

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ



Πτυχιακή Εργασία

«Χαρτογράφηση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας με Τηλεπισκόπηση και
Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών στο Λεκανοπέδιο Αττικής»

Καραβιώτου Ραφαέλα

Επιβλέπων καθηγητής: Φαρασλής Ιωάννης

Λάρισα, 2023

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η Αστική Θερμική Νησίδα είναι το φαινόμενο που αναφέρεται στην διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται μεταξύ των αστικών περιοχών και των γειτονικών τους περιαστικών ή αγροτικών περιοχών. Διακρίνεται στην Αστική Θερμική Νησίδα Επιφανείας και στην Ατμοσφαιρική Αστική Θερμική Νησίδα. Η εμφάνιση του φαινομένου οφείλεται σε παράγοντες όπως τα δομικά υλικά των πόλεων, η έλλειψη φυσικών τοπίων, η αστική γεωμετρία, οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες, καθώς και οι μετεωρολογικές συνθήκες και οι γεωγραφικοί παράγοντες. Επιπλέον, το φαινόμενο παρουσιάζει επιπτώσεις που σχετίζονται τόσο με το αστικό περιβάλλον, όπως η αυξημένη ζήτηση ενέργειας, όσο και με το φυσικό περιβάλλον όπως οι εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και η υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Φυσικά, επηρεάζει σημαντικά και την υγεία και την ασφάλεια των ανθρώπων. Ακόμη, σχετίζεται σημαντικά με την κλιματική αλλαγή και τα κύματα καύσωνα. Έτσι, κρίνεται απαραίτητη η παρακολούθηση του και η λήψη κατάλληλων μέτρων αντιμετώπισης των επιπτώσεων του. Για τον σκοπό αυτό, μπορεί να χρησιμοποιηθεί η μέθοδος της τηλεπισκόπησης, μέσω της οποίας δίνεται η δυνατότητα επεξεργασίας δορυφορικών δεδομένων που σχετίζονται με την θερμοκρασία, για τον εντοπισμό του φαινομένου και την εξαγωγή συμπερασμάτων. Το γεγονός αυτό, αποδεικνύεται στην μελέτη περίπτωσης της εργασίας, όπου με την χρήση των δεδομένων του αισθητήρα SLSTR του δορυφόρου Sentinel – 3, πραγματοποιήθηκε χαρτογράφηση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην περιοχή του Λεκανοπεδίου Αττικής, για δύο ημερομηνίες όπου στην Ελλάδα επικρατούσε καύσωνας. Από τα αποτελέσματα της ανάλυσης, επιβεβαιώνεται η επίδραση της αστικής περιοχής στην θερμοκρασία, γεγονός που αναλύεται και σε επίπεδο δήμων, ενώ ακόμη προσδιορίζεται ο αριθμός των κατοίκων που επηρεάστηκαν από τις υψηλές θερμοκρασίες.

ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ

Αστική Θερμική Νησίδα, θερμοκρασία, κύμα καύσωνα, τηλεπισκόπηση, Sentinel – 3, χαρτογράφηση, Αττική

ABSTRACT

The Urban Heat Island is the phenomenon that refers to the temperature difference that is observed between urban areas and their neighboring suburban or rural areas. It is divided into the Surface Urban Heat Island and the Atmospheric Urban Heat Island. The appearance of the phenomenon is due to factors such as the cities' construction materials, the lack of natural landscapes, the urban geometry, the anthropogenic activities, as well as meteorological conditions and geographical factors. In addition, the phenomenon presents negative effects related to both the urban environment, such as increased energy demand, and the natural environment, such as atmospheric pollutant emissions and water quality degradation. Of course, it also significantly affects people's health and safety. Moreover, it is significantly related to climate change and heat waves. Thus, it is deemed necessary to monitor it and take the appropriate measures to deal with its' negative effects. For this purpose, the method of remote sensing can be used, through which it is possible to process satellite data related to temperature, to identify the phenomenon and draw conclusions. This fact is demonstrated in the case study, where with the use of data from the SLSTR sensor of the Sentinel – 3 satellite, mapping of the Urban Heat Island phenomenon was carried out in the Attica Basin, for two dates when there was a heat wave in Greece. From the results of the analysis, the effect of the urban area on the temperature is confirmed, a fact that is also analyzed at the level of municipalities, while the number of residents affected by the high temperatures is determined as well.

KEYWORDS

Urban Heat Island, temperature, heat wave, remote sensing, Sentinel – 3, mapping, Attica

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της πτυχιακής μου εργασίας, θα ήθελα αρχικά να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Φαρασλή, για την καθοδήγηση και την βοήθεια που μου πρόσφερε με προθυμία καθ' όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Ακόμη, θα ήθελα να ευχαριστήσω την οικογένεια και τους φίλους μου για την υποστήριξη που μου πρόσφεραν το χρονικό αυτό διάστημα, αλλά και σε όλα τα χρόνια της φοίτησης μου στο Τμήμα Περιβάλλοντος.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	2
ΛΕΞΕΙΣ – ΚΛΕΙΔΙΑ.....	2
ABSTRACT.....	3
KEYWORDS.....	3
ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	4
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	10
1.1. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ.....	10
1.2. ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ.....	12
1.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ.....	13
1.4. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ.....	15
1.5. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	16
1.5.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	16
1.5.2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ COPERNICUS.....	18
1.5.3. ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ SENTINEL – ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ SENTINEL – 3.....	19
1.6. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	26
2.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	26
2.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	29
2.2.1. ΥΛΙΚΑ.....	29
2.2.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	30
2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	40
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	49
3.1. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ.....	49
3.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	53
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	55
ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ.....	55

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ..... 57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Γραφική αναπαράσταση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας	11
Εικόνα 2: Εκτίμηση της έντασης της Αστικής Θερμικής Νησίδας και του αριθμού των κυμάτων καύσωνα (2020 - 2052)	15
Εικόνα 3: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα	17
Εικόνα 4: Ενεργητικοί και παθητικοί αισθητήρες	18
Εικόνα 5: Χάρτης με τις μέγιστες τιμές του UTFVI	22
Εικόνα 6: Χάρτης με τις μέγιστες τιμές του DI	22
Εικόνα 7: Μέσες τιμές LST ανά τμήμα, την ημέρα	24
Εικόνα 8: Μέσες τιμές LST ανά τμήμα, την νύχτα	24
Εικόνα 9: Συσχέτιση NDVI - LST, την ημέρα	25
Εικόνα 10: Συσχέτιση NDVI - LST, την νύχτα	25
Εικόνα 11: Το Λεκανοπέδιο Αττικής	27
Εικόνα 12: Η βλάστηση του Λεκανοπεδίου Αττικής	28
Εικόνα 13: Λήψη εικόνας για τις 3/8/2021	29
Εικόνα 14: Λήψη εικόνας για τις 14/7/2023	29
Εικόνα 15: Spatial & Band Subset 3/8/2021	31
Εικόνα 16: Spatial & Band Subset 14/7/2023	31
Εικόνα 17: Reprojection 3/8/2021	32
Εικόνα 18: Reprojection 14/7/2023	32
Εικόνα 19: Spatial Subset 3/8/2021	33
Εικόνα 20: Spatial Subset 14/7/2023	33
Εικόνα 21: LST_celsius 3/8/2021	34
Εικόνα 22: LST_celsius 14/7/2023	34
Εικόνα 23: Land Cover Band & pins 3/8/2021	35
Εικόνα 24: Land Cover Band & pins 14/7/2023	35
Εικόνα 25: UHI_celsius 3/8/2021	36

Εικόνα 26: UHI_celsius 14/7/2023	36
Εικόνα 27: Περικοπή raster 3/8/2021	37
Εικόνα 28: Περικοπή raster 14/7/2023	37
Εικόνα 29: Μέση θερμοκρασία 3/8/2021	38
Εικόνα 30: Μέση θερμοκρασία 14/7/2023	38
Εικόνα 31: Έκταση και πυκνότητα πληθυσμού κάθε δήμου 3/8/2021 και 14/7/2023	39
Εικόνα 32: Χάρτης 1 - 3/8/2021	40
Εικόνα 33: Χάρτης 2 - 3/8/2021	41
Εικόνα 34: Χάρτης 3 - 3/8/2021	41
Εικόνα 33: Χάρτης 4 - 14/7/2023	43
Εικόνα 34: Χάρτης 5 - 14/7/2023	44
Εικόνα 35: Χάρτης 6 - 14/7/2023	44

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Οι δήμοι του Λεκανοπεδίου Αττικής	26
Πίνακας 2: Αποτελέσματα 3/8/2021	46
Πίνακας 3: Αποτελέσματα 14/7/2023	47

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας αφορά στην έντονη διαφορά θερμοκρασίας που παρατηρείται μεταξύ των αστικών κέντρων και των γειτονικών τους, μη αστικών περιοχών. Πρόκειται για ένα φαινόμενο που μπορεί να παρατηρηθεί καθ' όλη την διάρκεια του χρόνου, αλλά εντείνεται τους καλοκαιρινούς μήνες λόγω των υψηλών θερμοκρασιών και των κυμάτων καύσωνα που επικρατούν. Επηρεάζει σημαντικά τόσο την υγεία και την ευημερία των ανθρώπων, όσο και το περιβάλλον, γι' αυτό και η παρακολούθηση του και η λήψη μέτρων για την αντιμετώπιση του κρίνονται ως απαραίτητες δράσεις. Επιπλέον, το γεγονός ότι σύμφωνα με τα υπάρχοντα δεδομένα, όλο και περισσότεροι άνθρωποι θα κατοικούν στις αστικές περιοχές στο μέλλον, αυξάνει το ενδιαφέρον και την αναγκαιότητα για περισσότερη ενασχόληση με το φαινόμενο. Έτσι και η παρούσα εργασία, που αφορά στην χαρτογράφηση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας με Τηλεπισκόπηση και Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών στο Λεκανοπέδιο Αττικής έχει ως στόχους:

- a. Την επιβεβαίωση της ύπαρξης Αστικής Θερμικής Νησίδας στο Λεκανοπέδιο Αττικής και των δυνατοτήτων μετριάσμού του φαινομένου.
- b. Την διερεύνηση της συμβολής – αποτελεσματικότητας της τηλεπισκόπησης στον εντοπισμό και την παρακολούθηση της Αστικής Θερμικής Νησίδας, μέσω της μελέτης περίπτωσης στο Λεκανοπέδιο Αττικής.

Η εργασία δομείται σε τρία κεφάλαια. Το πρώτο κεφάλαιο αφορά στην Αστική Θερμική Νησίδα και στην συμβολή της τηλεπισκόπησης στον εντοπισμό της. Αρχικά παρουσιάζονται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, οι αιτίες εμφάνισής του, οι επιπτώσεις του και η αλληλεπίδραση του με την κλιματική αλλαγή και τα κύματα καύσωνα. Ακολουθούν πληροφορίες για την μέθοδο της τηλεπισκόπησης, για το ευρωπαϊκό πρόγραμμα Copernicus, καθώς και για τους δορυφόρους Sentinel και πιο συγκεκριμένα για τον Sentinel – 3, τα δεδομένα του οποίου χρησιμοποιούνται αργότερα στην εργασία. Τέλος, παρουσιάζονται παραδείγματα από την βιβλιογραφία, που έχουν να κάνουν με την εφαρμογή της τηλεπισκόπησης για τον εντοπισμό της Αστικής Θερμικής Νησίδας, στην Ελλάδα και τον κόσμο.

Το δεύτερο κεφάλαιο, αφορά στη διερεύνηση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας μέσω της μελέτης περίπτωσης. Αρχικά γίνεται παρουσίαση της περιοχής μελέτης και ακολουθούν τα υλικά, καθώς και η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την χαρτογράφηση του φαινομένου τις ημερομηνίες που επιλέχθηκαν. Τέλος, τα αποτελέσματα της ανάλυσης παρατίθενται με την μορφή χαρτοσυνθέσεων και εξάγονται πληροφορίες για τις θερμοκρασίες που επικρατούσαν σε κάθε δήμο της περιοχής μελέτης την ώρα της μέτρησης, αλλά και για τον πληθυσμό που επηρεάστηκε από αυτές. Στο τρίτο και τελευταίο κεφάλαιο, προτείνονται ορισμένα μέτρα που μπορούν να υιοθετηθούν από τις πόλεις για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Η εργασία ολοκληρώνεται με τα γενικά συμπεράσματα που εξάγονται για το φαινόμενο αλλά και για την συμβολή της τηλεπισκόπησης στον εντοπισμό, την ανάλυση και τον μετριάσμό του.

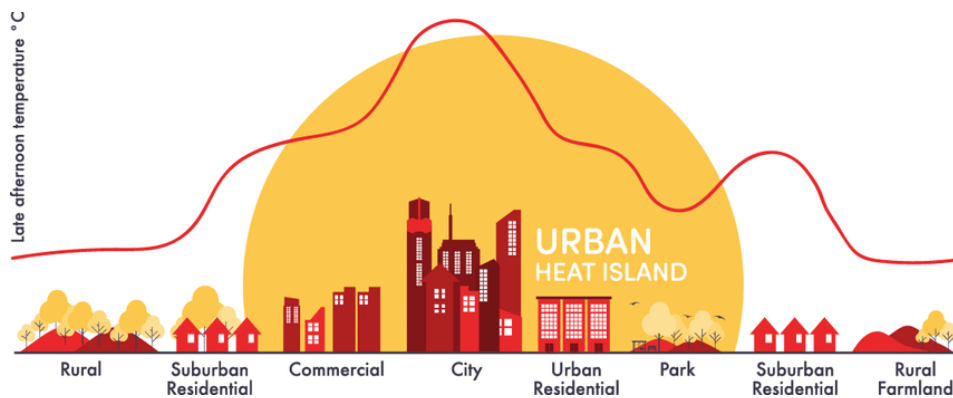
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.1. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ

Τα τελευταία χρόνια, περίπου το 75% του πληθυσμού της Ευρώπης ζει στα αστικά κέντρα, ποσοστό που σύμφωνα με δεδομένα της Ευρωπαϊκής Ένωσης αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά τις επόμενες δεκαετίες. Η ταχύτατη αστικοποίηση, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή, οι επιπτώσεις της οποίας ήδη εμφανίζονται σε ολόκληρο τον κόσμο, πρόκειται να καταστήσουν τους κατοίκους των αστικών περιοχών περισσότερο ευάλωτους σε κινδύνους που αφορούν στο αστικό περιβάλλον. Ένας από αυτούς τους κινδύνους, είναι και το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας (ECMWF, LifeASTI).

