκεται έναντι των άλλων περιφερειών της χώρας

Στον Πίνακα 4 παρουσιάζεται η κατανομή των είκοσι περιφερειακών ενοτήτων με το υψηλότερο ΑΕΠ, το 2020.

Πίνακας 4: Κατά Κεφαλήν Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν στις είκοσι περιφερειακές ενότητες με τις υψηλότερες τιμές ανάπτυξης για το έτος 2020 (Σε τρέχουσες τιμές και σε εκατομμύρια ευρώ)

Περιφερειακή Ενότητα	2020
Κεντρικός Τομέας Αθηνών	27,952.79
Βόρειος Τομέας Αθηνών	14,623.03
Θεσσαλονίκη	14,404.37
Νότιος Τομέας Αθηνών	9,362.52
Ανατολική Αττική	9,177.19
Πειραιάς, Νήσοι	8,851.24
Δυτικός Τομέας Αθηνών	5,159.56
Δυτική Αττική	3,866.87
Λάρισα	3,864.93
Ηράκλειο	3,782.01
Αχαΐα	3,661.82
Βοιωτία	3,005.32
Εύβοια	2,853.49
Κάλυμνος, Κάρπαθος, Κως, Ρόδος	2,745.23
Μαγνησία	2,354.66
Άνδρος, Θήρα, Κέα, Μήλος, Μύκονος, Νάξος, Πάρος, Σύρος, Τήνος	2,321.13
Αιτωλοακαρνανία	2,223.00
Χανιά	2,026.39
Φθιώτιδα	2,017.77

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία & ΕΛΣΤΑΤ¹⁸

¹⁸ Ελληνική Στατιστική Αρχή: <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SEL48/->

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας έγιναν οι ακόλουθες παραδοχές. Από τις υπό μελέτη περιφερειακές ενότητες με το μεγαλύτερο ΑΕΠ εξαιρέθηκαν εκείνες που βρίσκονται στην Αττική και στη Θεσσαλονίκη. Στις δυο αυτές πόλεις συγκεντρώνεται το 40% του συνολικού πληθυσμού - 4.096.983 κάτοικοι - (Απογραφή 2021)¹⁹, ενώ συμβάλλουν κατά 60% στο συνολικό ΑΕΠ²⁰. Εντός των διοικητικών ορίων της Αθήνας και της Θεσσαλονίκης, εντοπίζεται πληθώρα αστικών πυρήνων που αντιστοιχεί στα κυριότερα προάστια. Η επέκταση του αστικού ιστού τόσο της Αθήνας όσο και της Θεσσαλονίκης, ως άμεση απόρροια της εσωτερικής μετανάστευσης δημιούργησε νέους πόλους ανάπτυξης και κεντρικότητας. Δημιουργήθηκαν έτσι, επιμέρους διακυβερνητικά, οικονομικά, πολιτιστικά και εκπαιδευτικά κέντρα σε διαφορετικά προάστια. Ως αποτέλεσμα, η ανάπτυξη πολλαπλών δραστηριοτήτων κατέστησε τις δυο αυτές πόλεις πολυκεντρικές, με πολλά σημεία ενδιαφέροντος και λειτουργικά κέντρα (Papadam, 2015).

Έτσι, γίνεται σαφές, ότι η πολλαπλότητα των αστικών κέντρων δύναται να επηρεάσει την εξέλιξη του φαινομένου των ΑΘΝ. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, τα ως άνω αστικά κέντρα εξαιρέθηκαν δεδομένου ότι η τυπολογία των φαινομένων των ΑΘΝ επηρεάζεται σε μεγάλο βαθμό από την κατανομή της θερμότητας εντός του δομημένου χώρου, αλλά και από τα μοντέλα κίνησης και κυκλοφορίας, τα οποία επηρεάζονται άμεσα από την πληθυσμιακή συγκέντρωση.

Επιπλέον, από το σύνολο των περιφερειακών ενοτήτων του Πίνακα 4, εξαιρέθηκαν οι περιφερειακές ενότητες νησιωτικού χαρακτήρα, αφενός διότι ορισμένοι εξ' αυτών λειτουργούν αθροιστικά ως προς τη συμμετοχή τους στο συνολικό ΑΕΠ της χώρας και αφετέρου διότι η έκτασή τους τους σε σχέση με τις αντίστοιχες ηπειρωτικές είναι εμφανώς μικρότερη. Αντιθέτως, διατηρήθηκαν οι περιφερειακές ενότητες της Κρήτης και της Εύβοιας, οι οποίες εμφανίζουν υψηλή πληθυσμιακή συγκέντρωση.

^{19 20} Ελληνική Στατιστική Αρχή: https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf

Πίνακας 5: Οι είκοσι περιφερειακές ενότητες με την μεγαλύτερη πληθυσμιακή συγκέντρωση (απογραφή 2021)

Περιφερειακή Ενότητα	Πληθυσμός (2021)
Λάρισα	305,979.00
Ηράκλειο	305,017.00
Αχαΐα	268,963.00
Βοιωτία	210,778.00
Εύβοια	206,831.00
Κάλυμνος, Κάρπαθος, Κως, Ρόδος	192,345.00
Μαγνησία	177,448.00
Άνδρος, Θήρα, Κέα, Μήλος, Μύκονος, Νάξος, Πάρος, Σύρος, Τήνος	160,773.00
Αιτωλοακαρνανία	156,706.00
Χανιά	151,317.00
Φθιώτιδα	149,896.00
Κορινθία	146,080.00
Κοζάνη	138,310.00
Ιωάννινα	137,793.00
Μεσσηνία	137,210.00
Έβρος	133,802.00
Θάσος, Καβάλα	131,001.00
Ηλεία	129,299.00
Σέρρες	126,740.00
Πέλλα	122,081.00

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία & ΕΛΣΤΑΤ²¹

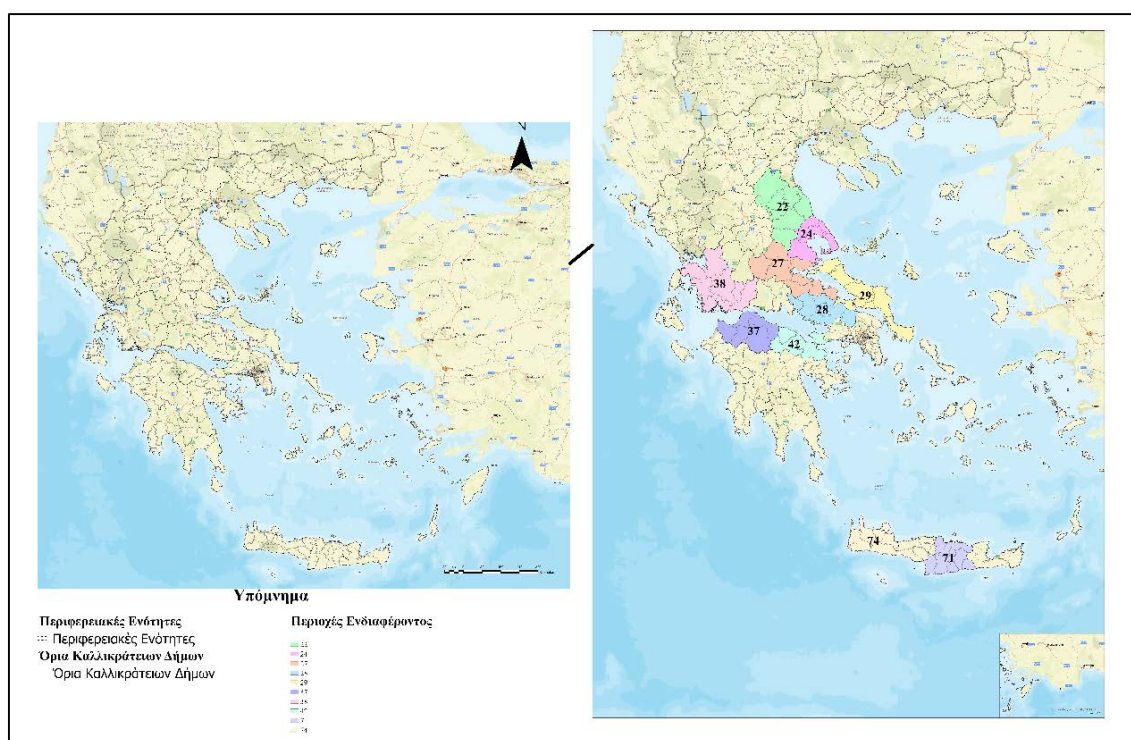
Στην εν λόγω έρευνα ήταν επιθυμητό να ερευνηθούν περιφερειακές ενότητες μεσαίας δυναμικότητας τόσο σε επίπεδο ευημερίας όσο και σε επίπεδο πληθυσμιακής συγκέντρωσης, οι οποίες ωστόσο εμφανίζουν διαφορετικά χωρικά (τοπολογικά), μεταξύ των οποίων η γεωγραφική θέση και η γειτνίαση αυτών με φυσικά στοιχεία, χαρακτηριστικά ικανά να επηρεάσουν την ένταση του φαινομένου των ΑΘΝ.

²¹ Ελληνική Στατιστική Αρχή: https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf

Πίνακας 6: Οι περιοχές έρευνας

Περιφερειακή Ενότητα	ΑΕΠ (2020)	Πληθυσμός (2021)
Λάρισα	3,864.93	305,979.00
Ηράκλειο	3,782.01	305,017.00
Αχαΐα	3,661.82	268,963.00
Βοιωτία	3,005.32	210,778.00
Εύβοια	2,853.49	206,831.00
Μαγνησία	2,354.66	177,448.00
Αιτωλοακαρνανία	2,223.00	156,706.00
Χανιά	2,026.39	151,317.00
Φθιώτιδα	2,017.77	149,896.00
Κορινθία	1,942.16	146,080.00

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

**Χάρτης 1: Χαρτογραφική αποτύπωση των υπό μελέτη περιοχών**

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

3.2 Μεθοδολογία

3.2.1 Δορυφορικά Δεδομένα

Για τον προσδιορισμό της Θερμοκρασίας της Γήινης Επιφάνειας (Land Surface Temperature – LST) και την ανάλυση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (Urban Heat Island – UHI), χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα από τον δορυφόρο Landsat 8, με χωρική διακριτική ικανότητα 30 μέτρων για τις ζώνες ορατού και υπέρυθρου φάσματος, και 100 μέτρων για τις θερμικές ζώνες (TIR) (Costanzini et al., 2022). Η χρήση των αισθητήρων Landsat 8 και 9, συμβάλλει καθοριστικά στη συστηματική παρακολούθηση διαχρονικών περιβαλλοντικών μεταβολών, λόγω της σύντομης επαναληψιμότητάς (ανά 8 ημέρες) τους (Landsat Science, 2019), χωρίς να απαιτούνται επιπλέον ραδιομετρικές και γεωμετρικές βελτιώσεις (Z. L. Li et al., 2013).

Συγκεκριμένα, η αξιοποίηση δορυφορικών δεδομένων Landsat 8 επιτρέπει τόσο την αξιόπιστη χαρτογράφηση όσο και τον προσδιορισμό της θερμικής κατανομής εντός των δομημένων αστικών συνόλων, συμβάλλοντας καθοριστικά στην κατανόηση του φαινομένου της ΑΘΝ και των περιβαλλοντικών του επιπτώσεων με το οποίο αυτό συνεπάγεται. Ως αποτέλεσμα, στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε εστιάζει στη μελέτη της εξέλιξης του φαινομένου κατά την πενταετία 2019 – 2023, προσδιορίζοντας τις θερμοκρασίες της γήινης επιφάνειας καθώς και τις θερμικές ανισότητες που παρατηρούνται στην ευρύτερη περιοχή μελέτης.

3.2.2 Εκτίμηση δεικτών UHI & UTFVI

Η χωρική γενίκευση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας οδηγεί στον υπολογισμό της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας για κάθε Περιφερειακή Ενότητα, χρησιμοποιώντας ως χωρική μονάδα το εικονοστοιχείο (pixel) του Landsat, και συγκεκριμένα του θερμικού καναλιού Band 10, με ποσοστό νεφοκάλυψης <30%. Επιπλέον, η συνολική διαχρονική αντιπροσωπευτική τιμή υπολογίζεται από το χρονικό μέσο του υπό μελέτη διαστήματος, καθώς και από τις μέσες χωρικές τιμές του Δείκτη UHI. Ο ποσοτικός προσδιορισμός του Δείκτη UHI υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση (Naim & Kafy, 2021):

$$UHI_{(Ts, Tm, STD)} = \frac{Ts - Tm}{STD},$$

όπου ως Ts ορίζεται η διάμεση θερμοκρασία της εκάστοτε περιοχής μελέτης, Tm η μέση θερμοκρασία της υπό μελέτη περιοχής και ως STD το μέτρο της τυπικής απόκλισης της

θερμοκρασίας. Ο ποσοτικός προσδιορισμός του Δείκτη UHI επιτρέπει την εκτίμηση της θερμικής επίδρασης των αστικών περιοχών σε σχέση με τις γύρω περιοχές, περι-αστικού και αγροτικού χαρακτήρα.

Οι θετικές τιμές του ως άνω Δείκτη καταδεικνύουν περιοχές με θερμική επιβάρυνση (χωρικά εντοπισμένες θερμικές νησίδες), ενώ οι αρνητικές τιμές περιοχές με μειωμένη θερμική επιβάρυνση (Shi et al., 2021). Αξίζει να τονισθεί ότι ο ποσοτικός προσδιορισμός του Δείκτη UHI δεν εντοπίζεται χωρικά μόνο στο αστικό περιβάλλον, αλλά δύναται να υπολογισθεί τόσο σε περι-αστικές όσο και αγροτικές περιοχές επιτρέποντας την ποσοτικοποίηση των χωρικών θερμοκρασιακών διακυμάνσεων.

Σύμφωνα με τους (Fang et al., 2024), η εφαρμογή του κανονικοποιημένου Δείκτη UHI στην επαρχία Tiantai County της Κίνας συνέβαλε ουσιαστικά στον ποσοτικό προσδιορισμό των θερμικών διαφοροποιήσεων σε διοικητικές ενότητες εκτός του αστικού πυρήνα.

Αντίστοιχα, η μελέτη των O'Shea et al., (2025) καταδεικνύει ότι ο ποσοτικός προσδιορισμός του ως άνω Δείκτη σε επίπεδο Περιφερειακής Ενότητας, δύναται να λειτουργήσει ως αξιόπιστο εργαλείο χαρτογράφησης των θερμικών αποκλίσεων εντός συνεκτικών διοικητικών χωρικών μονάδων. Επιπλέον, στην εν λόγω ποσοτική προσέγγιση συμπεριλαμβάνεται η σημασία των τοπολογικών και μορφολογικών χαρακτηριστικών της εκάστοτε περιοχής μελέτης, ενώ αποτελεί μέτρο διαμόρφωσης πολιτικών της κλιματικής διαχείρισης στην εκάστοτε Περιφερειακή Ενότητα.

Ο υπολογισμός του Δείκτη Θερμικής Διασποράς Αστικού Πεδίου (UTFVI) χρησιμοποιείται για τον ποσοτικό προσδιορισμό της θερμικής ομοιογένειας στις αστικές περιοχές, συμβάλλοντας στην αξιολόγηση των περιβαλλοντικών συνθηκών που επικρατούν. Ανάλογα με την ένταση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) διακρίνεται σε έξι επίπεδα για την εκτίμηση των θερμικών διαφορών και της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης (Renard et al., 2019).

Οι τιμές του Δείκτη UTFVI αντιστοιχούν σε διαφορετικά επίπεδα περιβαλλοντικής ποιότητας, όπως προσδιορίζονται από τη θερμική διασπορά και την κατανομή της θερμοκρασίας στην εκάστοτε περιοχή, συμβάλλοντας στην ανάλυση της συνολικής θερμικής κατάστασης αυτής και των πιθανών επιπτώσεων που δύναται να αντιμετωπίσει σε οικολογικό επίπεδο.

Πίνακας 7: Όρια τιμών του Δείκτη Θερμικής Διασποράς Αστικού Πεδίου (UTFVI) και προσδιορισμός του Δείκτη Αξιολόγησης του οικολογικού επιπέδου

Δείκτης Θερμικής Διασποράς Αστικού Πεδίου	Αστική Θερμική Νησίδα	Δείκτης Αξιολόγησης Οικολογικής Κατάστασης
<0	Καθόλου	Άριστο
0-0,0005	Ασθενής	Καλό
0,0005-0,010	Μέτριο	Κανονικό
0,010-0,015	Ισχυρό	Κακό
0,015-0,020	Πιο Ισχυρό	Χειρότερο
>0,020	Πολύ Ισχυρό	Χείριστο

Πηγή:

Liu & Zhang, 2011

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του Δείκτη UTFVI υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση:

$$UTFVI_{(Ts, Tm)} = \frac{T_s - T_m}{T_s}$$

όπου ως T_s ορίζεται η θερμοκρασία της γήινης επιφάνειας και T_m η μέση θερμοκρασία των μέσων θερμοκρασιών ανά πενταετία της υπό μελέτη περιοχής.

3.2.3 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Συνοψίζοντας τα αποτελέσματα για τις δέκα υπό μελέτη περιοχές διαπιστώνονται τα εξής:

Αναφορικά με το μέγεθος της Μέσης Θερμοκρασίας (Mean Temperature), η Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας καταγράφει τις υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες στο σύνολο του υπό μελέτη χρονικού διαστήματος συγκριτικά με τις υπόλοιπες περιοχές. Κατά το έτος 2023, υπερβαίνει τους 35°C, ενώ οι Περιφερειακές Ενότητες Μαγνησίας (Βόλος) και Φθιώτιδας διατηρούν διαχρονικά τις μέσες τιμές θερμοκρασίας μεταξύ 25-30°C, εμφανίζοντας μικρές αποκλίσεις.

Η παρατεταμένη περίοδος καύσωνα που παρατηρήθηκε το καλοκαίρι του 2023 συνολικά σε επίπεδο χώρας κατά τους θερινούς μήνες, με έμφαση στο μήνα Ιούλιο, είχε ως άμεση συνέπεια την εμφάνιση μέγιστων τιμών θερμοκρασίας, του δείκτη Αστικής Θερμικής Νησίδας (Urban Heat Island - UHI) και του Δείκτη Θερμικής Διασποράς Αστικού Πεδίου (Urban Thermal Field Variance Index - UTFVI).

Σύμφωνα με το Εθνικό Αστεροσκοπείο Αθηνών, το καλοκαίρι του 2023 στο αστικό κέντρο της Λάρισας καταγράφηκαν περισσότερες από 230 ώρες με θερμοκρασίες που ξεπερνούσαν τους 30°C (Meteo, 2023), αυξάνοντας τη θερμική επιβάρυνση του δομημένου περιβάλλοντος καθώς και τη θερμική καταπόνηση των κατοίκων (Pantavou et al., 2024). Επίσης, κατά τη διάρκεια του πρώτου τριημέρου του Αυγούστου του 2023, καταγράφηκαν στο αστικό κέντρο της Λάρισας οι υψηλότερες μέγιστες και ελάχιστες θερμοκρασίες, οι οποίες ξεπερνούσαν τους 38,5°C.

Αντίστοιχη εικόνα παρουσιάζει η ένταση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) στην Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας, με τον δείκτη UHI να καταγράφει τις υψηλότερες τιμές κατά τη διάρκεια του υπό μελέτη χρονικού διαστήματος, ιδιαίτερα κατά τα έτη 2021 και 2023. Η συγκεκριμένη αύξηση μπορεί να αποδοθεί στην εντατικοποίηση της πληθυσμιακής συσσώρευσης, όπως καταγράφηκε μεταξύ των Απογραφών του 2011 και 2021, καθώς και στην ενίσχυση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, ως άμεσο αποτέλεσμα της πληθυσμιακής αυτής μεταβολής.

Σύμφωνα με την Πρόταση Στρατηγικής Βιώσιμης Ανάπτυξης (BAA) του Δήμου Λαρισαίων (2024) για το χρονικό διάστημα 2021 – 2027²², η μέγιστη διαφορά της

²² Πρόταση Στρατηγικής Βιώσιμης Ανάπτυξης (BAA) του Δήμου Λαρισαίων για την Προγραμματική Περίοδο 2021 – 2027: https://www.thessalia-espa.gr/wp-content/uploads/2024/07/svaa_larissas.pdf

αστικής θερμοκρασίας από την αντίστοιχη περιαστική ξεπέρασε τους 4° C, τον Αύγουστο του 2023.

Όσον αφορά στην Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας (Βόλος) εμφανίζει μέτρια άνοδο στον δείκτη UHI έως το 2022, ενώ το 2023 καταγράφεται μικρή πτώση. Η Φθιώτιδα παρουσιάζει χαμηλότερες τιμές UHI, με μια μεταβολή το 2019, όπου παρατηρήθηκε ελαφρώς αυξημένος δείκτης σε σχέση με τα επόμενα έτη.

Το καλοκαίρι του 2023, οι συνθήκες καύσωνα που επικράτησαν στη νότια Ευρώπη αποτέλεσαν σημαντικό παράγοντα στην εμφάνιση μεσογειακών κυκλώνων, οι οποίοι σε συνδυασμό με τις επικρατούσες υψηλές θερμοκρασίες συνέβαλαν καθοριστικά στην ένταση και στη συχνότητα εμφάνισης υψηλού υετού σε πολλές περιοχές του ελλαδικού χώρου (HVA International, 2023).

Αξίζει να τονισθεί ότι η ευρύτερη περιοχή της Μαγνησίας το 2023 επηρεάστηκε από τον υψηλό υετό και τις έντονες βροχοπτώσεις, οι οποίες οδήγησαν σε εκτεταμένα πλημμυρικά φαινόμενα. Ως άμεση απόρροια παρατηρήθηκε συσσώρευση μεγάλου υδάτινου φόρτου εντός των αστικών δομημένων περιοχών, ικανού να μειώσει την ένταση της ΑΘΝ λόγω αυξημένης υγρασίας του εδάφους και υψηλής παρουσίας στάσιμου νερού. Η παρουσία του στάσιμου νερού αποτελεί σημαντικό παράγοντα προσωρινής μείωσης της θερμοκρασίας, δεδομένου ότι η ψυκτική του επίδραση μειώνει την αποθήκευση θερμότητας στα αστικά υλικά, όπως η άσφαλτος και το σκυρόδεμα, που εντείνουν την ΑΘΝ υπό κανονικές συνθήκες (Huang et al., 2022; Steensen et al., 2022).

Ο Δείκτης Θερμικής Διασποράς Αστικού Πεδίου (UTFVI) εμφανίζει παρόμοια συμπεριφορά με τον δείκτη Αστικής Θερμικής Νησίδας (UHI), καθώς και οι δύο δείκτες αντικατοπτρίζουν τη θερμική επιβάρυνση των αστικών περιοχών. Στην περίπτωση της Περιφερειακής Ενότητας Λάρισας, ο UTFVI παρουσιάζει τις σχετικά υψηλότερες τιμές συγκριτικά με τις άλλες περιοχές της μελέτης, κυρίως τα τελευταία χρόνια, υποδηλώνοντας αυξημένη θερμική επιβάρυνση και δυσμενείς θερμικές συνθήκες. Αυτό συνδέεται με τις αυξημένες θερμοκρασίες και την έντονη αστικοποίηση που χαρακτηρίζουν την περιοχή.

Αντίθετα, στην Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας (Βόλος), ο δείκτης UTFVI παρουσιάζει άνοδο μέχρι το 2022, ακολουθούμενος από μικρή πτώση το 2023, πιθανώς λόγω των πλημμυρικών φαινομένων και της αυξημένης υγρασίας που μείωσαν προσωρινά την θερμική επιβάρυνση. Η Φθιώτιδα, από την άλλη, διατηρεί γενικά χαμηλότερες τιμές UTFVI, με μικρές μεταβολές καθ' όλη τη διάρκεια της μελέτης,

υποδεικνύοντας πιο ήπιες θερμικές συνθήκες και μικρότερη επίδραση από την αστικοποίηση.

Αξίζει να αναφερθεί ότι οι Περιφερειακές Ενότητες Λάρισας, Μαγνησίας και Φθιώτιδας έχουν κοινό τοπολογικό χαρακτηριστικό, καθώς βρίσκονται στην κεντρική ηπειρωτική Ελλάδα. Ωστόσο, δύνανται να εξαχθούν τμηματικά συμπεράσματα παρά το γεγονός ότι οι Περιφερειακές Ενότητες Μαγνησίας και Λάρισας διοικητικά ανήκουν στην Περιφέρεια Θεσσαλίας, ενώ η Περιφερειακή Ενότητα Φθιώτιδας και Βοιωτίας στην Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας.

Συμπερασματικά για τις ως άνω περιοχές, γίνεται σαφές ότι η Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας, λόγω της ηπειρωτικής της θέσης και της έλλειψης άμεσης θαλάσσιας γειτνίασης, εμφανίζει εντονότερα φαινόμενα αστικής θερμικής νησίδας (SUHI) σε σύγκριση με τις παράκτιες περιοχές, όπως ο Βόλος και η Φθιώτιδα. Αυτό αποδίδεται στην υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, την έλλειψη πράσινων χώρων και την εντατική αστικοποίηση, που συντελούν στην αύξηση των θερμοκρασιών και στη θερμική καταπόνηση της περιοχής, κάτι που καταδεικνύεται και από τις υψηλές τιμές του δείκτη UTFVI.

Η έλλειψη χώρων πρασίνου επιβαρύνει σημαντικά το αστικό κέντρο της Λάρισας. Η πλειονότητα των πράσινων χώρων είναι μεγάλης επιφάνειας, γειτνιάζουν με τις πράσινες περιοχές πλησίον του ποταμού Πηνειού, του πάρκου Αλκαζάρ και του πάρκου Χατζηχαλάρ. Σύμφωνα με την αίτηση που κατατέθηκε από το Δήμο Λαρισαίων για τη διεκδίκηση του Ευρωπαϊκού Βραβείου Πράσινης Πρωτεύουσας το 2016 (Δήμος Λαρισαίων, 2016), η αναλογία πρασίνου ανά κάτοικο ανερχόταν στα 8,5 τ.μ., ενώ στην πρόσφατη μελέτη ΣΒΑΑ το εν λόγω μέγεθος αντιστοιχεί στα 7,71 τ.μ. ανά κάτοικο (Δήμος Λαρισαίων, 2024).



Εικόνα 4: Χαρτογραφική απεικόνιση των διοικητικών ορίων του λειτουργικού αστικού κέντρου της Λάρισας

Πηγή: Πρόταση Στρατηγικής Βιώσιμης Ανάπτυξης (ΒΑΑ) του Δήμου Λαρισαίων για την Προγραμματική Περίοδο 2021 – 2027

Αντίθετα, οι παράκτιες περιοχές, όπως η Μαγνησία και η Φθιώτιδα, εμφανίζουν ηπιότερες θερμοκρασιακές συνθήκες και χαμηλότερους δείκτες UHI και UTFVI, κάτι που συνδέεται με την επίδραση της θαλάσσιας αύρας και την πιο αποτελεσματική θερμορρυθμιστική δράση του υδάτινου στοιχείου. Η μείωση των δεικτών UHI και UTFVI για το Βόλο το 2023, η οποία συνοδεύτηκε από έντονα πλημμυρικά φαινόμενα λόγω υψηλού υετού, υποδεικνύει την προσωρινή ψυκτική επίδραση που έχουν οι μεγάλες ποσότητες νερού στο τοπικό κλίμα. Αυτό επιβεβαιώνει ότι η αστικοποίηση χωρίς σωστή διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος μπορεί να επιδεινώσει τις θερμικές συνθήκες, ενώ η παρουσία φυσικών υδάτινων σωμάτων μπορεί να μετριάσει αυτές τις επιπτώσεις.

Αναφορικά με την Περιφερειακή Ενότητα Βοιωτίας διαπιστώνεται ότι παρουσίασε υψηλές μέσες θερμοκρασίες την περίοδο 2019-2022, με κορύφωση το 2021 (32,08°C) και το 2022 (33,02°C). Αυτές οι υψηλές θερμοκρασίες, σε συνδυασμό με τις εξίσου υψηλές διάμεσες θερμοκρασίες, καταδεικνύουν ότι η Βοιωτία επηρεάστηκε έντονα από

τους καύσωνες που έπληξαν τη Νότια Ευρώπη κατά το συγκεκριμένο χρονικό διάστημα. Το 2023, ωστόσο, σημειώθηκε αξιοσημείωτη μείωση της θερμοκρασίας, με τη μέση τιμή να πέφτει στους 27,01°C.

Αντίστοιχη εικόνα παρατηρείται και στους δείκτες UHI και UTFVI, οι οποίοι αυξάνονται σταδιακά από το 2019 έως το 2022, με ιδιαίτερη έμφαση στα έτη 2021 και 2022. Οι υψηλές τιμές των δύο δεικτών, σε συνδυασμό με τις αντίστοιχα αυξημένες τιμές της διάμεσης θερμοκρασίας, υποδηλώνουν έντονη θερμική αστάθεια και αυξημένη θερμική επιβάρυνση στο αστικό περιβάλλον. Κατά το 2022 παρατηρείται ελαφρά πτώση του δείκτη UHI, ενώ το 2023 καταγράφονται αρνητικές τιμές και για τους δύο δείκτες, γεγονός που υποδηλώνει ομοιόμορφη θερμοκρασιακή κατανομή και αισθητή εξασθένιση της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας.

Η Περιφερειακή Ενότητα Εύβοιας βρίσκεται σε στρατηγική θέση στην ηπειρωτική Ελλάδα και αποτελεί το δεύτερο μεγαλύτερο νησί της χώρας. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας, κατά το υπό μελέτη χρονικό διάστημα παρατηρούνται σημαντικές αυξομειώσεις στη μέση και διάμεση θερμοκρασία, καθώς και στο δείκτη UHI (Urban Heat Island). Η μέγιστη μέση θερμοκρασία καταγράφηκε το 2023 (23,5°C), ενώ τις υπόλοιπες χρονιές κινείται σε ένα εύρος μεταξύ 20 και 23,5°C, υποδεικνύοντας εναλλαγές στη θερμοκρασία της ευρύτερης περιοχής. Κατά τα έτη 2022 και 2023, σημειώνεται μικρή άνοδος χωρίς, ωστόσο, να παρατηρούνται ακραίες τιμές.

Η μέγιστη θερμοκρασία που καταγράφηκε το 2023 δύναται να αποδοθεί στις περιβαλλοντικές αλλαγές που προκλήθηκαν από τις πυρκαγιές που σημειώθηκαν το 2021.

Το 2021, η Βόρεια Εύβοια επλήγη από μία από τις πιο καταστροφικές πυρκαγιές, με αποτέλεσμα να καταστραφούν περισσότερα από 400 τετραγωνικά χιλιόμετρα δασικής και αγροτικής γης. Το γεγονός αυτό επηρέασε σημαντικά τη θερμική ισορροπία της περιοχής, καθώς χάθηκε μεγάλο μέρος του δασικού κεφαλαίου που συνέβαλλε στη διατήρηση της θερμοκρασίας και στην απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας. Η απώλεια της δασικής κάλυψης οδήγησε σε μεγαλύτερη θερμική απορρόφηση και αύξηση της θερμικής επιβάρυνσης (Gemitzi & Koutsias, 2022).

Όσον αφορά στο δείκτη UHI, η ευρύτερη περιοχή της Π.Ε. Εύβοιας παρουσιάζει έντονες διακυμάνσεις, κατά το υπό μελέτη χρονικό διάστημα. κατά την υπό μελέτη περίοδο. Κατά τα έτη 2019 και 2020 η ένταση του δείκτη είναι περιορισμένη, ωστόσο ακολούθως

στα λοιπά έτη καταγράφεται σταδιακή ενίσχυση, με κορύφωση στο τέλος της περιόδου, γεγονός που υποδηλώνει σημαντική αύξηση της θερμικής επιβάρυνσης.

Συνολικά, όπως διαπιστώνεται η περιοχή της Εύβοιας παρουσιάζει σημαντικές αλλαγές στη θερμική της ισορροπία λόγω των πυρκαγιών, που οδήγησαν σε μείωση του δασικού πλούτου και αύξηση της θερμικής επιβάρυνσης. Οι πυρκαγιές επηρέασαν σημαντικά τόσο τη θερμική ομοιογένεια όσο και την ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ δημιουργώντας νέες προκλήσεις για τη διαχείριση του θερμικού περιβάλλοντος της

Στην Περιφερειακή Ενότητα Βοιωτίας, περιλαμβάνονται οι κύριοι Καλλικράτιοι Δήμοι, ο Δήμος Λεβαδέων και ο Δήμος Θήβας. Δεν υπάρχουν συγκεκριμένα ποσοτικά ή ποιοτικά στοιχεία που να εξηγούν πλήρως τη μείωση της θερμοκρασίας και του φαινομένου της ΑΘΝ το 2023. Ωστόσο, η Περιφέρεια Στερεάς Ελλάδας έχει προχωρήσει σε παρεμβάσεις για τον μετριασμό των επιπτώσεων των ακραίων καιρικών φαινομένων (όπως οι καύσωνες) έχοντας αφομοιώσει τη Βοιωτία σε ένα πλαίσιο αναπλάσεων και αναβάθμισης του αστικού περιβάλλοντος, το οποίο τέθηκε σε εφαρμογή το 2023 με ορίζοντα ολοκλήρωσης το 2030.

Αυτές οι πρωτοβουλίες, που στοχεύουν στην προστασία από ακραία φαινόμενα και στην ενίσχυση του αστικού περιβάλλοντος, δύναται να συμβάλλουν στην μείωση των θερμοκρασιών και της έντασης της ΑΘΝ, εξασφαλίζοντας ένα βιώσιμο περιβάλλον για τους κατοίκους, ενισχύοντας τη δυνατότητα της Βοιωτίας να προσαρμοστεί στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής.

Η Περιφερειακή Ενότητα Χανίων παρουσιάζει σχετικά ήπιες τιμές μέσης και διάμεσης θερμοκρασίας, οι οποίες κυμαίνονται περίπου μεταξύ 22°C και 24°C κατά την υπό μελέτη περίοδο, χωρίς να παρατηρούνται ακραίες τιμές. Οι δείκτες UTFVI και UHI παρουσιάζουν αρνητικές τιμές, γεγονός το οποίο συνεπάγεται με βελτιωμένη θερμικό περιβάλλον, αποτέλεσμα των χαμηλότερων θερμοκρασιών και της μειωμένης έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ. Εντούτοις, το έτος 2023 ο δείκτης UHI εμφανίζει θετική τιμή, γεγονός το οποίο αντιστοιχεί σε ενίσχυση του φαινομένου σε τοπικό επίπεδο.

Στην Περιφερειακή Ενότητα Ηρακλείου, καταγράφονται σχετικά υψηλές μέσες θερμοκρασίες στο σύνολο του υπό μελέτη χρονικού διαστήματος, με αποκορύφωμα το 2021, όπου η ανώτατη παρατηρούμενη θερμοκρασία φθάνει τους 23,83°C. Παράλληλα, ο δείκτης UTFVI διατηρείται σε χαμηλές τιμές γύρω από το μηδέν, γεγονός που δείχνει ότι η θερμική ομοιογένεια του πεδίου δεν εμφανίζει σημαντικές διαφοροποιήσεις.

Αντίθετα, ο δείκτης UHI εμφανίζει έντονη μεταβλητότητα, καταδεικνύοντας την μη σταθεροποίηση της θερμικής επιβάρυνσης της ευρύτερης περιοχής.

Οι Περιφερειακές Ενότητες Χανίων και Ηρακλείου, διοικητικά ανήκουν στην Περιφέρεια Κρήτης, έχουν κοινή γεωγραφική και κλιματολογική φυσιογνωμία, αποτελούν τις κύριες πύλες εισόδου στο νησί. Έχουν κοινή τοπολογία, δεδομένου ότι πρόκειται για παράκτιες περιοχές, με άμεση επίδραση από τη θάλασσα αύρα. Σύμφωνα με την κλιματική κατηγοριοποίηση της UNESCO (1977), η περιοχή κατατάσσεται στην Α' Κλιματική Ζώνη, χαρακτηριζόμενη από μεσογειακό κλίμα με ζεστά και ξηρά καλοκαίρια και ψυχρούς χειμώνες.

Ως γενεσιουργές αιτίες της παρατηρούμενης θερμοκρασιακής αύξησης δύναται να θεωρηθούν τα ολοένα και συχνότερα επεισόδια μεταφοράς σκόνης από τη Σαχάρα και η ενίσχυση των νότιων ανέμων, που συμβάλλουν στον περιορισμό του θερμού αέρα ανάμεσα στα κτιριακά αποθέματα, καθώς και η μείωση των βροχοπτώσεων η οποία μειώνει τη δυνατότητα ψύχρανσης της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας (Triantafyllou, 2024).

Επιπλέον, στο Ηράκλειο, το οποίο είναι η τέταρτη μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, παρατηρείται έλλειψη αστικών χώρων πρασίνου, γεγονός που εντατικοποιεί το θερμικό αποτύπωμα της πόλης. Σύμφωνα με τους (Proutsos et al., 2020), μεταξύ 1955–2017, η θερμοκρασία του αέρα στο αστικό κέντρο αυξήθηκε κατά $+0,008^{\circ}\text{C}$ ανά έτος, με την μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία να αυξάνονται κατά $+0,010^{\circ}\text{C}/\text{έτος}$ και $+0,016^{\circ}\text{C}/\text{έτος}$ αντίστοιχα. Η εν λόγω τάση ακολουθεί αυξητική πορεία από το 1980 και ενισχύει περαιτέρω το φαινόμενο της ΑΘΝ έως και το 2023. Όπως επισημαίνεται στην έκθεση της Παγκόσμιας Τράπεζας, τμήματα του αστικού περιβάλλοντος εντός της πόλης του Ηρακλείου κατέγραψαν θερμοκρασίες χειρσαίας επιφάνειας, οι οποίες ανέρχονταν στους 33°C , σε αντίθεση με τις περι-αστικές περιοχές οι οποίες παρουσίασαν θερμοκρασιακή απόκλιση έως $10\text{--}15^{\circ}\text{C}$ έναντι των περιοχών του αστικού κέντρου.