Ως Αστική Θερμική Νησίδα (Urban Heat Island – UHI), ορίζεται το φαινόμενο κατά το οποίο σε μια αστική περιοχή παρατηρείται αυξημένη θερμοκρασία περιβάλλοντος, σε σχέση με τις γειτονικές περιαστικές ή αγροτικές περιοχές. Η διαφορά στην θερμοκρασία κυμαίνεται από 1 °C έως 10 °C, με μέση μέγιστη τιμή τους 6 °C και η ένταση του φαινομένου είναι μεγαλύτερη κατά την διάρκεια του καλοκαιριού, όπου και οι θερμοκρασίες είναι υψηλότερες. Στην έννοια της Αστικής Θερμικής Νησίδας αναφέρθηκε πρώτος ο Άγγλος χημικός και μετεωρολόγος Luke Howard. Ο Howard συνέκρινε τις θερμοκρασίες που επικρατούσαν εντός του Λονδίνου, με αυτές των περιαστικών περιοχών του και έτσι οδήγηθηκε στον ορισμό του φαινομένου, που κατέγραψε στο βιβλίο του “The Climate of London”. Στην συνέχεια, ακολούθησαν μελέτες και για άλλες μεγάλες πόλεις, όπως αυτή του Ρενου για το Παρίσι το 1862 και του Wilhelm Schmidt για την Βιέννη το 1917 (Μπαϊρακτάρη, 2021, Santamouris, 2020).

Σύμφωνα με το United States Environmental Protection Agency, οι υποδομές μιας πόλης, όπως τα κτήρια και οι δρόμοι, απορροφούν και επανεκπέμπουν την ηλιακή ακτινοβολία σε μεγαλύτερο βαθμό από ότι τα φυσικά τοπία, όπως είναι τα δάση και τα υδάτινα σώματα. Ως αποτέλεσμα, οι αστικές περιοχές, όπου οι παραπάνω υποδομές είναι περισσότερες και η παρουσία πρασίνου είναι λιγότερη, γίνονται «νησίδες» υψηλότερων θερμοκρασιών σε σχέση με τις γειτονικές τους περιοχές. Ακόμη, οι θερμικές νησίδες σχηματίζονται κάτω από ποικίλες συνθήκες, όπως κατά την διάρκεια της ημέρας ή της νύχτας, σε μικρές ή μεγάλες πόλεις, σε προαστιακές περιοχές, σε βόρεια ή νότια κλίματα και σε οποιαδήποτε εποχή (US EPA, 2022).



Εικόνα 36: Γραφική αναπαράσταση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Πηγή: World Meteorological Organization

Η Αστική Θερμική Νησίδα μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες, στην Αστική Θερμική Νησίδα Επιφανείας (Surface Urban Heat Island – SUHI) και στην Ατμοσφαιρική Αστική Θερμική Νησίδα (Atmospheric Urban Heat Island – AUHI). Η κατηγοριοποίηση αυτή, οφείλεται στο γεγονός ότι στην επιφάνεια του εδάφους και στον ατμοσφαιρικό αέρα πάνω από την πόλη επικρατούν διαφορετικές θερμοκρασίες. Μεταξύ των δύο ειδών, παρατηρούνται διαφορές στον τρόπο με τον οποίο σχηματίζονται, στις μεθόδους που χρησιμοποιούνται για την ταυτοποίηση και την μέτρηση τους, στις επιπτώσεις που παρουσιάζουν, αλλά και στους τρόπους αντιμετώπισης τους (US EPA, 2022).

Ειδικότερα, η Αστική Θερμική Νησίδα Επιφανείας οφείλεται στην αύξηση της θερμοκρασίας των επιφανειών μιας περιοχής. Όπως αναφέρθηκε, οι διάφορες επιφάνειες σε μια πόλη, όπως για παράδειγμα είναι τα κτήρια, οι στέγες, τα πεζοδρόμια κ.α. απορροφούν περισσότερη ηλιακή ακτινοβολία σε σύγκριση με τις επιφάνειες μιας περιοχής που καλύπτεται από βλάστηση. Η θερμότητα που συλλέγεται, απελευθερώνεται κατά την διάρκεια της νύχτας αυξάνοντας την θερμοκρασία του αέρα. Αυτό το είδος Αστικής Θερμικής Νησίδας εμφανίζεται εντονότερο κατά τις πρωινές ώρες και εξαρτάται από την εποχή και τις μετεωρολογικές συνθήκες της περιοχής. Για την παρακολούθησή του, συλλέγονται δεδομένα από δορυφόρους, τα οποία απεικονίζονται μετά από επεξεργασία με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης (Μπαϊρακτάρη, 2021, US EPA, 2022).

Η Ατμοσφαιρική Αστική Θερμική Νησίδα οφείλεται στην διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του ατμοσφαιρικού αέρα μιας αστικής και μιας περιαστικής ή αγροτικής περιοχής. Η διαφορά αυτή παρατηρείται εντονότερη κατά την διάρκεια της νύχτας, καθώς ο αέρας στην αστική περιοχή συνεχίζει να θερμαίνεται, από την απελευθέρωση της θερμότητας που συγκεντρώθηκε την ημέρα, ενώ ο αέρας στην περιαστική ή στην αγροτική περιοχή είναι πιο ψυχρός. Τα δεδομένα για αυτό το είδος Αστικής Θερμικής Νησίδας συλλέγονται κυρίως από μετεωρολογικούς σταθμούς. Μπορούν να διακριθούν δύο υποκατηγορίες Ατμοσφαιρικής Αστικής Θερμικής Νησίδας:

- Η θερμική νησίδα «θόλου» (Canopy Layer Heat Island – CLHI), που περιλαμβάνει το στρώμα αέρα από την επιφάνεια της γης έως τις κορυφές των δέντρων ή τα ψηλότερα σημεία των κτηρίων.

- Η θερμική νησίδα «οριακού στρώματος» (Boundary Layer Heat Island – BLHI), που εκτείνεται από τις κορυφές των δέντρων ή τα ψηλότερα σημεία των κτηρίων μέχρι το σημείο όπου η αστική περιοχή δεν επηρεάζει πλέον την ατμόσφαιρα (~1,5 km) (Μπαϊρακτάρη, 2021, US EPA, 2022, McCartney and Mehta, 2020).

Ακόμη, μέσα από μελέτες, έχει βρεθεί ότι η επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας Επιφανείας στην Ατμοσφαιρική Αστική Θερμική Νησίδα εξαρτάται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Από την καταγραφή των θερμοκρασιών έχει αποδειχθεί ότι κατά την διάρκεια ημερών με άνεμο ή συννεφιά, η επίδραση της Αστικής Θερμικής Νησίδας Επιφανείας στην Ατμοσφαιρική είναι αρκετά περιορισμένη (Μπαϊρακτάρη, 2021).

Τέλος, αξίζει να σημειωθεί ότι οι διαφορές στην θερμοκρασία, δεν παρατηρούνται μόνο μεταξύ των αστικών και των περιαστικών ή αγροτικών περιοχών, αλλά και μεταξύ διαφορετικών περιοχών της ίδιας πόλης. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται ενδο – αστική θερμική νησίδα (intra – urban heat island). Ο σχηματισμός του οφείλεται στην μορφολογία αυτών των περιοχών και στις θερμοδυναμικές ιδιότητες των στοιχείων τους (Mentaschi et al., 2022, US EPA, 2022).

Για παράδειγμα, αν μια περιοχή έχει πυκνή δόμηση, χωρίς ιδιαίτερη παρουσία πρασίνου και μια άλλη διαθέτει περισσότερη φυσική κάλυψη και είναι δομημένη με τέτοιο τρόπο ώστε να επιτρέπεται η διέλευση του ανέμου, τότε στην πρώτη περιοχή θα επικρατούν υψηλότερες θερμοκρασίες και έτσι το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας θα είναι εντονότερο, με σημαντικές επιπτώσεις τόσο για τους κατοίκους της όσο και για το περιβάλλον.

1.2. ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Κατά την δημιουργία και ανάπτυξη μιας πόλης, το τοπίο της περιοχής αλλάζει σημαντικά και δημιουργείται ένα ξεχωριστό μικροκλίμα, κάνοντας τις πόλεις θερμότερες από τις περιοχές που τις περιβάλλουν. Οι παράγοντες που συμβάλουν σε αυτό το φαινόμενο είναι:

Τα δομικά υλικά χαμηλής ανακλαστικότητας: Για την δόμηση των πόλεων, χρησιμοποιούνται υλικά όπως σκυρόδεμα, ασφάλτος, μέταλλα, τούβλα κ.α. τα οποία έχουν χαμηλότερη ανακλαστική ικανότητα από την βλάστηση και από τις άλλες φυσικές επιφάνειες. Έτσι, απορροφούν μεγαλύτερο μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας που λαμβάνουν, την οποία στην συνέχεια επανεκπέμπουν στην ατμόσφαιρα θερμαίνοντάς την.

Η έλλειψη φυσικών τοπίων: Είναι γνωστό, ότι η ύπαρξη βλάστησης σε μια περιοχή μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην μείωση της θερμοκρασίας. Μέσω της φυσικής διαδικασίας της εξατμισοδιαπνοής, δηλαδή της απελευθέρωσης νερού στην ατμόσφαιρα μέσω εξάτμισης και διαπνοής, αλλά και μέσω της σκίασης που παρέχεται από τα δέντρα και τα άλλα είδη βλάστησης μπορεί να επιτευχθεί μείωση της θερμοκρασίας κατά 1°C – 5°C, σε απόσταση από 100 m έως 1000 m.

Ωστόσο, οι πόλεις είναι τόποι όπου η φυσική βλάστηση είναι περιορισμένη και κυριαρχούν επιφάνειες όπως δρόμοι, πεζοδρόμια, ογκώδη κτήρια κλπ. τα οποία συμβάλλουν στην δημιουργία και στην διατήρηση υψηλών θερμοκρασιών.

Η αστική γεωμετρία: Οι διαστάσεις των κτηρίων και ο τρόπος δόμησης μιας πόλης, μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την θερμοκρασία. Σε πόλεις όπου υπάρχουν στενοί δρόμοι και ψηλά κτήρια δημιουργείται το φαινόμενο της αστικής χαράδρας (urban canyon effect). Σε αυτή την περίπτωση η ηλιακή ακτινοβολία «παγιδεύεται» ανάμεσα στα κτήρια, γεγονός που αυξάνει την απορρόφηση της από τις επιφάνειες τους, ενώ ταυτόχρονα εμποδίζεται η φυσική ροή του αέρα. Ο συνδυασμός αυτός οδηγεί τελικά στην αύξηση της θερμοκρασίας της περιοχής.

Η θερμότητα που εκλύεται από ανθρωπογενείς δραστηριότητες: Η κίνηση των αυτοκινήτων, η χρήση των κλιματιστικών μονάδων και γενικότερα οι δραστηριότητες που πραγματοποιούνται σε μια οικιστική ή βιομηχανική περιοχή παράγουν θερμότητα, συμβάλλοντας στις υψηλότερες θερμοκρασίες που παρατηρούνται στις αστικές περιοχές.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες και οι γεωγραφικοί παράγοντες: Σε ήπιες καιρικές συνθήκες το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας γίνεται εντονότερο, καθώς η ποσότητα της ηλιακής ακτινοβολίας που φτάνει στις αστικές επιφάνειες μεγιστοποιείται. Αντίθετα, όταν κυριαρχούν ισχυροί άνεμοι ή νεφοκάλυψη ο σχηματισμός της Αστικής Θερμικής Νησίδας περιορίζεται σημαντικά. Ακόμη, γεωγραφικά χαρακτηριστικά όπως είναι τα κοντινά βουνά, μπορούν είτε να εμποδίσουν την κίνηση του ανέμου, συμβάλλοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας στην αστική περιοχή, είτε να δημιουργήσουν μοτίβα ανέμου που περνούν μέσα από την πόλη και βοηθούν στον δροσισμό της (NIHHIS, MIT Climate Portal, 2021, US EPA, 2022, Ρήγα, 2011, Γκικόκας, 2019).

1.3. ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Οι επιπτώσεις του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας αφορούν τόσο το περιβάλλον, όσο και την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Πιο συγκεκριμένα, διακρίνονται οι εξής κατηγορίες:

Αυξημένη κατανάλωση ενέργειας: Η άνοδος της θερμοκρασίας που παρατηρείται από την επίδραση μιας θερμικής νησίδας, απαιτεί την εντονότερη χρήση των συστημάτων κλιματισμού για την ψύξη των κτηρίων, κάτι που οδηγεί στην αύξηση της ζήτησης της ηλεκτρικής ενέργειας. Μελέτες έχουν αποδείξει ότι η αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1 °C, μπορεί να οδηγήσει σε αύξηση της ζήτησης για ηλεκτρική ενέργεια κατά 0,5% - 8,5%. Αυξημένη ζήτηση ενέργειας παρατηρείται κυρίως τους καλοκαιρινούς μήνες, όπου οι υψηλές θερμοκρασίες ή ακόμη και τα κύματα καύσωνα που επικρατούν εντείνουν το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας.

Ως αποτέλεσμα, μπορούν να παρατηρηθούν υπερφορτώσεις των συστημάτων διανομής ηλεκτρικής ενέργειας, που καταλήγουν σε διακοπές ρεύματος, αλλά και σημαντική αύξηση στα έξοδα κατανάλωσης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Αυξημένες εκπομπές ατμοσφαιρικών ρύπων και αερίων του θερμοκηπίου: Όπως είναι γνωστό, οι περισσότερες εταιρίες παραγωγής ηλεκτρικής ενέργειας, οι οποίες επωμίζονται και την κάλυψη της υψηλής ζήτησης που αναφέρθηκε, βασίζονται ακόμη κυρίως στα ορυκτά καύσιμα για την παραγωγή τους. Με την αύξηση της λειτουργίας τους, επιβαρύνουν το περιβάλλον με ατμοσφαιρικούς ρύπους όπως οξειδία του αζώτου (NO_x), μονοξείδιο του άνθρακα (CO), αιωρούμενα σωματίδια (PM), διοξείδιο του θείου (SO₂) κ.α. Οι παραπάνω ρύποι, εκτός από το γεγονός ότι είναι επιβλαβείς για την ανθρώπινη υγεία, συμβάλουν στην κλιματική αλλαγή και παίζουν σημαντικό ρόλο και σε άλλα προβλήματα της ποιότητας της ατμόσφαιρας, όπως είναι η όξινη βροχή, ο σχηματισμός αιθαλομίχλης και η συγκέντρωση αιωρούμενων σωματιδίων.

Υποβάθμιση της ποιότητας του νερού: Οι υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται στους δρόμους, στα πεζοδρόμια και στις στέγες των κτηρίων μιας πόλης, αυξάνουν την θερμοκρασία της απορροής των όμβριων υδάτων, τα οποία τελικά καταλήγουν σε ρυάκια, ποτάμια και λίμνες, επηρεάζοντας την ποιότητα των υδάτινων οικοσυστημάτων. Η θερμοκρασία παίζει πολύ σημαντικό ρόλο σε αυτά τα οικοσυστήματα, καθώς εμπλέκεται σε όλες τις πτυχές της υδρόβιας ζωής και κυρίως στον μεταβολισμό και στην αναπαραγωγή των ειδών.

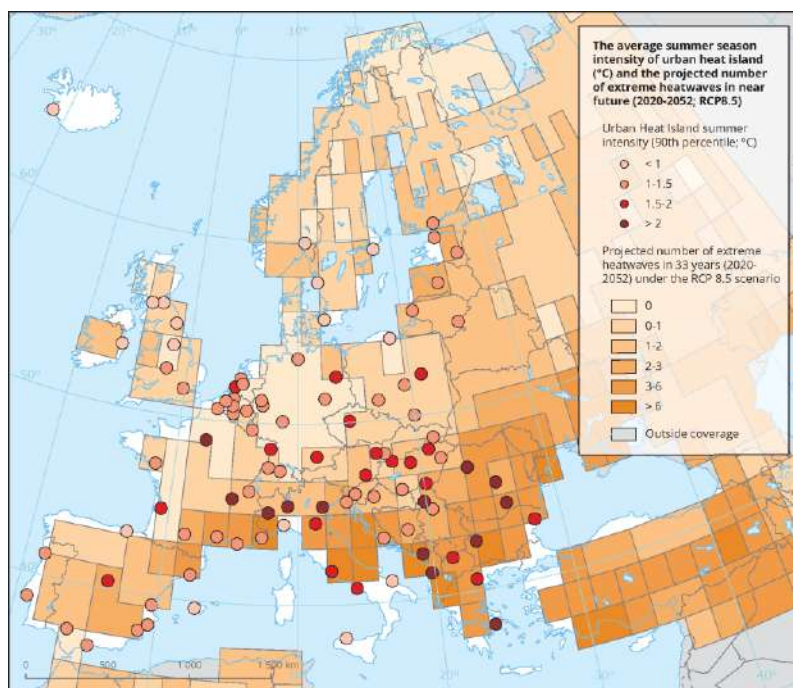
Κίνδυνος για την ανθρώπινη υγεία και άνεση: Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας προκαλεί υψηλές θερμοκρασίες κατά την διάρκεια της ημέρας, μειωμένη ψύξη κατά την διάρκεια της νύχτας, αυξημένα επίπεδα ατμοσφαιρικής ρύπανσης, αλλά και επιδείνωση του αντίκτυπου των κυμάτων καύσιμα, που παρατηρούνται ολοένα και συχνότερα τα τελευταία χρόνια. Όλα τα παραπάνω μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την υγεία των κατοίκων των αστικών περιοχών.

Πιο συγκεκριμένα, παρατηρούνται καταστάσεις δυσφορίας, αναπνευστικές δυσκολίες, θερμικές κράμπες (heat cramps), θερμική εξάντληση (heat exhaustion), θερμοπληξία, ακόμη και θάνατος. Σε αυτά, μεγαλύτερη ευαισθησία παρουσιάζουν οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά, τα άτομα που αντιμετωπίζουν χρόνιες παθήσεις, τα άτομα που εργάζονται σε εξωτερικούς χώρους, αλλά και τα άτομα που έχουν χαμηλό εισόδημα. Σύμφωνα με τα υπάρχοντα επιδημιολογικά δεδομένα, 59.114 άνθρωποι έχασαν την ζωή τους την περίοδο 2000 – 2007, κατά την διάρκεια των 52 κυμάτων καύσιμα που έπληξαν τον πλανήτη (NIHHS, MIT Climate Portal, 2021, US EPA, 2022, Γκιόκας, 2019, Μπαϊρακτάρη, 2021, Santamouris, 2020).

1.4. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ ΚΑΙ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Τα τελευταία χρόνια, οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής στις αστικές περιοχές, έχουν αυξήσει το ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας για την μελέτη του φαινομένου. Μέσα από αυτή την έρευνα, έχει βρεθεί και σημαντική σύνδεση της κλιματικής αλλαγής με την Αστική Θερμική Νησίδα. Ειδικότερα, η αύξηση της συχνότητας, του μεγέθους και της διάρκειας των κυμάτων καύσωνα που προκαλούνται λόγω της κλιματικής αλλαγής, έχει παρατηρηθεί ότι επηρεάζουν και εντείνουν το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Σύμφωνα με την NASA, ένα κύμα καύσωνα είναι μια περίοδος που επικρατούν ασυνήθιστα υψηλές θερμοκρασίες σε μια περιοχή, ενώ παρατηρείται και αυξημένη υγρασία. Συνήθως, διαρκεί από μερικές μέρες έως και μερικές εβδομάδες.

Στα πλαίσια του Copernicus European Health contract έγινε μια εκτίμηση της έντασης της Αστικής Θερμικής Νησίδας, και του αριθμού των κυμάτων καύσωνα, για το χρονικό διάστημα 2020 – 2052, για 100 πόλεις της Ευρώπης. Η εκτίμηση πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το σενάριο RCP8,5 που αναφέρεται στην συγκέντρωση άνθρακα στην ατμόσφαιρα, που προκαλεί υπερθέρμανση του πλανήτη κατά 8,5 W/m². Το σενάριο αυτό οδηγεί σε αύξηση της θερμοκρασίας κατά περίπου 4,3 °C έως το 2100, σε σχέση με τις προβιομηχανικές θερμοκρασίες. Τα αποτελέσματα φαίνονται στον παρακάτω χάρτη.



Εικόνα 37: Εκτίμηση της έντασης της Αστικής Θερμικής Νησίδας και του αριθμού των κυμάτων καύσωνα (2020 - 2052) Πηγή: European Environment Agency

Σύμφωνα με τον χάρτη, προβλέπεται τόσο η αύξηση της έντασης της Αστικής Θερμικής Νησίδας στις περισσότερες πόλεις που μελετήθηκαν, όσο και η αύξηση της συχνότητας εμφάνισης κυμάτων καύσωνα, κυρίως σε περιοχές της νότιας και ανατολικής Ευρώπης. Το γεγονός αυτό, πρόκειται να έχει σημαντικές συνέπειες για την ανθρώπινη υγεία, για το περιβάλλον αλλά και για τις υποδομές των πόλεων που θα επηρεαστούν περισσότερο (Santamouris, 2020, European Environment Agency, 2020, US EPA, 2023, NASA EARTHDATA, climatenexus).

1.5. ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

1.5.1. ΓΕΝΙΚΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η τηλεπισκόπηση (remote sensing) είναι η επιστήμη της συλλογής δεδομένων για τα φυσικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής από απόσταση, καταγράφοντας την ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από αυτά. Δίνει την δυνατότητα στους χρήστες να οπτικοποιούν, να αναλύουν και να ταξινομούν σε κατηγορίες, αντικείμενα και χαρακτηριστικά στην επιφάνεια της Γης. Οι εφαρμογές της τηλεπισκόπησης, διακρίνονται τόσο σε τοπικό όσο και σε παγκόσμιο επίπεδο. Για παράδειγμα, περιλαμβάνουν την διαχείριση καταστροφών, την πρόβλεψη κινδύνων, την παρακολούθηση της κλιματικής αλλαγής, την διαχείριση των φυσικών πόρων κ.α. (NASA EARTHDATA, GISGeography, 2023).

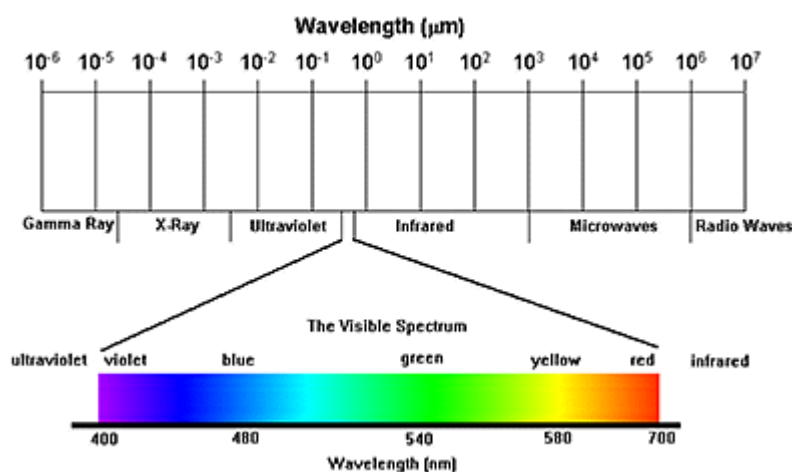
Ένας ορισμός της επιστήμης της τηλεπισκόπησης είναι: «Τηλεπισκόπηση είναι η καταγραφή πληροφοριών από το υπεριώδες, το ορατό, το εγγύς υπέρυθρο και το μικροκυματικό μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος από απόσταση μέσω οργάνων όπως φωτογραφικές μηχανές, σαρωτές, λέιζερ, γραμμικές και χωρικές συστοιχίες εικονοστοιχείων τοποθετημένες σε πλατφόρμες, όπως αεροσκάφη ή δορυφόροι, και η ανάλυση των πληροφοριών που συλλέχθηκαν μέσα από οπτική και ψηφιακή επεξεργασία εικόνων» (Jensen, 2015).

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει μια σειρά από μεθοδολογικά βήματα, όπως την διατύπωση του προβλήματος, την συλλογή των δεδομένων, την μετατροπή των δεδομένων σε πληροφορίες (με αναλογική ή ψηφιακή επεξεργασία εικόνων) και την παρουσίαση των πληροφοριών. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την παρακολούθηση της Αστικής Θερμικής Νησίδας Επιφανείας, στην περιοχή του θερμικού υπέρυθρου (thermal infrared – TIR) του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (electromagnetic spectrum – EM). (McCartney and Mehta, 2020, Jensen, 2015).

Στην τηλεπισκόπηση, τα δεδομένα μεταδίδονται μέσω της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία περιλαμβάνει διάφορα μήκη κύματος και συχνότητες. Όλα αυτά συνθέτουν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, που διακρίνεται στις εξής περιοχές (Πετρίδου, 2020):

- Ακτίνες Γ
- Ακτίνες Χ
- Υπεριώδης περιοχή
- Ορατή περιοχή
- Υπέρυθρη περιοχή
- Μικροκύματα
- Ραδιοκύματα

Ανάλογα με το αντικείμενο προς εξέταση και τις πληροφορίες που χρειάζονται, χρησιμοποιούνται διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (Πετρίδου, 2020).



Εικόνα 38: Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Πηγή: CRISP

Η καταγραφή των αντικειμένων γίνεται μέσω της αλληλεπίδρασης τους με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και της μέτρησης της ακτινοβολίας που ανακλάται πίσω στον αισθητήρα. Η ανακλώμενη ακτινοβολία ενός αντικειμένου εξαρτάται από το μέγεθος του, την χημική του σύσταση και τον προσανατολισμό του. Έτσι, κάθε αντικείμενο έχει διαφορετική ικανότητα ανάκλασης ή εκπομπής της ακτινοβολίας, ιδιότητες οι οποίες μεταβάλλονται ανάλογα και με το μήκος κύματος (Πετρίδου, 2020).

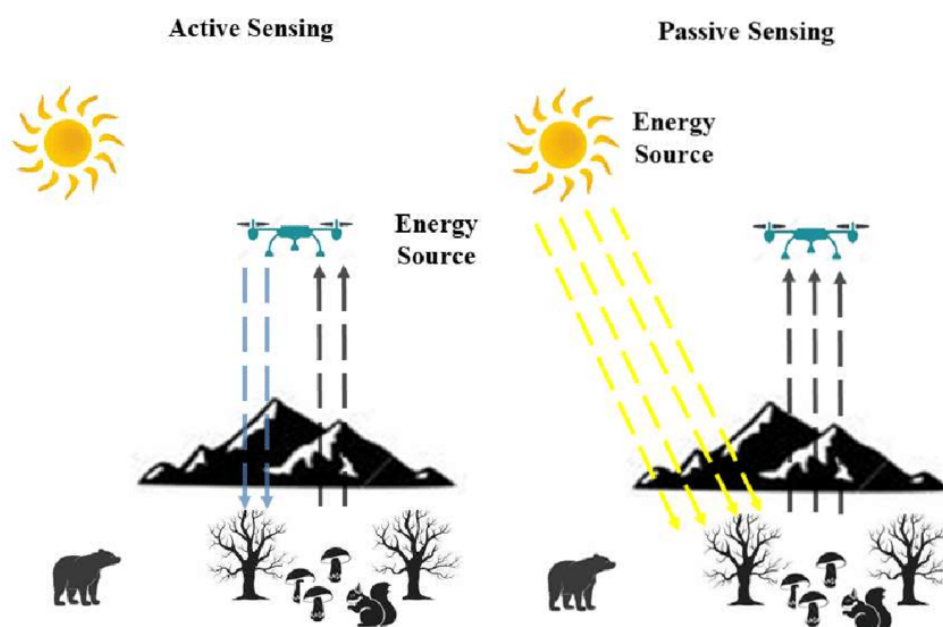
Συνήθως, η τηλεπισκοπική απεικόνιση πραγματοποιείται μέσω δορυφόρων που διαθέτουν τηλεπισκοπικούς αισθητήρες. Οι δορυφόροι ακολουθούν μια συγκεκριμένη τροχιά, δηλαδή μια συγκεκριμένη διαδρομή γύρω από την γη και ανάλογα με αυτή διακρίνονται σε δύο κατηγορίες:

1. Ηλιοσύγχρονοι δορυφόροι: Είναι τοποθετημένοι με τέτοιο τρόπο, ώστε οι συνθήκες φωτισμού στα περάσματα τους να είναι οι ίδιες και να μην εξαρτώνται από την σχετική θέση του ήλιου.

2. Γεωστατικοί δορυφόροι: Ακολουθούν τους παραλλήλους προς τον ισημερινό και η τροχιά τους έχει περίοδο 24 ώρες.

Όσον αφορά τους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες, ανάλογα με την πηγή εκπομπής της ακτινοβολίας που χρησιμοποιούν, διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Παθητικοί αισθητήρες: Δεν εκπέμπουν ακτινοβολία οι ίδιοι, αλλά ανιχνεύουν και καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή και θερμική ακτινοβολία, στα ορατά και στα υπέρυθρα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.
2. Ενεργητικοί αισθητήρες: Οι ενεργητικοί αισθητήρες έχουν την δυνατότητα να εκπέμπουν δική τους ακτινοβολία, η οποία ανακλάται, διαθλάται ή διαχέεται στην γήινη επιφάνεια ή ατμόσφαιρα και στην συνέχεια το σήμα της καταγράφεται στην επιστροφή του (Περάκης κ.α., 2015, Τσιαβος, 2016).



Εικόνα 39: Ενεργητικοί και παθητικοί αισθητήρες Πηγή: analytik

1.5.2. ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ COPERNICUS

Το Ευρωπαϊκό Επιστημονικό Πρόγραμμα Copernicus δημιουργήθηκε με πρωτοβουλία της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (European Commission), σε συνεργασία με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Διαστήματος (European Space Agency). Το Πρόγραμμα αυτό, αποτελεί την συνέχεια του Ευρωπαϊκού Προγράμματος για την Παγκόσμια Παρακολούθηση του Περιβάλλοντος και της Ασφάλειας (Global Monitoring for Environment and Security – GMES) (Περάκης κ.α., 2015). Περιλαμβάνει ένα σύνολο από δορυφόρους (Sentinels), οι οποίοι έχουν αναπτυχθεί και χρησιμοποιούνται για τις ειδικές ανάγκες του Προγράμματος, αλλά και σταθερούς αισθητήρες για την καταγραφή διάφορων παραμέτρων που αφορούν στο γήινο περιβάλλον.