Η μείωση της θερμοκρασίας εδάφους και της έντασης του δείκτη UHI το 2022 αποδίδεται εν μέρει στην πανδημία COVID-19, κατά την οποία οι μειωμένες μετακινήσεις, το περιορισμένο περιβαλλοντικό αποτύπωμα και η σταδιακή επανεκκίνηση του τουρισμού συνέβαλαν στη βελτίωση των θερμικών συνθηκών. Η αποτελεσματική διαχείριση της υγειονομικής κρίσης αποτέλεσε το εφαλτήριο για την αξιοποίηση των διαθέσιμων χρηματοδοτικών εργαλείων για την Περιφέρεια Κρήτης, με στόχο την υλοποίηση έργων αναβάθμισης των υποδομών και την προστασία του περιβάλλοντος, στο πλαίσιο της κυκλικής οικονομίας και της βιώσιμης ανάπτυξης.

Η Περιφερειακή Ενότητα Κορινθίας διοικητικά ανήκει στην Περιφέρεια Πελοποννήσου, ενώ η Περιφερειακή Ενότητα Αχαΐας και Αιτωλοακαρνανίας ανήκουν στην Περιφέρεια Δυτικής Ελλάδας. Οι ως άνω περιοχές παρουσιάζουν κοινή παράκτια γεωμορφολογία, με παρόμοιες κλιματολογικές και περιβαλλοντικές συνθήκες, οι οποίες φαίνεται να επηρεάζουν τη θερμική συμπεριφορά τους.

Στην Π.Ε. Κορινθίας, η μέση θερμοκρασία παρουσιάζει αυξανόμενη τάση κατά το διάστημα 2019-2021, με την μέγιστη θερμοκρασία των 30,43°C το 2021. Ακολούθως, εμφανίζει πτωτική τάση, με την ελάχιστη θερμοκρασία να καταγράφεται στους 26,68°C το 2022. Εντούτοις, αξίζει να αναφερθεί ότι τα τελευταία χρόνια παρατηρήθηκε αύξηση της μέσης θερμοκρασίας κατά 1,6°C (Οικονόμου, 2024).

Ο δείκτης UHI παρουσιάζει αρνητικές τιμές καθ' όλη τη διάρκεια του υπό μελέτη χρονικού διαστήματος, υποδεικνύοντας περιορισμένη ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ. Ανάλογη εικόνα εμφανίζει και ο δείκτης UTFVI, γεγονός το οποίο αναδεικνύει την Π.Ε. Κορινθίας σε μια θερμικά ομοιογενή χωρική ενότητα.

Αξίζει ωστόσο να τονισθεί ότι η ευρύτερη περιοχή του Δήμου Κορινθίων πλήττεται σημαντικά από τους βασικούς παράγοντες που σχετίζονται με την κλιματική κρίση (π.χ. καύσωνες, άνοδος της στάθμης της θάλασσας, πυρκαγιές) καθιστώντας επιτακτική την εφαρμογή στρατηγικών μετριασμού των αρνητικών επιπτώσεών της.

Αντίστοιχα, στην Περιφερειακή Ενότητα Αχαΐας παρατηρούνται υψηλές τιμές μέσης θερμοκρασίας το 2020 (29,164°C) και το 2023 (27,06°C), ενώ τα ενδιάμεσα έτη η θερμοκρασία διατηρείται σε χαμηλά επίπεδα, με την ελάχιστη θερμοκρασία να καταγράφεται το 2021 (23,24°C). Ο δείκτης UHI παρουσιάζει σταθερά αρνητικές τιμές, εκτός από το έτος 2021, να συνδέεται με κάποιο κλιματολογικό. Η ένταση και η εξέλιξη του φαινομένου της ΑΘΝ οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο κανονικοποιημένο πολεοδομικό σύστημα του αστικού περιβάλλοντος, καθώς οι κάθετοι δρόμοι περιορίζουν την αύξηση της θερμοκρασίας, χάρη στην ψυκτική επίδραση και τη χαμηλή ταχύτητα κίνησης των ανέμων (Caouris, 2006), η οποία περιορίζει τα φαινόμενα οριζόντιας μεταφοράς στην ευρύτερη περιοχή.

Όσον αφορά στο δείκτη UTFVI, τόσο η Π.Ε. Κορινθίας όσο και η Π.Ε. Αχαΐας παρουσιάζουν χαμηλές τιμές καθ' όλη τη διάρκεια της υπό μελέτη περιόδου, γεγονός που υποδηλώνει θερμική ομοιογένεια και απουσία έντονων διαφοροποιήσεων στο θερμικό πεδίο. Παρόμοια εικόνα παρατηρείται και στην Π.Ε. Αιτωλοακαρνανίας, όπου ο δείκτης καταγράφει χαμηλές και σταθερές τιμές, επιβεβαιώνοντας την ύπαρξη ήπιων θερμικών

συνθηκών στην ευρύτερη περιοχή της Δυτικής Ελλάδας. Η σχετική ομοιογένεια των τιμών στις τρεις αυτές περιοχές ενδέχεται να συνδέεται με την κοινή γεωμορφολογία και τις παράκτιες επιρροές, καθώς και με τις παρόμοιες κλιματικές συνθήκες που χαρακτηρίζουν το δυτικό τμήμα της χώρας. Ωστόσο, το αστικό κέντρο του Αγρινίου, λόγω της έντονης αστικοποίησης και της περιορισμένης παρουσίας χώρων πρασίνου, απορροφά σημαντικό θερμικό φορτίο, όπως έχει επισημανθεί και από τους Vardoulakis et al. (2011), οι οποίοι διαπίστωσαν αυξημένη θερμοκρασία και ενεργειακή κατανάλωση σε σχέση με τις περι-αστικές περιοχές.

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι η πόλη της Πάτρας και η ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Αχαΐας ξεχωρίζουν για τον μητροπολιτικό τους χαρακτήρα, καθώς αποτελούν οικονομικό και διοικητικό κέντρο για το δυτικό τόξο της Ελλάδας. Ως άμεση απόρροια δύνανται να επηρεάζονται οι θερμικές και περιβαλλοντικές συνθήκες της περιοχής.

3.2.3.1 Συμπεράσματα

Κατόπιν της θεωρητικής ανάλυσης του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και της ανάλυσης των υπό μελέτη περιοχών προκύπτουν κάποια συμπεράσματα.

Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας είναι και θα είναι ένα φαινόμενο το οποίο θα εμφανίζεται με διαφορετική ένταση και τυπολογία στα σύγχρονα αστικά κέντρα αναλόγως των περιβαλλοντικών και κλιματολογικών επιδράσεων. Κάθε περιοχή μελέτης, μπορεί να επηρεάζεται από έναν ή και περισσότερους παράγοντες, οι οποίοι συνδυάζονται μεταξύ τους και διαμορφώνουν το αστικό μικροκλίμα και τις επικρατούσες συνθήκες.

Οι βασικοί παράγοντες που διαμορφώνουν την τυπολογία του φαινομένου της ΑΘΝ:

- Μικρής κλίμακας αστικές επεμβάσεις /Σημειακές πολιτικές/ Έλλειψη χώρων αστικού πρασίνου
- Γεωγραφική θέση
- Πληθυσμιακή πυκνότητα
- Κλιματολογικές συνθήκες
- Επίδραση φυσικών καταστροφών
- Σύστημα ανάπτυξης πολεοδομικού ιστού

Η ποσοτική προσέγγιση του φαινομένου της ΑΘΝ συνέβαλε στη διαπίστωση ότι δεν υπάρχει μοναδικότητα στον τρόπο εμφάνισής του στις ελληνικές πόλεις. Αντιθέτως, διαφέρει από περιοχή σε περιοχή και επηρεάζεται σημαντικά από την αλληλεπίδραση των ως άνω παραγόντων σε διαφορετικό βαθμό. Επιπλέον, κατέστη σαφές ότι η διαχρονική αύξηση της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ και της παρουσίας του στα σύγχρονα αστικά κέντρα διαμορφώνει διαφορετικές ανάγκες και προκλήσεις που απαιτούν πολυδιάστατες στρατηγικές μετριασμού. Η διαμόρφωση των στρατηγικών μετριασμού δε θα πρέπει να περιορίζονται στα διοικητικά όρια των αστικών κέντρων, αλλά θα πρέπει να στοχεύουν στην αντιμετώπιση του δομημένου περιβάλλοντος ως ενιαίο σύστημα με την ευρύτερη περιοχή του και πυρήνα ανάπτυξης το φυσικό περιβάλλον.

Στην Εικόνα 5 παρουσιάζεται η κατηγοριοποίηση των υπό μελέτη περιοχών ανάλογα με τους παράγοντες που συντελούν στο φαινόμενο της ΑΘΝ.

Παράγοντας		Περιοχή Μελέτης	Αιτία
Τοποθεσία	Ηπειρωτικές Περιοχές	Π.Ε. Λάρισας	Θαλάσσια αύρα
	Παράκτιες Περιοχές	Π.Ε. Μαγνησίας, Π.Ε. Φθιώτιδας, Π.Ε. Εύβοιας, Π.Ε. Κορινθίας, Π.Ε. Αιτωλοακαρνανίας	
Αστικοποίηση & Έλλειψη Χώρων Αστικού Πρασίνου		Π.Ε. Λάρισας, Π.Ε. Ηρακλείου	Έλλειψη θεσμικού πλαισίου και αδυναμία έγκαιρης προσαρμογής στην κλιματική κρίση
Φυσικές Καταστροφές	Πλημμυρικά Φαινόμενα	Π.Ε. Μαγνησίας	Κλιματική Αλλαγή
	Καύσωνες	Π.Ε. Βοιωτίας	
	Δασικές Πυρκαγιές	Π.Ε. Εύβοιας	
Κλιματολογικοί Παράγοντες		Π.Ε. Ηρακλείου, Π.Ε. Χανίων	Κλιματική Αλλαγή
Πολεοδομικά Χαρακτηριστικά		Π.Ε. Αχαΐας	Πολεοδομικός Σχεδιασμός

Εικόνα 5: Παράγοντες επίδρασης της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ στις υπό μελέτη ελληνικές περιοχές

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Οι παράκτιες πόλεις, όπως ο Βόλος και η Φθιώτιδα, επωφελούνται από τη θαλάσσια αύρα, η οποία συμβάλλει στη μείωση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας και κατ' επέκταση στην ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ, επιφέροντας ηπιότερο θερμοκρασιακό περιβάλλον. Συγκεκριμένα, στην Π.Ε. Μαγνησίας καταγράφηκε μείωση του δείκτη UHI το 2023, γεγονός που μπορεί να συνδεθεί με την ψυκτική δράση που προέκυψε ως αποτέλεσμα των καταστροφικών πλημμυρών και της αυξημένης υγρασίας.

Αντίθετα, οι ηπειρωτικές περιοχές, όπως η Π.Ε. Λάρισας και η Π.Ε. Βοιωτίας, παρουσιάζουν υψηλότερη ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ. Η έλλειψη θαλάσσιας γειννίας και η περιορισμένη κίνηση του αέρα συμβάλλουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες και μεγαλύτερη θερμική επιβάρυνση του αστικού περιβάλλοντος. Επιπλέον, πρόκειται για περιοχές με υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα και αυξημένη αστικοποίηση, όπου η θερμική επιβάρυνση είναι εντονότερη λόγω της περιορισμένης ύπαρξης πράσινων χώρων και της πυκνής δόμησης.

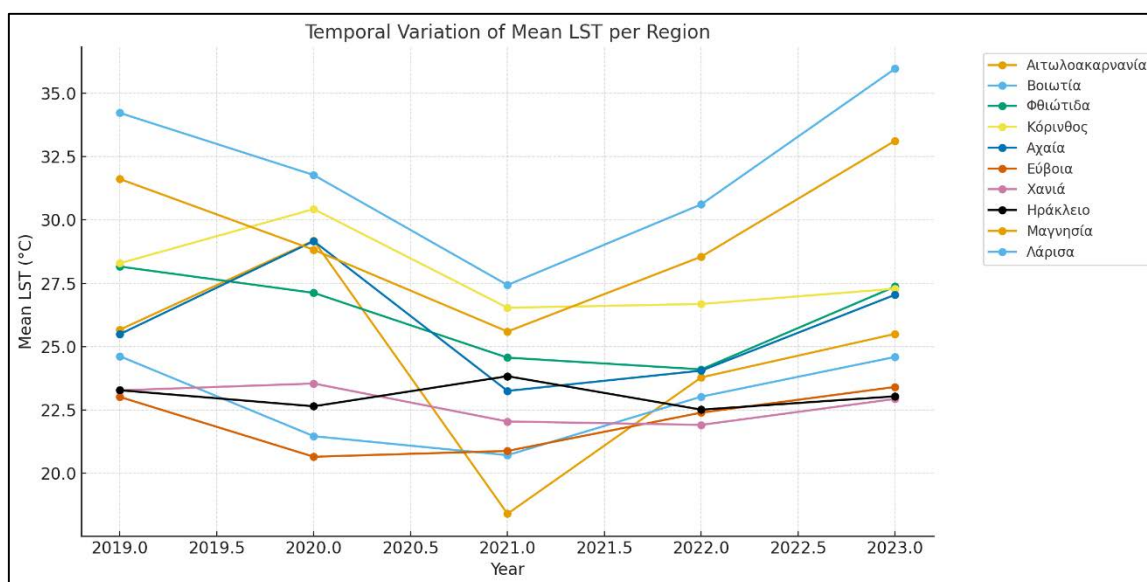
Παρόμοια εικόνα με την Π.Ε. Λάρισας παρουσιάζει και η Π.Ε. Ηρακλείου, με σημαντικές θερμικές πιέσεις που συνδέονται με την αστική εξάπλωση και τις κλιματικές συνθήκες της περιοχής.

Τα έντονα φαινόμενα καύσωνα που παρατηρήθηκαν στο σύνολο της χώρας, όπως το καλοκαίρι του 2023, οδήγησαν σε αύξηση της μέσης θερμοκρασίας (LST) και στην εντατικοποίηση του φαινομένου της ΑΘΝ. Αυτό είναι ιδιαίτερα εμφανές στις κεντρικές

πόλεις της ηπειρωτικής χώρας, όπως στην Π.Ε. Βοιωτίας και Λάρισας, όπου η θερμική καταπόνηση υπήρξε μεγαλύτερη.

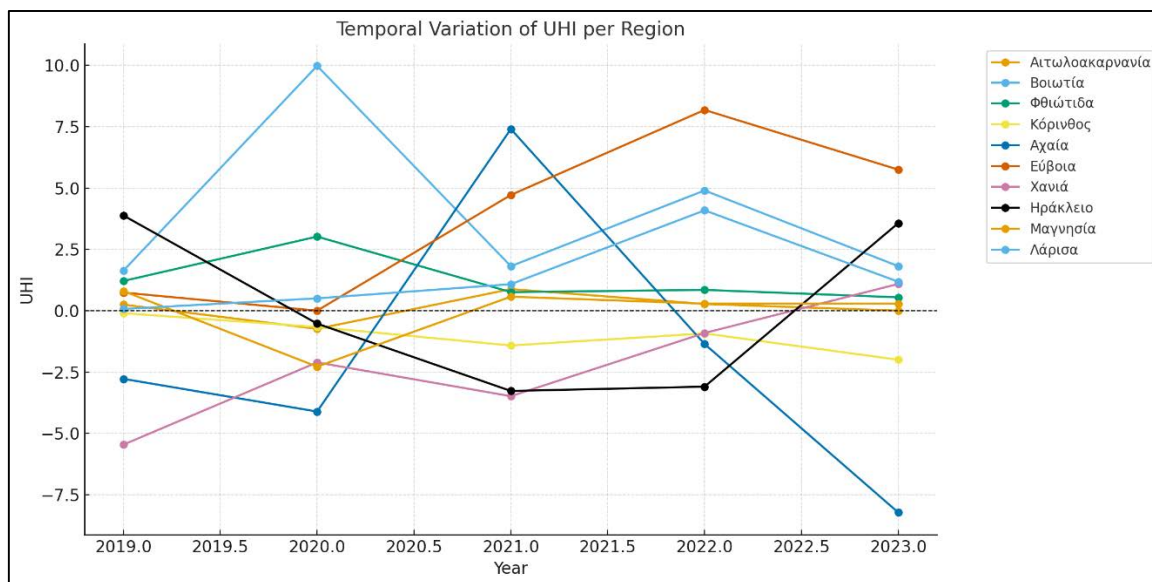
Από την άλλη, οι πυρκαγιές στην Π.Ε. Εύβοιας το 2021 οδήγησαν σε απώλεια μεγάλης δασικής έκτασης, γεγονός που επέφερε αύξηση της θερμικής απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας και δημιουργία τοπικών θερμικών νησίδων, επηρεάζοντας αρνητικά τη θερμική ισορροπία της περιοχής και αυξάνοντας τον δείκτη UHI.

Διακριτή περίπτωση περιοχής μελέτης αποτελεί η Π.Ε. Αχαΐας, όπου λόγω της εμφάνισης συγκεκριμένων πολεοδομικών χαρακτηριστικών, παρατηρείται μειωμένη ένταση του δείκτη UHI σε σχέση με άλλες ηπειρωτικές ενότητες. Το γεγονός αυτό αναδεικνύει τη σημασία του πολεοδομικού σχεδιασμού και της χωρικής οργάνωσης στη διαχείριση και τον μετριασμό της αστικής θερμικής νησίδας.



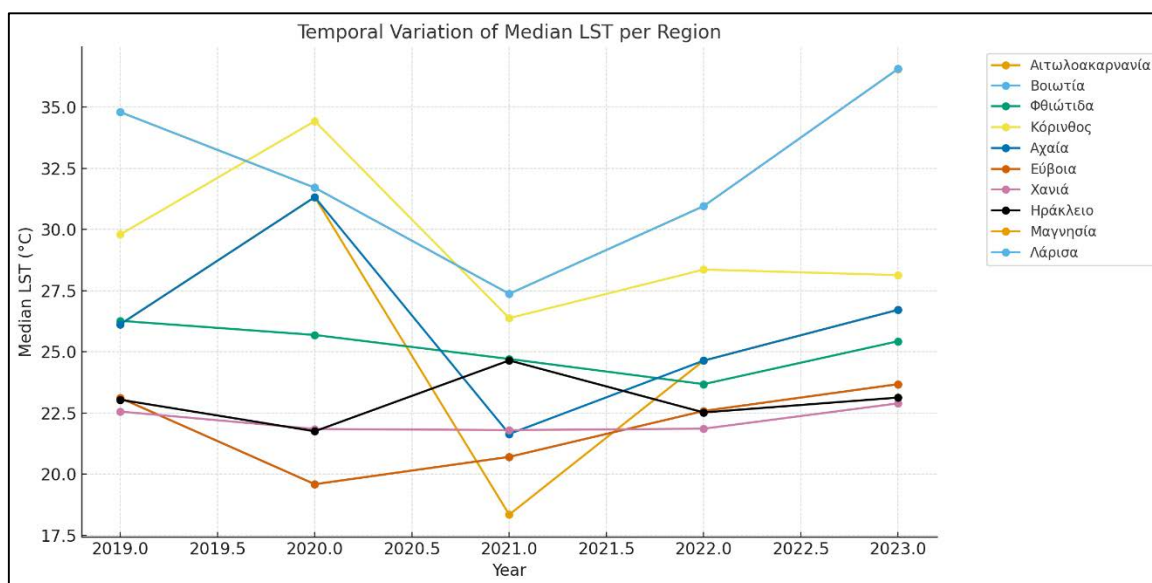
Διάγραμμα 5: Διαχρονική Μεταβολή της Μέσης Θερμοκρασίας για το σύνολο των υπό μελέτη περιοχών

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



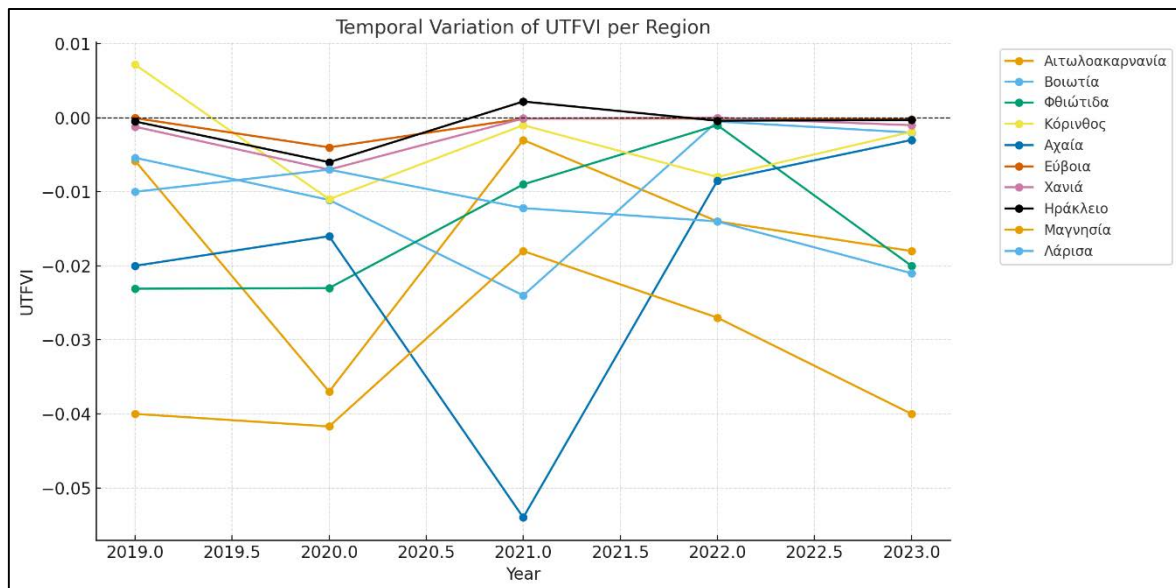
Διάγραμμα 6: Διαχρονική Μεταβολή του δείκτη UHI για το σύνολο των υπό μελέτη περιοχών

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Διάγραμμα 7: Διαχρονική Μεταβολή της Διάμεσης Θερμοκρασίας για το σύνολο των υπό μελέτη περιοχών

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία



Διάγραμμα 8: Διαχρονική Μεταβολή του δείκτη UTFVI για το σύνολο των υπό μελέτη περιοχών

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

3.2.3.1.1 Ψηφιακή Χαρτογραφική Αποτύπωση της Εξέλιξης των Δεικτών UTFVI και UHI

Η διαχρονική μεταβολή του Δείκτη Θερμικής Διασποράς Αστικού Πεδίου (UTFVI) για την περίοδο 2019–2023 αποτυπώνεται στην Εικόνα 6. Η χαρτογραφική απεικόνιση παρουσιάζει τα ταξινομημένα επίπεδα του δείκτη UTFVI, όπως αυτά προέκυψαν από την ποσοτική ανάλυση των τιμών της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας (LST).

Η κατηγοριοποίηση των τιμών του δείκτη UTFVI σε κλάσεις μεθοδολογικά βασίσθηκε στους (Liu & Zhang, 2011), ωστόσο στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας έγινε ομαδοποίηση σε τέσσερις κλάσεις σύμφωνα με τις τιμές των υπό μελέτη χωρικών ενοτήτων. Η ως άνω μεθοδολογία επιλέχθηκε κατόπιν προσαρμογής των τιμών κατωφλίων (thresholds) με βάση τα στατιστικά χαρακτηριστικά (ελάχιστη–μέγιστη τιμή και κατανομή του ιστογράμματος) του εκάστοτε χρονικού διαστήματος, ώστε να παραχθεί η όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερη χαρτογραφική απόδοση των χωρικών τάσεων.

Η ταξινόμηση των τιμών παρήγαγε τις ακόλουθες κλάσεις:

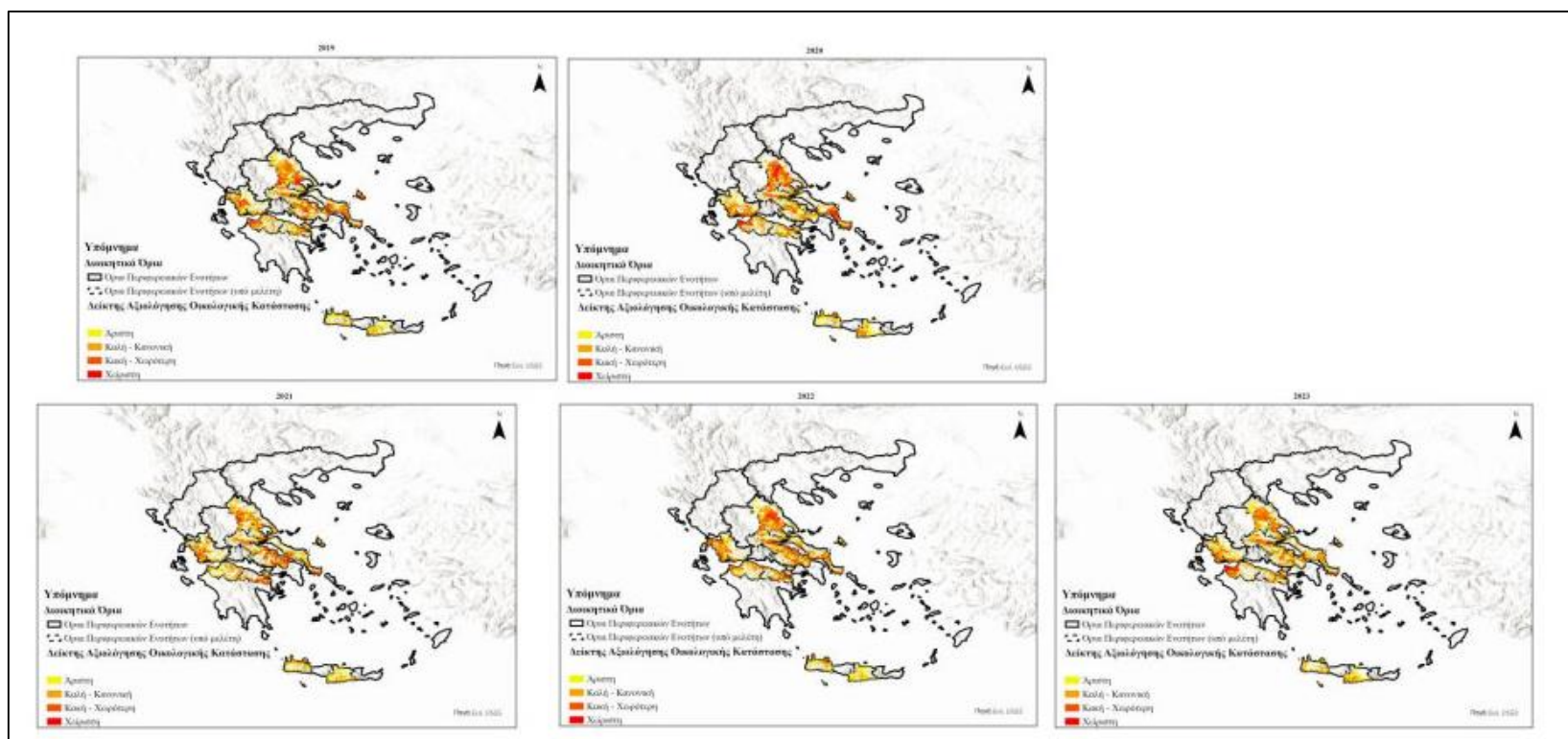
- Περιοχές με πολύ χαμηλή οικολογική επιβάρυνση, κίτρινη απόχρωση όπου ο Δείκτης Αξιολόγησης Οικολογικής Κατάστασης χαρακτηρίζεται ως “Άριστος”
- Περιοχές με χαμηλή επιβάρυνση, όπου συναντώνται χαμηλά επίπεδα πληθυσμιακής πυκνότητας, πορτοκαλί απόχρωση και ο Δείκτης Αξιολόγησης Οικολογικής Κατάστασης χαρακτηρίζεται ως “Καλός – Κανονικός”
- Περιοχές με ισχυρή θερμική επιβάρυνση, έντονη πορτοκαλί απόχρωση, όπου ο Δείκτης Αξιολόγησης Οικολογικής Κατάστασης χαρακτηρίζεται ως “Κακός – Χειρότερος”
- Περιοχές με θερμική ανισορροπία, κόκκινη απόχρωση, όπου ο Δείκτης Αξιολόγησης Οικολογικής Κατάστασης χαρακτηρίζεται ως “Χείριστος”

Η υπολογιστική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του ArcGIS Pro, μέσω της λειτουργίας Symbolology – Classify, με χρήση χειροκίνητων ορίων (manual intervals).

Σύμφωνα με την Εικόνα 6, οι υπό μελέτη Περιφερειακές Ενότητες παρουσιάζουν σημαντικές χωρικές διαφοροποιήσεις με μια τάση σταθερότητας, η οποία επηρεάζεται από τους εκάστοτε τοπικούς παράγοντες. Το γεγονός αυτό ενισχύει σημαντικά το δυναμικό χαρακτήρα του περιβάλλοντος, το οποίο παρουσιάζει ανισοκατανομή μεταξύ αστικού δομημένου χώρου και περι-αστικών ζωνών.

Η πλειονότητα των υπό μελέτη περιοχών εντοπίζεται στην κλάση “Καλή - Κανονική” γεγονός που καταδεικνύει μια σχετικά ικανοποιητική οικολογική κατάσταση. Ωστόσο, κατά το χρονικό διάστημα 2019-2020 εντατικοποιείται η ένταση των περιοχών ανήκουν στην κλάση “Κακή - Χειρότερη”. Οι περιοχές αυτές εντοπίζονται κυρίως στις Περιφερειακές Ενότητες Λάρισας, Μαγνησίας, Εύβοιας και Φθιώτιδας καταδεικνύοντας την επιδείνωση της οικολογικής τους ποιότητας. Παράγοντες όπως η χωρική διάρθρωση των χρήσεων γης, ο βαθμός έντασης των ανθρωπογενών παρεμβάσεων και η περιορισμένη φυτική κάλυψη δύνανται να επηρεάζουν καθοριστικά την οικολογική εικόνα των περιοχών αυτών.

Αξίζει να τονισθεί ότι το χρονικό διάστημα 2022-2023 παρουσιάζεται τάση βελτίωσης, πιθανώς συνδεδεμένη με μικρής κλίμακας παρεμβάσεις πρασίνου καθώς και με διαφοροποιήσεις στις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες, οι οποίες ενδέχεται να λειτούργησαν εξισορροπητικά.



Εικόνα 6: Διαχρονική εξέλιξη του Δείκτη Αξιολόγησης Οικολογικής Κατάστασης (2019–2023) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

3.2.3.2 Συσχετίσεις Δεικτών ΑΘΝ και Θερμοκρασιακών Μεταβλητών

Για κάθε μια από τις υπό μελέτη χωρικές ενότητες υπολογίσθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson μεταξύ της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST), του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (UHI), και του Δείκτη Θερμικής Διασποράς Αστικού Πεδίου (UTFVI). Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις άνω συσχετίσεις δίνονται στον ακόλουθο πίνακα

Πίνακας 8: Συσχετίσεις μεταξύ του Δείκτη UHI, του UTFVI και της Μέσης Θερμοκρασίας (LST) για τις υπό μελέτη περιοχές

Περιφερειακή Ενότητα	OBJECT ID	UHI vs LST	UHI vs UTFVI	UTFVI vs LST
Αιτωλοακαρνανίας	38	-0.952	—	—
Βοιωτίας	28	0.938	0.581	0.810
Φθιώτιδας	27	0.326	-0.478	-0.958
Κορινθίας	42	0.509	-0.168	-0.301
Αχαΐας	37	0.148	-0.487	0.534
Εύβοιας	29	0.614	0.296	0.629
Χανίων	74	0.454	-0.233	-0.746
Ηρακλείου	71	-0.695	-0.526	0.673
Μαγνησίας	24	0.122	0.428	-0.808
Λάρισας	22	-0.107	-0.779	-0.414

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 8, οι συσχετίσεις μεταξύ UHI και UTFVI είναι αρνητικές έως μέτρια θετικές, με τις τιμές του συντελεστή r να κυμαίνονται μεταξύ -0,78 και 0,58 στην πλειονότητα των υπό μελέτη χωρικών ενότητων. Αυτό σημαίνει ότι σε αρκετές περιοχές η αύξηση της έντασης του δείκτη αστικής θερμικής νησίδας (UHI) συνδέεται με μείωση του δείκτη θερμικής διασποράς αστικού πεδίου (UTFVI), γεγονός που υποδηλώνει αντίστροφη σχέση μεταξύ θερμότητας και θερμικής ομοιογένειας.

Η μέτρια συσχέτιση δύναται να εκφράζει ότι οι περιοχές με αυξημένες τιμές του δείκτη UHI τείνουν να εμφανίζουν μικρότερες τιμές του δείκτη UTFVI, επιβεβαιώνοντας τον μετριαστικό ρόλο της βλάστησης στη θερμική συμπεριφορά του αστικού ιστού.

Όσον αφορά στις συσχετίσεις μεταξύ της θερμοκρασίας εδάφους (LST) και του δείκτη UHI, παρατηρείται σημαντική διαφοροποίηση ανά περιοχή, με τιμές του συντελεστή να κυμαίνονται από -0,95 έως +0,94. Σε περιοχές όπως η Π.Ε. Βοιωτίας και Εύβοιας παρατηρούνται ισχυρές θετικές συσχετίσεις, υποδεικνύοντας ότι η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας είναι ανάλογη των τιμών του δείκτη UHI.

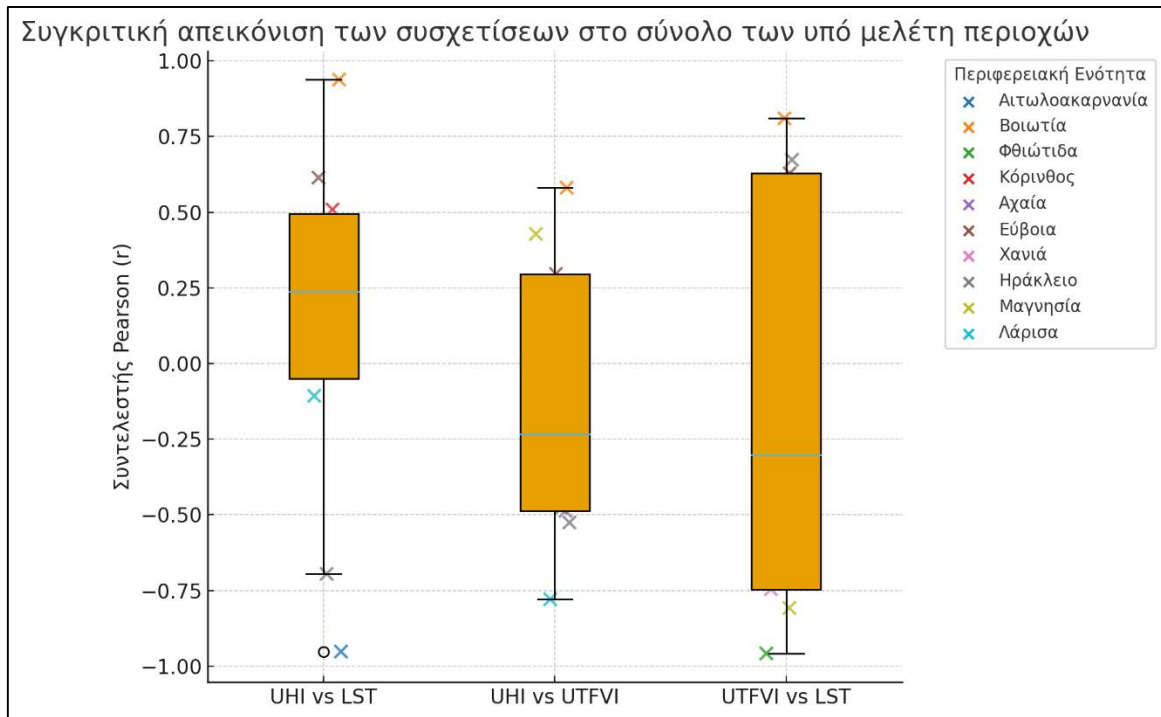
Αντίθετα, σε περιοχές όπως η Π.Ε. Αιτωλοακαρνανίας, Ηρακλείου, Φθιώτιδας και Μαγνησίας, η σχέση είναι αρνητική, γεγονός που υποδηλώνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους δε συνδέεται με την μεταβολή των τιμών του δείκτη UHI.

Οι διακυμάνσεις αυτές δύνανται να οφείλονται στο βαθμό επίδρασης του δείκτη UHI στις εκάστοτε τοπικές θερμοκρασίες που εμφανίζουν οι υπό μελέτη χωρικές ενότητες, υποδεικνύοντας ότι οι περιβαλλοντικοί παράγοντες παίζουν σημαντικό ρόλο στη διαφοροποίηση των αποτελεσμάτων.

Αξίζει να σημειωθεί ότι οι περιοχές με αρνητική συσχέτιση μεταξύ της θερμοκρασίας εδάφους και του δείκτη UHI έχουν κοινό χαρακτηριστικό τη γειννίαση με το θαλάσσιο μέτωπο, όπου η θάλασσα λειτουργεί ως φυσικός ρυθμιστής της θερμοκρασίας, περιορίζοντας την ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ.

Αναφορικά με τα αποτελέσματα που προκύπτουν από τη συσχέτιση μεταξύ των δεικτών UTFVI και LST, παρατηρείται σταθερά αρνητική σχέση στις περισσότερες Περιφερειακές Ενότητες (έως -0,95), γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η αυξημένη ύπαρξη φυτικής κάλυψης συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας του εδάφους.

Η σχέση UHI–UTFVI και UTFVI–LST αναδεικνύει το αστικό πράσινο ως κρίσιμο παράγοντα μετριασμού της θερμότητας, ενώ οι χωρικές διαφοροποιήσεις των τιμών καταδεικνύουν την επιρροή τοπογραφικών και μικροκλιματικών παραγόντων στη χωρική έκφραση του φαινομένου της ΑΘΝ.