Ακόμη, ορισμένοι εθνικοί, ευρωπαϊκοί και διεθνείς οργανισμοί παρέχουν πληθώρα δεδομένων στο Πρόγραμμα (Περάκης κ.α., 2015, Copernicus).

Τα δεδομένα που συλλέγονται αφορούν τα παρακάτω έξι θεματικά πεδία:

1. Ατμόσφαιρα (Atmosphere)
2. Θαλάσσιο περιβάλλον (Marine)
3. Χερσαίο περιβάλλον (Land)
4. Κλιματική αλλαγή (Climate change)
5. Ασφάλεια (Security)
6. Επείγουσες ανάγκες (Emergency)

Το Πρόγραμμα διαθέτει ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών, όπως διαχείριση αστικών περιοχών, βιώσιμη ανάπτυξη και προστασία της φύσης, περιφερειακό και τοπικό σχεδιασμό, γεωργία, δασοκομία, αλιεία, υγεία, πολιτική προστασία, υποδομές, μεταφορές και κινητικότητα, καθώς και τουρισμό. Ακόμη, συμβάλει σημαντικά και στην αντιμετώπιση της Αστικής Θερμικής Νησίδας, παρέχοντας χρήσιμες πληροφορίες για το φαινόμενο. Τις υπηρεσίες Copernicus τις χρησιμοποιούν κυρίως οι υπεύθυνοι χάραξης πολιτικής και οι δημόσιες αρχές, που χρειάζονται τις πληροφορίες που προσφέρονται για να αναπτύξουν περιβαλλοντική νομοθεσία και πολιτικές ή για να λάβουν τις κατάλληλες αποφάσεις σε περιπτώσεις φυσικών καταστροφών ή ανθρωπιστικών κρίσεων (Copernicus).

Τέλος, είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι το Πρόγραμμα Copernicus εκτός από τα παραπάνω οφέλη και υπηρεσίες που παρέχει, διαθέτει και σημαντικές δυνατότητες για την δημιουργία νέων θέσεων εργασίας και την καινοτομία και την ανάπτυξη, γεγονός που αποδεικνύεται και από το Copernicus Market Report και πολλές οικονομικές μελέτες (Copernicus).

1.5.3. ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ SENTINEL – ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ SENTINEL – 3

Το Πρόγραμμα Copernicus διαθέτει έξι δορυφόρους (Sentinel 1 – 6) καθένας από τους οποίους έχει διαφορετικά χαρακτηριστικά, λειτουργία και πεδίο εφαρμογής. Η αποστολή Sentinel – 3 περιλαμβάνει το ζεύγος δορυφόρων Sentinel – 3A (εκτόξευση στις 16/2/2016) και Sentinel – 3B (εκτόξευση στις 25/4/2018). Υπάρχουν ακόμη οι Sentinel – 3C και Sentinel – 3D, που πρόκειται να εκτοξευτούν το 2024 και το 2025 αντίστοιχα. Οι δορυφόροι περιλαμβάνουν διάφορα όργανα και μετρούν τις επιφανειακές θερμοκρασίες της γης σε ξηρά και σε θάλασσα, τις υψομετρικές διαφορές της θαλάσσιας επιφάνειας και τις χρωματικές αποχρώσεις των ωκεανών και της χερσαίας γης με μεγάλη ακρίβεια. Η αποστολή λειτουργεί με την συμμετοχή της EUMETSAT για το τμήμα της θάλασσας και της ESA για το χερσαίο τμήμα.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά των δορυφόρων είναι:

- Τύπος τροχιάς: Ηλιοσύγχρονη, σχεδόν πολική
- Ύψος τροχιάς: 814 km
- Κλίση: 98,6 °
- Επανάληψη του κύκλου: Κάθε 27 ημέρες
- Ταχύτητα: 7,5 km/s
- Διαστάσεις του σκάφους: 3.7 x 2.2 x 2.2 m με το βάρος κατά τη στιγμή της εκτόξευσης να είναι 1.250 κιλά
- Όχημα εκτόξευσης: Rockot vehicle (για τον Sentinel – 3A), Vega rocket (για τον Sentinel – 3B)
- Επιχειρησιακή διάρκεια ζωής: 7 χρόνια

Ο δορυφόρος περιλαμβάνει τους αισθητήρες:

- OLCI (Ocean and Land Color Instrument)
- SLSTR (Sea and Land Surface Temperature Radiometer)
- SRAL (Synthetic Aperture Radar Altimeter)
- MWR (Micro – wave Radiometer)
- DORIS (Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite)
- LRR (Laser Retro – Reflector)
- GNSS (GPS receiver)

Ο αισθητήρας SLSTR, που μετρά την θερμοκρασία της χερσαίας και θαλάσσιας επιφάνειας, διαθέτει τα παρακάτω φασματικά κανάλια (bands):

- S1: 0,555 μm , Cloud screening, vegetation monitoring, aerosol, Visible, Near IR, Solar reflectance band
- S2: 0,659 μm , NDVI, vegetation monitoring, aerosol, Visible, Near IR, Solar reflectance band
- S3: 0,865 μm , NDVI, cloud flagging, Pixel co-registration, Visible, Near IR, Solar reflectance band
- S4: 1,375 μm , Cirrus detection over land, Short-Wave IR, Solar reflectance band
- S5: 1,61 μm , Cloud clearing, ice, snow, vegetation monitoring, Short-Wave IR, Solar reflectance band
- S6: 2,25 μm , Vegetation state and cloud clearing, Short-Wave IR, Solar reflectance band
- S7: 3,74 μm , SST, LST, Active fire, Thermal infra-red Ambient band (200 K – 320 K)
- S8: 10,85 μm , SST, LST, Active fire, Thermal infra-red Ambient band (200 K – 320 K)
- S9: 12 μm , SST, LST, Thermal infra-red Ambient band (200 K – 320 K)
- F1: 3,74 μm , Active fire, Thermal infra-red fire emission band

- F2: 10,85 μm , Active fire, Thermal infra-red fire emission band

Τα δεδομένα που συλλέγονται από τον δορυφόρο Sentinel-3, και ειδικότερα από τον αισθητήρα SLSTR, χρησιμοποιούνται και για την μελέτη και παρακολούθηση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας Επιφανείας (Περάκης κ.α., 2015, Πετρίδου, 2020, NASA EARTHDATA).

1.6. ΑΣΤΙΚΗ ΘΕΡΜΙΚΗ ΝΗΣΙΔΑ ΚΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ – ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

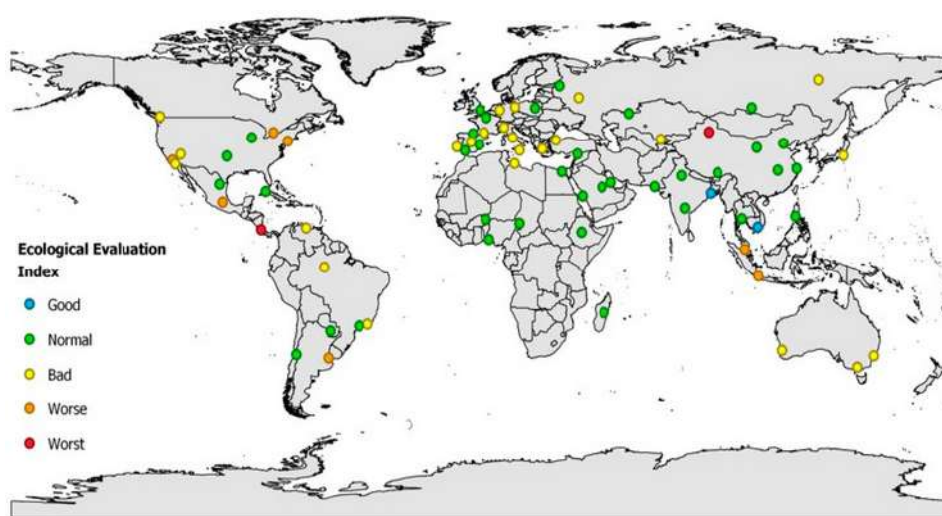
Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας έχει μελετηθεί ήδη σε σημαντικό βαθμό από πολυάριθμους επιστήμονες και συνεχίζει να αποτελεί αντικείμενο επιστημονικού ενδιαφέροντος καθώς οι τεχνολογίες παρακολούθησης εξελίσσονται, τα διαθέσιμα δεδομένα αυξάνονται, αλλά και οι επιπτώσεις του φαινομένου γίνονται όλο και εντονότερες και περισσότερο αισθητές.

Οι José Antonio Sobrino και Itziar Irakulis στη δημοσίευσή τους με τίτλο “A Methodology for Comparing the Surface Urban Heat Island in Selected Urban Agglomerations Around the World from Sentinel – 3 SLSTR Data”, αναφέρουν ότι οι περισσότερες μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί μέχρι σήμερα, επικεντρώνονται σε μια πόλη ή αστική περιοχή (urban agglomeration) και ότι ο ορισμός των αγροτικών και των αστικών περιοχών προσαρμόζεται σε κάθε μελέτη, κάτι που περιπλέκει την σύγκριση μεταξύ πόλεων σε διαφορετικά μέρη του κόσμου (Sobrino and Irakulis, 2020).

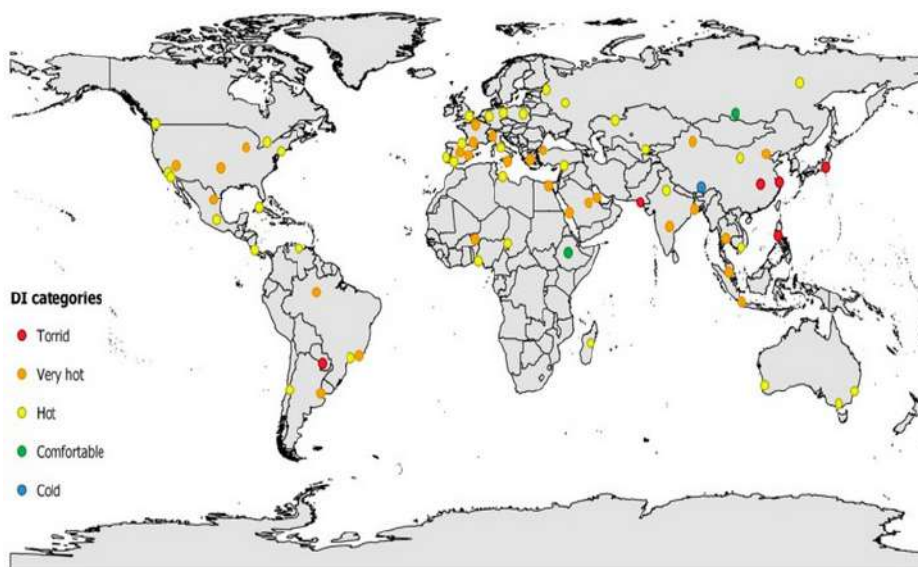
Οι ερευνητές χρησιμοποιώντας δεδομένα για την θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους (Land Surface Temperature – LST) από τον Sentinel – 3A, υπολόγισαν και σύγκριναν την Αστική Θερμική Νησίδα Επιφανείας (Surface Urban Heat Island – SUHI) για 71 αστικές περιοχές στον κόσμο. Επιπλέον, υπολόγισαν και δύο δείκτες, τον Urban Thermal Field Variance Index (UTFVI), ο οποίος ποσοτικοποιεί την Αστική Θερμική Νησίδα Επιφανείας σε επίπεδο περιφέρειας και τον Discomfort Index (DI), ο οποίος υπολογίζει την επίπτωση της θερμοκρασίας στην ανθρώπινη υγεία (Sobrino and Irakulis, 2020).

Ειδικότερα, για την μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν τρεις περιοχές με τις οποίες συγκρίθηκαν οι θερμοκρασίες των αστικών περιοχών, η γειτονική αστική (urban adjacent – Su), η μελλοντική γειτονική (future adjacent – Sf) και η περι - αστική (peri – urban – Sp). Υπολογίστηκαν τα $SUHI_{MAX}$ και $SUHI_{MEAN}$, δηλαδή η μέγιστη και η μέση Αστική Θερμική Νησίδα Επιφανείας. Τα αποτελέσματα έδειξαν τιμές $SUHI_{MEAN}$ (1.8 ± 0.9) °C, (2.6 ± 1.3) °C και (3.1 ± 1.7) °C για τα Su, Sf, και Sp αντίστοιχα και μια διαφορά ανάμεσα στα $SUHI_{MAX}$ και $SUHI_{MEAN}$ κατά (3.1 ± 1.1) °C κατά μέσο όρο (Sobrino and Irakulis, 2020).

Τα αποτελέσματα των δεικτών φαίνονται στους παρακάτω χάρτες:



Εικόνα 40: Χάρτης με τις μέγιστες τιμές του UTFVI Πηγή: MDPI



Εικόνα 41: Χάρτης με τις μέγιστες τιμές του DI Πηγή: MDPI

Ο David Hidalgo García στην δημοσίευση του με τίτλο “Analysis of Urban Heat Island and Heat Waves Using Sentinel-3 Images: a Study of Andalusian Cities in Spain”, αναφέρεται στην μελέτη της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους (LST) και της Αστικής Θερμικής Νησίδας Επιφανείας (SUHI), με χρήση δορυφορικών εικόνων από τους Sentinel – 3A και Sentinel – 3B, για οκτώ πρωτεύουσες της Ανδαλουσίας (νότια Ισπανία). Η έρευνα αφορά τους μήνες Ιούλιο και Αύγουστο του 2019 και του 2020, όπου εκδηλώθηκαν πέντε κύματα καύσωνα.

Ο σκοπός ήταν να προσδιοριστούν πιθανές συνέργειες ή αλληλεπίδραση μεταξύ των LST και SUHI, αλλά και μεταξύ του SUHI και των κυμάτων καύσωνα, σε μια περιοχή που θεωρείται ιδιαίτερα ευάλωτη στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (García, 2022).

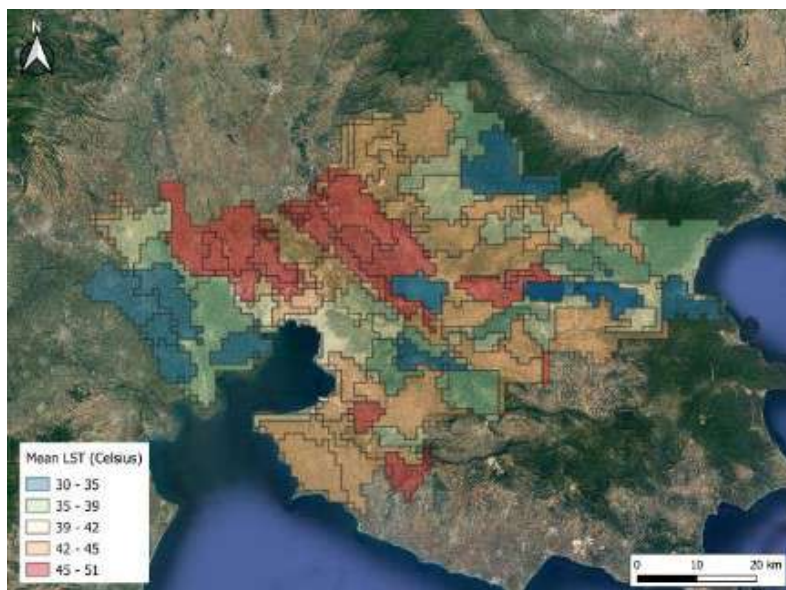
Όπως αναφέρεται στην δημοσίευση, τα κύματα καύσωνα γίνονται εντονότερα, διαρκούν περισσότερο και εμφανίζονται συχνότερα, ενώ αναμένεται ότι μέχρι το τέλος του 21^{ου} αιώνα θα επηρεάζουν μεγαλύτερες εκτάσεις γης. Ακόμη, αναφέρεται ότι η χωροχρονική μεταβλητότητα (space – time variability) του SUHI σε πόλεις που βρίσκονται υπό συνθήκες καύσωνα είναι σε μεγάλο βαθμό άγνωστη και λίγες μελέτες έχουν επικεντρωθεί σε πόλεις της Μεσογείου. Δεδομένα από πρόσφατες εκτιμήσεις, αναφέρουν ότι η μέση θερμοκρασία του αέρα θα είναι 1 – 3 °C υψηλότερη στο άμεσο μέλλον (συγκριτικά με την περίοδο 1961 – 1990), 3 – 5 °C υψηλότερη μέχρι τα μέσα του αιώνα (2040 – 2069) και περίπου 3,5 – 7 °C υψηλότερη μέχρι τα τέλη του αιώνα (2070 – 2100). Οι τιμές για την λεκάνη της Μεσογείου μπορεί να είναι ακόμη υψηλότερες (García, 2022).

Τα παραπάνω δεδομένα, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η θερμοκρασία στην περιοχή της Μεσογείου αυξάνεται με ταχύτερο ρυθμό από ότι σε άλλα μέρη του κόσμου, κάνουν εντονότερη την ανάγκη για περισσότερες και πιο λεπτομερείς ερευνητικές προσπάθειες. Στην συγκεκριμένη έρευνα, για κάθε πόλη της Ανδαλουσίας λήφθηκαν δεδομένα για την θερμοκρασία περιβάλλοντος, την ηλιακή ακτινοβολία και την ταχύτητα και την κατεύθυνση του ανέμου από την Ισπανική Κρατική Μετεωρολογική Υπηρεσία (Spanish State Meteorological Agency – AEMET). Τα δεδομένα ποσοτικοποιήθηκαν και ταξινομήθηκαν τόσο για περιόδους κανονικών συνθηκών όσο και κατά την διάρκεια των κυμάτων καύσωνα (García, 2022).

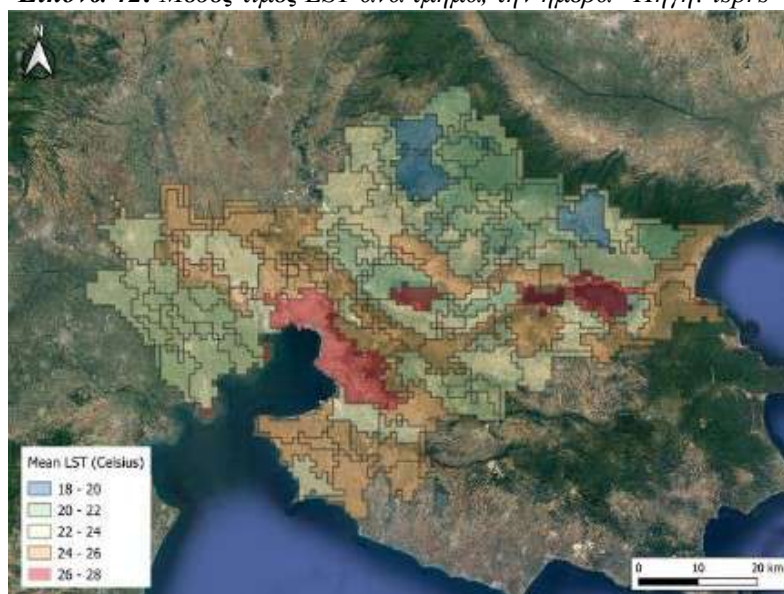
Σύμφωνα με τα αποτελέσματα που λήφθηκαν τα LST και SUHI αλληλεπιδρούν και εντείνονται σε περιόδους καύσωνα. Οι μεγαλύτερες αυξήσεις στην θερμοκρασία κατά την διάρκεια της ημέρας παρατηρήθηκαν για τον Sentinel – 3A σε παράκτιες πόλεις (LST = 3.90 °C, SUHI = 1.44 °C) και για τον Sentinel – 3B σε πόλεις της ενδοχώρας (LST = 2.85 °C, SUHI = 0.52 °C). Επίσης παρατηρήθηκε μια αύξηση στην αστική περιοχή που επηρεάζεται από το SUHI υπό συνθήκες καύσωνα (García, 2022).

Οι Kotaridis και Lazaridou, χρησιμοποίησαν δεδομένα από τον Sentinel – 3 για να μελετήσουν το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην περιφερειακή ενότητα της Θεσσαλονίκης. Ειδικότερα, προσδιόρισαν την θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους (LST) κατά την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας, στις 12/8/2019, προκειμένου να αναδειχθεί η διαφοροποίηση μεταξύ των δύο. Ακόμη, εξέτασαν τη συσχέτιση μεταξύ του δείκτη βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) και του LST, για να κατανοηθεί το πώς η εδαφική κάλυψη επηρεάζει την θερμοκρασία (Kotaridis and Lazaridou, 2021).

Τα αποτελέσματα δημοσιεύτηκαν στο “Segmentation on Sentinel-3 data for surface heat island detection” και μπορούν να παρατηρηθούν στους παρακάτω χάρτες.



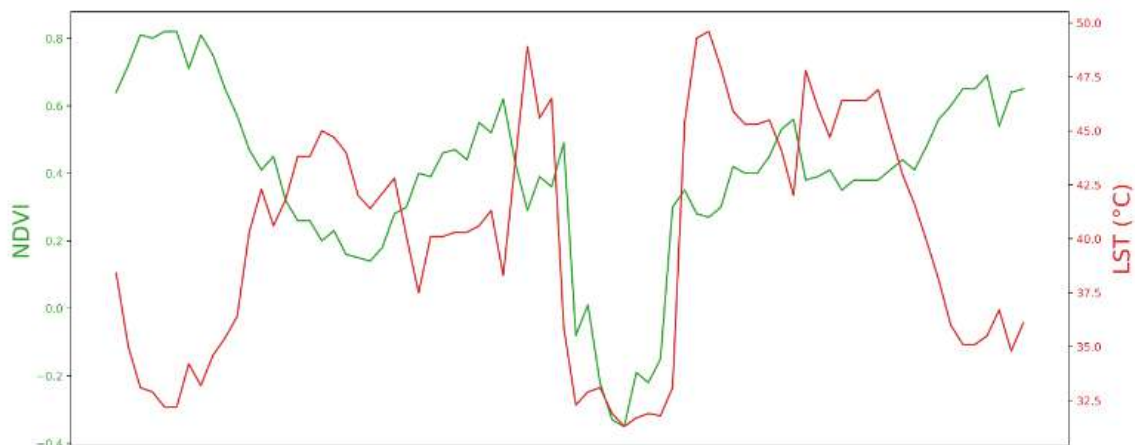
Εικόνα 42: Μέσες τιμές LST ανά τμήμα, την ημέρα Πηγή: isprs



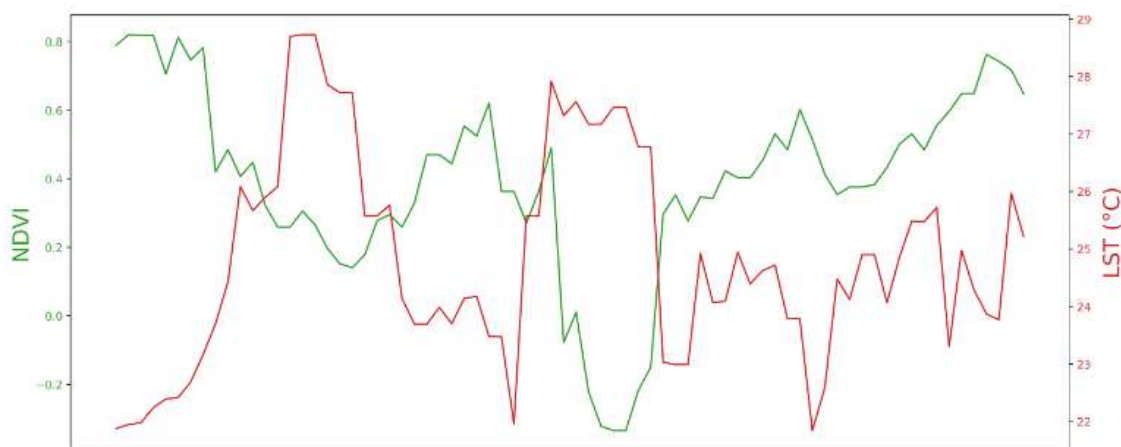
Εικόνα 43: Μέσες τιμές LST ανά τμήμα, την νύχτα Πηγή: isprs

Στον χάρτη με τις τιμές LST της βραδινής παρακολούθησης μπορεί να παρατηρηθεί πιο καθαρά το φαινόμενο της ΑΘΝ. Οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στην αστική περιοχή αλλά και στις λίμνες (Κορώνεια και Βόλβη), που περιλαμβάνονται στην περιοχή μελέτης. Το γεγονός ότι αυτά τα τμήματα νερού εμφανίζουν υψηλές θερμοκρασίες, σχετίζεται με το ότι η επιφάνεια του νερού ψύχεται με χαμηλότερο ρυθμό από ότι η επιφάνεια του εδάφους.

Επιπλέον, η κατανόηση του τρόπου που διαφορετικοί τύποι κάλυψης γης επηρεάζουν τις τιμές του LST, είναι πολύ σημαντική για τον εντοπισμό των μηχανισμών που σχετίζονται με την εμφάνιση της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Στα διαγράμματα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της συσχέτισης μεταξύ του NDVI και του LST κατά την διάρκεια της ημέρας και της νύχτας (Kotaridis and Lazaridou, 2021).



Εικόνα 44: Συσχέτιση NDVI - LST, την ημέρα. Πηγή: isprs



Εικόνα 45: Συσχέτιση NDVI - LST, την νύχτα. Πηγή: isprs

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΛΕΤΗ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΝΗΣΙΔΑΣ ΣΤΗΝ ΑΤΤΙΚΗ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

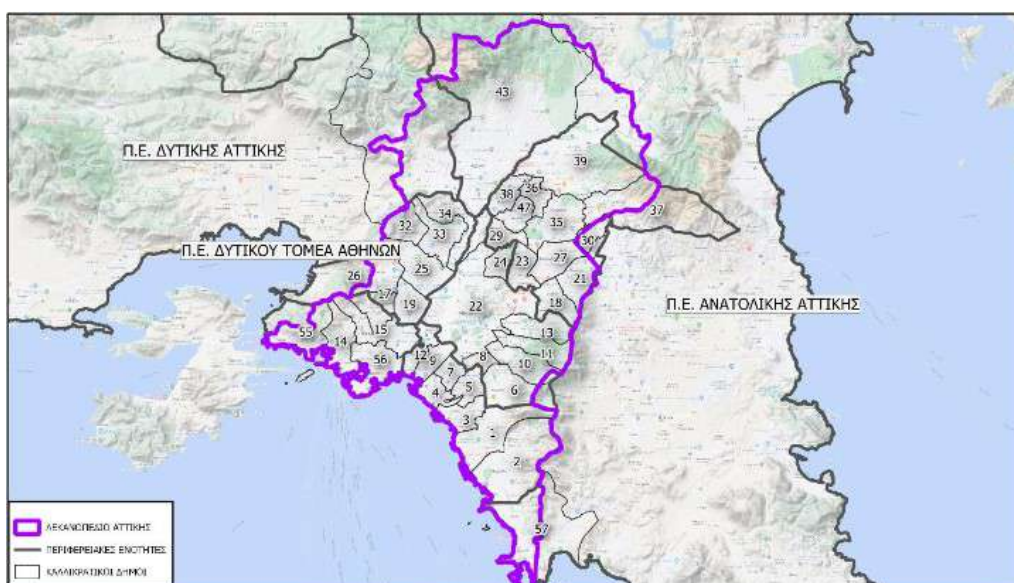
2.1. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης είναι το Λεκανοπέδιο της Αττικής. Αποτελεί την γεωγραφική περιοχή με την μεγαλύτερη αστική ανάπτυξη στην Ελλάδα και μια από τις κυριότερες της ανατολικής Μεσογείου. Έχει έκταση περίπου 532,18 km² και περιλαμβάνει την Περιφερειακή Ενότητα (ΠΕ) Νότιου Τομέα Αθηνών και τμήματα των ΠΕ Ανατολικής και Δυτικής Αττικής και των ΠΕ Βόρειου, Δυτικού και Κεντρικού Τομέα Αθηνών και Πειραιώς. Εντός της περιοχής βρίσκονται οι παρακάτω δήμοι εξ ολοκλήρου ή τμήματα τους:

Πίνακας 4: Οι δήμοι του Λεκανοπεδίου Αττικής

Δήμοι	
Αγ. Αναργύρων – Καματερού	Κερατσινίου – Δραπετσώνας
Αγ. Παρασκευής	Κηφισιάς
Αγίου Δημητρίου	Κορυδαλλού
Αθηναίων	Λυκόβρυσης – Πεύκης
Αιγάλεω	Μεταμορφώσεως
Αλίμου	Μοσχάτου – Ταύρου
Αμαρουσίου	Νέας Ιωνίας
Αχαρνών	Νέας Σμύρνης
Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης	Νίκαιας – Άγιου Ιωάννη Ρέντη
Βριλησίων	Παλαιού Φαλήρου
Βύρωνος	Παπάγου – Χολαργού
Γαλασίου	Πειραιώς
Γλυφάδας	Πεντέλης
Δάφνης – Ύμηττού	Περάματος
Διονύσου	Περιστερίου
Ελληνικού – Αργυρούπολης	Πετρούπολεως
Ζωγράφου	Φιλαδέλφειας – Χαλκηδόνος
Ηλιούπολεως	Φιλοθέης – Ψυχικού
Ηρακλείου	Φυλής
Ιλίου	Χαϊδαρίου
Καισαριανής	Χαλανδρίου
Καλλιθέας	Ωρωπού

Η ζώνη του Λεκανοπεδίου της Αττικής περιβάλλεται από πέντε ορεινούς όγκους, τον Ύμηττό στα νότια και ανατολικά, την Πεντέλη στα βόρεια και ανατολικά, την Πάρνηθα στα βορειοδυτικά και το όρος Αιγάλεω και το Ποικίλο όρος στα νοτιοδυτικά. Μεταξύ αυτών των ορεινών όγκων βρίσκεται η πεδιάδα των Αθηνών. Νότιο όριο του Λεκανοπεδίου είναι η ακτογραμμή του Σαρωνικού (Γιαννιού και Αυγουστιανός, 2023, EASTMEDITERRANEAN, 2016).