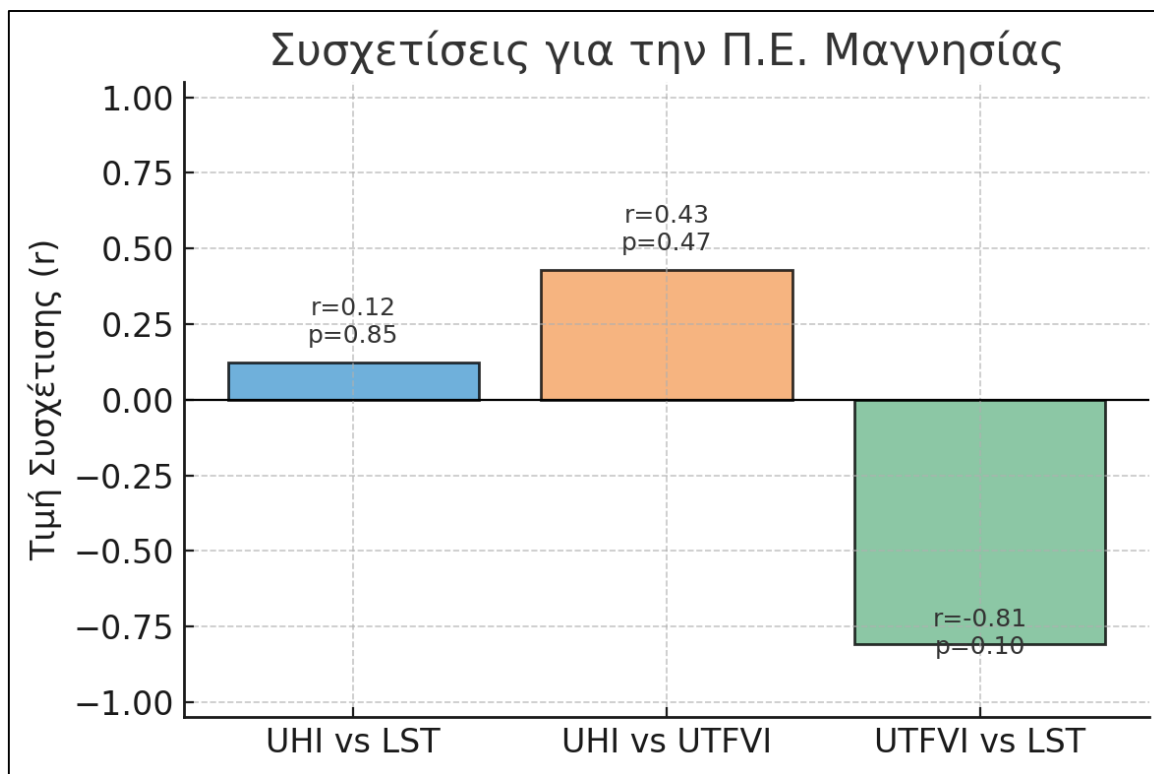
Διάγραμμα 9: Συγκριτική αποτύπωση των συσχετίσεων στο σύνολο των υπό μελέτη περιοχών

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Συγκεκριμένα, στην ευρύτερη περιοχή της Μαγνησίας παρατηρείται ασθενής θετική συσχέτιση μεταξύ των δεικτών UHI και LST ($r = 0.12$, $p = 0.85$), γεγονός που υποδηλώνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους (LST) σχετίζεται οριακά με την ένταση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (UHI), χωρίς όμως η σχέση αυτή να είναι στατιστικά σημαντική.

Μεταξύ των δεικτών UHI και UTFVI παρατηρείται μέτρια θετική συσχέτιση ($r = 0.43$, $p = 0.47$), η οποία δείχνει ότι σε περιόδους αυξημένης θερμικής καταπόνησης, ο δείκτης θερμικής διασποράς αστικού πεδίου αυξάνεται αντίστοιχα, γεγονός που φανερώνει αναλογία μεταξύ θερμικής επιβάρυνσης και χωρικής ομοιογένειας του θερμικού φορτίου.

Αντίθετα, η ισχυρά αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δεικτών UTFVI και LST ($r = -0.81$, $p = 0.10$) υποδηλώνει ότι η αυξημένη παρουσία φυτικής κάλυψης συμβάλλει σημαντικά στη μείωση της θερμοκρασίας εδάφους, δημιουργώντας συνθήκες θερμικής ομοιογένειας και βελτιωμένης μικροκλιματικής συμπεριφοράς στην ευρύτερη περιοχή της Π.Ε. Μαγνησίας.



Διάγραμμα 10: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Μαγνησίας

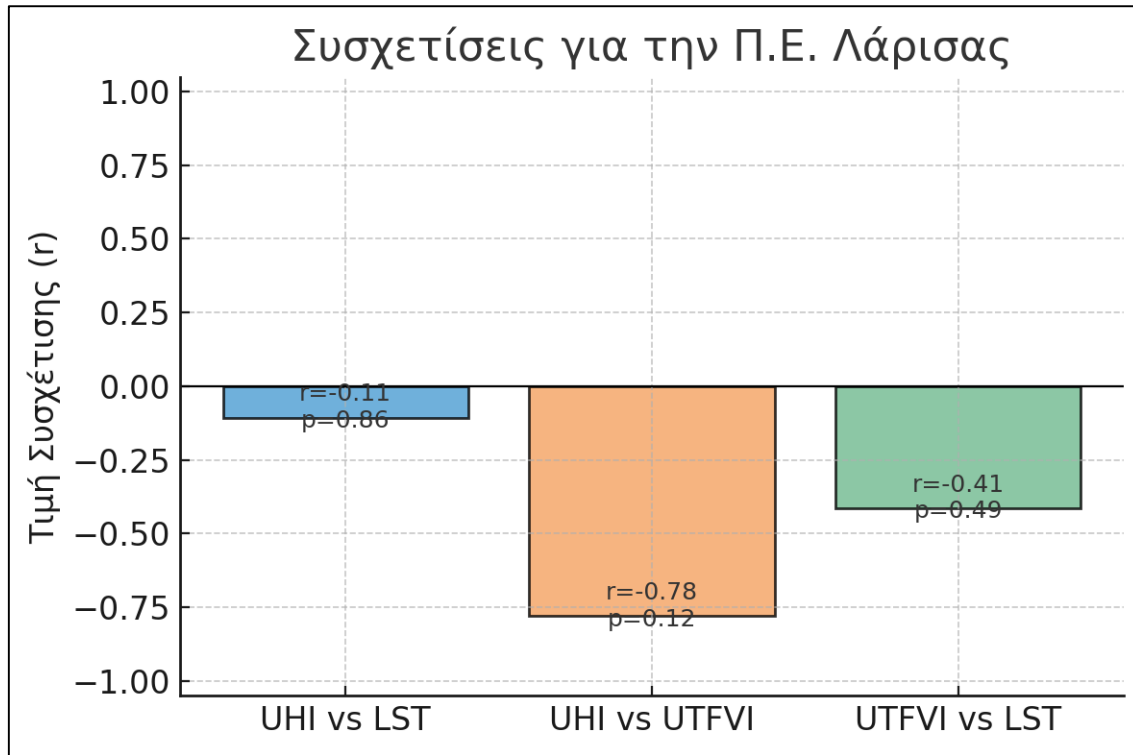
Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Λάρισας, οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών UHI, LST και UTFVI παρουσιάζονται αρνητικές, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι μεταβλητές αυτές μεταβάλλονται αντίστροφα μεταξύ τους.

Συγκεκριμένα, η συσχέτιση μεταξύ UHI και LST είναι πολύ ασθενής αρνητική ($r = -0.11$, $p = 0.86$), ενώ η συσχέτιση μεταξύ UHI και UTFVI είναι ισχυρότερη αρνητική ($r = -0.78$, $p = 0.12$), αν και μη στατιστικά σημαντική. Ως αποτέλεσμα, η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους συνοδεύεται από οριακή μείωση της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας, ενώ η μείωση του δείκτη βλάστησης (UTFVI) φαίνεται να συνδέεται με αύξηση της θερμικής έντασης, χωρίς όμως η σχέση αυτή να επιβεβαιώνεται στατιστικά.

Παράλληλα, η συσχέτιση μεταξύ UTFVI και LST είναι μέτρια αρνητική ($r = -0.41$, $p = 0.49$), γεγονός που υποδηλώνει ότι, παρά την αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους, η βλάστηση συμβάλλει μερικώς στη μείωση της θερμικής ανομοιογένειας της περιοχής.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στην ευρύτερη Π.Ε. Λάρισας οι δείκτες θερμικού περιβάλλοντος παρουσιάζουν αντίστροφη αλλά μη στατιστικά σημαντική σχέση, γεγονός που φανερώνει περιορισμένη αλληλεξάρτηση μεταξύ των παραμέτρων που επηρεάζουν τη θερμική συμπεριφορά του αστικού ιστού.



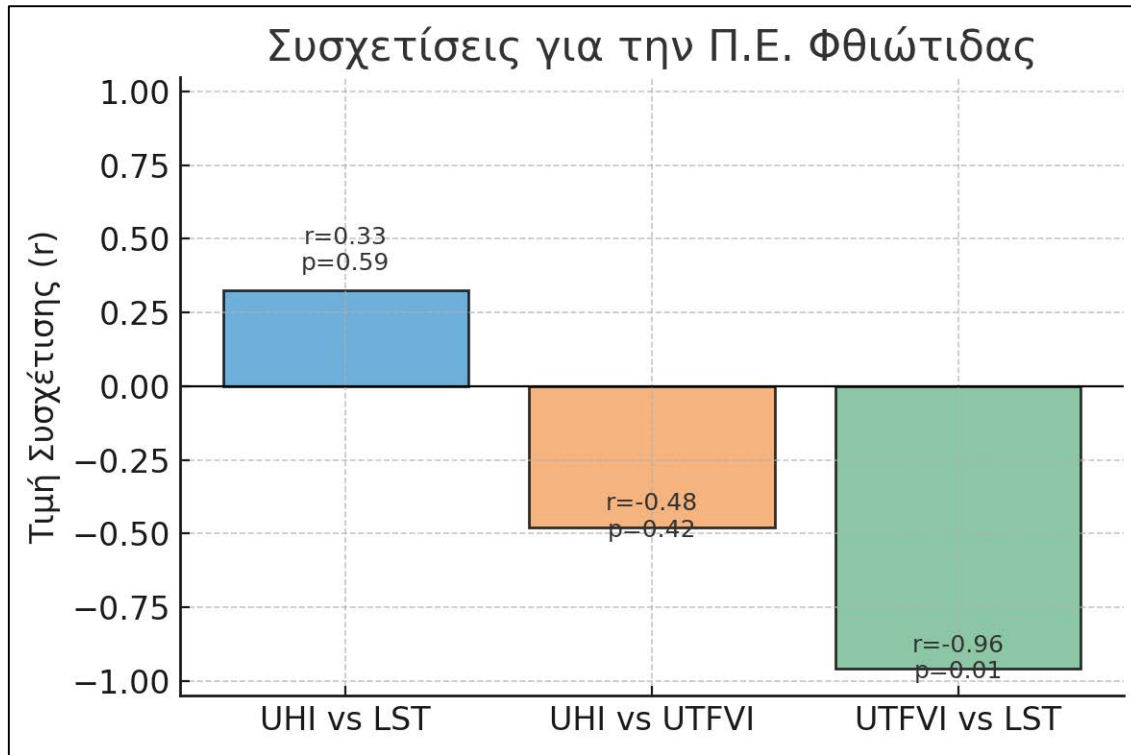
Διάγραμμα 11: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Λάρισα

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Φθιώτιδας, οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών UHI, LST και UTFVI παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις, γεγονός που υποδηλώνει μια σύνθετη αλληλεξάρτηση μεταξύ θερμοκρασίας, βλάστησης και έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ).

Συγκεκριμένα, η συσχέτιση μεταξύ UHI και LST είναι ασθενής θετική ($r = 0.33$, $p = 0.59$), γεγονός που δείχνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους σχετίζεται περιορισμένα με την ενίσχυση του φαινομένου της ΑΘΝ. Αντίθετα, μεταξύ των δεικτών UHI και UTFVI παρατηρείται μέτρια αρνητική συσχέτιση ($r = -0.48$, $p = 0.42$), υποδηλώνοντας ότι η αύξηση της βλάστησης συνδέεται με μείωση της θερμικής έντασης, χωρίς όμως η σχέση να είναι στατιστικά σημαντική.

Η συσχέτιση μεταξύ UTFVI και LST είναι ισχυρά αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r = -0.96$, $p = 0.01$), γεγονός που επιβεβαιώνει ότι η αυξημένη παρουσία βλάστησης συμβάλλει ουσιαστικά στη μείωση της θερμοκρασίας εδάφους και στην ενίσχυση της θερμικής ομοιογένειας της περιοχής.

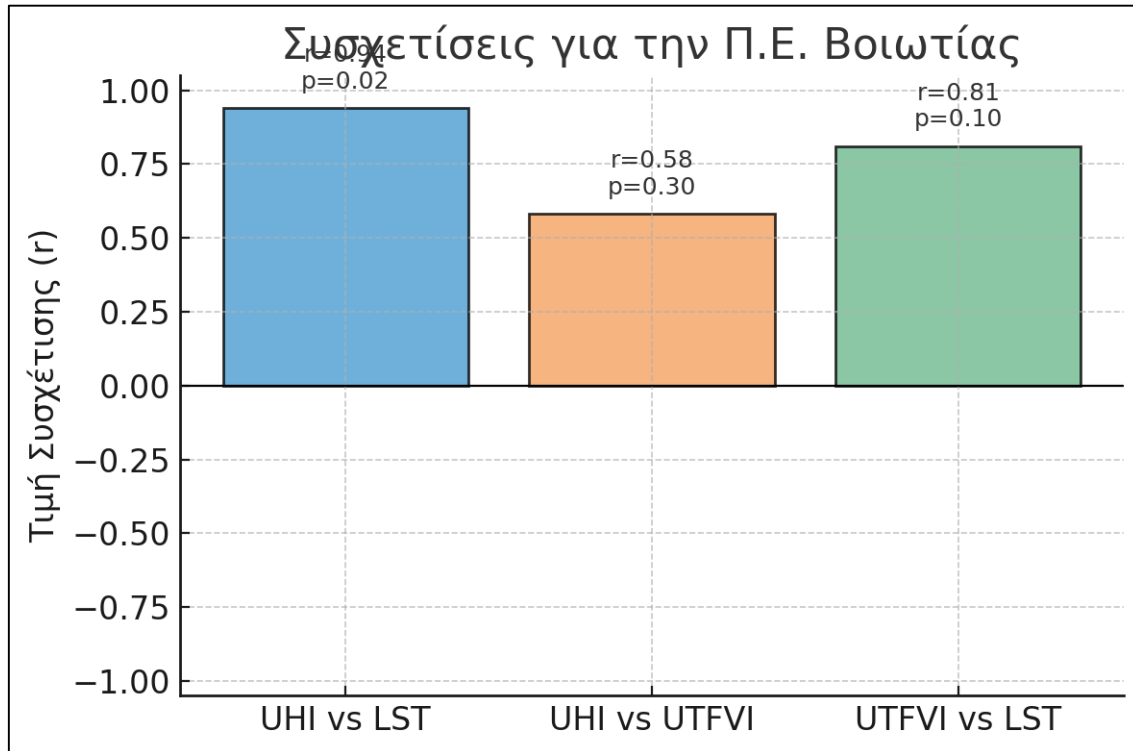


Διάγραμμα 12: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Φθιώτιδας

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Η χωρική διαφοροποίηση των παραπάνω σχέσεων συνδέεται άμεσα με τους φυσικούς παράγοντες της Φθιώτιδας, καθώς η παρουσία εκτεταμένων ορεινών όγκων (Οίτη, Καλλίδρομο, Τυμφρηστός) και ενδιάμεσων πεδινών εκτάσεων δημιουργεί έντονες τοποκλιματικές αντιθέσεις. Οι ορεινές περιοχές λειτουργούν ως φυσικοί ρυθμιστές της θερμοκρασίας, περιορίζοντας την ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ μέσω αυξημένης βλάστησης και διαφοροποιημένης ατμοσφαιρικής κυκλοφορίας, ενώ τα πεδινά τμήματα συγκεντρώνουν υψηλότερες θερμοκρασίες.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στη Φθιώτιδα η τοπογραφία και η κατανομή της βλάστησης επηρεάζουν καθοριστικά τη διακύμανση των θερμοκρασιών, αναδεικνύοντας τον ρόλο των φυσικών χαρακτηριστικών ως ρυθμιστικών παραγόντων του φαινομένου της ΑΘΝ.



Διάγραμμα 13: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Βοιωτίας

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Βοιωτίας, οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών UHI, LST και UTFVI καταδεικνύουν έντονη αλληλεξάρτηση μεταξύ θερμικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Η συσχέτιση μεταξύ UHI και LST είναι ισχυρά θετική και στατιστικά σημαντική ($r = 0.94$, $p = 0.02$), γεγονός που υποδηλώνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους συνδέεται άμεσα με την ενίσχυση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ).

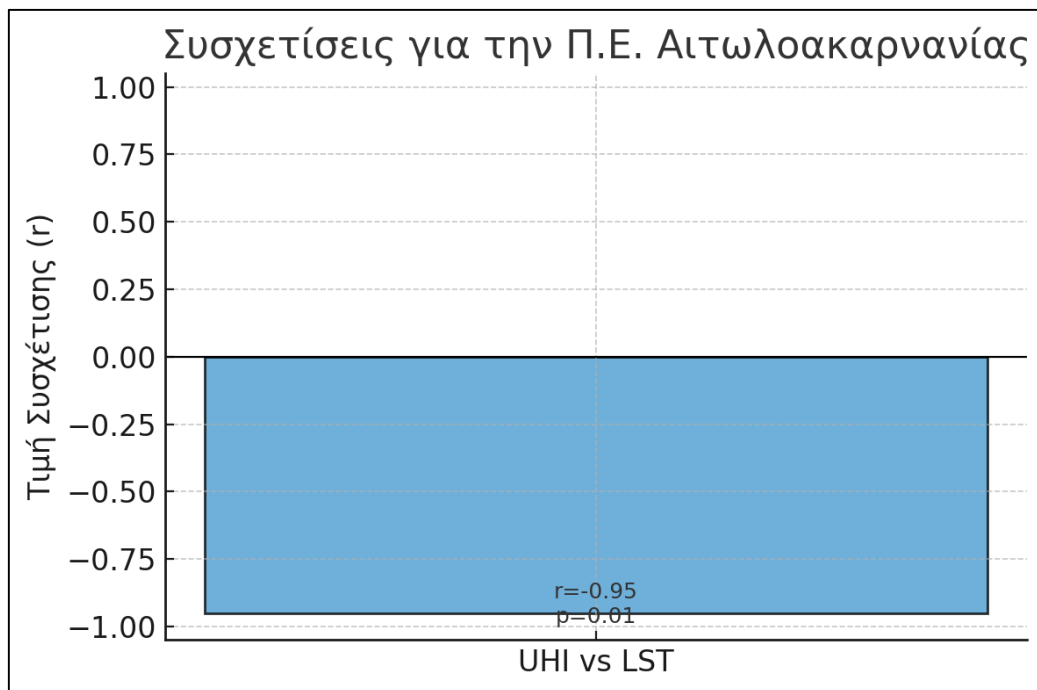
Η σχέση μεταξύ UHI και UTFVI είναι μέτρια θετική ($r = 0.58$, $p = 0.30$), κάτι που δείχνει ότι περιοχές με υψηλότερες τιμές του δείκτη θερμικής διασποράς εμφανίζουν επίσης αυξημένη θερμική ένταση, χωρίς όμως η συσχέτιση να είναι στατιστικά σημαντική.

Αντίστοιχα, η συσχέτιση μεταξύ UTFVI και LST είναι ισχυρή θετική ($r = 0.81$, $p = 0.10$), γεγονός που υποδηλώνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους συνοδεύεται από μεγαλύτερη θερμική ομοιογένεια, ιδίως στις πεδινές και αστικές περιοχές.

Η χωρική συμπεριφορά των συσχετίσεων αυτών μπορεί να ερμηνευθεί από τα μορφολογικά και γεωγραφικά χαρακτηριστικά της Βοιωτίας, καθώς οι εκτεταμένες πεδινές εκτάσεις και οι βιομηχανικά αναπτυγμένες ζώνες ενισχύουν το φαινόμενο της ΑΘΝ, περιορίζοντας τη φυσική δροσιστική επίδραση της βλάστησης.

Η έλλειψη σημαντικής φυτοκάλυψης στις αστικές συγκεντρώσεις, σε συνδυασμό με τη χαμηλή αναλογία πρασίνου, εξηγεί τη θετική συνάφεια μεταξύ θερμοκρασίας και θερμικής έντασης.

Συνολικά, στην Π.Ε. Βοιωτίας καταγράφεται μια σαφής, θετική και στατιστικά τεκμηριωμένη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας και φαινομένου ΑΘΝ, αναδεικνύοντας την ευαισθησία των πεδινών αστικών περιοχών σε θερμικές πιέσεις.



Διάγραμμα 14: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Αιτωλοακαρνανίας

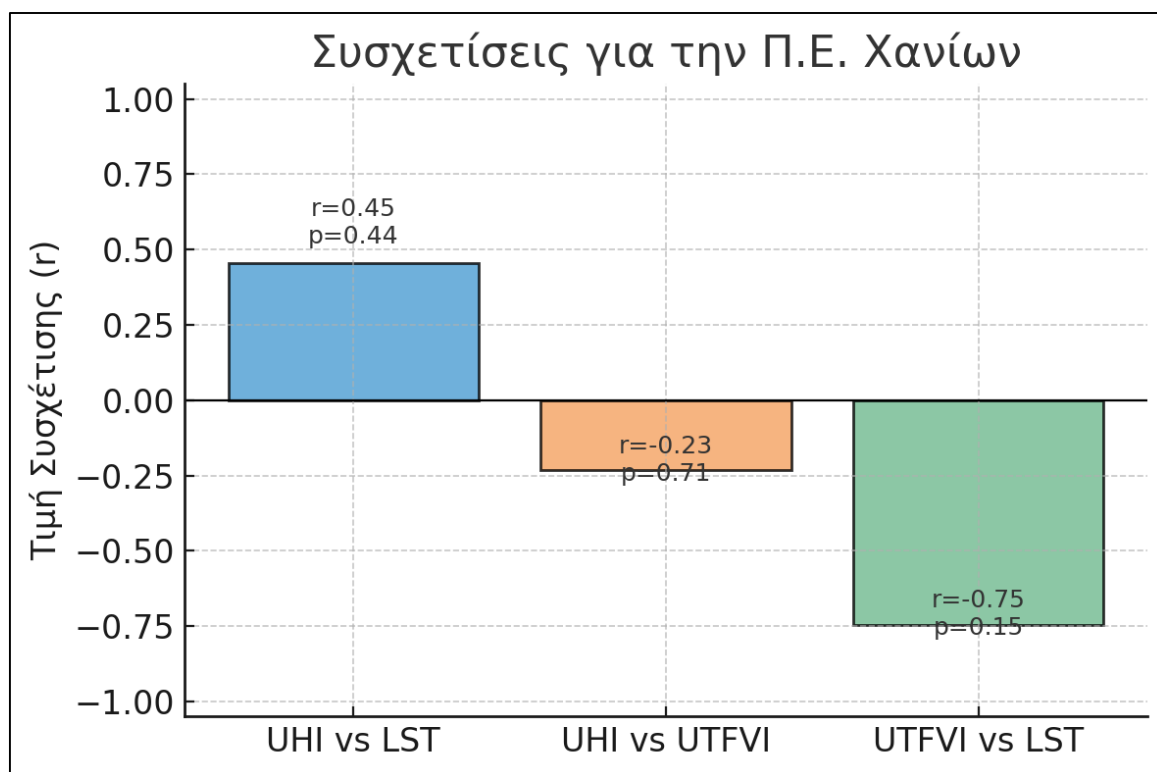
Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Αιτωλοακαρνανίας, η συσχέτιση μεταξύ των δεικτών UHI και LST αποτυπώνει ισχυρή αντίστροφη σχέση μεταξύ θερμοκρασίας εδάφους και δείκτη UHI.

Η συσχέτιση μεταξύ UHI και LST είναι ισχυρά αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r = -0.95$, $p = 0.01$), γεγονός που υποδηλώνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους συνοδεύεται από μείωση της έντασης του φαινομένου ΑΘΝ. Η σχέση αυτή καταδεικνύει ότι οι θερμικές διαφοροποιήσεις στην περιοχή επηρεάζονται περισσότερο από φυσικούς παράγοντες παρά από αστικούς ή ανθρωπογενείς.

Η ορεινή και ημιορεινή μορφολογία της Αιτωλοακαρνανίας, σε συνδυασμό με την εκτεταμένη παρουσία υδάτινων σωμάτων (Αμβρακικός Κόλπος, λίμνη Τριχωνίδα, Αχελώος ποταμός), λειτουργούν ως φυσικοί ρυθμιστές θερμοκρασίας, μειώνοντας τις τοπικές θερμικές αντιθέσεις και συμβάλλοντας σε θερμική ομοιογένεια.

Η απουσία στατιστικά σημαντικών σχέσεων με τον δείκτη UTFVI οφείλεται πιθανότατα σε ανεπαρκή δεδομένα για τον υπολογισμό των μεταβολών του δείκτη UHI, ωστόσο γίνεται αντιληπτό ότι το φυσικό ανάγλυφο της περιοχής περιορίζει εντατικοποίηση του φαινομένου της ΑΘΝ.



Διάγραμμα 15: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Χανίων

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Χανίων, οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών UHI, LST και UTFVI παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις, υποδηλώνοντας την επίδραση τόσο των τοπικών μικροκλιματικών συνθηκών όσο και της μορφολογίας του εδάφους.

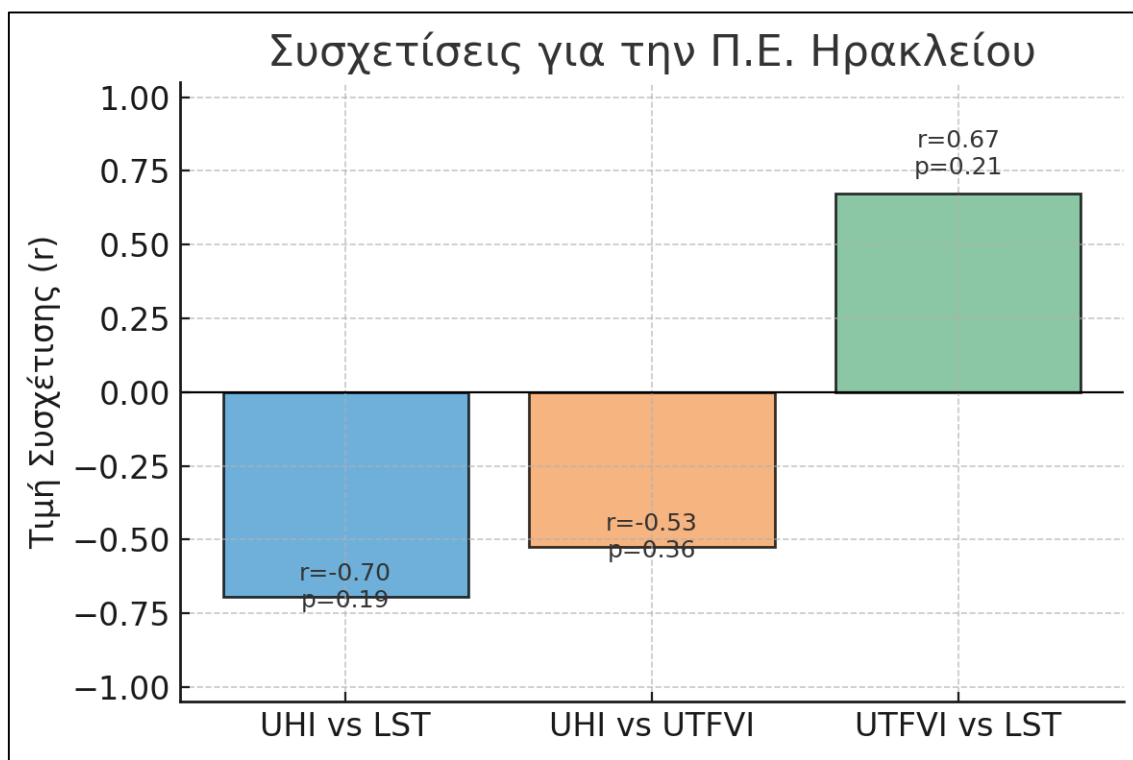
Η συσχέτιση μεταξύ UHI και LST είναι μέτρια θετική ($r = 0.45$, $p = 0.44$), γεγονός που δείχνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους συνδέεται με ενίσχυση της έντασης του δείκτη UHI, χωρίς ωστόσο η σχέση να είναι στατιστικά σημαντική.

Αντίθετα, η συσχέτιση μεταξύ UHI και UTFVI είναι αρνητική ($r = -0.23$, $p = 0.71$), γεγονός που υποδηλώνει ότι η αυξημένη βλάστηση περιορίζει την ένταση του φαινομένου, αν και η επίδραση αυτή είναι περιορισμένη.

Η συσχέτιση μεταξύ UTFVI και LST είναι αρνητική και σχετικά ισχυρή ($r = -0.75$, $p = 0.15$), δείχνοντας ότι οι περιοχές με θερμική ομοιογένεια παρουσιάζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες εδάφους.

Η τοπογραφία των Χανίων, με τον ορεινό όγκο των Λευκών Ορέων στο εσωτερικό και τις παράκτιες πεδινές ζώνες προς το Κρητικό Πέλαγος, επηρεάζει σημαντικά τη χωρική κατανομή της θερμότητας. Οι θαλάσσιες αύρες και η αυξημένη υγρασία συμβάλλουν στη θερμική εξισορρόπηση, περιορίζοντας τις ακραίες τιμές θερμοκρασίας και μειώνοντας την ένταση του φαινομένου ΑΘΝ στα παράκτια τμήματα.

Συνολικά, τα αποτελέσματα για την Π.Ε. Χανίων αναδεικνύουν τη σημαντική επίδραση των φυσικών παραγόντων (γεινίαση με το υδάτινο στοιχείο και τους ορεινούς όγκους) στη ρύθμιση του τοπικού μικροκλίματος.



Διάγραμμα 16: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Ηρακλείου

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Ηρακλείου, οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών UHI, LST και UTFVI υποδηλώνουν σύνθετη και διαφοροποιημένη σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας εδάφους, της θερμικής ομοιογένειας και της έντασης του θερμικού φορτίου.

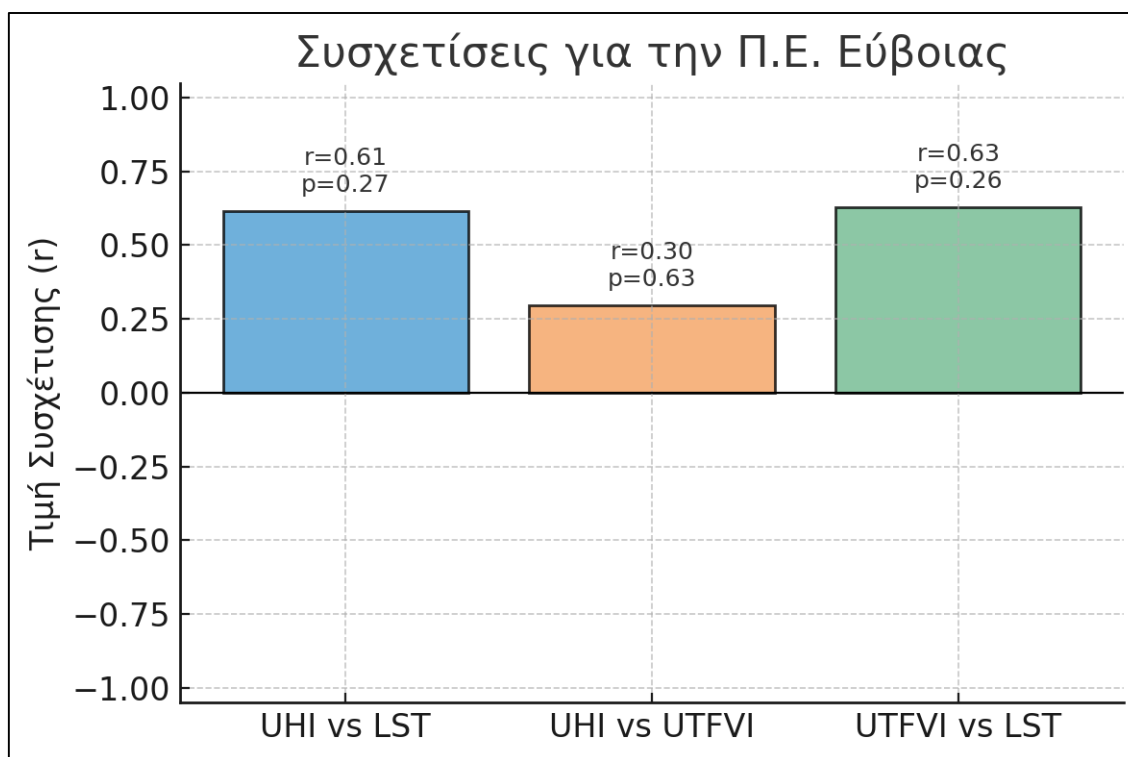
Η συσχέτιση μεταξύ UHI και LST είναι αρνητική ($r = -0.70$, $p = 0.19$), γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι σε περιόδους με αυξημένες τιμές της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας, η τιμή του δείκτη UHI μειώνεται, πιθανώς λόγω της επίδρασης παράκτιων αερίων μαζών και της θαλάσσιας αύρας που χαρακτηρίζει την περιοχή.

Αντίστοιχα, η σχέση μεταξύ UHI και UTFVI είναι μέτρια αρνητική ($r = -0.53$, $p = 0.36$), υποδεικνύοντας ότι η θερμική ομοιογένεια συνδέεται με αυξημένες τιμές του δείκτη UHI, χωρίς όμως η σχέση αυτή να είναι στατιστικά σημαντική.

Αντίθετα, η συσχέτιση μεταξύ UTFVI και LST είναι θετική ($r = 0.67$, $p = 0.21$), γεγονός που δείχνει ότι σε ορισμένες περιοχές, η θερμική ομοιογένεια αυξάνεται ταυτόχρονα με τη θερμοκρασία εδάφους, πιθανώς λόγω της γεωγραφικής κατανομής των καλλιεργήσιμων εκτάσεων και της έντονης ηλιακής ακτινοβολίας στο βόρειο και νότιο τμήμα της ενότητας.

Η ποικιλομορφία του αναγλύφου και η παρουσία τόσο ορεινών όγκων (Ψηλορείτης, Δίκη) όσο και εκτεταμένων παράκτιων πεδιάδων επιδρούν καταλυτικά στη διακύμανση των μικροκλιματικών συνθηκών. Οι θαλάσσιες επιδράσεις και η γεωμορφολογία συμβάλλουν στη διάχυση της θερμότητας, μειώνοντας τοπικά την ένταση του φαινομένου ΑΘΝ, ιδιαίτερα στις παράκτιες ζώνες.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στο Ηράκλειο οι θερμικές και περιβαλλοντικές παράμετροι επηρεάζονται σημαντικά από τη σύνθεση φυσικών και ανθρωπογενών παραγόντων, με την τοπογραφία και τη θαλάσσια επίδραση να παίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση του τοπικού θερμικού μικροκλίματος.



Διάγραμμα 17: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Εύβοιας

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στην ευρύτερη περιοχή της Π.Ε. Εύβοιας, οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών UHI, LST και UTFVI παρουσιάζουν θετική τάση, γεγονός που υποδηλώνει την παράλληλη μεταβολή των θερμικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων στην περιοχή.

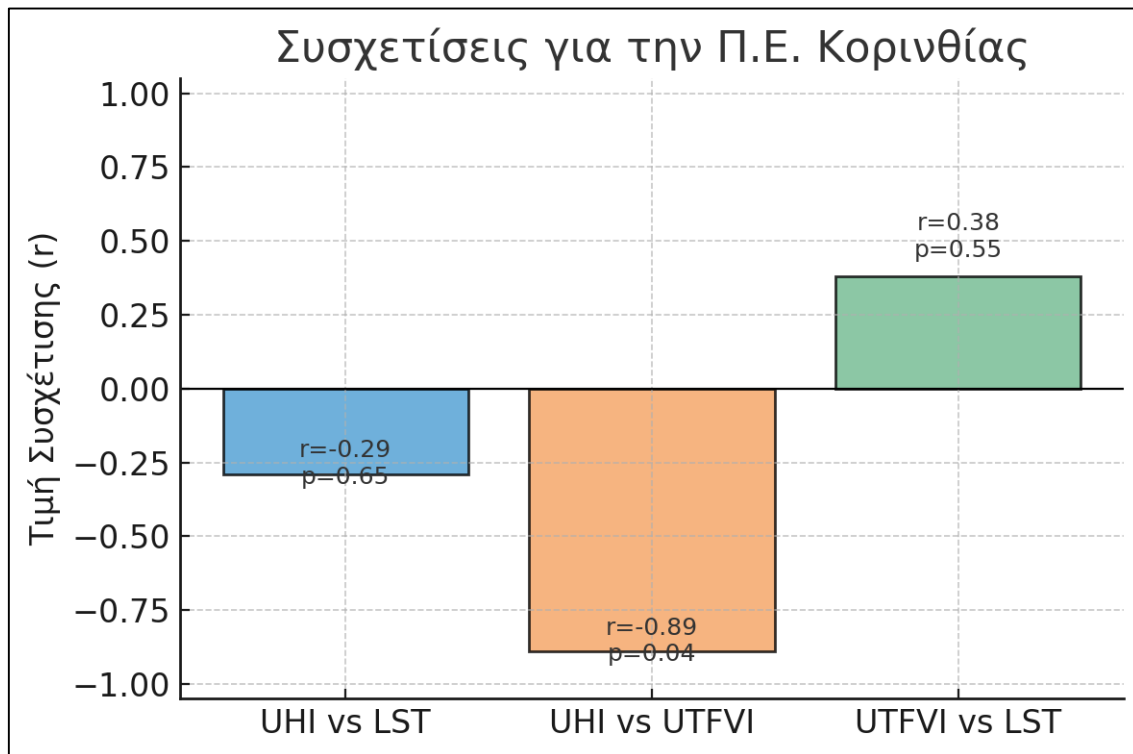
Η συσχέτιση μεταξύ UHI και LST είναι μέτρια θετική ($r = 0.61$, $p = 0.27$), υποδεικνύοντας ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους συνδέεται την εντατικοποίηση του δείκτη UHI, αν και η σχέση δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Αντίστοιχα, η συσχέτιση μεταξύ UHI και UTFVI είναι ασθενώς θετική ($r = 0.30$, $p = 0.63$), γεγονός που δείχνει ότι οι περιοχές με υψηλότερη θερμική διασπορά τείνουν να συνδέονται με αυξημένες θερμοκρασίες, χωρίς όμως να επιβεβαιώνεται στατιστικά.

Η συσχέτιση μεταξύ UTFVI και LST είναι επίσης θετική ($r = 0.63$, $p = 0.26$), γεγονός που υποδηλώνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας συνοδεύεται από εντονότερη θερμική διασπορά, πιθανώς λόγω των μορφολογικών αντιθέσεων μεταξύ των ορεινών και παράκτιων τμημάτων της Εύβοιας.