Εικόνα 46: Το Λεκανοπέδιο Αττικής Πηγή: Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών

Επιπλέον, η βλάστηση εντοπίζεται κυρίως στα πέντε όρη που αναφέρθηκαν, ενώ εντός του Λεκανοπεδίου υπάρχουν λόφοι και άλση. Πιο συγκεκριμένα, στην περιοχή επικρατούν εκτάσεις με μηδενική βλάστηση, εκτάσεις με πυκνή βλάστηση σε ποσοστό 16%, με μεσαία βλάστηση σε ποσοστό 12%, με χαμηλή βλάστηση σε ποσοστό 5,3% και με αραιή βλάστηση σε ποσοστό 0,2%. Οι χρήσεις γης κατά CORINE 2018, διακρίνονται σε τεχνητές επιφάνειες (συνεχής και ασυνεχής ιστός, βιομηχανικές- εμπορικές ζώνες, οδικά δίκτυα, κ.ά.) σε ποσοστό 68.4%, σε δάση και ημιφυσικές περιοχές σε ποσοστό 27.7% και σε γεωργικές περιοχές σε ποσοστό 3.9% (Γιαννιού και Αυγουστιανός, 2023).



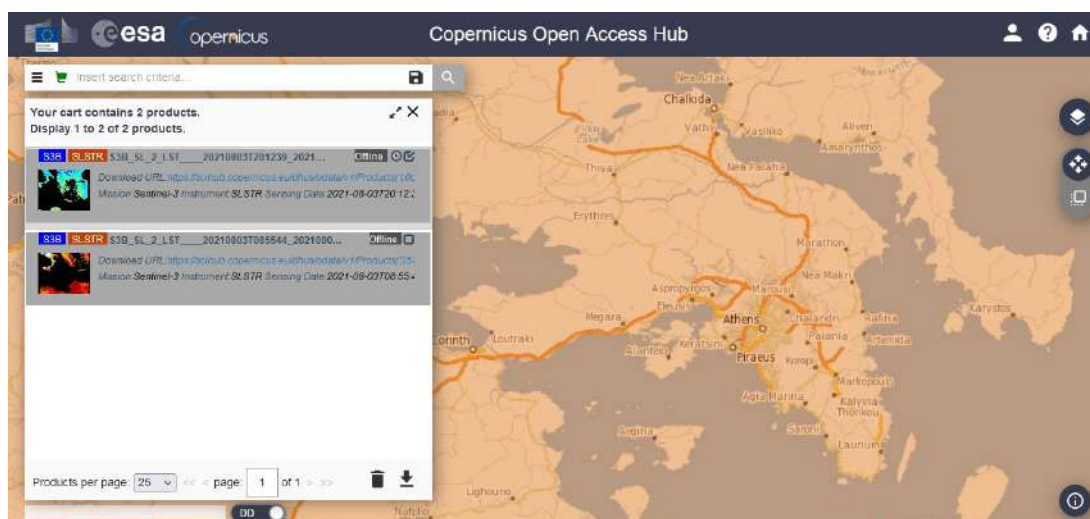
Εικόνα 47: Η βλάστηση του Λεκανοπεδίου Αττικής Πηγή: Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών

Τέλος, το κλίμα του Λεκανοπεδίου χαρακτηρίζεται μεσογειακό, δηλαδή περιλαμβάνει ήπιους βροχερούς χειμώνες και θερμά ξηρά καλοκαίρια. Η μέση ετήσια θερμοκρασία, κυμαίνεται ανάλογα με το υψόμετρο και την απόσταση από την θάλασσα, από 16 °C έως 18 °C. Ενώ, το μέσο ετήσιο ύψος βροχής, κυμαίνεται από 350 mm έως 1000 mm (στα ορεινά), με τις ετήσιες ημέρες βροχής να είναι 50 με 100 (Κολιώτσης, 2017).

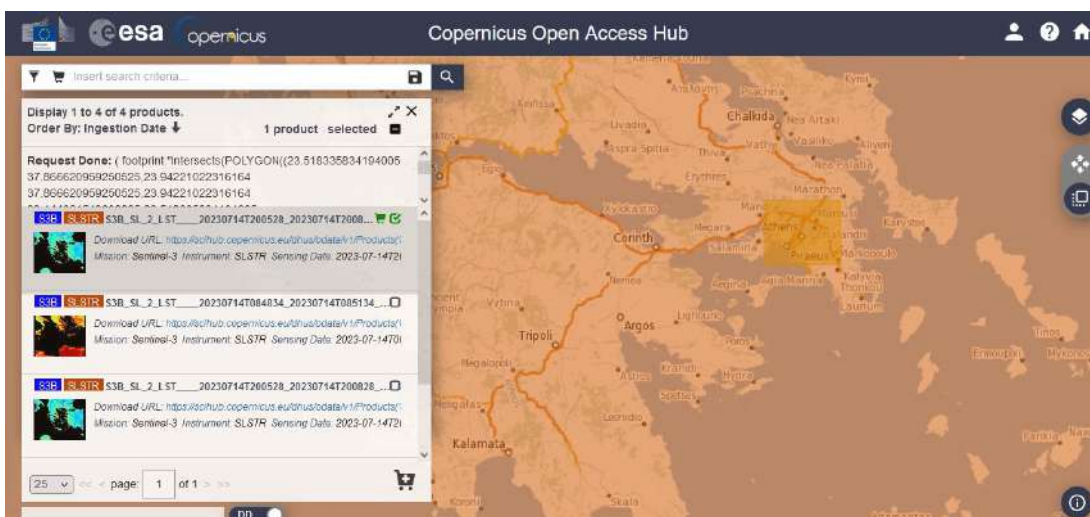
2.2. ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

2.2.1. ΥΛΙΚΑ

Για την μελέτη περίπτωσης της Αστικής Θερμικής Νησίδας στο Λεκανοπέδιο της Αττικής, χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες του αισθητήρα SLSTR του Sentinel – 3, ο οποίος δίνει πληροφορίες για την θερμοκρασία του εδάφους στην περιοχή μελέτης. Επομένως, στην συνέχεια, οι αναφορές στην Αστική Θερμική Νησίδα θα αφορούν στην Αστική Θερμική Νησίδα Επιφανείας. Οι δορυφορικές εικόνες λήφθηκαν από το Copernicus Open Access Hub. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν εικόνες στις 3/8/2021 και στις 14/7/2023, ημερομηνίες που αφορούν τα κύματα καύσωνα που έπληξαν την Ελλάδα τις χρονιές αυτές.



Εικόνα 48: Λήψη εικόνας για τις 3/8/2021

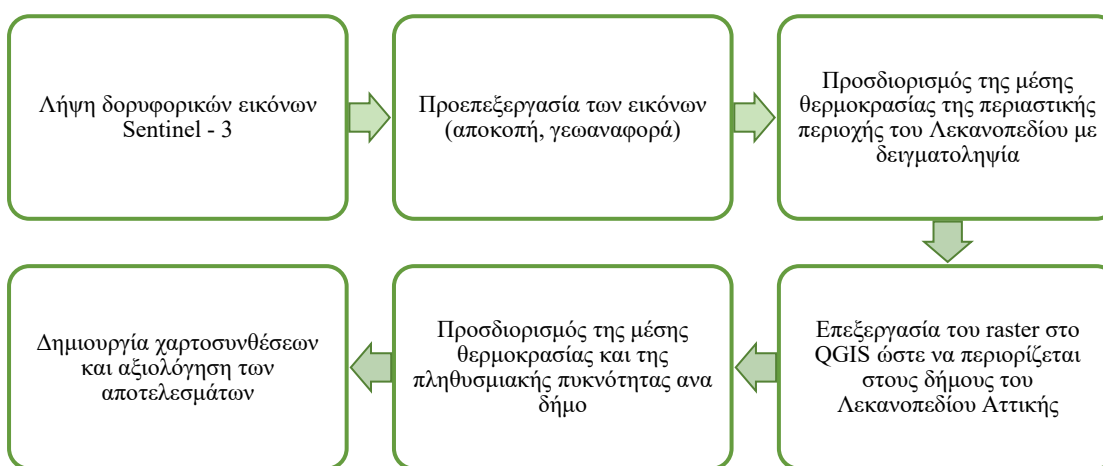


Εικόνα 49: Λήψη εικόνας για τις 14/7/2023

Η επεξεργασία των εικόνων πραγματοποιήθηκε με το πρόγραμμα SNAP. Τέλος, δημιουργήθηκαν χάρτες με την χρήση του προγράμματος QGIS, που απεικονίζουν την Αστική Θερμική Νησίδα στην περιοχή μελέτης και περιλαμβάνουν τα όρια των δημοτικών διαμερισμάτων και την πυκνότητα του πληθυσμού.

2.2.2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

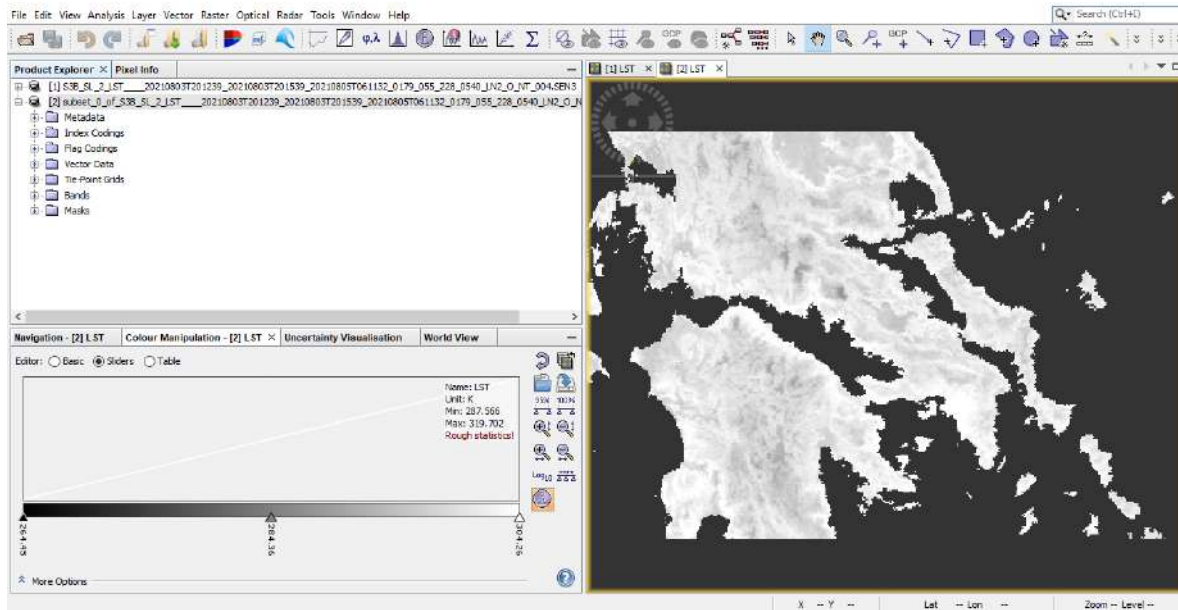
Για την χαρτογράφηση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας με δεδομένα Sentinel – 3, στο Λεκανοπέδιο Αττικής, ακολουθήθηκε η μεθοδολογία της υπηρεσίας RUS Copernicus, η οποία παρουσιάζεται συνοπτικά στο παρακάτω διάγραμμα ροής.



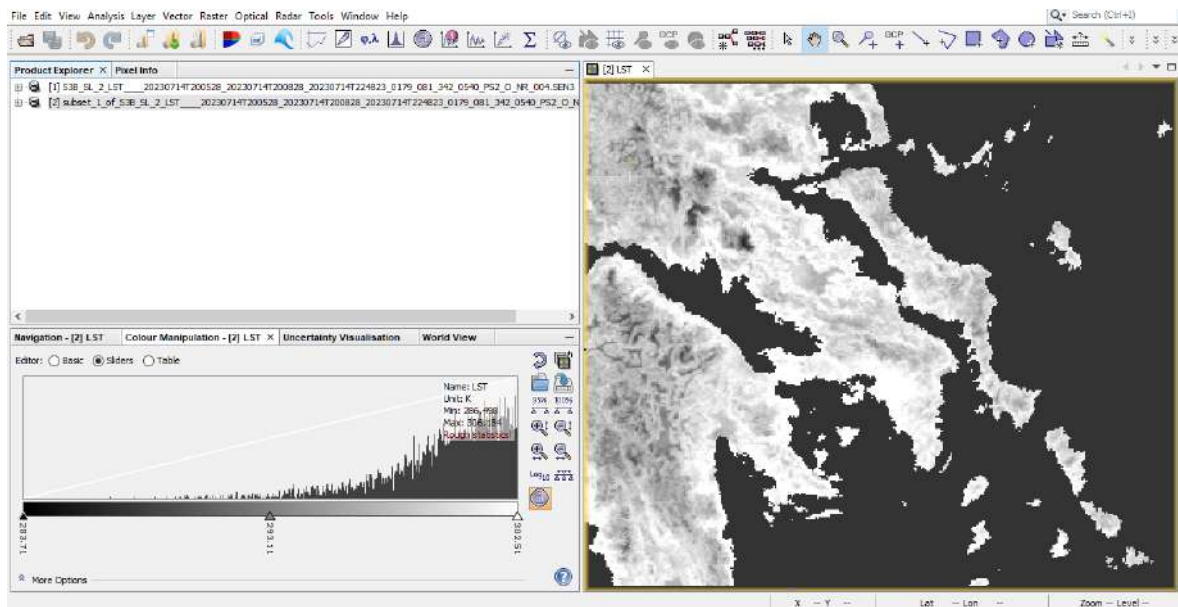
Αρχικά, έγινε λήψη των δορυφορικών εικόνων μέσω του Copernicus Open Access Hub για το χρονικό διάστημα που εξετάζεται. Στην συγκεκριμένη περίπτωση επιλέχθηκαν δύο ημερομηνίες. Η πρώτη, αφορά το κύμα καύσωνα που έπληξε την Ελλάδα την περίοδο 28/7/2021 – 5/8/2021, σύμφωνα με τα δεδομένα της Εθνικής Μετεωρολογικής Υπηρεσίας. Ειδικότερα, επιλέχθηκε εικόνα στις 3/8/2021 και ώρα Ελλάδος 23:12:38 (20:12:38 UTC), καθώς εκείνη την ημέρα παρατηρήθηκε η υψηλότερη θερμοκρασία στους μετεωρολογικούς σταθμούς της Αττικής (Τατόι: 42.6 °C, Ελληνικό: 43.0 °C, Ελευσίνα: 44.8 °C). Ακόμη, επιλέχθηκε βραδινή λήψη, καθώς το φαινόμενο μπορεί να διακριθεί καλύτερα κατά την διάρκεια της νύχτας. Η δεύτερη ημερομηνία, αφορά το κύμα καύσωνα που παρουσιάστηκε το διάστημα 12/7/2023 – 26/7/2023. Λήφθηκε εικόνα στις 14/7/2023, όπου υπήρξε η πρώτη κορύφωση του φαινομένου (θερμοκρασία στον σταθμό Τατόι: 42.4 °C) και ώρα Ελλάδος 23:05:28 (20:05:28 UTC).