Η ιδιόμορφη γεωγραφία της Εύβοιας, με τον ορεινό κορμό της Δίρφους και τις εκτεταμένες παράκτιες περιοχές που εκτίθενται σε θαλάσσιες επιδράσεις, επηρεάζει τη χωρική διαφοροποίηση των θερμικών δεικτών. Οι θαλάσσιες αύρες και η διαφορετική κάλυψη γης μεταξύ βόρειου και νότιου τμήματος δημιουργούν μικροκλιματικές διαφοροποιήσεις, οι οποίες εξηγούν τις θετικές αλλά μη στατιστικά σημαντικές συσχετίσεις.

Συνολικά, τα αποτελέσματα για την Εύβοια δείχνουν ότι οι θερμικές και βιοφυσικές μεταβλητές συνδέονται θετικά, αλλά η ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ φαίνεται να μετριάζεται από την παρουσία του θαλάσσιου μετώπου και την ποικιλομορφία του ανάγλυφου.



Διάγραμμα 18: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Κορινθίας

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Κορινθίας, οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών UHI, LST και UTFVI αναδεικνύουν κυρίως αρνητικές σχέσεις, γεγονός που

υποδηλώνει την αντίστροφη μεταβολή των θερμικών και βιοφυσικών παραμέτρων στην περιοχή.

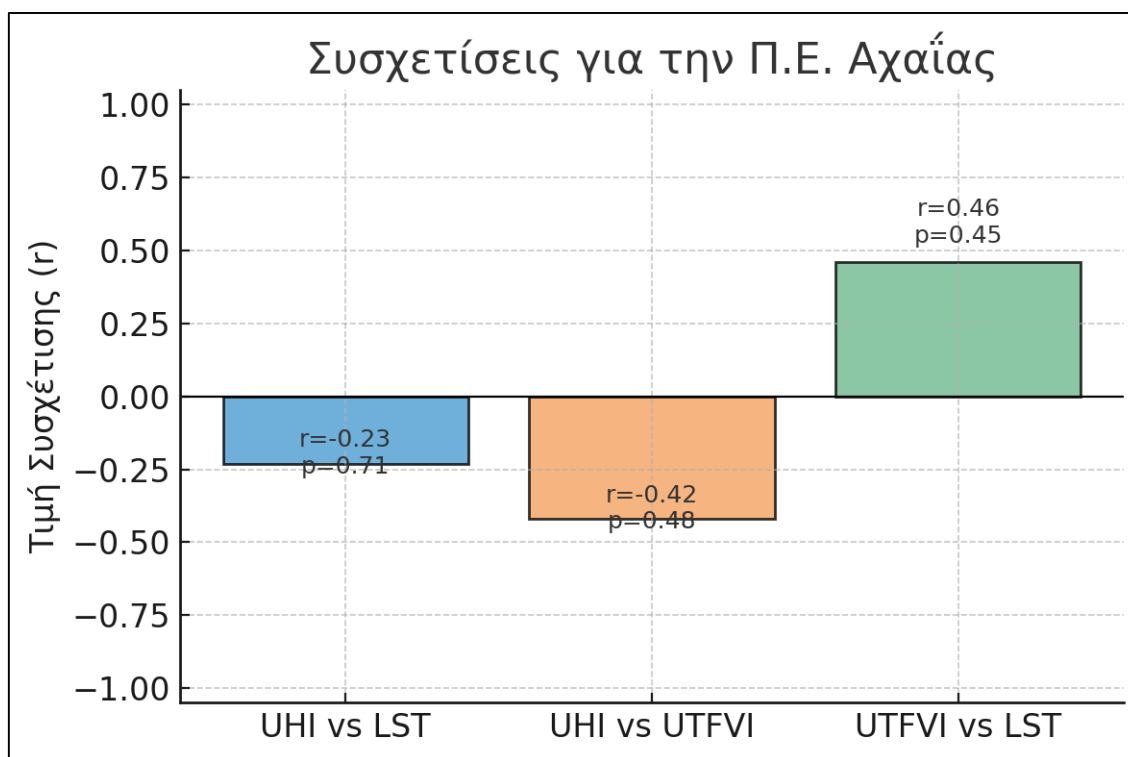
Η συσχέτιση μεταξύ UHI και LST είναι ασθενής αρνητική ($r = -0.29$, $p = 0.65$), δείχνοντας ότι η αύξηση της γήινης θερμοκρασίας δε συνδέεται με υψηλές τιμές του δείκτη UHI.

Η σχέση μεταξύ UHI και UTFVI είναι ισχυρά αρνητική και στατιστικά σημαντική ($r = -0.89$, $p = 0.04$), γεγονός που δείχνει ότι η παρουσία φυσικών παραγόντων δρα ανασταλτικά στην ένταση του φαινομένου.

Αντίθετα, η συσχέτιση μεταξύ UTFVI και LST είναι ασθενώς θετική ($r = 0.38$, $p = 0.55$), το οποίο υποδηλώνει ότι σε ορισμένες περιοχές με υψηλές θερμοκρασιακές τιμές παρατηρείται και ελαφρώς μεγαλύτερη θερμική διασπορά, πιθανότατα λόγω τοπικών μικροκλιματικών διαφοροποιήσεων.

Η γεωμορφολογία της Κορινθίας, με τον ορεινό όγκο της Ζήρειας στα δυτικά και το εκτεταμένο παράκτιο μέτωπο προς τον Κορινθιακό Κόλπο, δημιουργεί έντονες μορφολογικές και κλιματολογικές αντιθέσεις. Οι παράκτιες περιοχές επωφελούνται από τη θαλάσσια αύρα που μειώνει τη θερμική συσσώρευση, ενώ τα ημιορεινά και πεδινά τμήματα παρουσιάζουν μεγαλύτερη θερμική ένταση λόγω μειωμένης φυτοκάλυψης και ανθρωπογενών επιδράσεων.

Συνολικά, τα αποτελέσματα δείχνουν ότι στην ευρύτερη Π.Ε. Κορινθίας η φυτική κάλυψη και η θαλάσσια επιρροή αποτελούν καθοριστικούς παράγοντες στη ρύθμιση του θερμικού περιβάλλοντος, μειώνοντας τις επιπτώσεις του φαινομένου της ΑΘΝ και ενισχύοντας τη θερμική ισορροπία του μικροκλίματος



Διάγραμμα 19: Συσχετίσεις των δεικτών UHI, LST και UTFVI για την Περιφερειακή Ενότητα Αχαΐας

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στην ευρύτερη περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Αχαΐας, οι συσχετίσεις μεταξύ των δεικτών UHI, LST και UTFVI παρουσιάζουν ασθενώς έως μέτρια αρνητικές σχέσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας ή της φυτικής κάλυψης συνδέεται με μειωμένες τιμές του δείκτη UHI.

Η συσχέτιση μεταξύ UHI και LST είναι ασθενής αρνητική ($r = -0.23$, $p = 0.71$), δείχνοντας ότι η αύξηση της θερμοκρασίας εδάφους δεν συνοδεύεται από ενίσχυση του φαινομένου, πιθανότατα λόγω της θαλάσσιας επίδρασης και των τοπογραφικών διαφοροποιήσεων.

Η σχέση μεταξύ UHI και UTFVI είναι μέτρια αρνητική ($r = -0.42$, $p = 0.48$), το οποίο υποδηλώνει ότι η αυξημένη βλάστηση λειτουργεί ως θερμικός ρυθμιστής μειώνοντας τις τιμές του δείκτη, αν και η συσχέτιση δεν είναι στατιστικά σημαντική.

Αντίθετα, η συσχέτιση μεταξύ UTFVI και LST είναι μέτρια θετική ($r = 0.46$, $p = 0.45$) υποδεικνύοντας ότι οι αυξημένες θερμοκρασίες σχετίζονται με ελαφρώς μεγαλύτερη θερμική διασπορά, κυρίως σε πεδινές και αστικές περιοχές.

Η ποικιλία του ανάγλυφου της Αχαΐας, που περιλαμβάνει τόσο ορεινούς όγκους (Παναχαϊκό, Ερύμανθο) όσο και παράκτιες πεδιάδες με έντονη αστικοποίηση, συμβάλλει στη διαφοροποίηση των μικροκλιματικών συνθηκών. Οι θαλάσσιες αύρες από τον Πατραϊκό Κόλπο μειώνουν τις θερμοκρασίες, ενώ οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες στις πεδινές ζώνες αυξάνουν τοπικά τη θερμική επιβάρυνση.

Συνολικά, στην ευρύτερη Π.Ε. Αχαΐας διαπιστώνεται ότι η ένταση του φαινομένου ΑΘΝ επηρεάζεται σημαντικά από τους φυσικούς γεωγραφικούς παράγοντες και τη χωρική κατανομή της βλάστησης, οι οποίοι λειτουργούν εξισορροπητικά στο θερμικό περιβάλλον της περιοχής.

4 Εκτίμηση Ενεργειακού Κόστους

4.1 Μεθοδολογία

4.1.1 Δείκτες Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για τις μεταβλητές Θέρμανσης & Ψύξης

Οι θερμοκρασιακά κατωφλιωμένες ημέρες, (Degree Days) αποτελούν ενεργειακό δείκτη για την ποσοτικοποίηση της επίδρασης της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας στην κατανάλωση ενέργειας του κτιριακού αποθέματος για θέρμανση και ψύξη (Karagiannidis et al., 2023).

Διακρίνονται σε δυο κατηγορίες: Βαθμοημέρες Θέρμανσης (Heating Degree Days – HDD) και Βαθμοημέρες Ψύξης (Cooling Degree Days – CDD).

Οι Βαθμοημέρες Θέρμανσης (HDD) υπολογίζουν το συνολικό αριθμό ημερών και συνεπώς το συνολικό άθροισμα των βαθμών, κατά τους οποίους η ατμοσφαιρική θερμοκρασία κυμάνθηκε κάτω από μια σταθερή τιμή θερμοκρασίας αναφοράς, η οποία ορίζεται στους 18°C ή 65°F, θερμοκρασία στην οποία δεν απαιτείται θέρμανση. Αντίστοιχα, οι Βαθμοημέρες Ψύξης (CDD) υπολογίζουν το συνολικό αριθμό ημερών και το συνολικό άθροισμα των βαθμών κατά τους οποίους η θερμοκρασία υπερέβη τη θερμοκρασία αναφοράς, η οποία ορίζεται στους 21°C.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, ως θερμοκρασία αναφοράς για τον υπολογισμό των CDD ορίστηκε η τιμή των 24°C. Η επιλογή αυτή θεωρείται πιο ρεαλιστική, βάσει των προτύπων ενεργειακής κατανάλωσης στην Ελλάδα, η οποία είναι χώρα με θερμότερο κλίμα σε σύγκριση με άλλες ευρωπαϊκές χώρες. Επιπλέον, η θερμοκρασία των 24°C αντιστοιχεί σε ένα επίπεδο θερμικής άνεσης στο οποίο δεν απαιτείται η χρήση συστημάτων ψύξης (K. Papakostas et al., 2010).

Ως αποτέλεσμα, για λόγους εξοικονόμησης ενέργειας και κόστους, πολλά νοικοκυριά και παραγωγικές μονάδες επιλέγουν να μην ενεργοποιούν τα συστήματα ψύξης σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 24–25°C, σε αντίθεση με την τιμή των 22°C που συχνά χρησιμοποιείται ως σημείο αναφοράς σε διεθνείς μελέτες.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση (Joint Research Centre, 2024):

$$HDD = \sum_{j=1}^{365} \max (T_{base} - \bar{T}_j, 0)$$

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Ψύξη υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση (Joint Research Centre, 2024):

$$CDD = \sum_{j=1}^{365} \max (0, \bar{T}_j - T_{base})$$

όπου ως T_{base} ορίζεται η σταθερή θερμοκρασία αναφοράς, $\bar{T}_j$ η μέση ημερήσια θερμοκρασία αέρα σε ύψος 2 μέτρων από το έδαφος, όπως παρέχεται από το σύνολο δεδομένων ERA5-Land. Η μέση ημερήσια τιμή προκύπτει ως μέσος όρος όλων των ωριαίων θερμοκρασιακών μετρήσεων της εκάστοτε ημέρας.

Το ERA5-Land αποτελεί ένα σύγχρονο σύνολο δορυφορικών δεδομένων (reanalysis dataset) υψηλής διακριτικής ανάλυσης (~9 km), το οποίο συνδυάζει μετεωρολογικές και κλιματολογικές πληροφορίες άμεσα σχετιζόμενες με τιμές από χωρικά εντοπισμένους κρουνοί. Λόγω της χωρικής και χρονικής πληρότητάς του, είναι κατάλληλο για διαχρονικές αναλύσεις περιβαλλοντικών ζητημάτων, όπως η μελέτη του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Muñoz-Sabater et al., 2021).

Για τον ποσοτικό προσδιορισμό των Βαθμοημερών Θέρμανσης (HDD) και Ψύξης (CDD) χρησιμοποιείται η συνάρτηση max, η οποία εξασφαλίζει ότι μόνο οι θετικές διαφορές μεταξύ της μέσης ημερήσιας θερμοκρασίας και της καθορισμένης θερμοκρασίας αναφοράς προσμετρώνται. Στις περιπτώσεις όπου η διαφορά είναι αρνητική ή μηδενική, η συνάρτηση επιστρέφει την τιμή 0, αποκλείοντας τις ημέρες χωρίς θερμικό φορτίο από το συνολικό άθροισμα.

Πίνακας 9: Διαχρονική Ανάλυση (2019-2023) των Βαθμομερών Ψύξης (CDD) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες

Id	Region	CDD_2019	CDD_2020	CDD_2021	CDD_2022	CDD_2023
38	Αιτωλοακαρνανία	159,61	143,27	204,14	147,16	160,38
28	Βοιωτία	144,70	143,00	275,44	176,38	235,40
27	Φθιώτιδα	148,69	129,78	269,66	170,40	215,23
42	Κόρινθος	127,64	126,00	219,38	137,03	188,17
37	Αχαΐα	94,53	94,58	158,08	100,14	106,91
29	Εύβοια	101,21	83,60	192,76	109,80	164,89
74	Χανιά	45,85	76,24	120,60	52,15	92,66
71	Ηράκλειο	113,81	153,32	192,10	103,51	166,97
24	Μαγνησία	95,78	65,13	164,89	94,38	138,36
22	Λάρισα	196,17	145,50	275,95	166,35	231,22

Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 9, οι τιμές των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Ψύξη (Cooling Degree Days, CDD) στην πλειονότητα των υπό μελέτη περιοχών, κατά την πενταετία 2019–2023, παρουσιάζουν διακυμάνσεις οι οποίες επηρεάζονται από τα κλιματολογικά δεδομένα και την ένταση του θερμικού φορτίου της εκάστοτε χωρικής μονάδας.

Ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι Περιφερειακές Ενότητες Λάρισας και Βοιωτίας, όπου καταγράφονται οι υψηλότερες τιμές CDD το έτος 2021, με τιμή πλησίον του 275. Τα δεδομένα αυτά συνεπάγονται το έντονο ψυκτικό φορτίο, κυρίως κατά τους θερινούς μήνες, γεγονός που καθιστά τις περιοχές αυτές θερμικά επιβαρυνμένες και με αυξημένη ενεργειακή ζήτηση για κάλυψη αναγκών ψύξης και δροσισμού των εσωτερικών χώρων.

Ιδιαίτερα η Π.Ε. Λάρισας, ως τμήμα του Θεσσαλικού κάμπου — όπου παρατηρείται περιορισμένος φυσικός αερισμός και υψηλή ηλιακή ακτινοβολία — εμφανίζει αυξημένες θερινές θερμοκρασίες, γεγονός που ενισχύει περαιτέρω τις ενεργειακές ανάγκες για ψύξη.

Αντιθέτως, περιοχές όπως τα Χανιά και η Εύβοια εμφανίζουν συγκριτικά χαμηλότερες τιμές CDD (52,15 και 109,80 αντίστοιχα για το έτος 2022), παρουσιάζοντας μικρότερης έντασης θερμικά γεγονότα και ηπιότερο μικροκλίμα.

Συμπερασματικά διαπιστώνεται ότι οι ενεργειακές ανάγκες για ψύξη δεν παρουσιάζουν ομοιόμορφη κατανομή στο σύνολο της χώρας, γεγονός το οποίο υπογραμμίζει την ανάγκη υιοθέτησης στοχευμένων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας, με βάση την κλιματική ζώνη και τη θερμική συμπεριφορά των αστικών χωρικών μονάδων.

Πίνακας 10: Διαχρονική Ανάλυση (2019-2023) των Βαθμοημερών Θέρμανσης (HDD) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες

Region	HDD_2019	HDD_2020	HDD_2021	HDD_2022	HDD_2023
Αιτωλοακαρνανία	1520,62	1510,11	1505,93	1525,00	1403,41
Βοιωτία	1472,65	1492,74	1520,38	1552,80	1345,83
Φθιώτιδα	1784,94	1782,16	1831,05	1830,11	1664,75
Κόρινθος	1680,20	1685,90	1705,00	1749,67	1558,00
Αχαΐα	1970,13	1938,54	1915,98	1943,89	1834,41
Εύβοια	1036,72	1060,02	1083,92	1127,02	952,27
Χανιά	1193,99	1176,09	1098,23	1230,38	1079,64
Ηράκλειο	981,74	990,99	923,50	1054,59	890,05
Μαγνησία	1341,31	1347,39	1427,42	1414,96	1266,27
Λάρισα	1747,96	1771,23	1892,15	1859,99	1696,12

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 10, δεν παρατηρείται καθορισμένη τάση μεταβολής των τιμών των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για θέρμανση (HDD), στις υπό μελέτης περιοχές κατά την πενταετία 2019–2023. Οι καταγεγραμμένες ετήσιες τιμές δύνανται να επηρεάζονται τόσο από τα τοπολογικά χαρακτηριστικά όσο και από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες.

Αξίζει να σημειωθεί ότι η Περιφερειακή Ενότητα Αχαΐας παρουσιάζει σταθερά υψηλές τιμές HDD, γεγονός το οποίο συνεπάγεται τη συστηματική ανάγκη για θέρμανση. Η εν λόγω θερμική συμπεριφορά επιβεβαιώνεται από την έρευνα των Tehrani et al., (2024), σύμφωνα με την οποία το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας παρουσιάζει υψηλή ένταση στην ευρύτερη περιοχή της Πάτρας. Οι παρατηρούμενες θερμοκρασιακές διαφορές μεταξύ αστικών και περιαστικών περιοχών ανέρχονται έως και στους 7°C, καθιστώντας υψηλή τη ζήτηση για ψύξη τους θερινούς μήνες και μειωμένη την ανάγκη για θέρμανση τους χειμερινούς, ιδιαίτερα εντός του πολεοδομικού κέντρου.

Ανάλογη εικόνα παρουσιάζει η Περιφερειακή Ενότητα Φθιώτιδας, λόγω της κεντροβαρικής θέσης στον ελλαδικό χώρο αλλά και της γεωμορφολογικής ποικιλίας στην οποία συνυπάρχουν πεδινές, ημιορεινές και ορεινές περιοχές. Οι μικροκλιματικές συνθήκες της υπό μελέτη περιοχής επηρεάζονται σημαντικά από την παρουσία των ορεινών συμπλεγμάτων της Οίτης, της Όθρυς και της Γκιώνας, αυξάνοντας τις ανάγκες για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες.

Οι Περιφερειακές Ενότητες Ηρακλείου και Χανίων ακολουθούν παρόμοια θερμική συμπεριφορά με τις τιμές των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (HDD) να κινούνται σε σταθερά χαμηλά επίπεδα. Πρόκειται για περιοχές με ήπιο μεσογειακό κλίμα, όπου η επίδραση της θαλάσσιας αύρας περιορίζει σημαντικά τις ανάγκες θέρμανσης.

Αντιθέτως, η Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας παρουσιάζει αυξομείωση των παρατηρούμενων τιμών HDD, γεγονός το οποίο αντανακλά τη θερμική ανισορροπία της ευρύτερης περιοχής του θεσσαλικού κάμπου.

4.1.2 Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας στους Δείκτες Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών

Οι Δείκτες Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για θέρμανση και ψύξη (HDD και CDD) παρουσιάζουν ισχυρή συσχέτιση με την ένταση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας, επηρεάζοντας άμεσα τις ενεργειακές ανάγκες για θέρμανση και ψύξη του αστικού ιστού (Roxon et al., 2020). Η ύπαρξη του φαινομένου της ΑΘΝ συνεπάγεται την αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, γεγονός που οδηγεί σε μείωση του Δείκτη Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (HDD).

Συμπερασματικά, οι ενεργειακές απαιτήσεις για θέρμανση μειώνονται, οδηγώντας σε μειωμένη κατανάλωση καυσίμων, γεγονός το οποίο περιορίζει το περιβαλλοντικό αποτύπωμα των κτιριακών αποθεμάτων (Magli et al., 2015). Σε περιοχές με αυξημένη ζήτηση για θέρμανση, η ύπαρξη του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας δύναται να λειτουργεί αντισταθμιστικά, δεδομένου ότι μειώνει σημαντικά την κατανάλωση θερμικής ενέργειας (Santamouris et al., 2001b).

Σύμφωνα με τους Roxon et al., (2020), η ενεργειακή ανταπόκριση των κτιρίων στις μεταβολές της εξωτερικής θερμοκρασίας είναι κατά 20% υψηλότερη για θέρμανση σε σύγκριση με την ψύξη. Το γεγονός οφείλεται στο ότι τα συστήματα θέρμανσης είναι κατά κύριο λόγο κεντρικά, εξυπηρετώντας ολόκληρο τον εσωτερικό χώρο, ενώ τα συστήματα ψύξης είναι χωρικά εντοπισμένα σε επιλεγμένους χώρους (Roxon, Ulm, & Pellenq, 2020).

Αξίζει να τονισθεί ότι οι Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένες Ημέρες για Θέρμανση σε περιοχές με θερμό κλίμα εμφανίζουν αντίστροφη σχέση με τις Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένες Ημέρες για Ψύξη, οι οποίες παρουσιάζουν σημαντικά αυξημένες τιμές.

Στο πλαίσιο της παρούσας εργασίας για την εκτίμηση της θερμικής διαφοράς μεταξύ αστικών και μη αστικών περιοχών, εφαρμόστηκε διάκριση των εδαφών μέσω ταξινόμησης των καλύψεων γης με δορυφορικά δεδομένα MODIS Land Cover (MCD12Q1). Οι αστικές περιοχές προσδιορίστηκαν ως κατηγορία με κωδικό 13 (urban/built-up), ενώ οι περι-αστικές με κωδικούς 1–3 (φυσική βλάστηση και δασικές εκτάσεις). Η ταξινόμηση χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία κατάλληλων μασκών στην πλατφόρμα του Google Earth Engine για τον

ποσοτικό προσδιορισμό της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (UHI) στην εκάστοτε χωρική μονάδα.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση (Imhoff et al., 2010):

$$SUHI = LST_{urban} - LST_{rural}$$

όπου ως LST_{urban} ορίζεται η μέση τιμή της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας σε αστικό περιβάλλον και ως LST_{rural} ορίζεται η μέση τιμή της θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας σε περι-αστικές περιοχές.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση υπό την επίδραση της ΑΘΝ υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση (Joint Research Centre, 2024):

$$HDD_{UHI} = \sum_{j=1}^{365} \max (T_{base} - (\bar{T}_j + SUHI), 0)$$

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Ψύξη υπό την επίδραση της ΑΘΝ υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση (Joint Research Centre, 2024):

$$CDD_{UHI} = \sum_{j=1}^{365} \max ((\bar{T}_j + SUHI) - T_{base}, 0)$$

Πίνακας 11: Διαχρονική Ανάλυση των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση(HDD) και των αντίστοιχων τιμών υπό την Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (HDD_UHI) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019 - 2023)

Id	Region	HDD_2019	HDD_2020	HDD_2021	HDD_2022	HDD_2023	HDD_UHI_2019	HDD_UHI_2020	HDD_UHI_2021	HDD_UHI_2022	HDD_UHI_2023
38	Αιτωλοακαρνανία	1520,62	1510,11	1505,93	1525,00	1403,41	860,51	868,87	829,89	828,68	756,32
28	Βοιωτία	1472,65	1492,74	1520,38	1552,80	1345,83	823,65	838,54	864,04	849,23	701,86
27	Φθιώτιδα	1784,94	1782,16	1831,05	1830,11	1664,75	973,55	953,22	1095,02	1043,62	943,00
42	Κόρινθος	1680,20	1685,90	1705,00	1749,67	1558,00	834,08	792,77	787,25	745,88	499,13
37	Αχαΐα	1970,13	1938,54	1915,98	1943,89	1834,41	1545,23	1476,85	1486,83	1463,46	1320,14
29	Εύβοια	1036,72	1060,02	1083,92	1127,02	952,27	738,95	776,05	846,76	848,70	650,03
74	Χανιά	1193,99	1176,09	1098,23	1230,38	1079,64	729,99	736,67	661,93	767,11	576,76
71	Ηράκλειο	981,74	990,99	923,50	1054,59	890,05	667,79	617,26	630,49	694,29	461,43
24	Μαγνησία	1341,31	1347,39	1427,42	1414,96	1266,27	837,73	835,77	1007,95	972,06	802,86
22	Λάρισα	1747,96	1771,23	1892,15	1859,99	1696,12	1109,41	1147,40	1319,53	1265,17	1190,21

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Πίνακας 12: Διαχρονική Ανάλυση Ποσοστιαίας Μεταβολής των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (HDD) και των τιμών τους υπό την Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019 – 2023)

Id	Region	(%) _2019	(%) _2020	(%) _2021	(%) _2022	(%) _2023
38	Αιτωλοακαρνανία	-76,71	-73,80	-81,46	-84,03	-85,56
28	Βοιωτία	-78,79	-78,02	-75,96	-82,85	-91,75
27	Φθιώτιδα	-83,34	-86,96	-67,22	-75,36	-76,54
42	Κόρινθος	-101,44	-112,66	-116,58	-134,58	-212,14
37	Αχαΐα	-27,50	-31,26	-28,86	-32,83	-38,96
29	Εύβοια	-40,30	-36,59	-28,01	-32,79	-46,49
74	Χανιά	-63,56	-59,65	-65,91	-60,39	-87,19
71	Ηράκλειο	-47,01	-60,55	-46,47	-51,89	-92,89
24	Μαγνησία	-60,11	-61,21	-41,62	-45,56	-57,72
22	Λάρισα	-57,56	-54,37	-43,40	-47,01	-42,51

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στον Πίνακα 12 παρουσιάζεται η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των τιμών του Δείκτη Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για θέρμανση (HDD) και των αντίστοιχων τιμών που προέκυψαν υπό την επίδραση της ΑΘΝ (HDD_UHI). Ο ποσοτικός προσδιορισμός της μεταβολής υπολογίστηκε σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο (Magli et al., 2015):

$$\frac{(HDD - HDD_{UHI})}{HDD} * 100$$

Η διαφορά μεταξύ των τιμών HDD και HDD_UHI αντιστοιχεί στο συνολικό αριθμό ημερών με μειωμένη ζήτηση για θέρμανση, λόγω της ανόδου της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, η οποία προκαλείται από το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ). Ο ποσοστιαίος υπολογισμός της μεταβολής επιτρέπει τη συγκριτική ανάλυση μεταξύ των υπό μελέτη περιοχών, συμβάλλει στην εκτίμηση του ενεργειακού οφέλους και στον προσδιορισμό των περιβαλλοντικών ωφελειών που σχετίζονται με τη συμπεριφορά της ενεργειακής κατανάλωσης.

Τα αποτελέσματα της παρούσας έρευνας δύνανται να αποτελέσουν θεωρητικό υπόβαθρο για τη διαμόρφωση κατάλληλων στρατηγικών ενεργειακής πολιτικής, την ανάπτυξη στοχευμένων μέτρων εξοικονόμησης ενέργειας των αστικών περιοχών, καθώς και την αποτίμηση του ανθρακικού αποτυπώματος των περιοχών αυτών.

Στο σύνολο των υπό μελέτη χωρικών ενοτήτων διαπιστώθηκε ότι οι τιμές HDD_UHI εμφανίζονται σταθερά μικρότερες από τις αντίστοιχες τιμές HDD, επιβεβαιώνοντας τη θετική ενεργειακή επίδραση του φαινομένου της ΑΘΝ. Καθίσταται, επομένως, σαφές ότι η ΑΘΝ αποτελεί παράγοντα εξοικονόμησης θερμικής ενέργειας, με σημαντική επίδραση σε περιοχές με υψηλή πυκνότητα δόμησης και πληθυσμού. Στις περιοχές αυτές, το θερμικό φορτίο είναι εμφανώς ενισχυμένο και η θερμική διαφοροποίηση του αστικού περιβάλλοντος από τις περι-αστικές περιοχές είναι εντονότερη.

Στον Πίνακα 13 παρουσιάζεται η ποσοστιαία διαφορά μεταξύ των τιμών του Δείκτη Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για ψύξη (CDD) και των αντίστοιχων τιμών που προέκυψαν υπό την επίδραση της ΑΘΝ (CDD_UHI). Ο ποσοτικός προσδιορισμός υπολογίστηκε σύμφωνα με τον ακόλουθο τύπο (Magli et al., 2015):

$$\frac{(CDD_{UHI} - CDD)}{CDD} * 100$$

Πίνακας 13: Διαχρονική Ανάλυση των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (CDD) και των αντίστοιχων τιμών υπό την Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (HDD_UHI) στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019 - 2023)

Id	Region	CDD_2019	CDD_2020	CDD_2021	CDD_2022	CDD_2023	CDD_UHI_2019	CDD_UHI_2020	CDD_UHI_2021	CDD_UHI_2022	CDD_UHI_2023
38	Αιτωλοακαρνανία	159,61	143,27	204,14	147,16	160,38	1076,54	860,51	880,19	843,49	807,47
28	Βοιωτία	144,70	143,00	275,44	176,38	235,40	1217,60	823,65	931,79	879,95	879,38
27	Φθιώτιδα	148,69	129,78	269,66	170,40	215,23	1395,94	973,55	1005,69	956,89	936,97
42	Κόρινθος	127,64	126,00	219,38	137,03	188,17	1246,15	834,08	1137,13	1140,83	1247,03
37	Αχαΐα	94,53	94,58	158,08	100,14	106,91	560,60	1545,23	587,23	580,57	621,19
29	Εύβοια	101,21	83,60	192,76	109,80	164,89	609,50	738,95	429,92	388,12	467,12
74	Χανιά	45,85	76,24	120,60	52,15	92,66	611,87	729,99	556,90	515,42	595,53
71	Ηράκλειο	113,81	153,32	192,10	103,51	166,97	461,22	667,79	485,11	463,81	595,59
24	Μαγνησία	95,78	65,13	164,89	94,38	138,36	1061,20	837,73	584,36	537,28	601,77
22	Λάρισα	196,17	145,50	275,95	166,35	231,22	1424,65	1109,41	848,57	761,16	737,14

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Πίνακας 14: Διαχρονική Ανάλυση Ποσοστιαίας Μεταβολής των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Ψύξη (CDD) και των τιμών τους υπό την Επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019 – 2023)

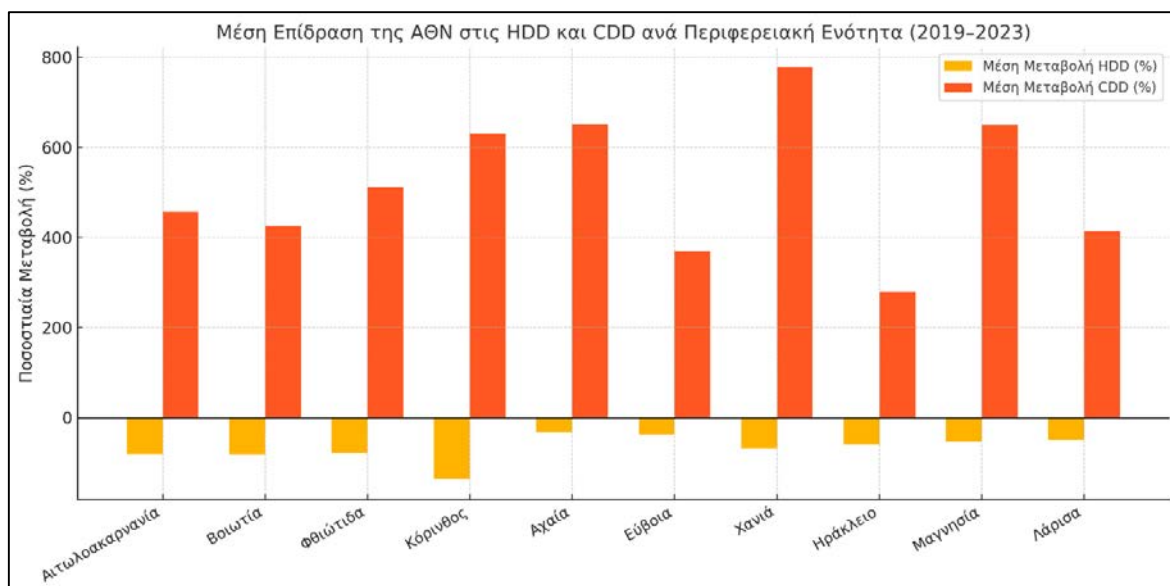
Id	Region	(%) _2019	(%) _2020	(%) _2021	(%) _2022	(%) _2023
38	Αιτωλοακαρνανία	574,48	500,63	331,16	473,18	403,47
28	Βοιωτία	741,47	475,97	238,29	398,88	273,57
27	Φθιώτιδα	838,84	650,15	272,94	461,57	335,34
42	Κόρινθος	876,31	561,95	418,33	732,53	562,71
37	Αχαΐα	493,04	1533,80	271,47	479,75	481,02
29	Εύβοια	502,22	783,95	123,03	253,48	183,29
74	Χανιά	1234,48	857,46	361,79	888,42	542,72
71	Ηράκλειο	305,26	335,55	152,53	348,07	256,71
24	Μαγνησία	1007,97	1186,22	254,39	469,27	334,94
22	Λάρισα	626,22	662,46	207,50	357,57	218,80

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στο σύνολο των υπό μελέτη χωρικών ενοτήτων διαπιστώθηκε ότι οι τιμές CDD_UHI είναι πολλαπλάσια αυξημένες σε σχέση με τις αντίστοιχες τιμές CDD, καταδεικνύοντας την επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (UHI) στην ενίσχυση του ψυκτικού φορτίου. Η ποσοστιαία αύξηση του δείκτη κυμαίνεται μεταξύ 300% έως και άνω του 1000%, ανάλογα με την περιοχή και το έτος μελέτης, ενώ δεν παρουσιάζεται ομοιόμορφη χωρική κατανομή της επίδρασης της ΑΘΝ.

Η κατανομή της επίδρασης της ΑΘΝ δεν εμφανίζει ομοιομορφία, αλλά διαφοροποιείται χωρικά με τις ηπειρωτικές περιοχές να εμφανίζουν τις υψηλότερες τιμές CDD_UHI. Χαρακτηριστικά παραδείγματα αποτελούν οι Περιφερειακές Ενότητες Φθιώτιδας, Κορινθίας και Λάρισας, οι οποίες εμφανίζουν υψηλές τιμές CDD_UHI, γεγονός το οποίο τις καθιστά θερμικά ευάλωτες.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η Περιφερειακή Ενότητα Ηρακλείου, στην οποία παρατηρούνται χαμηλότερες τιμές στους απόλυτους δείκτες ποσοστιαίας μεταβολής (σε σύγκριση με τις Π.Ε. Φθιώτιδας, Κορινθίας και Λάρισας). Η περιοχή αυτή διακρίνεται για τη σταθερότητα των διακυμάνσεών της στις τιμές της ως προς την επίδραση του φαινομένου της ΑΘΝ καθ' όλο το υπό μελέτη χρονικό διάστημα.



Διάγραμμα 20: Διαγραμματική απεικόνιση της ποσοστιαίας μεταβολής των Βαθμομερών Θέρμανσης (HDD) και Ψύξης (CDD) ανά Περιφερειακή Ενότητα

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που παρουσιάζονται στην Εικόνα 16, διαπιστώνεται ότι, παρά το γεγονός ότι η επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) συμβάλλει στη μείωση των θερμικών απαιτήσεων κατά τη χειμερινή περίοδο, εντούτοις εντείνει σημαντικά τις ανάγκες ψύξης κατά τους θερινούς μήνες. Η ασυμμετρία αυτή καθιστά το συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο αρνητικό, καθώς η αύξηση του ψυκτικού φορτίου υπερβαίνει κατά πολύ τη μείωση της ζήτησης για θέρμανση.

Ως αποτέλεσμα κρίνεται επιτακτική η υιοθέτηση μέτρων μικροκλιματικού χαρακτήρα εντός του αστικού δομημένου περιβάλλοντος, όπως η ενίσχυση των χώρων πρασίνου, η ενσωμάτωση υλικών υψηλής ανακλαστικότητας στις αστικές αναπλάσεις και η αύξηση των σκιασμένων περιοχών, με έμφαση στους ανοιχτούς δημόσιους χώρους, όπως στα πάρκα και στις πλατείες.

Τέτοιες παρεμβάσεις δύνανται να συμβάλλουν ουσιαστικά στη μείωση της θερμικής επιβάρυνσης και της ενεργειακής κατανάλωσης για ψύξη, ενισχύοντας παράλληλα την περιβαλλοντική ποιότητα και τη βιωσιμότητα των αστικών περιοχών.

4.1.3 Επίδραση του Φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην Ενεργειακή Κατανάλωση

Για την εκτίμηση του περιβαλλοντικού και ενεργειακού κόστους, το οποίο προκύπτει από την επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας, σε επίπεδο Περιφερειακής Ενότητας, απαιτούνται:

- Η οικιακή κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη ανά νοικοκυριό, με ή χωρίς την επίδραση του φαινομένου της ΑΘΝ
- Το οικονομικό κόστος θέρμανσης και ψύξης
- Ο συνολικός αριθμός νοικοκυρών ανά Π.Ε.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας χρησιμοποιήθηκαν πληθυσμιακά δεδομένα και δεδομένα μέσου μεγέθους, προκειμένου να εκτιμηθεί ο συνολικός αριθμός νοικοκυριών, καθώς και ο αριθμός των αστικών νοικοκυριών ανά Περιφερειακή Ενότητα.