Είναι σημαντικό να αναφερθεί, ότι για την Ελλάδα ένα κύμα καύσωνα προϋποθέτει την καταγραφή θερμοκρασιών μεγαλύτερων ή ίσων με τους 39 °C σε μια ευρεία περιοχή, για τουλάχιστον 3 ημέρες. Επίσης, θα πρέπει να παρατηρούνται και υψηλές ελάχιστες θερμοκρασίες (26 – 30 °C) (Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία).

Στην συνέχεια, έγινε επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων στο πρόγραμμα SNAP. Αρχικά, πραγματοποιήθηκαν Spatial Subset και Band Subset για την μείωση του μεγέθους και του αριθμού των καναλιών των δορυφορικών εικόνων.

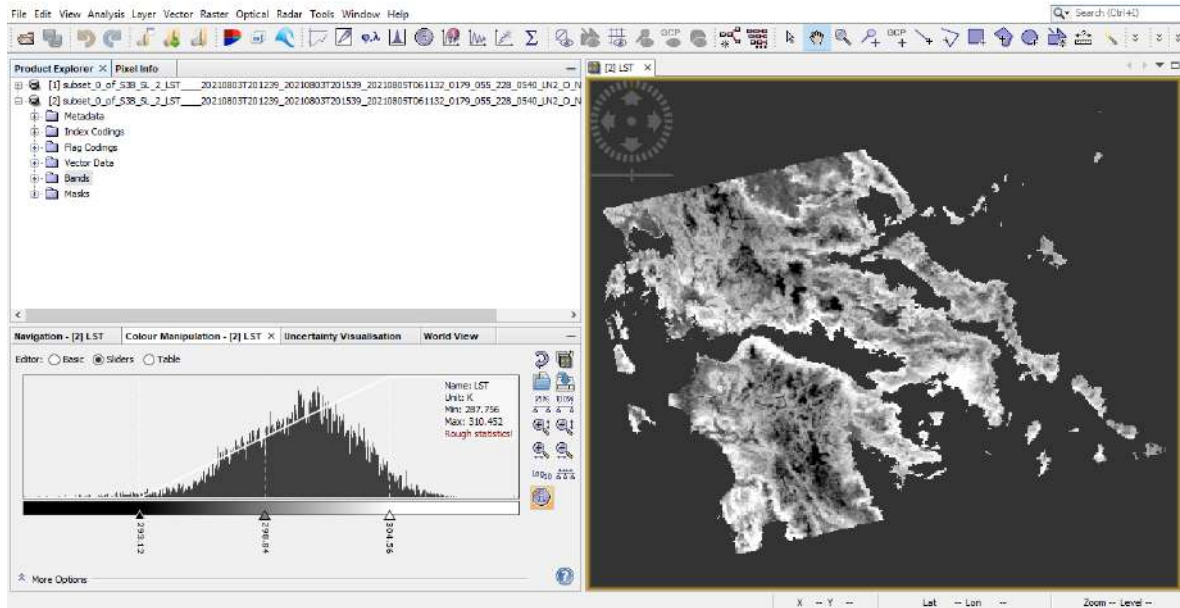


Εικόνα 50: Spatial & Band Subset 3/8/2021

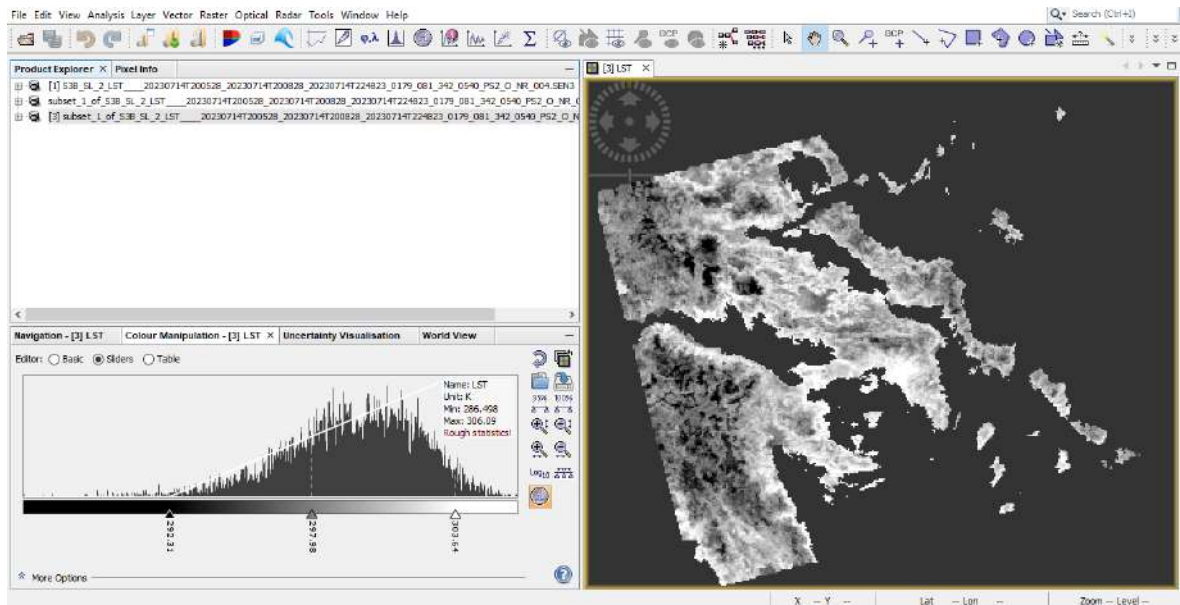


Εικόνα 51: Spatial & Band Subset 14/7/2023

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε Reprojection στο κατάλληλο προβολικό σύστημα. Στην συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκε το UTM/WGS 84 (Automatic).

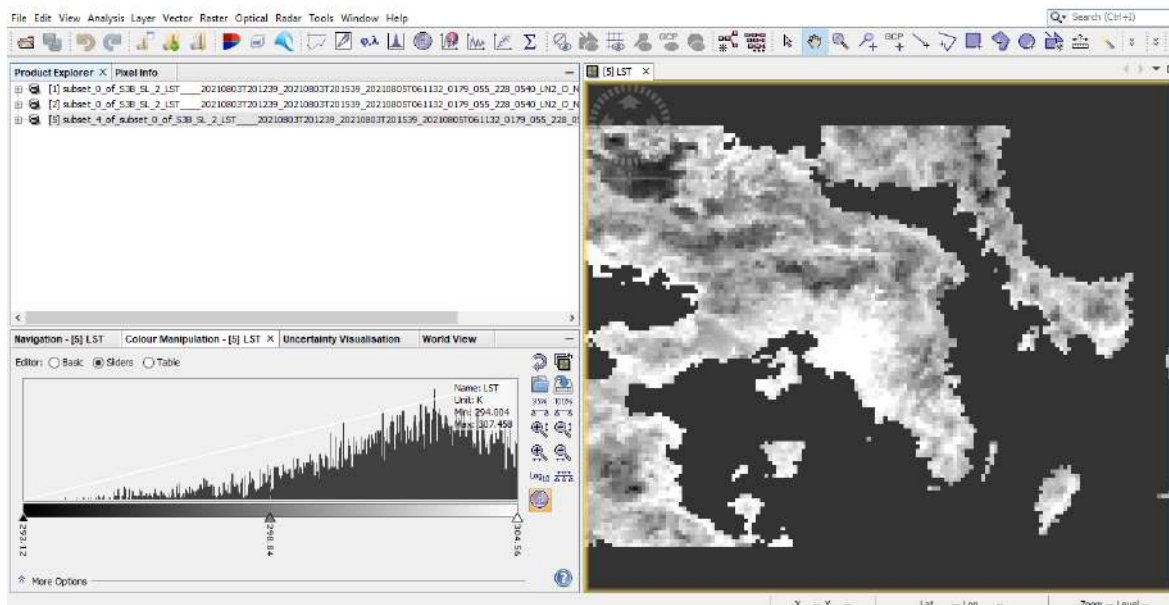


Εικόνα 52: Reprojection 3/8/2021

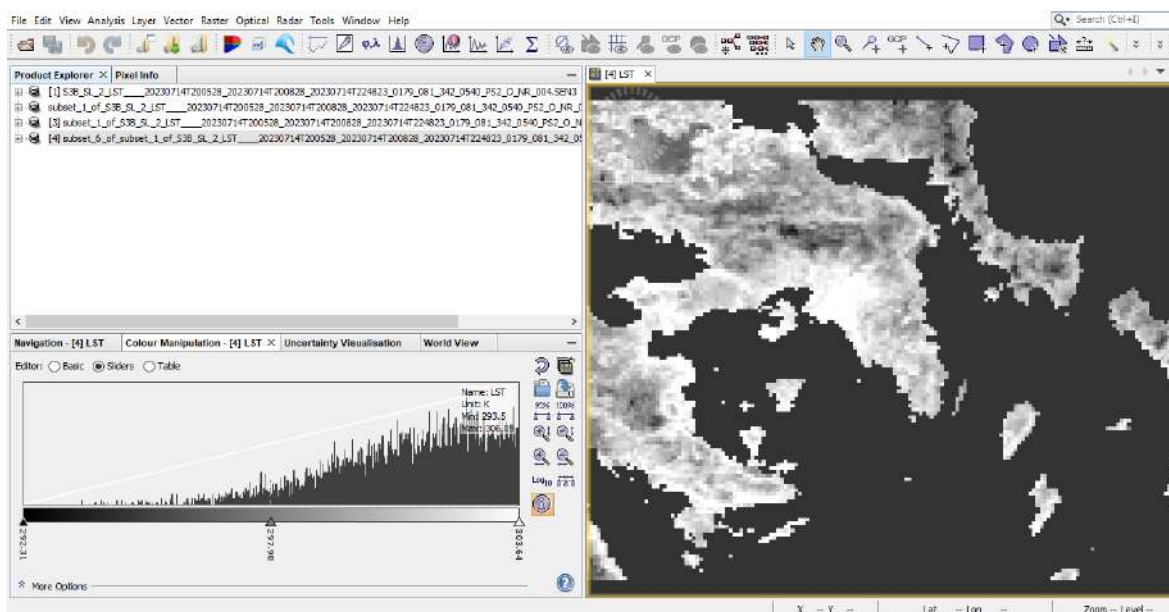


Εικόνα 53: Reprojection 14/7/2023

Μετά, πραγματοποιήθηκε Spatial Subset, έτσι ώστε οι εικόνες να αποκτήσουν το τελικό τους μέγεθος. Σε αυτή την περίπτωση, οι εικόνες επικεντρώνονται στην ευρύτερη περιοχή της Αττικής.

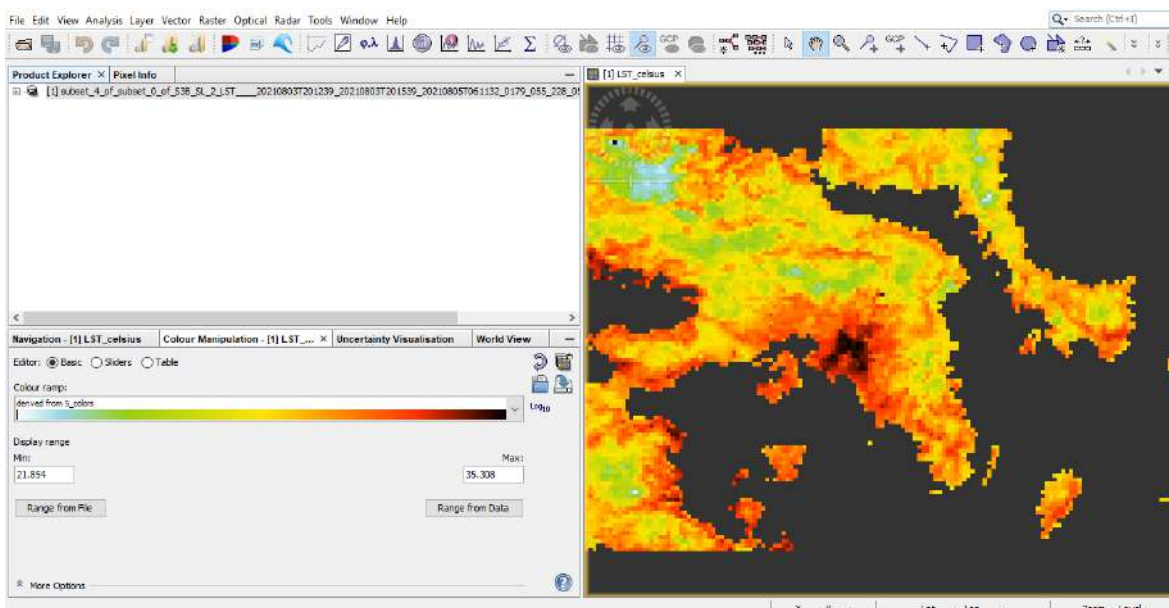


Εικόνα 54: Spatial Subset 3/8/2021

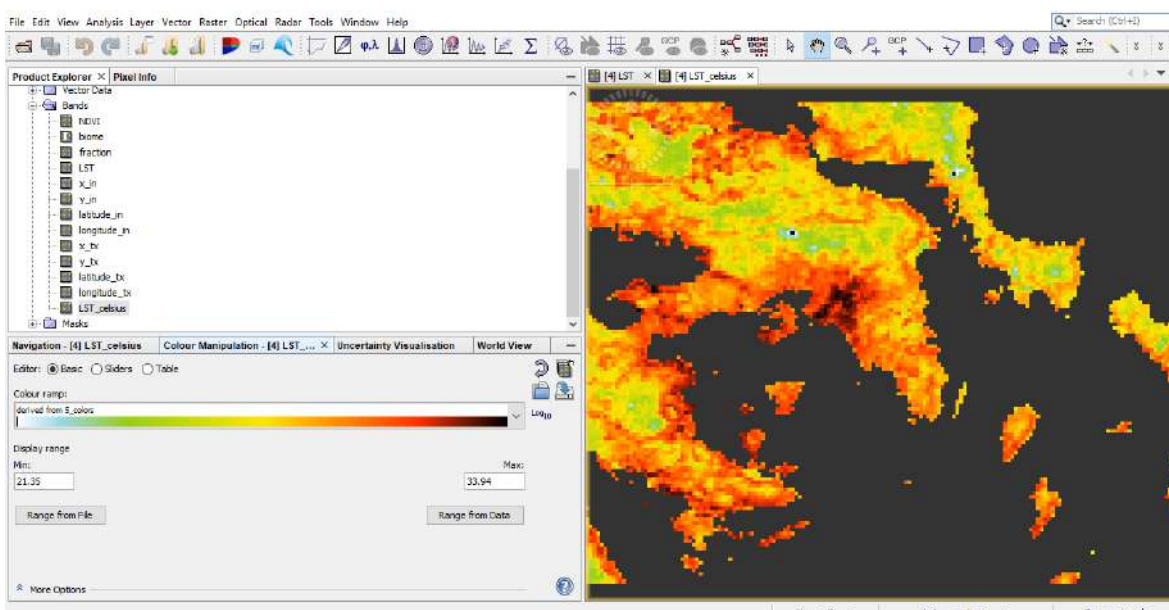


Εικόνα 55: Spatial Subset 14/7/2023

Ακολούθησε η δημιουργία ενός νέου band, του LST_celsius, στο οποίο η θερμοκρασία του εδάφους μετράται σε βαθμούς Κελσίου αντί για Kelvin, με την χρήση των εργαλείων Statistics και Band Maths του SNAP. Στην συνέχεια, έγινε αλλαγή των χρωμάτων των εικόνων για την καλύτερη εξαγωγή της πληροφορίας. Ειδικότερα, εφαρμόστηκε το 5_colors ramp που χρησιμοποιείται για εφαρμογές θερμοκρασίας. Τέλος, έγινε αλλαγή των Min και Max τιμών της θερμοκρασίας, σε Min = 21,854 °C και Max = 35,308 °C για τις 3/8/2021 και Min = 21,35 °C και Max = 33,94 °C για τις 14/7/2023.