Για τον προσδιορισμό των πληθυσμιακών δεδομένων του υπό μελέτη χρονικού διαστήματος, αξιοποιήθηκαν τα δεδομένα της Απογραφής του 2021²³. Η διάκριση του πληθυσμού σε αστικό (p_h^{urban}) και περι-αστικό (p_h^{rural}) βασίστηκε σε πληθυσμιακά κριτήρια που εφαρμόστηκαν στο σύνολο της εκάστοτε περιφερειακής ενότητας. Ως χωρική μονάδα διάκρισης ορίστηκαν οι Δημοτικές Ενότητες των Καλλικράτειων Δήμων, ώστε να διαμορφωθεί ένα καθορισμένοι διοικητικό πλαίσιο κατανομής του πληθυσμού ανά επίπεδο οικιστικότητας.

Σύμφωνα με το Προεδρικό Διάταγμα της 24^{ης} Απριλίου 1985 (ΦΕΚ Δ' 181/1985)²⁴, ως αστικός οικισμός νοείται εκείνος του οποίου ο μόνιμος πληθυσμός ισούται ή υπερβαίνει τους 2.000 κατοίκους. Αντίστοιχα, οικισμοί με μικρότερο πληθυσμό χαρακτηρίζονται ως αγροτικοί.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του πληθυσμού των αστικών περιοχών (p_h^{urban}) υπολογίστηκε σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση:

²³ Ελληνική Στατιστική Αρχή: https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf

²⁴ Προεδρικό Διάταγμα της 24ης Απριλίου 1985, ΦΕΚ Δ' 181/1985, «Καθορισμός των αστικών και αγροτικών οικισμών της Χώρας»

$$p_h^{urban} = \frac{p * r_{urban}}{h}$$

Αντίστοιχα, ο πληθυσμός των περι-αστικών περιοχών υπολογίσθηκε σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση:

$$p_h^{rural} = \frac{p * r_{rural}}{h}$$

όπου ως p ορίζεται ο συνολικός πληθυσμός της εκάστοτε Περιφερειακής Ενότητας, r_{urban} και r_{rural} ορίζονται οι συντελεστές αναλογίας του αστικού ή περι-αστικού πληθυσμού προς το συνολικό και h ο μέσος αριθμός ατόμων ανά νοικοκυριό.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των συντελεστών αναλογίας αστικού και περι-αστικού πληθυσμού υπολογίζεται σύμφωνα με τις ακόλουθες συναρτήσεις:

$$r_{urban} = \frac{p_{urban}}{p} \text{ και } r_{rural} = \frac{p_{rural}}{p}$$

όπου ως p_{urban} νοείται ο πληθυσμός των αστικών περιοχών και ως p_{rural} ο πληθυσμός των περι-αστικών περιοχών.

Οι συντελεστές αναλογίας του αστικού και περι-αστικού πληθυσμού χρησιμοποιούνται ώστε να σταθμιστεί το συνολικό ενεργειακό κόστος ψύξης και θέρμανσης, ανάλογα με τη γεωγραφική κατανομή του πληθυσμού (αστικές – αγροτικές περιοχές). Επιπλέον, η εν λόγω πληθυσμιακή διαφοροποίηση επιτρέπει την ενσωμάτωση των χωρικών ανισοτήτων στην ενεργειακή κατανάλωση (Seto & Dhakal, 2014).

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της Απογραφής Πληθυσμού – Κατοικιών 2021 της Ελληνικής Στατιστικής Αρχής (ΕΛΣΤΑΤ, 2023), στην Ελλάδα ο μέσος αριθμός ατόμων ανά νοικοκυριό ανέρχεται σε 2,6 άτομα. (HELLENIC STATISTICAL AUTHORITY, 2014).

Πίνακας 15: Πληθυσμιακή Κατανομή και Αναλογίες αστικών και περι-αστικών περιοχών

Id	Region	Πληθυσμός (2021)	Urban Population	Rural Population	p	r_{urban}	r_{rural}	h
38	Αιτωλοακαρνανία	192345	181452	10893	192345	0.94	0.06	2.6
28	Βοιωτία	106056	98478	7578	106056	0.93	0.07	2.6
27	Φθιώτιδα	137793	133522	4271	137793	0.97	0.03	2.6
42	Κόρινθος	138310	133218	5092	138310	0.96	0.04	2.6
37	Αχαΐα	305979	302970	3009	305979	0.99	0.01	2.6
29	Εύβοια	210778	208524	2254	210778	0.99	0.01	2.6
74	Χανιά	156706	152022	4684	156706	0.97	0.03	2.6
71	Ηράκλειο	305017	299826	5191	305017	0.98	0.02	2.6
24	Μαγνησία	177448	163161	14287	177448	0.92	0.08	2.6
22	Λάρισα	268963	254062	14901	268963	0.94	0.06	2.6

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία & ΕΛΣΤΑΤ²⁵²⁵ Ελληνική Στατιστική Αρχή: https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf

4.1.4 Εκτίμηση της Ενέργειας Κατανάλωσης με Βάση Θερμοκρασιακούς Δείκτες

Οι Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένες Ημέρες (Degree Days) είναι άρρηκτα συνδεδεμένες με την ετήσια οικιακή κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση και ψύξη σε επίπεδο Περιφερειακής Ενότητας. Για την εκτίμηση της απαιτείται η χρήση συντελεστών κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα βαθμομέρας θέρμανσης m_h (kWh/μονάδα HDD) και κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα βαθμομέρας ψύξης m_c (kWh/μονάδα CDD).

Ο συντελεστής κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα βαθμομέρας θέρμανσης (m_h) εκφράζει την ενεργειακή ευαισθησία ή τρωτότητα του κτιριακού κελύφους στην ατμοσφαιρική ψύξη. Επιπλέον συμβάλλει στον προσδιορισμό της απαιτούμενης ενέργειας σε kWh, προκειμένου να διατηρηθεί μια θερμική ισορροπία εντός του κτιρίου, ανά μονάδα βαθμομέρας θέρμανσης (HDD).

Υψηλές τιμές του συντελεστή m_h συνεπάγονται μεγαλύτερες θερμικές απώλειες, οι οποίες καθιστούν πιο ενεργοβόρο το κτιριακό απόθεμα. Αντιθέτως, χαμηλές τιμές υποδηλώνουν βελτιωμένη θερμική προστασία και επαρκή μόνωση, γεγονός που υποδηλώνει μειωμένες ανάγκες κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση.

Αντίστοιχα, ο συντελεστής κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα βαθμομέρας ψύξης (m_c) εκφράζει την ποσότητα ενέργειας που απαιτείται για ψύξη σε kWh ανά μονάδα βαθμομέρας ψύξης (CDD) (K. Papakostas & Kyriakis, 2005).

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας για την εκτίμηση τόσο των συντελεστών θέρμανσης και ψύξης όσο και την εκτίμηση του ενεργειακού κόστους, οι υπό μελέτη χωρικές ενότητες ταξινομήθηκαν ανά κλιματική ζώνη. Συγκεκριμένα, το σύνολο του ελλαδικού χώρου κατηγοριοποιείται σε 4 Κλιματικές Ζώνες (Α,Β,Γ,Δ) ανάλογα με την καταναλισκόμενη ενέργεια για θέρμανση και δροσισμό. Η ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση διαφοροποιείται ανάλογα με την κλιματική ζώνη και αυξάνεται από τη Ζώνη Α προς τη Ζώνη Δ λόγω της χαμηλής επικρατούσας ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας.

Σύμφωνα με τα στοιχεία της Έκθεσης Μακροπρόθεσμης Στρατηγικής Ανακαίνισης του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ, 2020), η μέση κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ανά κλιματική ζώνη είναι:

- Ζώνη Α: Περίπου 80 kWh/m² σε περιοχές με ήπιο κλίμα
- Ζώνη Β: Περίπου 120 kWh/m², σε περιοχές όπως η Αττική και η Θεσσαλονίκη
- Ζώνη Γ: Περίπου 150 kWh/m², σε περιοχές της Κεντρικής Ελλάδας
- Ζώνη Δ: Περίπου 180 kWh/m², σε περιοχές με ψυχρό κλίμα

Οι ως άνω αντιπροσωπευτικές τιμές αφορούν στην κατανάλωση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m²) για τις τέσσερις Κλιματικές Ζώνες της χώρας (Α, Β, Γ, Δ), όπως αυτές καθορίζονται από τον ΚΕΝΑΚ²⁶, επιτρέποντας την εκτίμηση του ενεργειακού φορτίου θέρμανσης ανάλογα με τις κλιματολογικές συνθήκες της εκάστοτε περιοχής μελέτης.

Πίνακας 16: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για θέρμανση ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m²) ανά Κλιματική Ζώνη

Κλιματική Ζώνη	Εκτίμηση Θέρμανσης kWh/m ² /έτος	ΜΟ
Α	80–100	90
Β	110–130	120
Γ	140–160	150
Δ	170–200	185

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία & Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

Συγχρόνως, η κατανάλωση ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m²) για ψύξη παρουσιάζει αντίστροφη γεωγραφική τάση, καθώς αυξάνεται από τη Ζώνη Δ προς τη Ζώνη Α, λόγω των υψηλότερων θερμοκρασιών σε περιοχές με θερμότερα καλοκαίρια.

²⁶ Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2017). Κανονισμός Ενεργειακής Απόδοσης Κτιρίων (ΚΕΝΑΚ), ΦΕΚ Β' 2367/12.07.2017. Διαθέσιμο στο: <https://www.ypeka.gr>

Πίνακας 17: Ετήσια κατανάλωση ενέργειας για ψύξη ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m²) ανά Κλιματική Ζώνη

Κλιματική Ζώνη	Εκτίμηση Ψύξης (kWh/m ² /έτος)	ΜΟ
A	4,5 – 5,5	5
B	3 – 4	3,5
Γ	1,5 – 2,5	2
Δ	0,5 – 1,0	0,75

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία & Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας

Δεδομένου ότι δεν διατίθενται αναλυτικές τιμές κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση και ψύξη ανά ζώνη (kWh/m²), υπολογίσθηκε για κάθε ζώνη η μέση ετήσια τιμή κατανάλωσης (kWh/m²) ανά νοικοκυριό, η οποία χρησιμοποιείται ως βάση για την εκτίμηση του ενεργειακού κόστους και την ενεργειακή αξιολόγηση. Το μέσο εμβαδόν των ελληνικών νοικοκυριών στον ελλαδικό χώρο ορίσθηκε προσεγγιστικά στα 95 τετραγωνικά μέτρα. Η εν λόγω τιμή προκύπτει ως αριθμητικός μέσος των τετραγωνικών μέτρων που καταγράφηκαν στην Ελλάδα κατά το χρονικό διάστημα 2006–2009, τα οποία κυμαίνονταν μεταξύ 95 και 100 τ.μ. (Μητράκος, 2009).

Παρόμοια εικόνα παρουσιάζει το μέσο εμβαδόν των κατοικιών που αγοράσθηκαν στο πλαίσιο του Προγράμματος “Σπίτι μου 2”, το οποίο ανέρχεται στα 91,5 τ.μ. Το παρόν Πρόγραμμα αποτελεί μέτρο κρατικής ενίσχυσης που στοχεύει στην εξασφάλιση πρόσβασης των νέων στην ιδιοκατοίκηση, μέσω χορήγησης άτοκων ή χαμηλότοκων στεγαστικών δανείων (michanikos.gr, 2023).

Ο ποσοτικός προσδιορισμός των συντελεστών κατανάλωσης ενέργειας ανά μονάδα βαθμοημέρας θέρμανσης (m_h) και ψύξης (m_c) υπολογίσθηκε αντίστοιχα σύμφωνα με τις ακόλουθες συναρτήσεις για την εκάστοτε χωρική μονάδα ανά έτος μελέτης.

$$m_h = \frac{E_h}{HDD}$$

όπου ως E_h ορίζεται η κατανάλωση θερμικής ενέργειας σε kWh ανά νοικοκυριό

$$m_c = \frac{E_c}{CDD}$$

όπου ως E_c ορίζεται η κατανάλωση ενέργειας για ψύξη σε kWh ανά νοικοκυριό

Για την εκτίμηση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση (E_h^{UHI}) και ψύξη (E_c^{UHI}) υπό την επίδραση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (UHI) χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές κατανάλωσης ενέργειας ανά τετραγωνικό μέτρο (kWh/m²/έτος) που είχαν υπολογιστεί προηγουμένως για κάθε Κλιματική Ζώνη και Περιφερειακή Ενότητα. Οι τιμές αυτές μετατράπηκαν σε ετήσια κατανάλωση ανά νοικοκυριό με βάση το μέσο εμβαδόν των 95 τ.μ., προκειμένου να υπολογιστούν οι μεταβλητές E_h^{UHI} και E_c^{UHI} σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες τιμές των HDD και CDD λόγω ύπαρξης της αστικής θερμικής νησίδας.

Πίνακας 18: Διαχρονική Εξέλιξη των Θεμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Ψύξη (CDD) και Κατηγοριοποίηση των υπό μελέτη χωρικών ενοτήτων σε Κλιματικές Ζώνες (2019-2023)

Id	Region	CDD_2019	CDD_2020	CDD_2021	CDD_2022	CDD_2023	Κλιματική Ζώνη	Κατανάλωση Ενέργειας/m ²	ΜΕΣΟ ΕΜΒΛΑΑΟΝ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	mc_2019	mc_2020	mc_2021	mc_2022	mc_2023	mc_MO
38	Αιτωλοακαρνανία	159,61	143,27	204,14	147,16	160,38	B	3,5	95	332,5	2,08	2,32	1,63	2,26	2,07	2,07
28	Βοιωτία	144,70	143,00	275,44	176,38	235,40	B	3,5	95	332,5	2,30	2,33	1,21	1,89	1,41	1,83
27	Φθιώτιδα	148,69	129,78	269,66	170,40	215,23	B	3,5	95	332,5	2,24	2,56	1,23	1,95	1,54	1,91
42	Κόρινθος	127,64	126,00	219,38	137,03	188,17	B	3,5	95	332,5	2,60	2,64	1,52	2,43	1,77	2,19
37	Αχαΐα	94,53	94,58	158,08	100,14	106,91	B	3,5	95	332,5	3,52	3,52	2,10	3,32	3,11	3,11
29	Εύβοια	101,21	83,60	192,76	109,80	164,89	B	3,5	95	332,5	3,29	3,98	1,72	3,03	2,02	2,81
74	Χανιά	45,85	76,24	120,60	52,15	92,66	A	5	95	475	10,36	6,23	3,94	9,11	5,13	6,95
71	Ηράκλειο	113,81	153,32	192,10	103,51	166,97	A	5	95	475	4,17	3,10	2,47	4,59	2,84	3,44
24	Μαγνησία	95,78	65,13	164,89	94,38	138,36	B	3,5	95	332,5	3,47	5,11	2,02	3,52	2,40	3,30
22	Λάρισα	196,17	145,50	275,95	166,35	231,22	Γ	2	95	190	0,97	1,31	0,69	1,14	0,82	0,99

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Πίνακας 19: Διαχρονική Εξέλιξη των Θεμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Ψύξη (CDD) και της Ενεργειακής Κατανάλωσης υπό την επίδραση της ΑΘΝ στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019–2023)

Id	Region	CDD_UHI_2019	CDD_UHI_2020	CDD_UHI_2021	CDD_UHI_2022	CDD_UHI_2023	Ec_UHI_2019	Ec_UHI_2020	Ec_UHI_2021	Ec_UHI_2022	Ec_UHI_2023	Ec_UHI_MO
38	Αιτωλοακαρνανία	1076,54	860,51	880,19	843,49	807,47	2231,74	1783,91	1824,70	1748,61	1673,95	1852,58
28	Βοιωτία	1217,60	823,65	931,79	879,95	879,38	2222,77	1503,61	1701,02	1606,39	1605,35	1727,83
27	Φθιώτιδα	1395,94	973,55	1005,69	956,89	936,97	2659,96	1855,09	1916,34	1823,36	1785,40	2008,03
42	Κόρινθος	1246,15	834,08	1137,13	1140,83	1247,03	2729,79	1827,12	2490,97	2499,07	2731,72	2455,73
37	Αχαΐα	560,60	1545,23	587,23	580,57	621,19	1745,32	4810,80	1828,25	1807,49	1933,96	2425,16
29	Εύβοια	609,50	738,95	429,92	388,12	467,12	1710,55	2073,85	1206,56	1089,25	1310,97	1478,24
74	Χανιά	611,87	729,99	556,90	515,42	595,53	4254,21	5075,44	3872,03	3583,61	4140,61	4185,18
71	Ηράκλειο	461,22	667,79	485,11	463,81	595,59	1584,58	2294,25	1666,64	1593,47	2046,19	1837,03
24	Μαγνησία	1061,20	837,73	584,36	537,28	601,77	3506,07	2767,74	1930,65	1775,10	1988,16	2393,55
22	Λάρισα	1424,65	1109,41	848,57	761,16	737,14	1403,78	1093,15	836,14	750,01	726,34	961,88

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Πίνακας 20: Διαχρονική Εξέλιξη των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (HDD) και Κατηγοριοποίηση των υπό μελέτη χωρικών ενοτήτων σε Κλιματικές Ζώνες (2019-2023)

Id	Region	HDD_2019	HDD_2020	HDD_2021	HDD_2022	HDD_2023	Κλιματική Ζώνη	Κατανάλωση Ενέργειας/m2	ΜΕΣΟ ΕΜΒΛΑΘΟΝ	ΕΝΕΡΓΕΙΑ	mh_2019	mh_2020	mh_2021	mh_2022	mh_2023	mh_MO
38	Αιτωλοακαρνανία	1520,62	1510,11	1505,93	1525,00	1403,41	B	120	95	11400	7,50	7,55	7,57	7,48	8,12	7,64
28	Βοιωτία	1472,65	1492,74	1520,38	1552,80	1345,83	B	120	95	11400	7,74	7,64	7,50	7,34	8,47	7,74
27	Φθιώτιδα	1784,94	1782,16	1831,05	1830,11	1664,75	B	120	95	11400	6,39	6,40	6,23	6,23	6,85	6,42
42	Κόρινθος	1680,20	1685,90	1705,00	1749,67	1558,00	B	120	95	11400	6,78	6,76	6,69	6,52	7,32	6,81
37	Αχαΐα	1970,13	1938,54	1915,98	1943,89	1834,41	B	120	95	11400	5,79	5,88	5,95	5,86	6,21	5,94
29	Εύβοια	1036,72	1060,02	1083,92	1127,02	952,27	B	120	95	11400	11,00	10,75	10,52	10,12	11,97	10,87
74	Χανιά	1193,99	1176,09	1098,23	1230,38	1079,64	A	90	95	8550	7,16	7,27	7,79	6,95	7,92	7,42
71	Ηράκλειο	981,74	990,99	923,50	1054,59	890,05	A	90	95	8550	8,71	8,63	9,26	8,11	9,61	8,86
24	Μαγνησία	1341,31	1347,39	1427,42	1414,96	1266,27	B	120	95	11400	8,50	8,46	7,99	8,06	9,00	8,40
22	Λάρισα	1747,96	1771,23	1892,15	1859,99	1696,12	Γ	150	95	14250	8,15	8,05	7,53	7,66	8,40	7,96

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Πίνακας 21: Διαχρονική Εξέλιξη των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση (HDD) και της Ενεργειακής Κατανάλωσης υπό την επίδραση της ΑΘΝ στις υπό μελέτη χωρικές ενότητες (2019–2023)

Id	Region	HDD_UHI_2019	HDD_UHI_2020	HDD_UHI_2021	HDD_UHI_2022	HDD_UHI_2023	Eh_UHI_2019	Eh_UHI_2020	Eh_UHI_2021	Eh_UHI_2022	Eh_UHI_2023	Eh_UHI_MO
38	Αιτωλοακαρνανία	860,51	868,87	829,89	828,68	756,32	6576,82	6640,70	6342,76	6333,53	5780,51	6334,86
28	Βοιωτία	823,65	838,54	864,04	849,23	701,86	6373,16	6488,35	6685,64	6571,07	5430,73	6309,79
27	Φθιώτιδα	973,55	953,22	1095,02	1043,62	943,00	6247,54	6117,10	7027,08	6697,19	6051,51	6428,08
42	Κόρινθος	834,08	792,77	787,25	745,88	499,13	5682,72	5401,28	5363,62	5081,77	3400,67	4986,01
37	Αχαΐα	1545,23	1476,85	1486,83	1463,46	1320,14	9177,48	8771,32	8830,62	8691,85	7840,60	8662,37
29	Εύβοια	738,95	776,05	846,76	848,70	650,03	8033,05	8436,40	9205,10	9226,19	7066,46	8393,44
74	Χανιά	729,99	736,67	661,93	767,11	576,76	5414,21	5463,79	4909,43	5689,55	4277,77	5150,95
71	Ηράκλειο	667,79	617,26	630,49	694,29	461,43	5917,76	5469,99	5587,25	6152,62	4089,07	5443,34
24	Μαγνησία	837,73	835,77	1007,95	972,06	802,86	7037,92	7021,49	8467,98	8166,48	6744,96	7487,77
22	Λάρισα	1109,41	1147,40	1319,53	1265,17	1190,21	8829,02	9131,34	10501,28	10068,67	9472,05	9600,47

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

4.1.5 Ανάλυση Κόστους Ενεργειακής Κατανάλωσης

Ο προσδιορισμός της εκτίμησης του κόστους ενέργειας που σχετίζεται με τη θέρμανση και την ψύξη των νοικοκυριών προσδιορίσθηκε με βάση τις μέσες ετήσιες τιμές ενέργειας ανά πηγή καυσίμου.

Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, θεωρείται ότι η θέρμανση των νοικοκυριών καλύπτεται από τέσσερις κύριες πηγές ενέργειας: το πετρέλαιο θέρμανσης, το φυσικό αέριο, την ηλεκτρική αντίσταση και την αντλία θερμότητας. Κάθε πηγή συμβάλλει με διαφορετικό κόστος μονάδας (€/kWh) και διαφορετικό συντελεστή απόδοσης (π.χ. COP για αντλίες θερμότητας), γεγονός που οδηγεί σε διαφοροποίηση του συνολικού κόστους ανάλογα με την εκάστοτε πηγή θέρμανσης.

Οι υπολογισμοί πραγματοποιούνται μεμονωμένα για την εκάστοτε πηγή, προκειμένου να προσδιοριστεί η συμβολή της ενεργειακής πηγής στο συνολικό ενεργειακό κόστος. Δεν τεκμαίρεται συνδυαστική χρήση των πηγών ενέργειας στο ίδιο νοικοκυριό· καθεμία αναλύεται αυτοτελώς, με τις αντίστοιχες τεχνικές και οικονομικές παραδοχές που αντιστοιχούν στα χαρακτηριστικά της.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του μέσου κόστους θέρμανσης ανά μονάδα ενέργειας (€/kWh) για την εκάστοτε περιοχή μελέτης υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση:

$$H_c = \sum_{i_{g,o,e,b}} p_i^y r_i \frac{1}{t_i}$$

όπου ως p_i^y ορίζεται η μέση τιμή για τις τέσσερις πηγές ενέργειας ($i=1-4$ για g,o,e,b) ανά έτος (y), r_i η αναλογία χρήσης της εκάστοτε πηγής ενέργειας και ως t_i ο συντελεστής απόδοσης της εκάστοτε πηγής, ενώ οι δείκτες g, o, e, b αντιστοιχούν στις πηγές ενέργειας φυσικό αέριο, πετρέλαιο θέρμανσης, αντλίες θερμότητας και βιομάζα.

Ο ποσοτικός προσδιορισμός του μέσου κόστους ψύξης ανά μονάδα ενέργειας (€/kWh) για την εκάστοτε περιοχή μελέτης υπολογίζεται σύμφωνα με την ακόλουθη συνάρτηση:

$$C_c = p_e^y$$

όπου ως p_e^y ορίζεται η μέση ετήσια κατανάλωση ενέργειας των αντλιών θερμότητας για το έτος y , δεδομένου ότι οι μονάδες κλιματισμού –είτε επιτοίχιες είτε χωρικά εντοπισμένες σε συγκεκριμένους χώρους– αποτελούν το επικρατέστερο σύστημα ψύξης στα ελληνικά νοικοκυριά.

Πίνακας 22: Εκτίμηση του τελικού κόστους θέρμανσης (€/kWh) με βάση την τιμή ενέργειας, την απόδοση και το ποσοστό χρήσης ανά πηγή θέρμανσης

Πηγή Θέρμανσης	Pi (€/kWh)	Ri (Ποσοστό Χρήσης)	Ti (Συντελεστής Απόδοσης)	
Πετρέλαιο Θέρμανσης	0,13	0,4	0,85	0,06
Φυσικό Αέριο	0,1	0,3	0,95	0,03
Αντλία Θερμότητας	0,205	0,2	3,5	0,01
Βιομάζα	0,07	0,1	0,75	0,01

Hc

0,11

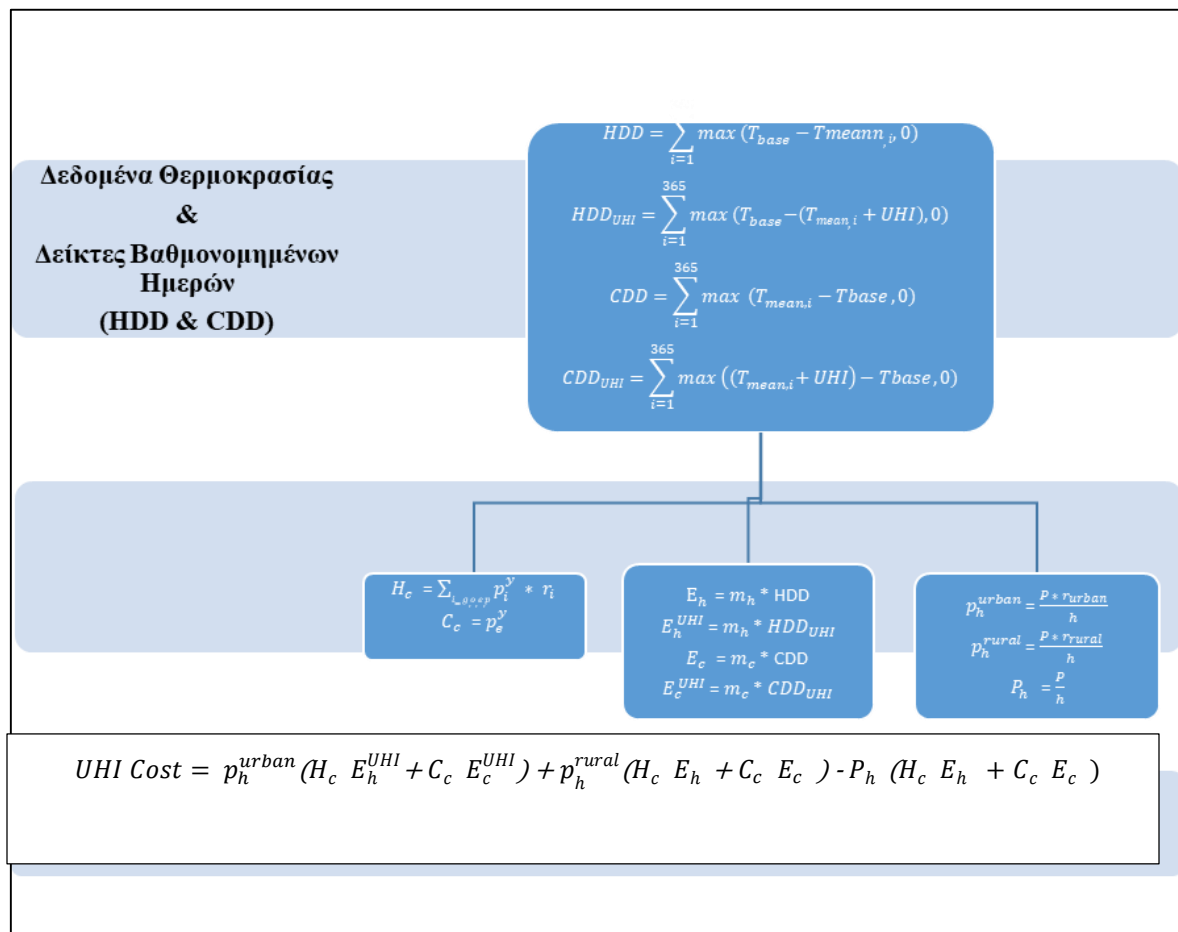
Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στον Πίνακα 22 παρουσιάζεται η εκτίμηση του συνολικού κόστους θέρμανσης ανά κιλοβατώρα (€/kWh) παραγόμενης θερμικής ενέργειας για τα ελληνικά νοικοκυριά. Σύμφωνα με τους (Panagiotopoulos, 2014) οι τιμές ανά πηγή θέρμανσης ανέρχονται σε 1,20 €/λίτρο για το πετρέλαιο θέρμανσης, 120 €/τόνο για τα καυσόξυλα (βιομάζα), 1,02 €/m³ για το φυσικό αέριο και 0,13 €/kWh για την ηλεκτρική ενέργεια. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας, οι ως άνω τιμές μετατράπηκαν σε ισοδύναμο κόστος ανά kWh, προκειμένου να επιτραπεί η συγκριτική αξιολόγηση του κόστους μεταξύ διαφορετικών των διαφορετικών πηγών θέρμανσης.

Αναφορικά με την κατανομή χρήσης της εκάστοτε πηγής θέρμανσης, η ανάλυση βασίστηκε σε παραδοχές που διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τα πιο πρόσφατα διαθέσιμα δεδομένα από την επίσημη “Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες – Χειμερινή Σεζόν 2022–2023 (2η Έκδοση)” του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου και του Υπουργείου Περιβάλλοντος και Ενέργειας (2023), καθώς και συμπληρωματικά στοιχεία της Eurostat (Eurostat, 2024), τα οποία καταγράφουν την κατανομή της κατανάλωσης κάθε ενεργειακής πηγής θέρμανσης στον οικιακό τομέα στην Ελλάδα.

Ο προσδιορισμός των συντελεστών απόδοσης της εκάστοτε πηγής θέρμανσης υλοποιήθηκε σύμφωνα με την μελέτη των K. T. Parakostas et al., (2015), στην οποία παρουσιάζονται ενδεικτικές τιμές αποδοτικότητας: περίπου 85% για λέβητες πετρελαίου, 95% για λέβητες φυσικού αερίου, 75% για συστήματα βιομάζας και 3,5 για τον συντελεστή απόδοσης (COP) των αντλιών θερμότητας.

Η εκτίμηση του μέσου κόστους θέρμανσης (H_c) ανά μονάδα ενέργειας (€/kWh) ανέρχεται σε 0,11 €/kWh, ενώ του μέσου κόστους ψύξης (C_c) ανά μονάδα ενέργειας (€/kWh) ανέρχεται σε 0,2 €/kWh. Οι εν λόγω τιμές προέκυψαν ως απόρροια των επικρατουσών τιμών ενέργειας ανά πηγή και των αντίστοιχων αποδόσεων των συστημάτων θέρμανσης και ψύξης.



Διάγραμμα 21: Μεθοδολογική απεικόνιση του ποσοτικού προσδιορισμού της ετήσιας κατανάλωσης και του κόστους ενέργειας για θέρμανση και ψύξη των κατοικιών υπό την επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (UHI)

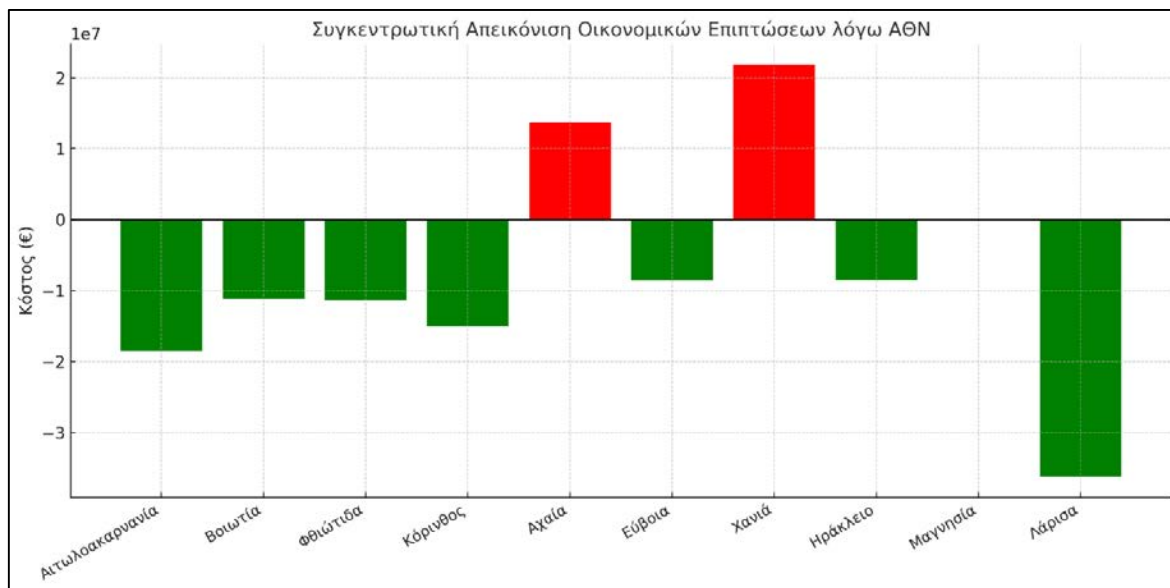
Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στο ως άνω Διάγραμμα (Διάγραμμα 10) παρουσιάζονται οι συναρτήσεις που χρησιμοποιούνται για την εκτίμηση των θερμικών μονάδων (HDD & CDD) και τον υπολογισμό της συνολικής ενεργειακής κατανάλωσης σε επίπεδο Περιφερειακής Ενότητας. Η εκτίμηση βασίζεται σε δεδομένα θερμοκρασίας αέρα (ERA5-Land) και δορυφορικά δεδομένα θερμοκρασίας επιφάνειας (MODIS LST), λαμβάνοντας υπόψη τη θερμική επιβάρυνση λόγω της ΑΘΝ. Ο υπολογισμός του κόστους προσαρμόζεται με βάση τις αποδόσεις των χρησιμοποιούμενων συστημάτων και τις επικρατούσες τιμές ενέργειας ανά πηγή. Ο ποσοτικός προσδιορισμός των Θερμοκρασιακά Κατωφλιωμένων Ημερών για Θέρμανση και Ψύξη υλοποιήθηκε στη διαδικτυακή πλατφόρμα ανάλυσης γεωχωρικών δεδομένων Google Earth Engine.

4.2 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα του Πίνακα 23 διαπιστώνεται ότι το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) παρουσιάζει διαφοροποιημένες επιπτώσεις στο ενεργειακό και οικονομικό ισοζύγιο μεταξύ των υπό μελέτη Περιφερειακών Ενοτήτων.

Συγκεκριμένα, η πλειονότητα των εν λόγω χωρικών μονάδων παρουσιάζει αρνητικό κόστος, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι η ΑΘΝ συμβάλλει στη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και κατ' επέκταση του ενεργειακού κόστους. Το όφελος αυτό προέρχεται κυρίως από μείωση των αναγκών για θέρμανση κατά τη χειμερινή περίοδο, λόγω της ανόδου της θερμοκρασίας που προκαλείται από το φαινόμενο της ΑΘΝ.



Διάγραμμα 22: Συγκριτική διαγραμματική απεικόνιση των οικονομικών επιπτώσεων λόγω της επίδρασης του φαινομένου της ΑΘΝ

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Στην Περιφερειακή Ενότητα Λάρισας καταγράφεται το μεγαλύτερο όφελος, με την μείωση του κόστους να ανέρχεται σε περίπου 36,2 εκατομμύρια ευρώ. Το γεγονός αυτό είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τον υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα αλλά και την κεντροβαρική της χωροταξική θέση, η οποία συμβάλλει σημαντικά στην μείωση των απαιτήσεων θέρμανσης. Αντίστοιχα, σημαντικά οφέλη παρουσιάζουν οι Περιφερειακές Ενότητες Αιτωλοακαρνανίας (18,4 εκ. €), Εύβοιας (8,6 εκ. €) και Φθιώτιδας (11,4 εκ. €).

Αντίθετα, στα Χανιά παρατηρείται θετικό κόστος, περίπου 21,8 εκατομμυρίων ευρώ, υποδηλώνοντας ενεργειακή επιβάρυνση λόγω της αύξησης της ανάγκης για ψύξη κατά τους θερινούς μήνες. Το ως άνω γεγονός καταδεικνύει ότι η Π.Ε. Χανίων παρουσιάζει την μεγαλύτερη αύξηση κόστους, η οποία είναι άμεσα συνδεδεμένη με την έντονη παρουσία θερμικών φορτίων κυρίως κατά τους θερινούς μήνες, λόγω της γειτνίασης με την Αφρική και την επιδείνωση της θερμικής δυσφορίας λόγω της ΑΘΝ.

Παρόμοια εικόνα παρουσιάζει η Π.Ε. Αχαΐας, η οποία εμφανίζει επίσης σημαντική επιβάρυνση, περίπου 13,7 εκατομμύρια ευρώ, στοιχείο που συνδέεται με την έντονη παρουσία θερμικών φορτίων κατά τους θερινούς μήνες, εξαιτίας της γεωγραφικής της θέσης και της αυξημένης αστικοποίησης.

Ενδιαφέρον παρουσιάζει η περίπτωση της Περιφερειακής Ενότητας Μαγνησίας, η οποία εμφανίζει σχεδόν μηδενική οικονομική επίδραση (28,5 χιλ. €), στοιχείο που πιθανότατα συνδέεται με πιο ισορροπημένη κατανομή θέρμανσης-ψύξης και μικρότερη ένταση της ΑΘΝ σε σχέση με άλλες περιοχές.

Όσον αφορά στα ποσοστά αστικοποίησης, παρατηρείται ότι οι περισσότερες περιοχές εμφανίζουν πολύ υψηλό ποσοστό αστικού πληθυσμού ($r_{urban} > 90\%$), γεγονός που ενισχύει την επίδραση της ΑΘΝ και επιβεβαιώνει ότι το φαινόμενο είναι πιο έντονο σε περιοχές με υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα.

Πίνακας 23: Εκτίμηση του οικονομικού κόστους που προκύπτει από την επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) στο σύνολο των υπό μελέτη περιοχών

Id	Region	Πληθυσμός (2021) p	Urban Population	Rural Population	p	r urban	r rural	h	ph urban	ph rural	Ph	Eh_UHI_MO	Ec_UHI_MO	ΕΝΕΡΓΕΙΑ Eh	Ec	ΚΟΣΤΟΣ
38	Αττωλοακαρνανία	192345	181452	10893	192345	0,94	0,06	2,6	69789,23	4189,62	73978,85	6334,86	1852,58	11400	332,5	-18.480.986
28	Βοιωτία	106056	98478	7578	106056	0,93	0,07	2,6	37876,15	2914,62	40790,77	6309,79	1727,83	11400	332,5	-11.106.756
27	Φθιώτιδα	137793	133522	4271	137793	0,97	0,03	2,6	51354,62	1642,69	52997,31	6428,08	2008,03	11400	332,5	-11.417.937
42	Κόρινθος	138310	133218	5092	138310	0,96	0,04	2,6	51237,69	1958,46	53196,15	4986,01	2455,73	11400	332,5	-15.098.144
37	Αχαΐα	305979	302970	3009	305979	0,99	0,01	2,6	116526,92	1157,31	117684,23	8662,37	2425,16	11400	332,5	13.685.575
29	Εύβοια	210778	208524	2254	210778	0,99	0,01	2,6	80201,54	866,92	81068,46	8393,44	1478,24	11400	332,5	-8.603.949
74	Χανιά	156706	152022	4684	156706	0,97	0,03	2,6	58470,00	1801,54	60271,54	5150,95	4185,18	8550	475	21.854.023
71	Ηράκλειο	305017	299826	5191	305017	0,98	0,02	2,6	115317,69	1996,54	117314,23	5443,34	1837,03	8550	475	-8.571.824
24	Μαγνησία	177448	163161	14287	177448	0,92	0,08	2,6	62754,23	5495,00	68249,23	7487,77	2393,55	11400	332,5	28.543
22	Λάρισα	268963	254062	14901	268963	0,94	0,06	2,6	97716,15	5731,15	103447,31	9600,47	961,88	14250	190	-36.242.385

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

4.2.1 Ψηφιακή Χαρτογραφική Αποτύπωση της Εξέλιξης του Φαινομένου της ΑΘΝ

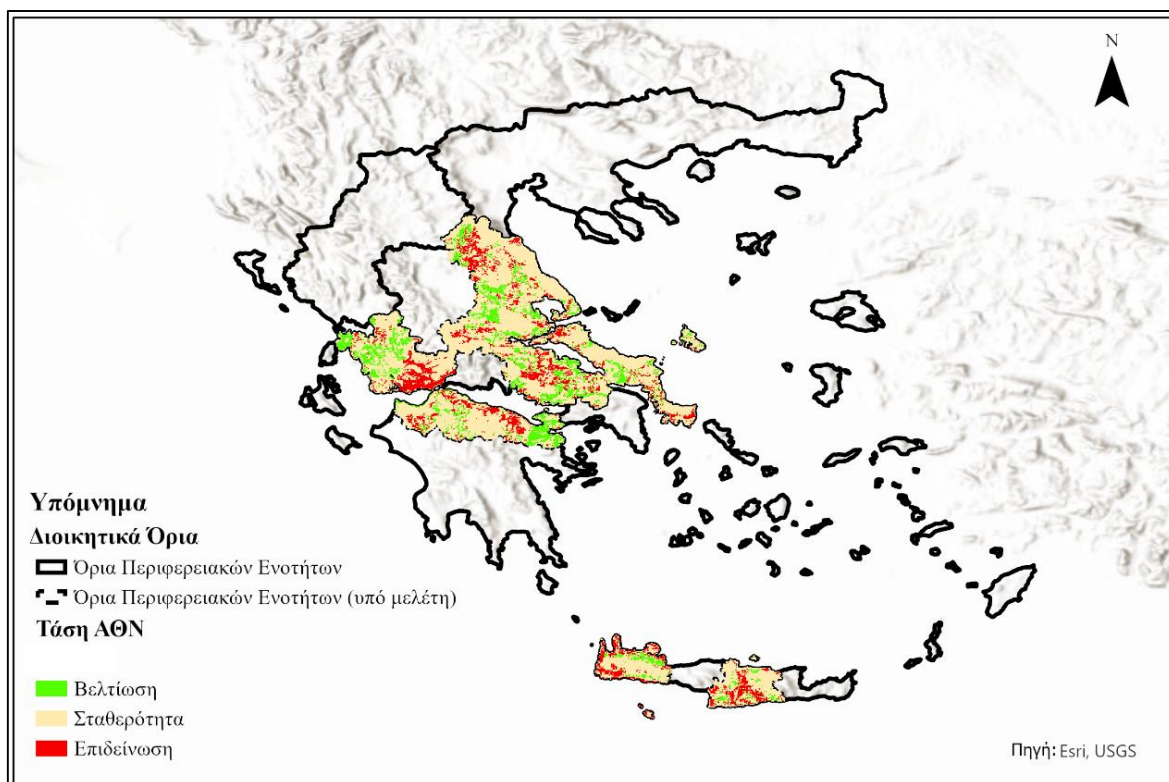
Η διαχρονική μεταβολή της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) για την περίοδο 2019–2023 αποτυπώνεται στο Χάρτη 2. Η χαρτογραφική απεικόνιση παρουσιάζει τις μεταβολές στα ταξινομημένα επίπεδα του δείκτη SUHI (Surface Urban Heat Island), όπως αυτά προέκυψαν από την ποσοτική ανάλυση της διαφοράς της μέσης θερμοκρασίας της γήινης επιφάνειας (LST) μεταξύ αστικών και περι-αστικών περιοχών.

Η ποσοτική διαφορά υπολογίσθηκε μέσω αφαίρεσης raster αρχείων σε επίπεδο εικονοστοιχείου (pixel-by-pixel) μεταξύ των δύο ακραίων ετών για το υπό μελέτη χρονικό διάστημα (2019-2023). Η υπολογιστική διαδικασία πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του ArcGIS Pro, με χρήση του εργαλείου Raster Calculator. Ως αποτέλεσμα, κάθε τιμή εικονοστοιχείου στο τελικό αρχείο κανάβου εκφράζει τη μεταβολή της έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην αντίστοιχη γήινη επιφάνεια, επιτρέποντας την ακριβή χαρτογράφηση των χωρικών τάσεων των θερμοκρασιών.

Η ταξινόμηση των χωρικών τάσεων παράγει τρεις κλάσεις:

1. Βελτίωση: Μείωση της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ
2. Σταθερότητα: Μικρές ή μη σημαντικές μεταβολές
3. Επιδείνωση: Αύξηση της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ

Αντίστοιχη ταξινόμηση έχει εφαρμοσθεί σε αρκετές έρευνες σε διεθνές επίπεδο (Qiu et al., 2025), προκειμένου να ποσοτικοποιηθεί ο δείκτης SUHI, ώστε να είναι εφικτή η χωροχρονική ανάλυση.



Χάρτης 2: Χαρτογραφική αποτύπωση της Διαχρονικής Μεταβολής της έντασης του Φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (2019-2023)

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Σύμφωνα με τον Χάρτη 2 διαπιστώνεται ότι το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας επιδεινώνεται στις Περιφερειακές Ενότητες Βοιωτίας, Αχαΐας, Αιτωλοακαρνανίας και Ηρακλείου, όπου καταγράφεται αύξηση της θερμικής διαφοράς μεταξύ αστικού και περι-αστικού περιβάλλοντος.

Αντίθετα, οι Περιφερειακές Ενότητες που εντοπίζονται στην Περιφέρεια Θεσσαλίας και Ανατολικής Στερεάς Ελλάδας παρουσιάζουν τμηματικά βελτίωση, γεγονός το οποίο υποδηλώνει μείωση της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ, πιθανώς λόγω χωρικά εντοπισμένων παρεμβάσεων όπως οι δενδροφυτεύσεις και η συντήρηση των αστικών χώρων πρασίνου.

Για τη συνολική αποτίμηση της διαχρονικής εξέλιξης της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ, στον Πίνακα 24 παρουσιάζονται οι μέσες τιμές της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ για το σύνολο των Περιφερειακών Ενοτήτων της παρούσας έρευνας, κατά το χρονικό διάστημα

2019-2023, ανεξαρτήτως των χωρικών ιδιαιτεροτήτων προκειμένου να προσδιοριστούν οι γενικές τάσεις του φαινομένου.

Πίνακας 24: Διαχρονική εξέλιξη των μέσων ετήσιων τιμών της έντασης της ΑΘΝ (SUHI) σε°C ανά Περιφερειακή Ενότητα για την περίοδο 2019–2023

Id	Region	Mean_Temp 2019	Mean_Temp 2020	Mean_Temp 2021	Mean_Temp 2022	Mean_Temp 2023
38	Αιτωλοακαρνανί α	2,70	2,44	2,39	2,63	2,65
28	Βοιωτία	2,66	2,56	2,96	2,80	2,53
27	Φθιώτιδα	2,75	2,48	2,60	2,83	2,61
42	Κόρινθος	2,87	2,56	2,77	2,66	2,60
37	Αχαΐα	2,74	2,60	2,38	2,64	2,79
29	Εύβοια	2,73	2,47	2,56	2,70	2,76
74	Χανιά	2,47	2,36	2,21	2,51	2,67
71	Ηράκλειο	2,27	2,77	2,60	2,50	2,64
24	Μαγνησία	2,59	2,64	2,72	2,78	2,55
22	Λάρισα	2,90	2,85	2,70	2,95	2,94

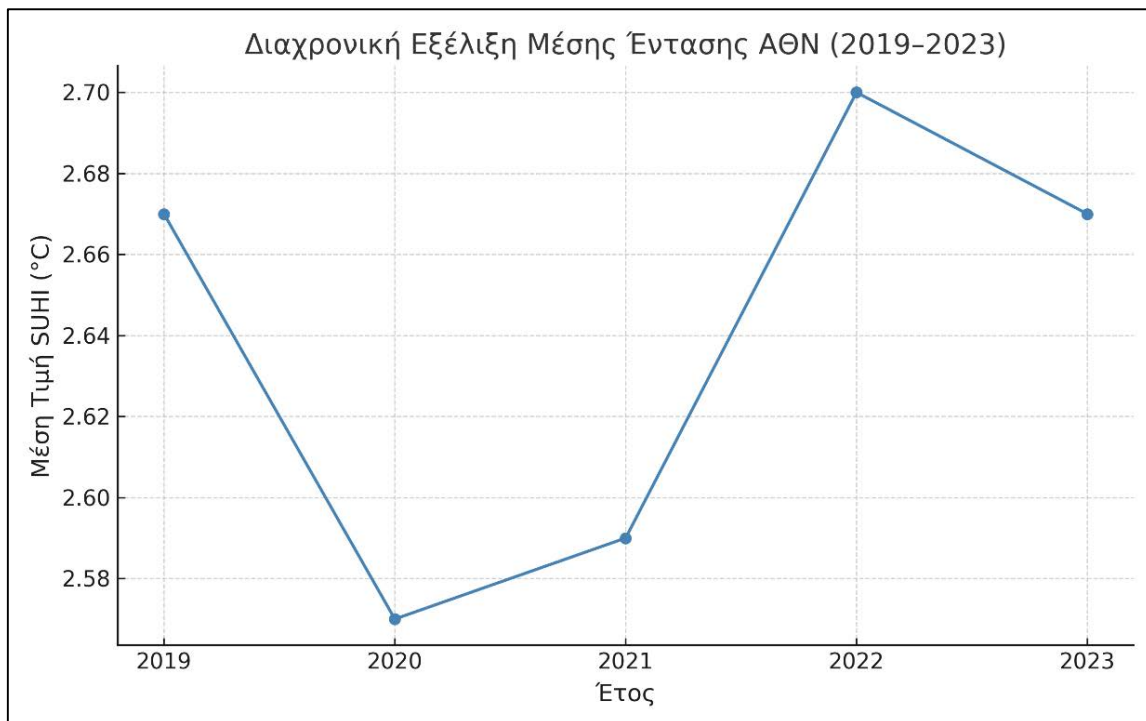
Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

Η ποσοτικοποίηση των τιμών του δείκτη SUHI προσδιορίστηκε μέσω της διαδικασίας Zonal Statistics as Table στο περιβάλλον του ArcGIS Pro, μέσω της οποίας εκτιμήθηκε η μέση τιμή των τιμών SUHI για όλα τα εικονοστοιχεία που περιλαμβάνονται εντός των ορίων κάθε Περιφερειακής Ενότητας.

Σύμφωνα με το Διάγραμμα 23, η συνολική μέση ένταση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας κυμαίνεται μεταξύ 2,6–2,7°C. Η υψηλότερη τιμή καταγράφεται το 2022 (2,70°C), γεγονός που υποδηλώνει εντατικοποίηση του φαινομένου, ενώ η χαμηλότερη τιμή παρατηρείται το 2020 (2,57°C), υποδηλώνοντας μικρή εξασθένιση.

Αντίθετα, κατά τα δύο ακραία έτη της περιόδου μελέτης (2019 και 2023), η ένταση παραμένει σταθερή (2,67°C και στα δύο έτη), στοιχείο που υποδηλώνει θερμοκρασιακή σταθερότητα και πιθανή εξισορρόπηση μεταξύ των θερμικών επιβαρύνσεων και των ψυκτικών αναγκών. Σύμφωνα με τους (Stewart & Oke, 2012), η ως άνω σταθερότητα περιγράφεται ως “διαχρονική σταθερότητα” (temporal stability) της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ, το οποίο υποδηλώνει ότι οι ανθρωπογενείς και οι φυσικές επιδράσεις ως συνιστώσες, παρά το γεγονός ότι επηρεάζουν τη μέση τιμή της ΑΘΝ, την ωθούν προς μια τιμή εξισορρόπησης.

Πρόκειται για μια τάση, η οποία έχει παρατηρηθεί σε αρκετές πόλεις σε διεθνές επίπεδο, κατά την οποία η μέση ένταση του δείκτη SUHI παραμένει σταθερή σε διαχρονικό επίπεδο, ακόμα και όταν παρατηρούνται θερμοκρασιακές μεταβολές λόγω της κλιματικής κρίσης, ενισχύοντας την εικόνα ενός ισορροπημένου αλλά συγχρόνως δυναμικού αστικού περιβάλλοντος (Zhan et al., 2025).



Διάγραμμα 23: Διαχρονική εξέλιξη της μέσης έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ για το χρονικό διάστημα 2019-2023

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

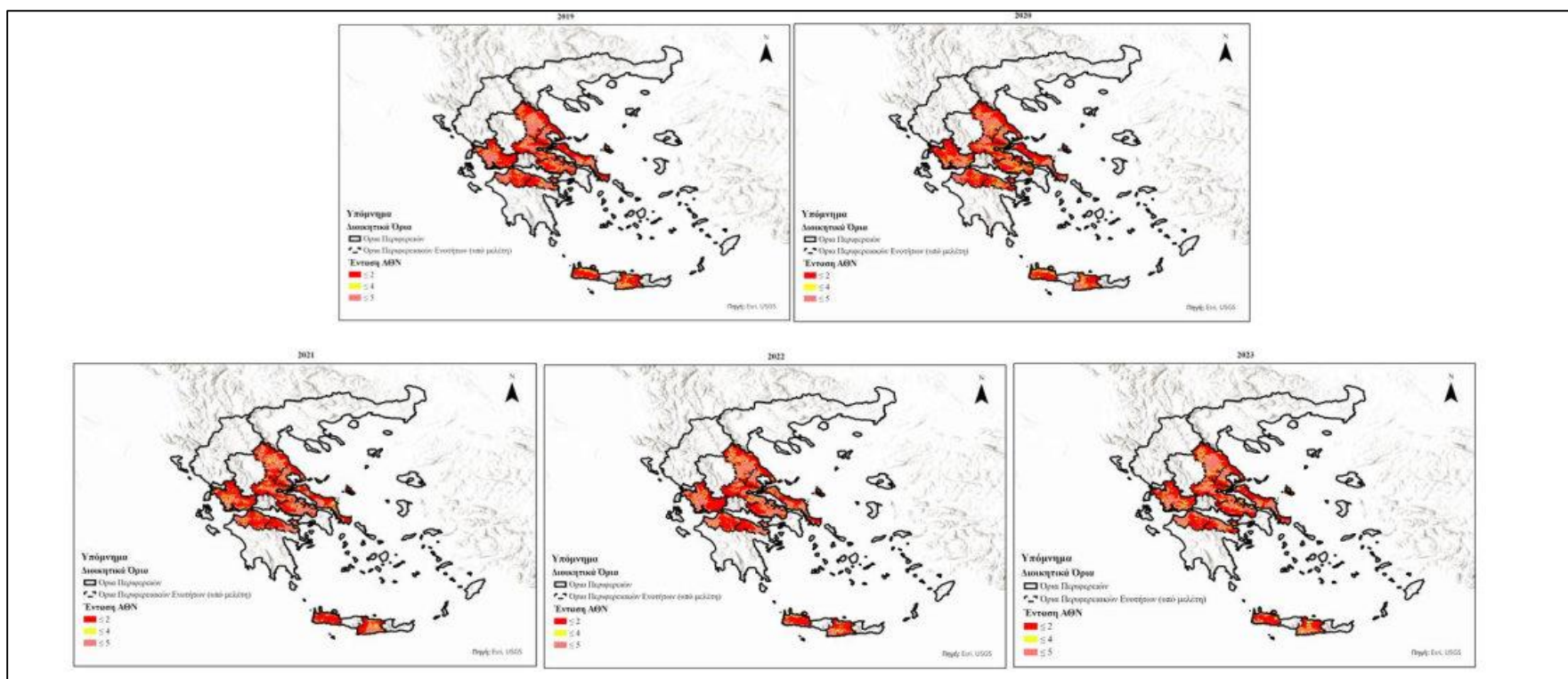
Στην Εικόνα 6 παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ κατά χρονικό διάστημα 2019-2023, αναδεικνύοντας τις ενδο-χωρικές διαφοροποιήσεις με τις οποίες συνεπάγεται στην εκάστοτε Περιφερειακή Ενότητα. Η ποσοτικοποίηση της έντασης του φαινομένου διακρίθηκε σε τρεις επιμέρους κατηγορίες:

- Χαμηλής έντασης με τιμές μικρότερες των 2°C
- Μέσης έντασης με τιμές μικρότερες των 4°C
- Υψηλής έντασης με τιμές μικρότερες των 5

Οι περιοχές χαμηλής έντασης αντιστοιχούν σε περιοχές με μειωμένη θερμική επιβάρυνση, το οποίο δύναται να οφείλεται σε υψηλή συγκέντρωση φυτικών και υδάτινο στοιχείων. Αντίθετα, οι περιοχές υψηλής έντασης συνδέονται με περιοχές με υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, συσσώρευση αστικών χρήσεων γης και μικρή παρουσία χώρων πρασίνου.

Σύμφωνα με την Εικόνα 6 παρατηρείται ότι στην πλειονότητα των υπό μελέτη Περιφερειακών Ενοτήτων, η ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ κυμαίνεται σ' ένα εύρος μεταξύ 2-4 °C, γεγονός που καταδεικνύει σταθερά επίπεδα θερμικού φορτίου στην ατμόσφαιρα. Οι ενδοπεριφερειακές διακυμάνσεις είναι εμφανείς, ενώ στην εκάστοτε περιφερειακή ενότητα εντοπίζονται περιοχές τόσο χαμηλής όσο και υψηλής έντασης. Το γεγονός αυτό οφείλεται στον πολυμορφικό χαρακτήρα των υπό μελέτη χωρικών μονάδων, ο οποίος είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με τη χωρική κατανομή της φυτικής κάλυψης, των υδάτινων σωμάτων αλλά και με την αστική πυκνότητα.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι Περιφερειακές Ενότητες Βοιωτίας, Φθιώτιδας, Χανίων και Ηρακλείου όπου εντοπίζονται περιοχές με υψηλές συγκεντρώσεις έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ. Ωστόσο, οι Περιφερειακές Ενότητες Μαγνησίας, Λάρισας και Αιτωλοακαρνανίας παρουσιάζουν εξασθένηση διαχρονικά διατηρώντας χαμηλότερα επίπεδα έντασης του δείκτη SUHI.



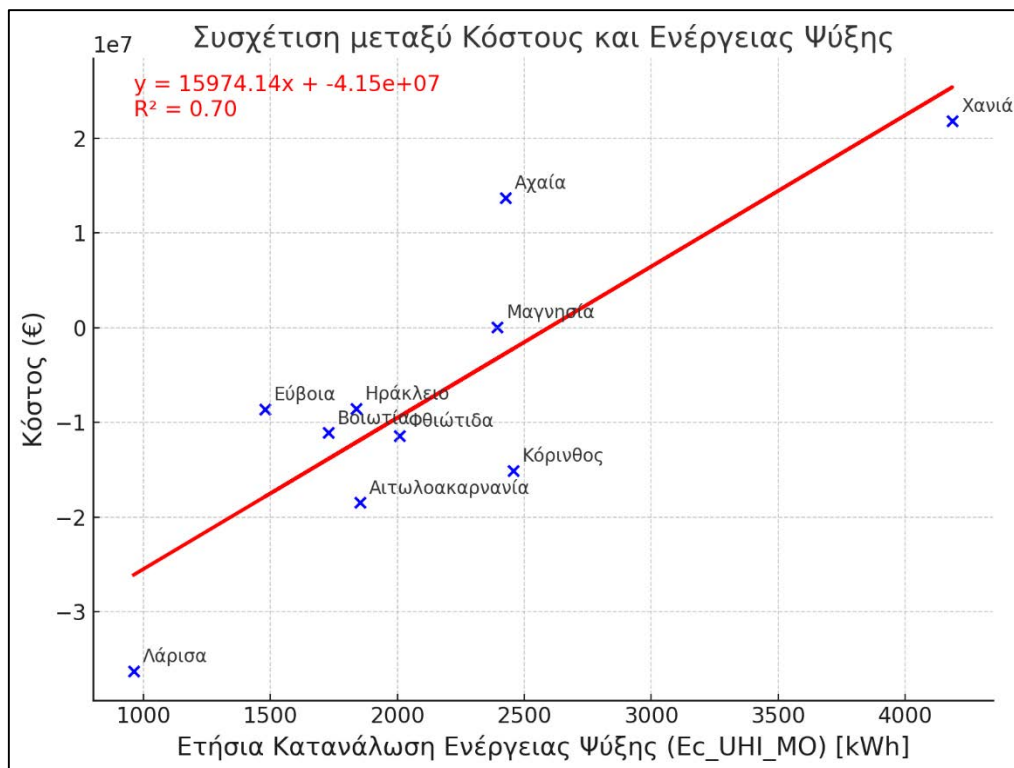
Εικόνα 7: Διαχρονική εξέλιξη του βαθμού έντασης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας (2019–2023) με έμφαση στις ενδοπεριφερειακές χωρικές διαφοροποιήσεις

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

4.2.2 Συσχέτιση Κόστους και Ετήσιας Κατανάλωσης Ενέργειας για Ψύξη

Για το σύνολο των περιοχών που μελετήθηκαν υπολογίσθηκε ο συντελεστής συσχέτισης Pearson μεταξύ του οικονομικού κόστους και της ενέργειας κατανάλωσης για ψύξη λόγω του φαινομένου της ΑΘΝ. Στη συνέχεια εξετάσθηκε ο ίδιος συντελεστής μεταξύ του οικονομικού κόστους και της αναλογίας τόσο του αστικού πληθυσμού (r_{urban}) όσο και του περι-αστικού. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τις άνω συσχετίσεις δίνονται ακολούθως.

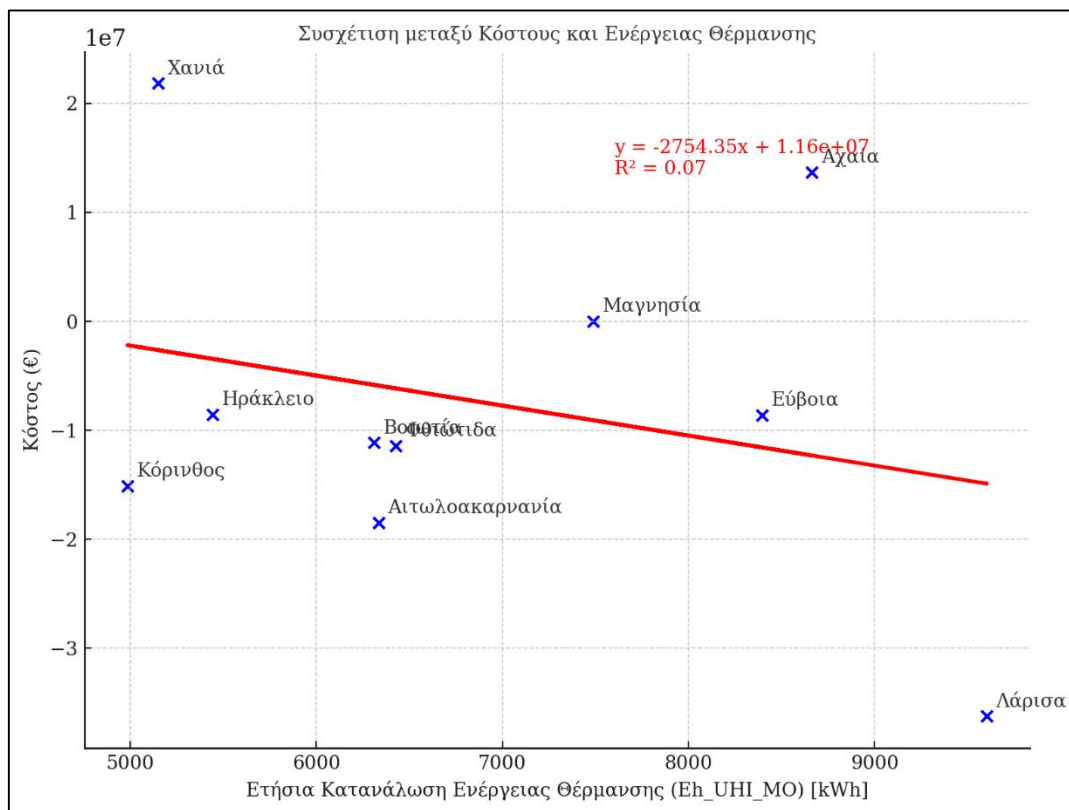
Ο υπολογισμός του συντελεστή συσχέτισης μεταξύ του κόστους και της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη (Ec_UHI_MO) ανέδειξε ισχυρή θετική συσχέτιση μεταξύ τους με συντελεστή προσδιορισμού $R^2 = 0.7$. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει ότι οι Περιφερειακές Ενότητες με υψηλότερες ανάγκες σε ενέργεια για ψύξη επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από την ΑΘΝ, παρουσιάζοντας αυξημένο ενεργειακό και οικονομικό κόστος. Επιπλέον, η σχέση βρέθηκε στατιστικά σημαντική ($p = 0.002$), ενώ η τιμή του συντελεστή παλινδρόμησης δείχνει ότι κάθε 1 kWh ετήσιας κατανάλωσης ψύξης αντιστοιχεί σε περίπου 15.974 € επιπλέον οικονομικό κόστος.



Διάγραμμα 24: Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του συνολικού κόστους και της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για ψύξη (Ec_UHI_MO) στις υπό μελέτη Περιφερειακές Ενότητες
 Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Το φαινόμενο της ΑΘΝ εντατικοποιεί τα θερμικά φορτία κατά τη θερινή περίοδο, αυξάνοντας τις ανάγκες για χρήση κλιματιστικών συστημάτων και, κατά συνέπεια, την κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η αύξηση της ζήτησης για ψύξη επιδρά άμεσα στην αύξηση του ενεργειακού κόστους για τα νοικοκυριά, επιβαρύνοντας το συνολικό ενεργειακό ισοζύγιο της εκάστοτε περιοχής.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Περιφερειακή Ενότητα Χανίων, η οποία, έχοντας από τις υψηλότερες τιμές της μεταβλητής Ec_UHI_MO , εμφανίζει και τη μεγαλύτερη οικονομική επιβάρυνση λόγω της ΑΘΝ.

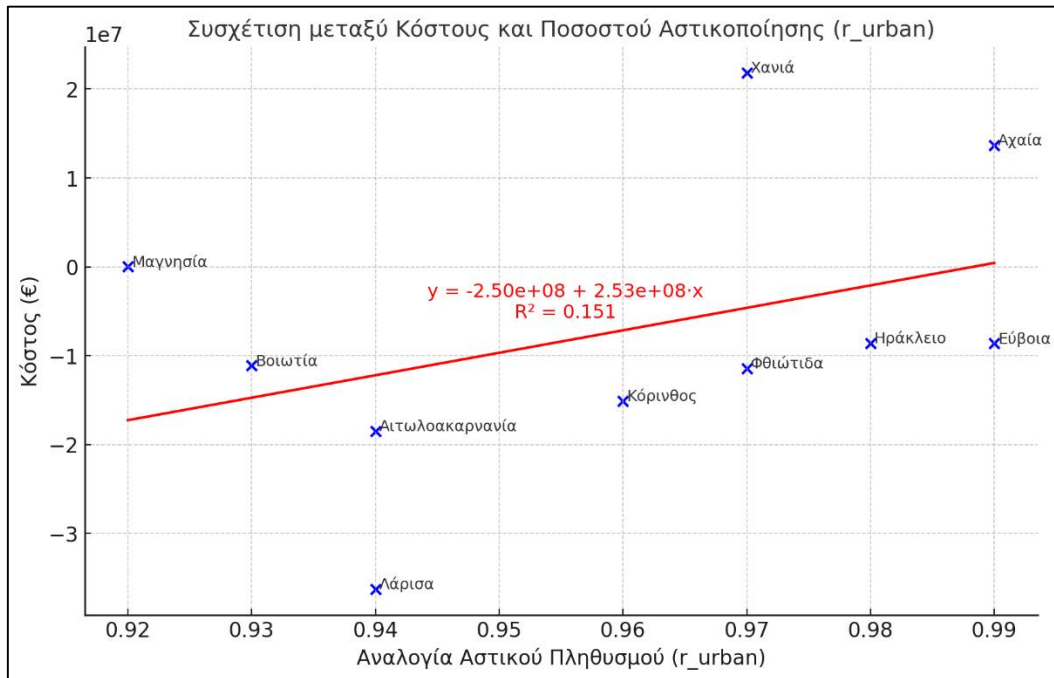


Διάγραμμα 25: Γραμμική παλινδρόμηση της συσχέτισης μεταξύ του συνολικού κόστους και της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση (Eh_UHI_MO) στις υπό μελέτη Περιφερειακές Ενότητες

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Η ανάλυση της συσχέτισης μεταξύ του κόστους και της μέσης ετήσιας κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση (Ec_UHI_MO) ανέδειξε ασθενή συσχέτιση με συντελεστή $R^2 = 0.07$ και $p = 0.454$, γεγονός που καταδεικνύει μη στατιστική σημαντικότητα της σχέσης.

Συνεπώς, στο σύνολο των υπό μελέτη περιοχών η μείωση των αναγκών για θέρμανση λόγω της ύπαρξης του φαινομένου της ΑΘΝ δεν επιδρά στη διαμόρφωση του οικονομικού ισοζυγίου. Το συνολικό κόστος καθορίζεται κυρίως από την αύξηση της κατανάλωσης ψύξης και όχι από τη μείωση της κατανάλωσης θέρμανσης, καθιστώντας την εξοικονόμηση από θέρμανση σημαντικό αλλά όχι ικανό παράγοντα για να αντισταθμίσει την επιβάρυνση της ψύξης.



Διάγραμμα 26: Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του συνολικού κόστους και της αναλογίας αστικού πληθυσμού στις υπό μελέτη Περιφερειακές Ενότητες

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

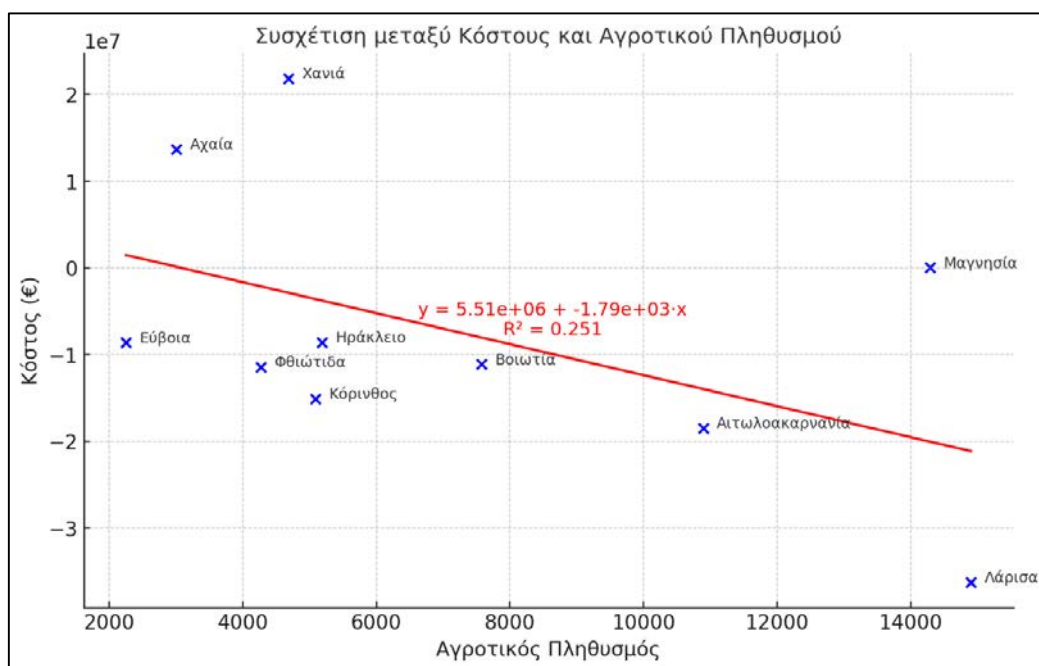
Η ανάλυση της συσχέτισης μεταξύ του συνολικού κόστους και του ποσοστού αστικοποίησης (r_{urban}) ανέδειξε μια μέτρια θετική συσχέτιση, με συντελεστή προσδιορισμού $R^2=0.151$ και $p = 0.27$. Το γεγονός αυτό υποδηλώνει ότι οι Περιφερειακές Ενότητες με υψηλότερο ποσοστό αστικού πληθυσμού τείνουν να επηρεάζονται σε μεγαλύτερο βαθμό από τις επιπτώσεις της ΑΘΝ στο ενεργειακό τους ισοζύγιο και ότι μόλις το 15% της διακύμανσης του κόστους εξηγείται από το ποσοστό αστικοποίησης.

Στις περιοχές όπου η αστική πληθυσμιακή πυκνότητα εμφανίζει μεγαλύτερα ποσοστά αναλογίας, εννοείται η εντατικοποίηση του φαινομένου της ΑΘΝ, καθώς οι αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις περι-αστικές. Οι βασικές

γενεσιουργές αιτίες σχετίζονται με μεγάλη πυκνότητα του δομημένου περιβάλλοντος, την περιορισμένη φυτοκάλυψη και την αποθήκευση θερμότητας στα δομικά υλικά. Ως αποτέλεσμα, αυξάνονται οι ανάγκες για ψύξη κατά τους θερινούς μήνες, οδηγώντας σε μεγαλύτερη ενεργειακή κατανάλωση και αντίστοιχη αύξηση του ενεργειακού κόστους.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί η Περιφερειακή Ενότητα Αχαΐας, με ποσοστό αστικοποίησης της τάξεως του 99%, όπου παρατηρείται από τις υψηλότερες ενεργειακές απαιτήσεις, ενώ αντίστοιχη εικόνα παρουσιάζουν το Ηράκλειο και η Εύβοια.

Εντούτοις, η μέτρια ένταση της συσχέτισης ($R^2=0.151$) και η μη στατιστικά ισχυρή σχέση υποδεικνύουν ότι, εκτός από την πληθυσμιακή πυκνότητα, υπάρχουν και άλλοι παράγοντες —όπως οι κλιματολογικές συνθήκες, η γεωγραφική θέση και τα χαρακτηριστικά του δομημένου περιβάλλοντος— που επηρεάζουν την τελική επίδραση της ΑΘΝ στην ενεργειακή κατανάλωση.



Διάγραμμα 27: Γραμμική παλινδρόμηση μεταξύ του συνολικού κόστους και του περι-αστικού πληθυσμού στις υπό μελέτη Περιφερειακές Ενότητες

Πηγή: Ιδία Επεξεργασία

Η ανάλυση της συσχέτισης μεταξύ του συνολικού κόστους και του περι-αστικού πληθυσμού (p_rural) ανέδειξε αρνητική συσχέτιση με συντελεστή $R^2 = 0.251$ και $p = 0.140$, δηλαδή μη στατιστικά σημαντική. Το γεγονός αυτό καταδεικνύει μια τάση σύμφωνα με την οποία οι Περιφερειακές Ενότητες με μεγαλύτερο περι-αστικό πληθυσμό τείνουν να καταγράφουν χαμηλότερες ενεργειακές επιβαρύνσεις λόγω της ΑΘΝ, χωρίς ωστόσο η συσχέτιση να θεωρείται στατιστικά σημαντική.

Η μειωμένη ενεργειακή επιβάρυνση στις περιοχές με υψηλότερο ποσοστό αγροτικού πληθυσμού ερμηνεύεται από τη χαμηλότερη πληθυσμιακή πυκνότητα και την αυξημένη παρουσία φυτικών επιφανειών, όπως οι αγροτικές εκτάσεις και το περι-αστικό πράσινο. Αυτά τα χαρακτηριστικά συμβάλλουν στην άμβλυνση της έντασης του φαινομένου της ΑΘΝ, μειώνοντας τη θερμική επιβάρυνση και κατά συνέπεια τις ανάγκες για ψύξη κατά τους θερινούς μήνες.

Στις Περιφερειακές Ενότητες Μαγνησίας και Βοιωτίας, οι οποίες διαθέτουν υψηλότερο περι-αστικό πληθυσμό σε σύγκριση με άλλες περιοχές, καταγράφεται σχετικά χαμηλότερα ενεργειακό κόστος, γεγονός που επιβεβαιώνει την ως άνω διαπίστωση.

5 Συμπεράσματα

Κατόπιν της θεωρητικής ανάλυσης των παραγόντων που διέπουν το φαινόμενο των ΑΘΝ, της ανάλυσης των βασικών χαρακτηριστικών της πλατφόρμας του Google Earth Engine, του προσδιορισμού της παραγόντων που επιδρούν στην ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ στον ελληνικό χώρο και τον ποσοτικό προσδιορισμό του ενεργειακού κόστους διαπιστώνονται τα εξής:

- ✓ Για την προσέγγιση και ανάλυση του φαινομένου απαιτείται συνδυασμός ποιοτικής και ποσοτικής έρευνας
- ✓ Δεν υπάρχει σαφές ποσοτικό μοντέλο προσδιορισμού του φαινομένου των ΑΘΝ, παρά μόνο προτεινόμενες διαδικασίες που βασίζονται είτε σε δορυφορικά δεδομένα είτε σε δεδομένα από χωρικά εντοπισμένους σταθμούς, των οποίων οι μετρήσεις συσχετίζονται με φασματικούς δείκτες ανάλογα με την εποχή και την περιοχή παρατήρησης
- ✓ Αναφορικά με τις κυριότερες γενεσιουργές αιτίες του φαινομένου των ΑΘΝ, αυτές συσχετίζονται με την αστικοποίηση, την εκβιομηχάνιση των πόλεων, τα υλικά κατασκευής που χρησιμοποιούνται για τη διαμόρφωση του δομημένου περιβάλλοντος αλλά και με την πολεοδομική ανάπτυξη - γεωμετρία του αστικού ιστού. Η μέγιστη ένταση των ΑΘΝ παρατηρείται κατά τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου καταγράφονται οι μέγιστες θερμοκρασίες αέρα, με άμεσα οικονομικά αποτελέσματα λόγω της υψηλής ζήτησης για δροσισμό. Η τοπογραφία των πόλεων αποτελεί βασικό παράγοντα στην κίνηση του αέρα, ενώ φάνηκε να επιδρά αρνητικά αυξάνοντας την ένταση του φαινομένου των ΑΘΝ, σε πόλεις όπου περιβάλλονται από φυσικούς σχηματισμούς βουνών. Όσον αφορά στην ανθρώπινη δραστηριότητα, αυτή αποτελεί ρυθμιστικό παράγοντα της εκλυόμενης θερμότητας, και εκφράζεται ως αύξηση των θερμοβαθμίδων του ατμοσφαιρικού αέρα των αστικών περιοχών
- ✓ Οι προτεινόμενες μέθοδοι άμβλυνσης των επιπτώσεων του φαινομένου (αστικό πράσινο, ψυχρά υλικά, πολεοδομική αναδιάρθρωση, κτιριακά αποθέματα με μικρότερο ύψος) δεν αποτελούν πανάκεια στην αύξηση της θερμοκρασίας των αστικών χώρων, δεδομένου ότι απαιτείται ένα ευρύτερο πλαίσιο δράσεων και

κανονισμών, οι οποίοι θα αντιμετωπίζουν τους κινδύνους της κλιματικής αλλαγής που επηρεάζουν τη βιωσιμότητα των πόλεων

- ✓ Το φαινόμενο της ΑΘΝ εμφανίζει διαφορετικό βαθμό έντασης και τυπολογία στα σύγχρονα αστικά κέντρα αναλόγως των περιβαλλοντικών και κλιματολογικών επιδράσεων που επικρατούν σε αυτά
- ✓ Η σημασία της τηλεπισκόπησης στην η ανάδειξη των ιδιαιτεροτήτων και της δυναμικής του φαινομένου της ΑΘΝ στο χρόνο, σε συνδυασμό με την αξιοποίηση των τεχνολογικών εργαλείων που τα διαδικτυακά περιβάλλοντα ανάλυσης πλέον, προσφέρουν, με το χαμηλότερο δυνατό οικονομικό κόστος

Ο προσδιορισμός του κόστους που συνεπάγεται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ΑΘΝ) στον ελλαδικό χώρο αποτελεί έναν ενδεικτικό δείκτη, ο οποίος συνυπολογίζει τις επιπτώσεις του φαινομένου στην ενεργειακή κατανάλωση, τη δημόσια υγεία και την ποιότητα ζωής. Ειδικότερα, το κόστος αυτό προκύπτει από την αυξημένη χρήση κλιματιστικών και τη συνεπακόλουθη ενεργειακή επιβάρυνση, την ενίσχυση της πίεσης στο υγειονομικό σύστημα λόγω θερμικής δυσφορίας του πληθυσμού, καθώς και την ανάγκη υλοποίησης παρεμβάσεων αστικής αναζωογόνησης, όπως η αύξηση των χώρων πρασίνου και η εφαρμογή ψυχρών υλικών στις αστικές υποδομές.

Με την εκτίμηση του οικονομικού κόστους ως απόρροια του φαινομένου της ΑΘΝ και της έντασης αυτού, δύναται να προσδιοριστεί η πραγματική ενεργειακή κατανάλωση η οποία σχετίζεται άμεσα με τις επικρατούσες συνθήκες του αστικού μικροκλίματος, καθιστώντας εφικτή την ανάπτυξη βιώσιμων πολιτικών και στρατηγικών αστικής ανθεκτικότητας.

Όπως διαπιστώθηκε το φαινόμενο της ΑΘΝ εντατικοποιεί την αύξηση της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας ανεξαρτήτως εποχής. Ωστόσο, στην Ελλάδα, αν και οι περισσότερες περιοχές χαρακτηρίζονται από ήπιο χειμώνα και θερμά καλοκαίρια, η επίδραση της ΑΘΝ γίνεται ιδιαίτερα αντιληπτή κατά τους θερινούς μήνες. Η αύξηση της θερμοκρασίας λόγω της ΑΘΝ οδηγεί σε αύξηση της ενεργειακής ζήτησης για ψύξη, ενώ η ανάγκη για θέρμανση κατά τους χειμερινούς μήνες παρουσιάζει σχετική μείωση, ιδιαίτερα στις περιοχές όπου οι παρατηρούμενες θερμοκρασίες καταγράφονται άνω των 18°C (65 °F). Η κατανόηση αυτών των διαφορών αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό των Βαθμοημερών Ψύξης (CDD) και

Θέρμανσης (HDD), οι οποίες αξιοποιούνται στην παρούσα έρευνα για την εκτίμηση του ενεργειακού και οικονομικού κόστους.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα της έρευνάς μας, η διαφοροποίηση στο ενεργειακό αποτύπωμα λόγω της ΑΘΝ επηρεάζεται σημαντικά από τις κλιματολογικές συνθήκες και την πληθυσμιακή πυκνότητα της εκάστοτε περιοχής μελέτης. Η διαφοροποίηση της θερμικής συμπεριφοράς μεταξύ των ηπειρωτικών περιοχών και εκείνων νησιωτικού χαρακτήρα καταδεικνύει ότι:

- ✓ Στις ηπειρωτικές αστικές περιοχές, η παρουσία της ΑΘΝ συμβάλλει στη μείωση της ετήσιας ενεργειακής κατανάλωσης. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στο ότι η αύξηση της θερμοκρασίας από την ΑΘΝ μειώνει τη ζήτηση για θέρμανση κατά τη διάρκεια του χειμώνα, υπεραντισταθμίζοντας τις αυξημένες ανάγκες για ψύξη κατά τη θερινή περίοδο
- ✓ Το φαινόμενο της ΑΘΝ έχει διττό χαρακτήρα, αφού δύναται είτε να ωφελήσει είτε να οδηγήσει σε επιβάρυνση, ανάλογα με τα κλιματολογικά και τοπολογικά χαρακτηριστικά της περιοχής
- ✓ Η χωρική ανάλυση των δεικτών UHI, LST και UTFVI ανέδειξε διαφοροποιημένα πρότυπα θερμικής συμπεριφοράς στις Περιφερειακές Ενότητες της χώρας. Ιδιαίτερα, παράκτιες περιοχές όπως η Αχαΐα (Πάτρα), η Κορινθία και το Ηράκλειο παρουσίασαν αρνητική συσχέτιση μεταξύ των δεικτών UHI και LST, μη στατιστικά σημαντική, υποδηλώνοντας υστερητική θερμική συμπεριφορά. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στη θαλάσσια επίδραση και τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, οι οποίες λειτουργούν ρυθμιστικά και περιορίζουν τη συσσώρευση θερμότητας. Αντίθετα, οι πεδινές και εσωτερικές περιοχές, όπως η Βοιωτία και η Λάρισα, εμφάνισαν θετικές συσχετίσεις, γεγονός που συνεπάγεται άμεση θερμική απόκριση και αυξημένη ένταση του φαινομένου της ΑΘΝ. Συνολικά, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν τη σημαντική επίδραση των φυσικών γεωγραφικών παραγόντων (τοπογραφία, θαλάσσιο μέτωπο, κάλυψη γης) στη χωρική διαφοροποίηση και ένταση του φαινομένου

Η παρούσα έρευνα για την Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) εστιάζει στην υφιστάμενη κατάσταση του κτιριακού αποθέματος στον ελλαδικό χώρο, χωρίς να συνυπολογίζει το ρόλο

του αρχιτεκτονικού και πολεοδομικού σχεδιασμού ως στρατηγικές μετριασμού του ενεργειακού κόστους. Λαμβάνοντας υπόψη τις προβλεπόμενες μεταβολές στον πληθυσμό και τις τάσεις αστικοποίησης έως το 2050 (Κοτζαμάνης, 2015), καθίσταται αναγκαία η άμεση εφαρμογή στρατηγικών ελέγχου και περιορισμού της ΑΘΝ, ιδίως στις ταχέως αναπτυσσόμενες αστικές περιοχές.

Παράρτημα

Περιφερειακή Ενότητα	OBJECT ID	Έτος	Μέση Θερμοκρασία (Celsius)	Διάμεση Θερμοκρασία (Celsius)	UHI	UTFVI
Αιτωλοακαρνανίας	38	2019	28.81	29.38	0.098	0.0198
Αιτωλοακαρνανίας		2020	27.24	26.82	-0.083	-0.0155
Αιτωλοακαρνανίας		2021	21.93	21.81	-0.029	-0.0053
Αιτωλοακαρνανίας		2022	26.07	25.88	-0.035	-0.0073
Αιτωλοακαρνανίας		2023	25.81	26.38	0.113	0.0219
Βοιωτίας	28	2019	25.77	26.18	0.083	0.0157
Βοιωτίας		2020	26.68	27.06	0.092	0.014
Βοιωτίας		2021	32.08	33.11	0.173	0.0322
Βοιωτίας		2022	33.02	33.63	0.106	0.0187
Βοιωτίας		2023	27.01	26.94	-0.015	-0.0026
Φθιώτιδας	27	2019	25.32	25.89	0.101	0.0223
Φθιώτιδας		2020	26.87	26.88	0.003	0.0006
Φθιώτιδας		2021	24.45	24.37	-0.014	-0.0032
Φθιώτιδας		2022	24.39	25.13	0.106	0.0304
Φθιώτιδας		2023	26.93	27.13	0.039	0.0073
Κορινθίας	42	2019	23.72	24.62	0.158	0.038
Κορινθίας		2020	27.45	27.56	0.026	0.0039
Κορινθίας		2021	30.48	30.81	0.051	0.011
Κορινθίας		2022	28.37	27.86	-0.072	-0.0181
Κορινθίας		2023	25.21	25.37	0.03	0.0064
Αχαΐας	37	2019	23.18	23.61	0.08	0.0187
Αχαΐας		2020	30.53	30.06	-0.075	-0.0155
Αχαΐας		2021	25.5	25.32	-0.046	-0.0072
Αχαΐας		2022	23.04	23.31	0.059	0.0117
Αχαΐας		2023	27.29	27.88	0.086	0.0217
Εύβοιας	29	2019	25.85	26.06	0.039	0.0081
Εύβοιας		2020	25.56	25.07	-0.095	-0.0191
Εύβοιας		2021	28.64	28.56	-0.017	-0.0027
Εύβοιας		2022	30.31	30.82	0.112	0.017
Εύβοιας		2023	25.93	26.44	0.095	0.0196
Χανίων	74	2019	28.97	29.18	0.061	0.0074
Χανίων		2020	34.13	34.31	0.055	0.0051
Χανίων		2021	25.66	25.06	-0.145	-0.0234
Χανίων		2022	26.92	26.94	0.003	0.0005
Χανίων		2023	22.82	22.87	0.009	0.0024
Ηρακλείου	71	2019	30.89	30.93	0.015	0.0013
Ηρακλείου		2020	32.56	33.32	0.149	0.0233
Ηρακλείου		2021	35.81	36.06	0.061	0.007
Ηρακλείου		2022	30.31	30.32	0.001	0.0002
Ηρακλείου		2023	31.06	31.56	0.121	0.0163
Μαγνησίας	24	2019	25.97	25.7	-0.049	-0.0102
Μαγνησίας		2020	25.41	25.44	0.006	0.0011
Μαγνησίας		2021	25.67	26.2	0.109	0.0205
Μαγνησίας		2022	25.69	26.31	0.117	0.0242
Μαγνησίας		2023	26.81	26.44	-0.082	-0.014
Λάρισας	22	2019	29.12	30.12	0.178	0.0345
Λάρισας		2020	28.39	29.13	0.107	0.026
Λάρισας		2021	27.17	27.64	0.089	0.0172
Λάρισας		2022	25.94	27.39	0.255	0.0557
Λάρισας		2023	30.18	31.63	0.258	0.048

Χωρική Μονάδα	Πληθυσμός
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΘΙΩΤΙΔΑΣ	137,793
ΔΗΜΟΣ ΛΑΜΙΕΩΝ	66,657
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΜΙΕΩΝ	58,289
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΟΡΓΟΠΟΤΑΜΟΥ	2,810
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΕΙΑΝΟΚΛΑΔΙΟΥ	1,807
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΥΛΙΑΝΗΣ	214
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΥΠΑΤΗΣ	3,537
ΔΗΜΟΣ ΑΜΦΙΚΛΕΙΑΣ - ΕΛΑΤΕΙΑΣ	8,376
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΙΘΟΡΕΑΣ	2,576
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΜΦΙΚΛΕΙΑΣ	2,996
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΛΑΤΕΙΑΣ	2,804
ΔΗΜΟΣ ΔΟΜΟΚΟΥ	9,159
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΟΜΟΚΟΥ	4,273
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΕΣΣΑΛΙΩΤΙΔΟΣ	2,622
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΞΥΝΙΑΛΟΣ	2,264
ΔΗΜΟΣ ΚΑΜΕΝΩΝ ΒΟΥΡΑΩΝ	10,924
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΜΕΝΩΝ ΒΟΥΡΑΩΝ	4,361
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΟΥ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΥ	2,952
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΩΛΟΥ	3,611
ΔΗΜΟΣ ΛΟΚΡΩΝ	17,788
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΤΑΛΑΝΤΗΣ	7,278
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΑΦΝΟΥΣΙΩΝ	3,387
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΛΕΣΙΝΗΣ	4,200
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΟΠΟΥΝΤΙΩΝ	2,923
ΔΗΜΟΣ ΜΑΚΡΑΚΩΜΗΣ	13,500
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΠΕΡΧΕΙΑΛΟΣ	6,530
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΟΥ ΓΕΩΡΓΙΟΥ ΤΥΜΦΡΗΣΤΟΥ	1,865
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΚΡΑΚΩΜΗΣ	4,720
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΥΜΦΡΗΣΤΟΥ	385
ΔΗΜΟΣ ΣΤΥΛΙΔΟΣ	11,389

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΤΥΛΙΔΟΣ	5,727
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΧΙΝΑΙΩΝ	3,279
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΕΛΑΣΓΙΑΣ	2,383
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΙΤΩΛΟΑΚΑΡΝΑΝΙΑΣ	192,345
ΔΗΜΟΣ ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	32,048
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΕΡΑΣ ΠΟΛΗΣ ΜΕΣΟΛΟΓΓΙΟΥ	17,440
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΙΤΩΛΙΚΟΥ	6,215
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΟΙΝΙΑΔΩΝ	8,393
ΔΗΜΟΣ ΑΓΡΙΝΙΟΥ	89,691
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΓΡΙΝΙΟΥ	60,609
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΓΓΕΛΟΚΑΣΤΡΟΥ	1,661
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΑΚΥΝΘΟΥ	4,197
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΕΣΤΙΕΩΝ	5,874
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΚΡΥΝΕΙΑΣ	2,988
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΕΑΠΟΛΗΣ	4,415
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΝΑΙΤΩΛΙΚΟΥ	1,073
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΒΟΛΑΣ	3,105
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΚΑΜΠΥΛΙΩΝ	1,400
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΤΡΑΤΟΥ	4,369
ΔΗΜΟΣ ΑΚΤΙΟΥ - ΒΟΝΙΤΣΑΣ	14,644
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΑΚΤΟΡΙΟΥ	7,534
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΛΕΩΝΟΣ	3,311
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΛΑΙΡΟΥ	3,799
ΔΗΜΟΣ ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ	14,979
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΜΦΙΛΟΧΙΑΣ	9,154
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΝΑΧΟΥ	3,967
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΝΙΔΙΟΥ	1,858
ΔΗΜΟΣ ΘΕΡΜΟΥ	5,712
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΕΡΜΟΥ	5,712
ΔΗΜΟΣ ΝΑΥΠΑΚΤΙΑΣ	25,065
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΑΥΠΑΚΤΟΥ	17,154

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΤΙΠΡΙΟΥ	2,603
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΠΟΔΟΤΙΑΣ	1,485
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΛΑΤΑΝΟΥ	928
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΥΛΛΗΝΗΣ	676
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΧΑΛΚΕΙΑΣ	2,219
ΔΗΜΟΣ ΞΗΡΟΜΕΡΟΥ	10,206
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΣΤΑΚΟΥ	5,719
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΛΥΖΙΑΣ	2,675
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΥΤΕΙΩΝ	1,812
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΧΑΝΙΩΝ	156,706
ΔΗΜΟΣ ΧΑΝΙΩΝ	111,375
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΧΑΝΙΩΝ	54,559
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΚΡΩΤΗΡΙΟΥ	14,111
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΛΕΥΘΕΡΙΟΥ ΒΕΝΙΖΕΛΟΥ	13,018
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΕΡΙΣΟΥ	8,914
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΕΡΑΜΙΩΝ	738
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΕΑΣ ΚΥΔΩΝΙΑΣ	11,597
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΟΥΛΑΣ	8,438
ΔΗΜΟΣ ΑΠΟΚΟΡΩΝΟΥ	12,247
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΡΥΟΝΕΡΙΔΑΣ	2,068
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΜΕΝΩΝ	3,159
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΣΗ ΓΩΝΙΑΣ	456
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΑΜΟΥ	3,069
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΕΩΡΓΙΟΥΠΟΛΕΩΣ	2,708
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΡΕ	787
ΔΗΜΟΣ ΓΑΥΔΟΥ	142
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΑΥΔΟΥ	142
ΔΗΜΟΣ ΚΑΝΤΑΝΟΥ - ΣΕΛΙΝΟΥ	5,009
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΕΛΕΚΑΝΟΥ	3,356
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΑΤΟΛΙΚΟΥ ΣΕΛΙΝΟΥ	760
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΝΤΑΝΟΥ	893

ΔΗΜΟΣ ΚΙΣΣΑΜΟΥ	10,632
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΙΣΣΑΜΟΥ	7,608
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΝΑΧΩΡΙΟΥ	908
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΥΘΗΜΝΗΣ	2,116
ΔΗΜΟΣ ΠΛΑΤΑΝΙΑ	15,299
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΛΑΤΑΝΙΑ	4,665
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΟΥΚΟΛΙΩΝ	2,877
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΟΛΥΜΒΑΡΙΟΥ	4,139
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΟΥΣΟΥΡΩΝ	3,618
ΔΗΜΟΣ ΣΦΑΚΙΩΝ	2,002
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΦΑΚΙΩΝ	2,002
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΓΝΗΣΙΑΣ	177,448
ΔΗΜΟΣ ΒΟΛΟΥ	139,670
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΟΛΟΥ	85,803
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΓΡΙΑΣ	5,295
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΙΣΩΝΙΑΣ	3,002
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΤΕΜΙΔΑΣ	3,595
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΙΩΛΚΟΥ	2,008
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΚΡΙΝΙΤΣΗΣ	353
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΕΑΣ ΑΓΧΙΑΛΟΥ	5,881
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΕΑΣ ΙΩΝΙΑΣ	31,884
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΟΡΤΑΡΙΑΣ	1,849
ΔΗΜΟΣ ΑΛΜΥΡΟΥ	16,072
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΛΜΥΡΟΥ	11,192
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΑΒΡΑΣ	405
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΤΕΛΕΟΥ	1,990
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΟΥΡΠΗΣ	2,485
ΔΗΜΟΣ ΖΑΓΟΡΑΣ - ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ	4,562
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΖΑΓΟΡΑΣ	2,775
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΟΥΡΕΣΙΟΥ	1,787
ΔΗΜΟΣ ΝΟΤΙΟΥ ΠΗΛΙΟΥ	8,274

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΓΑΛΑΣΤΗΣ	1,603
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΦΕΤΩΝ	1,255
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΗΛΕΩΝ	2,737
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΗΠΙΑΔΟΣ	1,687
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΡΙΚΕΡΙΟΥ	992
ΔΗΜΟΣ ΡΗΓΑ ΦΕΡΑΙΟΥ	8,870
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΕΡΩΝ	4,746
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΛΑΣ	3,766
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΕΡΑΜΙΔΙΟΥ	358
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΟΡΙΝΘΙΑΣ	138,310
ΔΗΜΟΣ ΚΟΡΙΝΘΙΩΝ	55,941
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΟΡΙΝΘΙΩΝ	38,485
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΣΣΟΥ - ΛΕΧΑΙΟΥ	6,721
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ	4,700
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΟΛΥΓΕΙΑΣ	1,867
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΕΝΕΑΣ	4,168
ΔΗΜΟΣ ΒΕΛΟΥ - ΒΟΧΑΣ	17,883
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΟΧΑΣ	10,156
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΕΛΟΥ	7,727
ΔΗΜΟΣ ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ - ΠΕΡΑΧΩΡΑΣ - ΑΓΙΩΝ ΘΕΟΔΩΡΩΝ	22,016
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΟΥΤΡΑΚΙΟΥ - ΠΕΡΑΧΩΡΑΣ	17,082
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΩΝ ΘΕΟΔΩΡΩΝ	4,934
ΔΗΜΟΣ ΝΕΜΕΑΣ	5,713
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΕΜΕΑΣ	5,713
ΔΗΜΟΣ ΞΥΛΟΚΑΣΤΡΟΥ - ΕΥΡΩΣΤΙΝΗΣ	15,570
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΞΥΛΟΚΑΣΤΡΟΥ	12,102
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΥΡΩΣΤΙΝΗΣ	3,468
ΔΗΜΟΣ ΣΙΚΥΩΝΙΩΝ	21,187
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΙΚΥΩΝΙΩΝ	17,962
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΤΥΜΦΑΛΙΑΣ	1,898
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΕΝΕΟΥ	1,327

ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	305,017
ΔΗΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	179,302
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	156,842
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΟΡΓΟΛΑΪΝΗ	2,525
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΕΑΣ ΑΔΙΚΑΡΝΑΣΣΟΥ	14,624
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΛΙΑΝΗΣ	1,890
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΕΜΕΝΟΥΣ	3,421
ΔΗΜΟΣ ΑΡΧΑΝΩΝ - ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	16,072
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΙΚΟΥ ΚΑΖΑΝΤΖΑΚΗ	6,065
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΧΑΝΩΝ	5,064
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΣΤΕΡΟΥΣΙΩΝ	4,943
ΔΗΜΟΣ ΒΙΑΝΝΟΥ	4,436
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΙΑΝΝΟΥ	4,436
ΔΗΜΟΣ ΓΟΡΤΥΝΑΣ	14,167
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΟΡΤΥΝΑΣ	4,137
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΑΣ ΒΑΡΒΑΡΑΣ	4,241
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΟΦΙΝΑ	4,076
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΡΟΥΒΑ	1,713
ΔΗΜΟΣ ΜΑΛΕΒΙΖΙΟΥ	25,734
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΑΖΙΟΥ	20,918
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΡΟΥΣΩΝΑ	2,564
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΥΛΙΣΟΥ	2,252
ΔΗΜΟΣ ΜΙΝΩΑ ΠΕΔΙΑΔΑΣ	14,165
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΣΤΕΛΛΙΟΥ	4,030
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΚΑΛΟΧΩΡΙΟΥ	8,547
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΘΡΑΨΑΝΟΥ	1,588
ΔΗΜΟΣ ΦΑΙΣΤΟΥ	23,921
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΟΙΡΩΝ	11,399
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΖΑΡΟΥ	2,565
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΥΜΠΑΚΙΟΥ	9,957
ΔΗΜΟΣ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ	27,220

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΟΥΒΩΝ	12,095
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΠΙΣΚΟΠΗΣ	2,291
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΛΙΩΝ	5,501
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΧΕΡΣΟΝΗΣΟΥ	7,333
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΑΣ	268,963
ΔΗΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑΙΩΝ	164,095
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΑΙΩΝ	148,562
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΙΑΝΝΟΥΛΗΣ	12,277
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΟΙΛΑΛΑΣ	3,256
ΔΗΜΟΣ ΑΓΙΑΣ	10,711
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΓΙΑΣ	5,466
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΥΡΥΜΕΝΩΝ	1,576
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΚΕΡΕΙΑΣ	1,278
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΛΙΒΟΙΑΣ	2,391
ΔΗΜΟΣ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	25,459
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΛΑΣΣΟΝΑΣ	10,183
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΝΤΙΧΑΣΙΩΝ	1,928
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΕΡΔΙΚΟΥΣΣΗΣ	1,350
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΡΥΑΣ	598
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΙΒΑΔΙΟΥ	2,413
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΟΛΥΜΠΟΥ	2,463
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΟΤΑΜΙΑΣ	3,139
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΑΡΑΝΤΑΠΟΡΟΥ	1,866
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΣΑΡΙΤΣΑΝΗΣ	1,519
ΔΗΜΟΣ ΚΙΛΕΛΕΡ	18,070
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΙΚΑΙΑΣ	5,436
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΜΕΝΙΟΥ	1,701
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΙΛΕΛΕΡ	1,719
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΡΑΝΝΩΝΟΣ	2,007
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΛΑΤΥΚΑΜΠΟΥ	7,207
ΔΗΜΟΣ ΤΕΜΠΩΝ	12,007

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΑΚΡΥΧΩΡΙΟΥ	2,379
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΜΠΕΛΑΚΙΩΝ	377
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΓΟΝΝΩΝ	2,110
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΤΩ ΟΛΥΜΠΟΥ	3,196
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΕΣΣΩΝΟΣ	3,945
ΔΗΜΟΣ ΤΥΡΝΑΒΟΥ	22,280
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΥΡΝΑΒΟΥ	15,023
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΜΠΕΛΩΝΟΣ	7,257
ΔΗΜΟΣ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	16,341
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΑΡΣΑΛΩΝ	9,520
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΝΙΠΠΕΑ	2,618
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΝΑΡΘΑΚΙΟΥ	989
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΟΛΥΔΑΜΑΝΤΑ	3,214
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΧΑΪΑΣ	305,979
ΔΗΜΟΣ ΠΑΤΡΕΩΝ	215,922
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΤΡΕΩΝ	173,600
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΒΡΑΧΝΑΪΚΩΝ	4,834
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΕΣΣΑΤΙΔΟΣ	14,366
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΡΑΛΙΑΣ	8,903
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΡΙΟΥ	14,219
ΔΗΜΟΣ ΑΙΓΙΑΛΕΙΑΣ	46,990
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΙΓΙΟΥ	25,795
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΙΓΕΙΡΑΣ	2,293
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΚΡΑΤΑΣ	4,247
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΙΑΚΟΠΤΟΥ	5,603
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΕΡΙΝΕΟΥ	2,890
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΣΥΜΠΟΛΙΤΕΙΑΣ	6,162
ΔΗΜΟΣ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΧΑΪΑΣ	25,633
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΥΜΗΣ	11,473
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΑΡΙΣΣΟΥ	4,813
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΜΟΒΡΗΣ	5,044

ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΩΛΕΝΙΑΣ	4,303
ΔΗΜΟΣ ΕΡΥΜΑΝΘΟΥ	8,211
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΦΑΡΡΩΝ	4,402
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΛΕΝΤΖΙΟΥ	276
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΛΕΟΝΤΙΟΥ	477
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΤΡΙΤΑΙΑΣ	3,056
ΔΗΜΟΣ ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	9,223
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΑΛΑΒΡΥΤΩΝ	4,929
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΑΡΟΑΝΙΑΣ	1,259
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΚΛΕΙΤΟΡΟΣ	2,038
ΔΗΜΟΤΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΠΑΪΩΝ	997
	Αστικός
	Πληθυσμός
	Περι-αστικός
	Πληθυσμός

Βιβλιογραφία

- Abulibdeh, A. (2021). Analysis of urban heat island characteristics and mitigation strategies for eight arid and semi-arid gulf region cities. *Environmental Earth Sciences*, 80(7). <https://doi.org/10.1007/s12665-021-09540-7>
- Ahmed Memon, R., Leung, D. Y., & Chunho, L. (2008a). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20, 120–128.
- Ahmed Memon, R., Leung, D. Y., & Chunho, L. (2008b). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. In *Journal of Environmental Sciences* (Vol. 20).
- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution*, 116(SUPPL. 1). [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(01\)00264-0](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00264-0)
- Akbari, H. (2005). Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation. In *Solar Energy*. <http://HeatIsland.LBL.gov/>
- Akbari, H., Pomerantz, M., & Taha, H. (2001). COOL SURFACES AND SHADE TREES TO REDUCE ENERGY USE AND IMPROVE AIR QUALITY IN URBAN AREAS †. *Solar Energy*, 70(3), 295–310. www.elsevier.com/locate/solener
- Amani, M., Brisco, B., Afshar, M., Mirmazloumi, S. M., Mahdavi, S., Mirzadeh, S. M. J., Huang, W., & Granger, J. (2019). A generalized supervised classification scheme to produce provincial wetland inventory maps: an application of Google Earth Engine for big geo data processing. *Big Earth Data*, 3(4), 378–394. <https://doi.org/10.1080/20964471.2019.1690404>
- Amani, M., Mahdavi, S., Afshar, M., Brisco, B., Huang, W., Mirzadeh, S. M. J., White, L., Banks, S., Montgomery, J., & Hopkinson, C. (2019). Canadian wetland inventory using Google Earth Engine: The first map and preliminary results. *Remote Sensing*, 11(7). <https://doi.org/10.3390/RS11070842>

- Angel, S., Sheppard, S. C., With, D. L. C., Buckley, R., Chabaeva, A., Gitlin, L., Kralej, A., Parent, J., & Perlin, M. (2005). *The Dynamics of Global Urban Expansion Transport and Urban Development Department The World Bank Cover Images*.
- Arabi, R., Shahidan, M., Kamal, M. S., Jaafar, M., & Rakhshandehroo, M. (2015). Mitigating Urban Heat Island Through Green Roofs. *Current World Environment*, 10(Special-Issue1), 918–927. <https://doi.org/10.12944/cwe.10.special-issue1.111>
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1), 1–26. <https://doi.org/10.1002/joc.859>
- Bass, B., Krayenhoff, S., Martilli, A., & Stull, R. (2002). *Mitigating the Urban Heat Island with Green Roof Infrastructure*.
- Battista, G., Evangelisti, L., Guattari, C., Vollaro, E. D. L., Vollaro, R. D. L., & Asdrubali, F. (2020). Urban heat island mitigation strategies: Experimental and numerical analysis of a university campus in Rome (Italy). *Sustainability (Switzerland)*, 12(19), 1–18. <https://doi.org/10.3390/su12197971>
- Bechtel, B., Demuzere, M., Mills, G., Zhan, W., Sismanidis, P., Small, C., & Voogt, J. (2019). SUHI analysis using Local Climate Zones—A comparison of 50 cities. *Urban Climate*, 28. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.01.005>
- Bottyán, Z., & Unger, J. (2003). A multiple linear statistical model for estimating the mean maximum urban heat island. *Theoretical and Applied Climatology*, 75(3–4), 233–243. <https://doi.org/10.1007/s00704-003-0735-7>
- Bouyer, J., Musy, M., Huang, Y., & Athamena, K. (2009). *Mitigating Urban Heat Island Effect by Urban Design: Forms and Materials*.
- Briciu, A. E., Mihaila, D., Graur, A., Oprea, D. I., Prisacariu, A., & Bistricean, P. I. (2020). Changes in the water temperature of rivers impacted by the urban heat island: Case study of Suceava city. *Water (Switzerland)*, 12(5). <https://doi.org/10.3390/W12051343>

- Brooke Anderson, G., & Bell, M. L. (2011). Heat waves in the United States: Mortality risk during heat waves and effect modification by heat wave characteristics in 43 U.S. communities. *Environmental Health Perspectives*, 119(2), 210–218. <https://doi.org/10.1289/ehp.1002313>
- Campos-Taberner, M., Moreno-Martínez, Á., García-Haro, F. J., Camps-Valls, G., Robinson, N. P., Kattge, J., & Running, S. W. (2018). Global estimation of biophysical variables from Google Earth Engine platform. *Remote Sensing*, 10(8). <https://doi.org/10.3390/rs10081167>
- Caouris, Y. G. (2006). *STUDY OF THE HEAT ISLAND EFFECT, IN THE COASTAL TOWN OF PATRAS*. <https://www.researchgate.net/publication/263892262>
- Carneiro, E., Lopes, W., & Espindola, G. (2021). Linking urban sprawl and surface urban heat island in the teresina–timon conurbation area in Brazil. *Land*, 10(5). <https://doi.org/10.3390/land10050516>
- Chakraborty, T. C., Sarangi, C., & Lee, X. (2021). Reduction in human activity can enhance the urban heat island: Insights from the COVID-19 lockdown. *Environmental Research Letters*, 16(5). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abef8e>
- Charmeg Building Technologies. (2017). *Θερμική Άνεση σε Εσωτερικούς Χώρους*.
- Chen, L., Ng, E., An, X., Ren, C., Lee, M., Wang, U., & He, Z. (2012). Sky view factor analysis of street canyons and its implications for daytime intra-urban air temperature differentials in high-rise, high-density urban areas of Hong Kong: A GIS-based simulation approach. *International Journal of Climatology*, 32(1), 121–136. <https://doi.org/10.1002/joc.2243>
- Corburn, J. (2009). Cities, climate change and urban heat island mitigation: Localising global environmental science. *Urban Studies*, 46(2), 413–427. <https://doi.org/10.1177/0042098008099361>
- Costanzini, S., Despini, F., Beltrami, L., Fabbi, S., Muscio, A., & Teggi, S. (2022). Identification of SUHI in Urban Areas by Remote Sensing Data and Mitigation

- Hypothesis through Solar Reflective Materials. *Atmosphere*, 13(1).
<https://doi.org/10.3390/atmos13010070>
- Dallimer, M., Irvine, K. N., Skinner, A. M. J., Davies, Z. G., Rouquette, J. R., Maltby, L. L., Warren, P. H., Armsworth, P. R., & Gaston, K. J. (2012). Biodiversity and the feel-good factor: Understanding associations between self-reported human well-being and species richness. *BioScience*, 62(1), 47–55.
<https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.1.9>
- Dallimer, M., Rouquette, J. R., Skinner, A. M. J., Armsworth, P. R., Maltby, L. M., Warren, P. H., & Gaston, K. J. (2012). Contrasting patterns in species richness of birds, butterflies and plants along riparian corridors in an urban landscape. *Diversity and Distributions*, 18(8), 742–753. <https://doi.org/10.1111/j.1472-4642.2012.00891.x>
- de Almeida, C. R., Teodoro, A. C., & Gonçalves, A. (2021). Study of the urban heat island (Uhi) using remote sensing data/techniques: A systematic review. In *Environments - MDPI* (Vol. 8, Issue 10). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/environments8100105>
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., & Hayes, J. F. (2016). Correlation or causality between land cover patterns and the urban heat island effect? Evidence from Brisbane, Australia. *Remote Sensing*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/rs8090716>
- Derdouri, A., Wang, R., Murayama, Y., & Osaragi, T. (2021). Understanding the links between lulc changes and suhi in cities: Insights from two-decadal studies (2001–2020). In *Remote Sensing* (Vol. 13, Issue 18). MDPI.
<https://doi.org/10.3390/rs13183654>
- Dewan, A., Kiselev, G., Botje, D., Mahmud, G. I., Bhuian, M. H., & Hassan, Q. K. (2021). Surface urban heat island intensity in five major cities of Bangladesh: Patterns, drivers and trends. *Sustainable Cities and Society*, 71.
<https://doi.org/10.1016/j.scs.2021.102926>

- Doulos, L., Santamouris, M., & Livada, I. (2004). Passive cooling of outdoor urban spaces. The role of materials. *Solar Energy*, 77(2), 231–249. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2004.04.005>
- Duan, Q., Tan, M., Guo, Y., Wang, X., & Xin, L. (2019). Understanding the spatial distribution of urban forests in China using Sentinel-2 images with Google Earth Engine. *Forests*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/f10090729>
- Eliasson, I. (1996). Urban nocturnal temperatures, street geometry and land use. *Atmospheric Environment*, 30(3), 379–392.
- Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs, U. (2008). *Reducing Urban Heat Islands: Compendium of Strategies - Urban Heat Island Basics*.
- Escobedo, F., Varela, S., Zhao, M., Wagner, J. E., & Zipperer, W. (2010). Analyzing the efficacy of subtropical urban forests in offsetting carbon emissions from cities. *Environmental Science and Policy*, 13(5), 362–372. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2010.03.009>
- Eurostat. (2024). *Energy consumption in households*. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Energy_consumption_in_households
- Fang, Q., Liu, C., Ren, Z., Fu, Y., Fan, H., Wang, Y., & Yu, Z. (2024). Spatiotemporal Analysis of Surface Urban Heat Island Dynamics in Central Yunnan City Cluster. *Sustainability (Switzerland)*, 16(11). <https://doi.org/10.3390/su16114819>
- Filho, W. L., Icaza, L. E., Emanche, V. O., & Al-Amin, A. Q. (2017). An evidence-based review of impacts, strategies and tools to mitigate urban heat islands. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12). <https://doi.org/10.3390/ijerph14121600>
- Galodha, A., & Gupta, S. K. (2021). Land surface temperature as an indicator of urban heat island effect: A google earth engine based Web-App. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS*

- Archives*, 44(M-3), 57–62. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIV-M-3-2021-57-2021>
- Gemitzi, A., & Koutsias, N. (2022). A Google Earth Engine code to estimate properties of vegetation phenology in fire affected areas – A case study in North Evia wildfire event on August 2021. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 26. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2022.100720>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2012.06.006>
- Giannopoulou, K., Livada, I., Santamouris, M., Saliari, M., Assimakopoulos, M., & Caouris, Y. G. (2011). On the characteristics of the summer urban heat island in Athens, Greece. *Sustainable Cities and Society*, 1(1), 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2010.08.003>
- Gkatzioura, P., Gitsakis, N., & Perakis, K. (2019). *PROCEEDINGS SES 2019*. 129–139. <http://www.space.bas.bg>
- Gkatzioura, P., & Perakis, K. (2022). Analysis Of Urban Heat Island (UHI) through Climate Engine and ArcGIS Pro In Different Cities Of Bulgaria. *Eighteenth International Scientific Conference “Space, Ecology, Safety” - SES 2022*, 187–197.
- Goggins, W. B., Chan, E. Y. Y., Ng, E., Ren, C., & Chen, L. (2012). Effect modification of the association between short-term meteorological factors and mortality by urban heat islands in Hong Kong. *PLoS ONE*, 7(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0038551>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Grossman-Clarke, S., Zehnder, J. A., Loridan, T., & Grimmond, C. S. B. (2010). Contribution of land use changes to near-surface air temperatures during recent

- summer extreme heat events in the Phoenix metropolitan area. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 49(8), 1649–1664. <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2362.1>
- Gunawardena, K. R., Wells, M. J., & Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the Total Environment*, 584–585, 1040–1055. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>
- Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., Thau, D., Stehman, S. V., Goetz, S. J., Loveland, T. R., Kommareddy, A., Egorov, A., Chini, L., Justice, C. O., & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
- Harman, I. N., & Belcher, S. E. (2006). The surface energy balance and boundary layer over urban street canyons. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 132(621), 2749–2768. <https://doi.org/10.1256/qj.05.185>
- Hassan, T., Zhang, J., Prodhan, F. A., Pangali Sharma, T. P., & Bashir, B. (2021). Surface urban heat islands dynamics in response to land use and vegetation across south asia (2000–2019). *Remote Sensing*, 13(16). <https://doi.org/10.3390/rs13163177>
- 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. <https://doi.org/10.1007/s40572-017-0150-3>
- Heaviside, C., Vardoulakis, S., & Cai, X. M. (2016). Attribution of mortality to the urban heat island during heatwaves in the West Midlands, UK. *Environmental Health: A Global Access Science Source*, 15. <https://doi.org/10.1186/s12940-016-0100-9>
- HELLENIC STATISTICAL AUTHORITY. (2014). *2011 POPULATION AND HOUSING CENSUS Demographic and social characteristics of the Resident Population of Greece according to the 2011 Population-Housing Census revision of.*

- https://www.statistics.gr/documents/20181/1215267/A1602_SAM01_DT_DC_00_2011_03_F_EN.pdf/cb10bb9f-6413-4129-b847-f1def334e05e
- Heusinkveld, B. G., Steeneveld, G. J., Van Hove, L. W. A., Jacobs, C. M. J., & Holtslag, A. A. M. (2014). Spatial variability of the rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. *Journal of Geophysical Research*, 119(2), 677–692. <https://doi.org/10.1002/2012JD019399>
- Hoffmann, P., Schoetter, R., & Schlünzen, K. H. (2018). Statistical-dynamical downscaling of the urban heat island in Hamburg, Germany. *Meteorologische Zeitschrift*, 27(2), 89–109. <https://doi.org/10.1127/metz/2016/0773>
- Hoverter, S. P. (2012). *Adapting to Urban Heat: A Tool Kit for Local Governments*.
- Hsu, A., Sheriff, G., Chakraborty, T., & Manya, D. (2021). Disproportionate exposure to urban heat island intensity across major US cities. *Nature Communications*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-021-22799-5>
- Huang, R., Yang, M., Lin, G., Ma, X., Wang, X., Huang, Q., & Zhang, T. (2022). Cooling Effect of Green Space and Water on Urban Heat Island and the Perception of Residents: A Case Study of Xi'an City. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(22). <https://doi.org/10.3390/ijerph192214880>
- HVA International. (2023). *Fact-Finding Mission Report on Thessaly Post-Disaster Remediation*. <https://www.government.gov.gr/wp-content/uploads/2023/11/HVA-Fact-Finding-Mission-Report-on-Thessaly-Post-Disaster-Remediation.pdf>
- Ibrahim, S. H., Ibrahim, N. I. A., Wahid, J., Goh, N. A., Koesmeri, D. R. A., & Nawi, M. N. M. (2018). The impact of road pavement on urban heat island (UHI) phenomenon. *International Journal of Technology*, 9(8), 1597–1608. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v9i8.2755>
- ICLEI. (2019). *Resilient-Cities-Thriving-Cities_The-Evolution-of-Urban-Resilience*.
- Imhoff, M. L., Zhang, P., Wolfe, R. E., & Bounoua, L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 114(3), 504–513. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.10.008>

- INAU – Institut National d’Aménagement et d’Urbanisme. (2010). *Les îlots de chaleur urbains. Répertoire de fiches connaissance*. <http://www.iau-idf.fr>
- Joint Research Centre. (2024). *Monthly Heating and Cooling Degree Days*. <https://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts/nuts-maps>
- Jong, A. (2012). *HEAT STRESS IN THE CITY opportunities for integration of UHI mitigation measures within urban policy*.
- Kabano, P., Lindley, S., & Harris, A. (2021). Evidence of urban heat island impacts on the vegetation growing season length in a tropical city. *Landscape and Urban Planning*, 206. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103989>
- Kakooei, M., & Baleghi, Y. (2020). A two-level fusion for building irregularity detection in post-disaster VHR oblique images. *Earth Science Informatics*, 13(2), 459–477. <https://doi.org/10.1007/s12145-020-00449-6>
- Kalogeropoulos, G., Dimoudi, A., Toumboulidis, P., & Zoras, S. (2022). Urban Heat Island and Thermal Comfort Assessment in a Medium-Sized Mediterranean City. *Atmosphere*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/atmos13071102>
- Karagiannidis, A., Lagouvardos, K., Kotroni, V., & Galanaki, E. (2023). *Analysis of Current and Future Heating and Cooling Degree Days over Greece Using Observations and Regional Climate Model Simulations*. 149. <https://doi.org/10.3390/environsciproc2023026149>
- Keramitsoglou, I., Daglis, I. A., Amiridis, V., Chrysoulakis, N., Ceriola, G., Manunta, P., Maiheu, B., De Ridder, K., Lauwaet, D., & Paganini, M. (2012). Evaluation of satellite-derived products for the characterization of the urban thermal environment. *Journal of Applied Remote Sensing*, 6(1), 061704. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.6.061704>
- Khaled, A. (2013). *Modélisation et simulation des microclimats urbains : Étude de l’impact de la morphologie urbaine sur le confort dans les espaces extérieurs. Cas des éco-quartiers*.

- Khan, R., Gilani, H., Iqbal, N., & Shahid, I. (2020). Satellite-based (2000–2015) drought hazard assessment with indices, mapping, and monitoring of Potohar plateau, Punjab, Pakistan. *Environmental Earth Sciences*, 79(1). <https://doi.org/10.1007/s12665-019-8751-9>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2009.06.018>
- Kotharkar, R., Ramesh, A., & Bagade, A. (2018). Urban Heat Island studies in South Asia: A critical review. *Urban Climate*, 24, 1011–1026. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.12.006>
- Kyriakopoulos, P., Caouris, Y., Souliotis, M., & Santamouris, M. (2022). Characteristics of the urban heat island effect in the coastal Mediterranean city of Kalamata, Greece. *International Journal of Sustainable Energy*.
- Lai, D., Liu, W., Gan, T., Liu, K., & Chen, Q. (2019). A review of mitigating strategies to improve the thermal environment and thermal comfort in urban outdoor spaces. In *Science of the Total Environment* (Vol. 661, pp. 337–353). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.062>
- .Landsat Science. (2019). *LANDSAT 9*. ..Landsat Science. <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/>
- Lawrence, O., Taha, H., Akbari, H., & Rosenfeld, A. (1991). Heat Island and Oasis Effects of Vegetative Canopies: Micro-Meteorological Field-Measurements Published ui. *Theoretical and Applied Climatology*.
- Lee, K., Kim, Y., Sung, H. C., Ryu, J., & Jeon, S. W. (2020). Trend analysis of urban heat island intensity according to urban area change in asian mega cities. *Sustainability (Switzerland)*, 12(1). <https://doi.org/10.3390/su12010112>
- Li, C., Cao, Y., Zhang, M., Wang, J., Liu, J., Shi, H., & Geng, Y. (2015). Hidden benefits of electric vehicles for addressing climate change. *Scientific Reports*, 5. <https://doi.org/10.1038/srep09213>

- Li, H., Wan, W., Fang, Y., Zhu, S., Chen, X., Liu, B., & Hong, Y. (2019). A Google Earth Engine-enabled software for efficiently generating high-quality user-ready Landsat mosaic images. *Environmental Modelling and Software*, 112, 16–22. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2018.11.004>
- Li, J., & Donn, M. (2017). The influence of building height variability on natural ventilation and neighbor buildings in dense urban areas. *Proceedings of the 15th IBPSA Conference*, 2398–2406. <https://doi.org/10.26868/25222708.2017.671>
- Li, J., Zhou, M., Lenschow, D. H., Cheng, Z., & Dou, Y. (2020). Observed Relationships Between the Urban Heat Island, Urban Pollution Island, and Downward Longwave Radiation in the Beijing Area. *Earth and Space Science*, 7(6). <https://doi.org/10.1029/2020EA001100>
- Litardo, J., Palme, M., Borbor-Cordova, M., Caiza, R., Macias, J., Hidalgo-Leon, R., & Soriano, G. (2020). Urban Heat Island intensity and buildings' energy needs in Duran, Ecuador: Simulation studies and proposal of mitigation strategies. *Sustainable Cities and Society*, 62. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102387>
- Liu, L., & Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the landsat TM data and ASTER Data: A case study in Hong Kong. *Remote Sensing*, 3(7), 1535–1552. <https://doi.org/10.3390/rs3071535>
- 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*, 7, 219–230.
- Li, X., Stringer, L. C., & Dallimer, M. (2022). The Impacts of Urbanisation and Climate Change on the Urban Thermal Environment in Africa. *Climate*, 10(11), 164. <https://doi.org/10.3390/cli10110164>
- Li, X., Zhang, F., Chan, N. W., Shi, J., Liu, C., & Chen, D. (2022). High Precision Extraction of Surface Water from Complex Terrain in Bosten Lake Basin Based on Water Index and Slope Mask Data. *Water (Switzerland)*, 14(18). <https://doi.org/10.3390/w14182809>

- Li, Y., Schubert, S., Kropp, J. P., & Rybski, D. (2020). On the influence of density and morphology on the Urban Heat Island intensity. *Nature Communications*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41467-020-16461-9>
- Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., Trigo, I. F., & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. In *Remote Sensing of Environment* (Vol. 131, pp. 14–37). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.12.008>
- Magli, S., Lodi, C., Lombroso, L., Muscio, A., & Teggi, S. (2015). Analysis of the urban heat island effects on building energy consumption. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 6(1), 91–99. <https://doi.org/10.1007/s40095-014-0154-9>
- Mandal, D., Kumar, V., Bhattacharya, A., Rao, Y. S., Siqueira, P., & Bera, S. (2018). Sen4Rice: A processing chain for differentiating early and late transplanted rice using time-series sentinel-1 SAR data with google earth engine. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15(12), 1947–1951. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2018.2865816>
- Mankiw, G. (2019). *Μακροοικονομική*. Gutenberg.
- Martin, P., Baudouin, Y., & Gachon, P. (2015). An alternative method to characterize the surface urban heat island. *International Journal of Biometeorology*, 59(7), 849–861. <https://doi.org/10.1007/s00484-014-0902-9>
- Masson, V., Bonhomme, M., Salagnac, J. L., Briottet, X., & Lemonsu, A. (2014). Solar panels reduce both global warming and urban heat island. *Frontiers in Environmental Science*, 2(JUN). <https://doi.org/10.3389/fenvs.2014.00014>
- McDOUGALL, K., & Koswate, S. (2018). *Saman Koswate The Future of Authoritative Geospatial Data in the Big Data World-Trends, Opportunities and Challenges FIG Commission 3 Workshop*. <http://fsdf.org.au>
- Meilianda, E., Pradhan, B., Syamsidik, Comfort, L. K., Alfian, D., Juanda, R., Syahreza, S., & Munadi, K. (2019). Assessment of post-tsunami disaster land use/land cover

change and potential impact of future sea-level rise to low-lying coastal areas: A case study of Banda Aceh coast of Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101292>

Meteo. (2023). *Αποτίμηση του πρόσφατου κύματος καύσωνα – 1ο Μέρος: Θερμοκρασίες*. https://www.meteo.gr/article_view.cfm?entryID=2857

michanikos.gr. (2023). «Σπίτι μου 2»: Τα στατιστικά των αιτήσεων ένα μήνα μετά την έναρξη του προγράμματος. https://www.michanikos.gr/index/articles/%CF%87%CF%81%CE%B7%CE%BCE%CE%B1%CF%84%CE%BF%CE%B4%CE%BF%CF%84%CE%AE%CF%83%CE%B5%CE%B9%CF%82/%C2%AB%CF%83%CF%80%CE%AF%CF%84%CE%B9-%CE%BC%CE%BF%CF%85-2%C2%BB-%CF%84%CE%B1-%CF%83%CF%84%CE%B1%CF%84%CE%B9%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AC-%CF%84%CF%89%CE%BD-%CE%B1%CE%B9%CF%84%CE%AE%CF%83%CE%B5%CF%89%CE%BD-%CE%AD%CE%BD%CE%B1-%CE%BC%CE%AE%CE%BD%CE%B1-%CE%BC%CE%B5%CF%84%CE%AC-%CF%84%CE%B7%CE%BD-%CE%AD%CE%BD%CE%B1%CF%81%CE%BE%CE%B7-%CF%84%CE%BF%CF%85-%CF%80%CF%81%CE%BF%CE%B3%CF%81%CE%AC%CE%BC%CE%BCE%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82-r15973/?utm_source=chatgpt.com

Midekisa, A., Holl, F., Savory, D. J., Andrade-Pacheco, R., Gething, P. W., Bennett, A., & Sturrock, H. J. W. (2017a). Mapping land cover change over continental Africa using Landsat and Google Earth Engine cloud computing. *PLoS ONE*, 12(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184926>

Midekisa, A., Holl, F., Savory, D. J., Andrade-Pacheco, R., Gething, P. W., Bennett, A., & Sturrock, H. J. W. (2017b). Mapping land cover change over continental Africa using Landsat and Google Earth Engine cloud computing. *PLoS ONE*, 12(9). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0184926>

- Miles, V., & Esau, I. (2017). Seasonal and spatial characteristics of Urban Heat Islands (UHIs) in northern West Siberian cities. *Remote Sensing*, 9(10). <https://doi.org/10.3390/rs9100989>
- Mirzaei, M., Verrelst, J., Arbabi, M., Shaklabadi, Z., & Lotfizadeh, M. (2020). Urban heat island monitoring and impacts on citizen's general health status in Isfahan metropolis: A remote sensing and field survey approach. *Remote Sensing*, 12(8). <https://doi.org/10.3390/RS12081350>
- Mirzaei, P. A., & Haghighat, F. (2010). Approaches to study Urban Heat Island - Abilities and limitations. *Building and Environment*, 45(10), 2192–2201. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.04.001>
- 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. *Journal of Environmental Management*, 197, 522–538. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.03.095>
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D. G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N. J., Zsoter, E., Buontempo, C., & Thépaut, J. N. (2021). ERA5-Land: A state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13(9), 4349–4383. <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- Naim, M. N. H., & Kafy, A. A. (2021). Assessment of urban thermal field variance index and defining the relationship between land cover and surface temperature in Chattogram city: A remote sensing and statistical approach. *Environmental Challenges*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100107>
- Nandi, N., & Dede, M. (2022). Urban Heat Island Assessment using Remote Sensing Data in West Java, Indonesia: From Literature Review to Experiments and Analyses. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 7(1), 105–116. <https://doi.org/10.17509/ijost.v7i1.44146>

- Narain, P., Kumar, S., Shameem, B., & Narain, B. (2013). Recent trends in Remote sensing Image Processing Conference Paper · April 2013 CITATIONS 0 READS 26 CSE143 RECENT TRENDS IN REMOTE SENSING IMAGE PROCESSING. *All India Conference on Global Innovations in Computer Science & Engineering and Information Technology*. <http://public.ccsds.org>
- Nazmi, M., Ahmad, N., & Sidek, L. M. (2012, November). THE RELATIONSHIP OF LOCALIZED RAINFALL VERSUS URBAN HEAT ISLAND (UHI) PARAMETERS AND AIR POLLUTION. *International Conference On Water Resource*. <https://www.researchgate.net/publication/280922141>
- Nichol, J. (2005). *Remote Sensing of Urban Heat Islands by Day and Night*.
- Nuruzzaman, Md. (2015). Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures - A Review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2), 67–73. <https://doi.org/10.11648/j.ijema.20150302.15>
- Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. In *Quart. J. R. Met. Soc* (Vol. 108, Issue 455).
- O'Shea, P., Lavorata, A., Maywar, I., & Pearce, S. (2025). *Chatham County Health & Air Quality*.
- Ouali, K., El Harrouni, K., Abidi, M. L., & Diab, Y. (2018a). The Urban Heat Island phenomenon modelling and analysis as an adaptation of Maghreb cities to climate change. *MATEC Web of Conferences*, 149, 02090. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814902090>
- Ouali, K., El Harrouni, K., Abidi, M. L., & Diab, Y. (2018b). The Urban Heat Island phenomenon modelling and analysis as an adaptation of Maghreb cities to climate change. *MATEC Web of Conferences*, 149, 02090. <https://doi.org/10.1051/mateconf/201814902090>
- Panagiotopoulos, G. (2014). *Specification of the socioeconomic dimensions of energy demand and consumption in Greece, using Geographical Information Systems*. <https://www.researchgate.net/publication/267334835>

- Pantavou, K., Kotroni, V., Kyros, G., & Lagouvardos, K. (2024). Thermal bioclimate in Greece based on the Universal Thermal Climate Index (UTCI) and insights into 2021 and 2023 heatwaves. *Theoretical and Applied Climatology*, 155(7), 6661–6675. <https://doi.org/10.1007/s00704-024-04989-5>
- Papadam, M. (2015). *ΑΣΤΙΚΟΣ ΧΩΡΟΣ και ΝΟΜΟΘΕΣΙΑ: ΑΘΗΝΑ - ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ - ΠΑΤΡΑ*.
- Papakostas, K., & Kyriakis, N. (2005). Heating and cooling degree-hours for Athens and Thessaloniki, Greece. *Renewable Energy*, 30(12), 1873–1880. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.12.002>
- Papakostas, K., Mavromatis, T., & Kyriakis, N. (2010). Impact of the ambient temperature rise on the energy consumption for heating and cooling in residential buildings of Greece. *Renewable Energy*, 35(7), 1376–1379. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2009.11.012>
- Papakostas, K. T., Martinopoulos, G., & Papadopoulos, A. M. (2015). *A Comparison of Various Heating Systems in Greece Based on Efficiency and Fuel Cost*. <https://www.researchgate.net/publication/284019847>
- Papanastasiou, D., & Kittas, C. (2012). Maximum urban heat island intensity in a medium-sized coastal Mediterranean city. *Theoretical and Applied Climatology*, 107(3), 407–416.
- Paravantis, J., Mihalakakou, G., Fotiadi, A. E., Stigka, E., Tzavali, A., Paravantis, J. P., & Fotiadi, A. (2015). Urban heat island intensity: A literature review. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24. <https://www.researchgate.net/publication/298083233>
- Peng, S., Piao, S., Ciais, P., Friedlingstein, P., Otle, C., Bréon, F. M., Nan, H., Zhou, L., & Myneni, R. B. (2012). Surface urban heat island across 419 global big cities. *Environmental Science and Technology*, 46(2), 696–703. <https://doi.org/10.1021/es2030438>

- Peng, W., Wang, R., Duan, J., Gao, W., & Fan, Z. (2022). Surface and canopy urban heat islands: Does urban morphology result in the spatiotemporal differences? *Urban Climate*, 42. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2022.101136>
- Priyadarsini, R., Hien, W. N., & Wai David, C. K. (2008). Microclimatic modeling of the urban thermal environment of Singapore to mitigate urban heat island. *Solar Energy*, 82(8), 727–745. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2008.02.008>
- Proutsos, N., Korakaki, E., Bourletsikas, A., Solomou, A., Avramidou, E. V, Georgiadis, C., Kontogianni, A. B., & Tsagari, K. (2020). Urban temperature trends in east Mediterranean: The case of Heraklion-Crete. In *European Water* (Vol. 69).
- Qiu, R., Zhan, Q., & Tu, S. (2025). Long-term global trends and influencing factors of surface urban cool and heat islands. *International Journal of Digital Earth*, 18(1). <https://doi.org/10.1080/17538947.2025.2489731>
- Ranagalage, M., Murayama, Y., Dissanayake, D. M. S. L. B., & Simwanda, M. (2019). The impacts of landscape changes on annual mean land surface temperature in the tropical mountain city of Sri Lanka: A case study of Nuwara Eliya (1996-2017). *Sustainability (Switzerland)*, 11(19). <https://doi.org/10.3390/su11195517>
- Rasul, A., Balzter, H., Smith, C., Remedios, J., Adamu, B., Sobrino, J., Srivani, M., & Weng, Q. (2017). A Review on Remote Sensing of Urban Heat and Cool Islands. *Land*, 6(2), 38. <https://doi.org/10.3390/land6020038>
- Ravanelli, R., Nascetti, A., Cirigliano, R. V., Di Rico, C., Leuzzi, G., Monti, P., & Crespi, M. (2018). Monitoring the impact of land cover change on surface urban heat island through Google Earth Engine: Proposal of a global methodology, first applications and problems. *Remote Sensing*, 10(9). <https://doi.org/10.3390/rs10091488>
- Renard, F., Alonso, L., Fitts, Y., Hadjiosif, A., & Comby, J. (2019). Evaluation of the effect of urban redevelopment on surface urban heat islands. *Remote Sensing*, 11(3). <https://doi.org/10.3390/rs11030299>

- Rimal, B., Zhang, L., Keshtkar, H., Haack, B. N., Rijal, S., & Zhang, P. (2018). Land use/land cover dynamics and modeling of urban land expansion by the integration of cellular automata and markov chain. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(4). <https://doi.org/10.3390/ijgi7040154>
- Ripley, E. A., Archibold, O. W., & Bretell, D. L. (1996). Temporal and spatial temperature patterns in Saskatoon. *Weather*, 51(12), 398–405.
- Roxon, J., Ulm, F. J., & Pellenq, R. J. M. (2020). Urban heat island impact on state residential energy cost and CO2 emissions in the United States. *Urban Climate*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100546>
- Saah, D., Johnson, G., Ashmall, B., Tondapu, G., Tenneson, K., Patterson, M., Poortinga, A., Markert, K., Quyen, N. H., San Aung, K., Schlichting, L., Matin, M., Uddin, K., Aryal, R. R., Dilger, J., Lee Ellenburg, W., Flores-Anderson, A. I., Wiell, D., Lindquist, E., ... Chishtie, F. (2019). Collect Earth: An online tool for systematic reference data collection in land cover and use applications. *Environmental Modelling and Software*, 118, 166–171. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.05.004>
- Sagawa, T., Yamashita, Y., Okumura, T., & Yamanokuchi, T. (2019). Satellite derived bathymetry using machine learning and multi-temporal satellite images. *Remote Sensing*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/rs11101155>
- Sahu, S., & Mukherjee, M. (2014). Spatial Planning approach for supporting Climate Commitments at a local level: the case of Mumbai Metropolitan Region, India View project. *Architecture - Time Space & People*, 16–22. <https://www.researchgate.net/publication/330701184>
- Sailor, D. (2019). *J3.1 MITIGATION OF URBAN HEAT ISLANDS-RECENT PROGRESS AND FUTURE PROSPECTS*. <http://eetd.lbl.gov/CoolRoofs>
- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., & Assimakopoulos, D. N. (2001a). On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar Energy*, 70(3), 201–216. www.elsevier.com/locate/solener

- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., & Assimakopoulos, D. N. (2001b). *ON THE IMPACT OF URBAN CLIMATE ON THE ENERGY CONSUMPTION OF BUILDINGS* (Vol. 70, Issue 3). www.elsevier.com/locate/solener
- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., & Assimakopoulos, D. N. (2001c). On the impact of urban climate on the energy consumption of building. *Solar Energy*, 70(3), 201–216. [https://doi.org/10.1016/S0038-092X\(00\)00095-5](https://doi.org/10.1016/S0038-092X(00)00095-5)
- 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. <https://doi.org/10.1007/s10584-006-9128-0>
- Sen, S., Roesler, J., Ruddell, B., & Middel, A. (2019). Cool pavement strategies for Urban Heat Island mitigation in Suburban Phoenix, Arizona. *Sustainability (Switzerland)*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/su11164452>
- Seto, K. C. , & Dhakal, S. et al. (2014). Human Settlements, Infrastructure and Spatial Planning. In *IPCC Fifth Assessment Report – Working Group III*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ipcc_wg3_ar5_chapter12.pdf
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Maulud, K. N. A., Tawil, N. M., & Abdullah, N. A. G. (2011). The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy Consumption Balance. *Urban Studies Research*, 2011, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2011/497524>
- Sharifi, E., Philipp, C., & Lehmann, S. (2015). *Multi-scale analysis of the surface layer urban heat island effect in five higher density precincts of central Sydney*.
- Shi, H., Xian, G., Auch, R., Gallo, K., & Zhou, Q. (2021). Urban heat island and its regional impacts using remotely sensed thermal data—a review of recent developments and methodology. In *Land* (Vol. 10, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/land10080867>

- Shimizu, K., Ota, T., & Mizoue, N. (2019). Detecting forest changes using dense Landsat 8 and Sentinel-1 time series data in tropical seasonal forests. *Remote Sensing*, 11(16). <https://doi.org/10.3390/rs11161899>
- Sidler, O. (2003). *Notes techniques et réflexions L'inertie thermique des bâtiments Consommation et confort d'été en climat méditerranéen*. <http://perso.club-internet.fr/sidler>
- Simpson, J. R., & E.G. McPherson. (2001, September). Tree planting to optimize energy and CO2 benefits. *Proceedings of the 2001 National Urban Forest Conference*.
- Simwanda, M., Ranagalage, M., Estoque, R. C., & Murayama, Y. (2019). Spatial analysis of surface urban heat Islands in four rapidly growing african cities. *Remote Sensing*, 11(14). <https://doi.org/10.3390/rs11141645>
- Stamou, A., Karachaliou, E., Dosiou, A., Tavantzis, I., & Stylianidis, E. (2024). Exploring patterns of surface urban heat island intensity: a comparative analysis of three Greek urban areas. *Discover Cities*, 1(1), 18. <https://doi.org/10.1007/s44327-024-00019-1>
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2006.06.014>
- Steensen, B. M., Marelle, L., Hodnebrog, & Myhre, G. (2022). Future urban heat island influence on precipitation. *Climate Dynamics*, 58(11–12), 3393–3403. <https://doi.org/10.1007/s00382-021-06105-z>
- Steinecke, K. (1999). Urban climatological studies in the ReykjavmH k subarctic environment, Iceland. *Atmospheric Environment*, 33, 4157–4162.
- Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), 1879–1900. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00019.1>
- Sunar, A. F., Yagmur, N., & Dervisoglu, A. (2019). Flood analysis with remote sensing data – A case study: Maritsa River, Edirne. *International Archives of the*

- Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(3/W8), 497–502. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-W8-497-2019>
- Susca, T., & Pomponi, F. (2020). Heat island effects in urban life cycle assessment: Novel insights to include the effects of the urban heat island and UHI-mitigation measures in LCA for effective policy making. *Journal of Industrial Ecology*, 24(2), 410–423. <https://doi.org/10.1111/jiec.12980>
- Taha, H. (1997). Urban Climates and Heat Islands: Albedo, Evapotranspiration, and Anthropogenic Heat. *Energy and Buildings*, 25.
- Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2012). Relationships between the properties of an urban street canyon and its radiant environment: Introduction of appropriate urban heat island mitigation technologies. *Solar Energy*, 86(9), 2255–2262. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2012.04.019>
- Tallis, M., Taylor, G., Sinnett, D., & Freer-Smith, P. (2011). Estimating the removal of atmospheric particulate pollution by the urban tree canopy of London, under current and future environments. *Landscape and Urban Planning*, 103(2), 129–138. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.07.003>
- Tehrani, A. A., Veisi, O., Kia, K., Delavar, Y., Bahrami, S., Sobhaninia, S., & Mehan, A. (2024). Predicting urban Heat Island in European cities: A comparative study of GRU, DNN, and ANN models using urban morphological variables. *Urban Climate*, 56. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2024.102061>
- TERI. (2017). *Urban Planning Characteristics to Mitigate Climate Change in context of Urban Heat Island Effect*. www.teriin.org
- Triantafyllou, D. (2024). Crete: Greece's climate crisis hotspot. *Kathimerini*. <https://www.ekathimerini.com/news/environment/1238774/crete-greeces-climate-crisis-hotspot/>
- Tullio, M. Di, Nascetti, A., Crespi, M., Tullio, M. Di, Nocchi, F., Camplani, A., Emanuelli, N., Nascetti, A., & Crespi, M. (2018). Copernicus Big Data and Google

- Earth Engine for Glacier Surface Velocity Field Monitoring: Feasibility Demonstration on San Rafael and San Quintin Glaciers. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII(3), 289–294. <https://www.researchgate.net/publication/325618692>
- Uddin, K., Matin, M. A., & Meyer, F. J. (2019). Operational flood mapping using multi-temporal Sentinel-1 SAR images: A case study from Bangladesh. *Remote Sensing*, 11(13). <https://doi.org/10.3390/rs11131581>
- UNESCO. (1977). *Map of the world distribution of arid regions; explanatory note*. https://catalogue.unccd.int/1060_1977_unesco_mab_technicalnotes_arid_lands_map.pdf
- United Nations. (2020). *The Value of Sustainable Urbanization*.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft*.
- Vardoulakis, E., Karamanis, D., Fotiadi, A., & Mihalakakou, G. (2013). The urban heat island effect in a small Mediterranean city of high summer temperatures and cooling energy demands. *Solar Energy*, 94, 128–144. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2013.04.016>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- 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. <https://doi.org/10.3390/civileng2020026>
- Wang, G., Jiang, W., & Wei, M. (2008). *An Assessment of Urban Heat Island Effect using Remote Sensing Data. Item Type Journal Contribution An Assessment of Urban Heat Island Effect using Remote Sensing Data*. <http://hdl.handle.net/1834/5876>

- Wang, L., Yan, J., & Ma, Y. (2019). Cloud Computing in Remote Sensing. In *Cloud Computing in Remote Sensing*. Chapman and Hall/CRC. <https://doi.org/10.1201/9780429488764>
- Wang, X., Xiao, X., Zou, Z., Chen, B., Ma, J., Dong, J., Doughty, R. B., Zhong, Q., Qin, Y., Dai, S., Li, X., Zhao, B., & Li, B. (2020). Tracking annual changes of coastal tidal flats in China during 1986–2016 through analyses of Landsat images with Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 238. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.030>
- Wei, C., Chen, W., Lu, Y., Blaschke, T., Peng, J., & Xue, D. (2022). Synergies between urban heat island and urban heat wave effects in 9 global mega-regions from 2003 to 2020. *Remote Sensing*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/rs14010070>
- Wei, C., Karger, D. N., & Wilson, A. M. (2020). Spatial detection of alpine treeline ecotones in the Western United States. *Remote Sensing of Environment*, 240. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2020.111672>
- WSP USA. (2019). *UHI Mitigation Plan*.
- Wu, Q., Lane, C. R., Li, X., Zhao, K., Zhou, Y., Clinton, N., DeVries, B., Golden, H. E., & Lang, M. W. (2019). Integrating LiDAR data and multi-temporal aerial imagery to map wetland inundation dynamics using Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 228, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2019.04.015>
- Zafir, R., Ojeda, S., Singh, H., & Hahn, M. (2019). Seasons in stuttgart: Developing a google earth engine tool for heat island mapping. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4/W18), 1123–1130. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W18-1123-2019>
- Zander, K. K., Botzen, W. J. W., Oppermann, E., Kjellstrom, T., & Garnett, S. T. (2015). Heat stress causes substantial labour productivity loss in Australia. *Nature Climate Change*, 5(7), 647–651. <https://doi.org/10.1038/nclimate2623>

- Zhang, M., Gong, P., Qi, S., Liu, C., & Xiong, T. (2019). Mapping bamboo with regional phenological characteristics derived from dense Landsat time series using Google Earth Engine. *International Journal of Remote Sensing*, 40(24), 9541–9555. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1633702>
- Zhan, W., Li, L., Chakraborty, T. C., Hu, L., Wang, D., Liao, W., Wang, S., Du, H., Huang, F., Wang, C., Liu, Z., & Li, M. (2025). Recent Widespread Deceleration of Global Surface Urban Heat Islands Unveiled by Satellites. *Geophysical Research Letters*, 52(12). <https://doi.org/10.1029/2024GL112711>
- Zhao, L., Lee, X., Smith, R. B., & Oleson, K. (2014). Strong contributions of local background climate to urban heat islands. *Nature*, 511(7508), 216–219. <https://doi.org/10.1038/nature13462>
- Zhao, Q., Yu, L., Du, Z., Peng, D., Hao, P., Zhang, Y., & Gong, P. (2022). An Overview of the Applications of Earth Observation Satellite Data: Impacts and Future Trends. *Remote Sensing*, 14(8), 1863. <https://doi.org/10.3390/rs14081863>
- Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J. P. (2017a). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2>
- Zhou, B., Rybski, D., & Kropp, J. P. (2017b). The role of city size and urban form in the surface urban heat island. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-04242-2>
- Zoulia, I., Santamouris, M., & Dimoudi, A. (2009). Monitoring the effect of urban green areas on the heat island in Athens. *Environmental Monitoring and Assessment*, 156(1–4), 275–292. <https://doi.org/10.1007/s10661-008-0483-3>
- Ανδρέου, Ε., & Αξαρχή, Κ. (n.d.). ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΝΕΣΗ ΣΕ ΥΠΑΙΘΡΙΟΥΣ ΧΩΡΟΥΣ ΚΑΙ ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΙΚΡΟΚΑΙΜΑΤΟΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΧΑΡΑΔΡΩΝ.
- Βελέντζα, Ο. (2019). Παράγοντες που επηρεάζονται από την κλιματική αλλαγή και οι επιπτώσεις που επιφέρουν στην ανθρώπινη υγεία. *Επιστημονικά Χρονικά*, 24(1), 50–61.

- Δήμος Λαρισαίων. (2016). *Λάρισα - Αίτηση για το Ευρωπαϊκό Βραβείο Πράσινης Πρωτεύουσας 2016*.
- Δήμος Λαρισαίων. (2024). *Πρόταση Στρατηγικής Βιώσιμης Αστικής Ανάπτυξης (BAA) του Δήμου Λαρισαίων για την Προγραμματική Περίοδο 2021-2027 ΔΗΜΟΣ ΛΑΡΙΣΑΙΩΝ*.
- Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο; Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας. (2023). *Σύγκριση κόστους θέρμανσης από διάφορες τεχνολογίες*. <https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2023/01/M%CE%B5%CE%BB%CE%AD%CF%84%CE%B7-%CE%BA%CF%8C%CF%83%CF%84%CE%BF%CF%85%CF%82-%CE%B8%CE%AD%CF%81%CE%BC%CE%B1%CE%BD%CF%83%CE%B7%CF%82-%CE%95%CE%9C%CE%A0-%CE%A7%CE%B5%CE%B9%CE%BC%CE%B5%CF%81%CE%B9%CE%BD%CE%AE-%CF%83%CE%B5%CE%B6%CF%8C%CE%BD-2022-2023-2%CE%B7-%CE%95%CE%BA%CE%B4%CE%BF%CF%83%CE%B7.pdf>
- ΕΛΣΤΑΤ. (2023). *CENSUS RESULTS of POPULATION and HOUSING 2021*. https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Booklet_%CE%91%CF%80%CE%BF%CF%84%CE%B5%CE%BB%CE%B5%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%A0%CE%BB%CE%B7%CE%B8%CF%85%CF%83%CE%BC%CE%BF%CF%852023_Π%20EN_FINAL2_WEB.pdf
- Κοτζαμάνης, Β. (n.d.). *Ο ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΛΛΑΔΑΣ ΣΤΟΝ ΟΡΙΖΟΝΤΑ ΤΟΥ 2050* ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΟΥ ΜΟΝΙΜΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ, ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΣΤΙΣ ΔΙΑΦΟΡΕΣ ΒΑΘΜΙΔΕΣ ΤΗΣ ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗΣ ΤΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ ΕΡΓΑΣΙΜΗΣ ΗΛΙΚΑΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΕΝΕΡΓΟΥ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ, 2015-2050. (Συνοπτική παρουσίαση των αποτελεσμάτων)*. <http://www.dianeosis.org/research/demography>
- Μητράκος, Θ. (2009). *Στατιστικά στοιχεία και Δείκτες Τιμών Ακινήτων: Η νέα πρωτοβουλία της Τράπεζας της Ελλάδος* (pp. 129–175). Τράπεζα της Ελλάδος.

- Οικονόμου, Β. (2024). *Ας το παραδεχτούμε-η Κόρινθος βρίσκεται σε κλιματική κρίση Στο χέρι μας είναι να προσαρμοστούμε....*
- Τράπεζα της Ελλάδος. (2011). *ΟΙ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ, ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΕΣ ΚΑΙ ΚΟΙΝΩΝΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ.*
- Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας (ΥΠΕΝ). (2020). *Μακροπρόθεσμη Στρατηγική για την Ανακαίνιση του Κτιριακού Αποθέματος έως το 2050.*
https://ypen.gov.gr/wp-content/uploads/2021/03/%CE%A5%CE%91-20334_148_01.03.2021_%CE%A6%CE%95%CE%9A_974-B-12.03.2021_%CE%9C%CE%91%CE%9A%CE%A1%CE%9F%CE%A0%CE%A1%CE%9F%CE%98%CE%95%CE%A3%CE%9C%CE%97-%CE%A3%CE%A4%CE%A1%CE%91%CE%A4%CE%97%CE%93%CE%99%CE%9A%CE%97-%CE%91%CE%9D%CE%91%CE%9A%CE%91%CE%99%CE%9D%CE%99%CE%A3%CE%97%CE%A3-%CE%9A%CE%A4%CE%99%CE%A1%CE%99%CE%A9%CE%9D-%CE%95%CE%A9%CE%A3-%CE%A4%CE%9F-2050.pdf