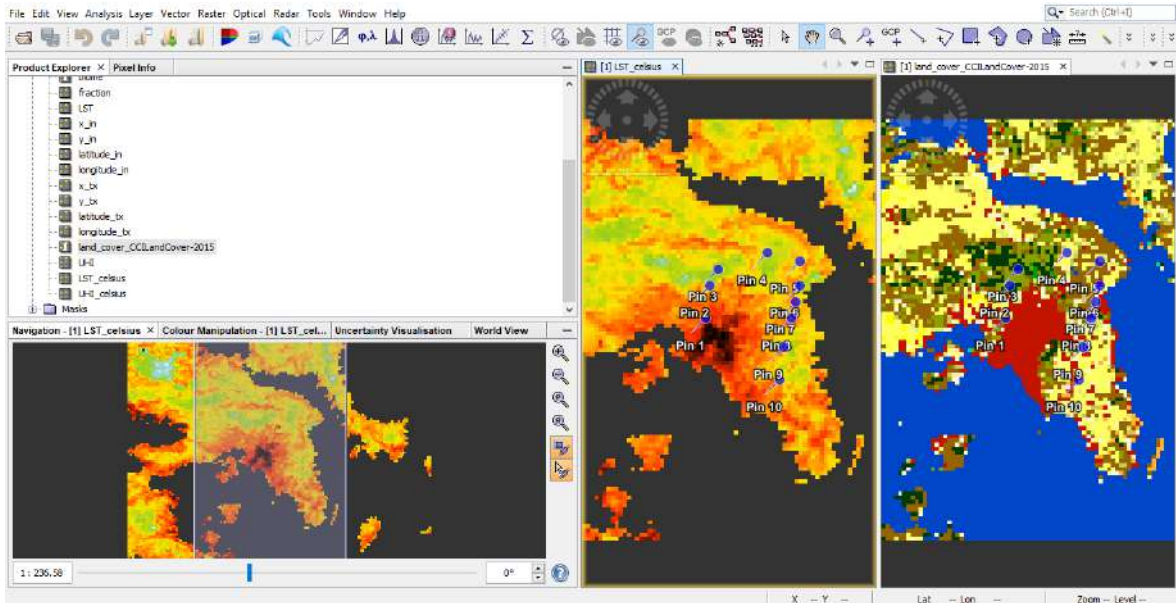


Εικόνα 56: LST_celsius 3/8/2021

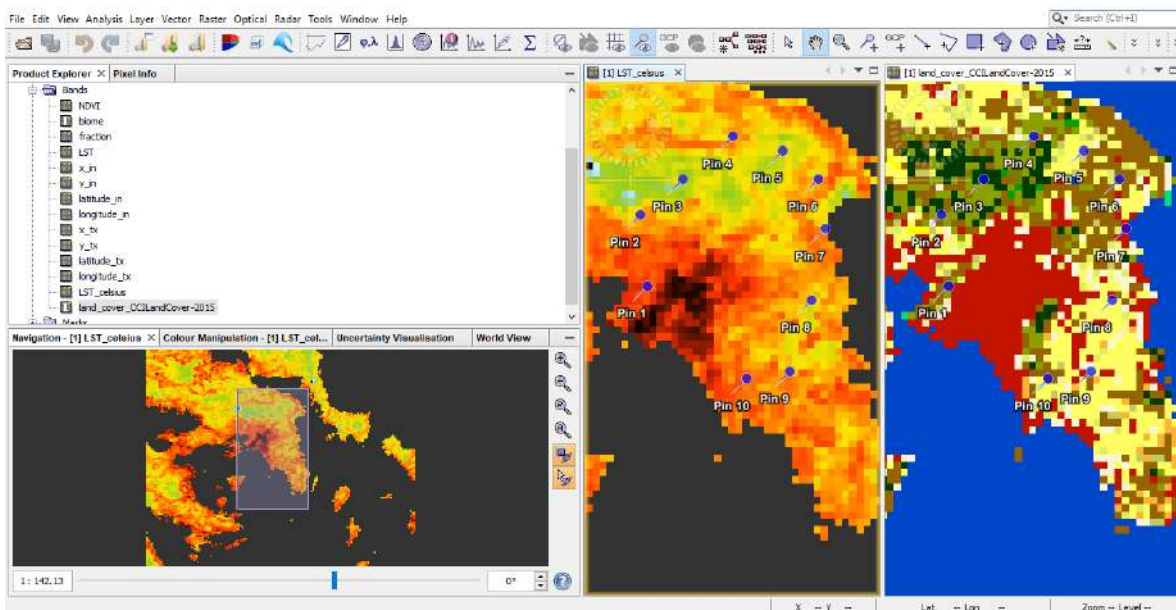


Εικόνα 57: LST_celsius 14/7/2023

Στην συνέχεια, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της μέσης θερμοκρασίας της περιστατικής περιοχής του Λεκανοπεδίου Αττικής, για την καλύτερη αναγνώριση της επίδρασης της αστικής περιοχής στην θερμοκρασία και την κατανόηση της δημιουργίας του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Για τον σκοπό αυτό, προσδιορίστηκαν αρχικά οι διαφορετικές χρήσεις/καλύψεις γης της περιοχής, με την προσθήκη του Land Cover Band CCILandCover – 2015. Τέλος, χρησιμοποιώντας το εργαλείο Pin, εξάχθηκε η μέση θερμοκρασία με βάση συγκεκριμένες τιμές pixel γύρω από την αστική περιοχή.

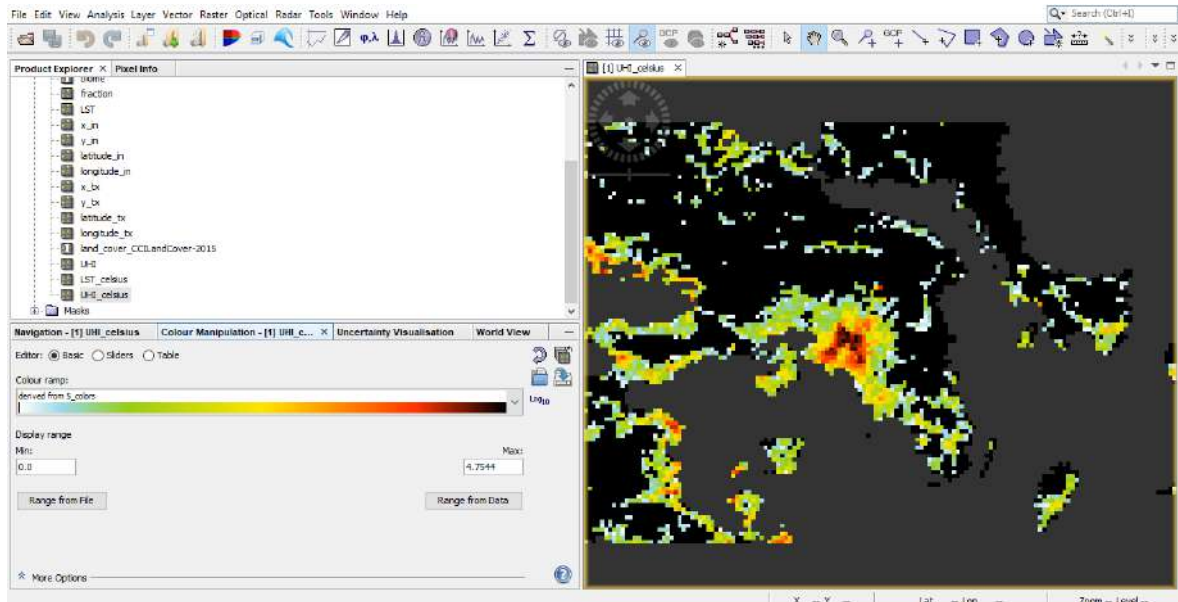


Εικόνα 58: Land Cover Band & pins 3/8/2021

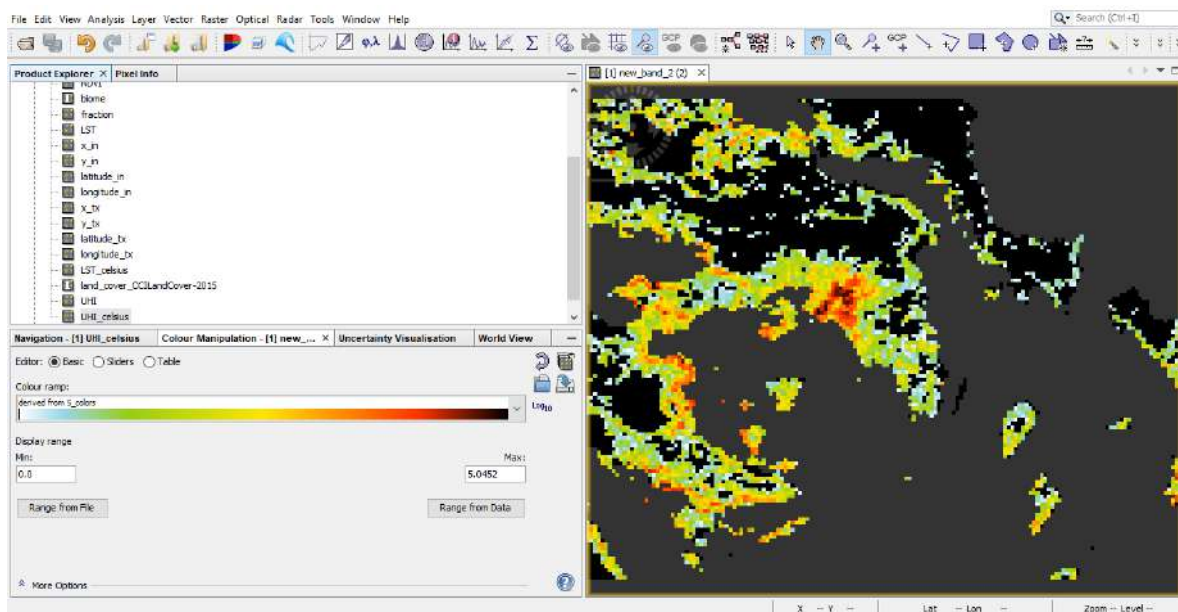


Εικόνα 59: Land Cover Band & pins 14/7/2023

Το επόμενο βήμα, ήταν ο προσδιορισμός της μέσης θερμοκρασίας των pixels στα οποία τοποθετήθηκαν τα pins και η αφαίρεση της τιμής αυτής από τις μετρήσεις του LST, με την χρήση των εργαλείων Statistics και Band Maths του SNAP. Ακόμη, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία του νέου band που δημιουργήθηκε, που ονομάζεται UHI_celsius, με το 5_colors ramp και τιμές Min = 0 και Max = 4,7544 για τις 3/8/2021 και Min = 0 και Max = 5,0452 για τις 14/7/2023. Τέλος, έγινε αποθήκευση του band UHI_celsius ως GeoTIFF για την ολοκλήρωση της επεξεργασίας στο QGIS.

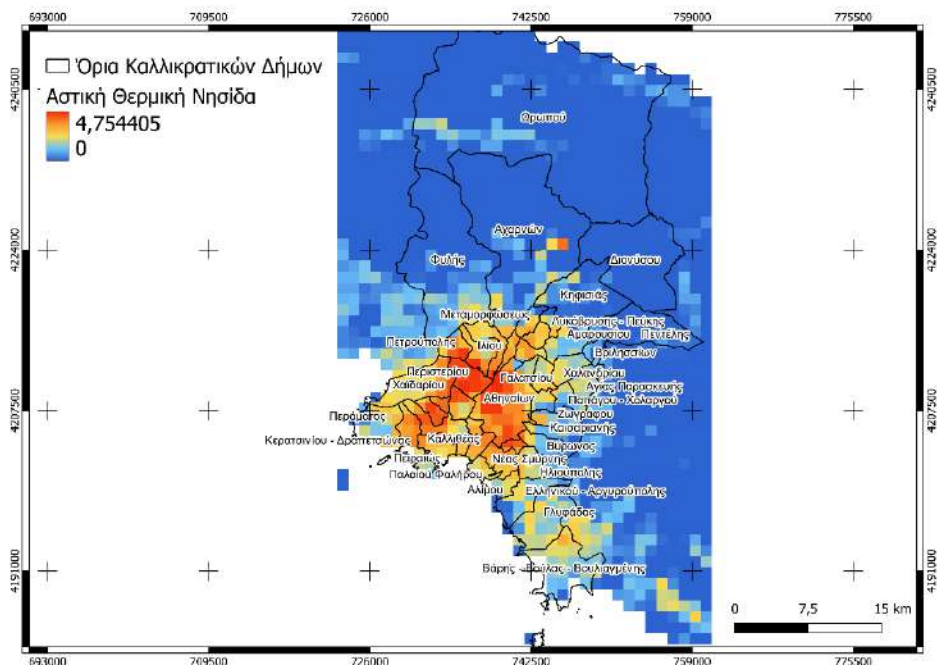


Εικόνα 60: UHI_celsius 3/8/2021

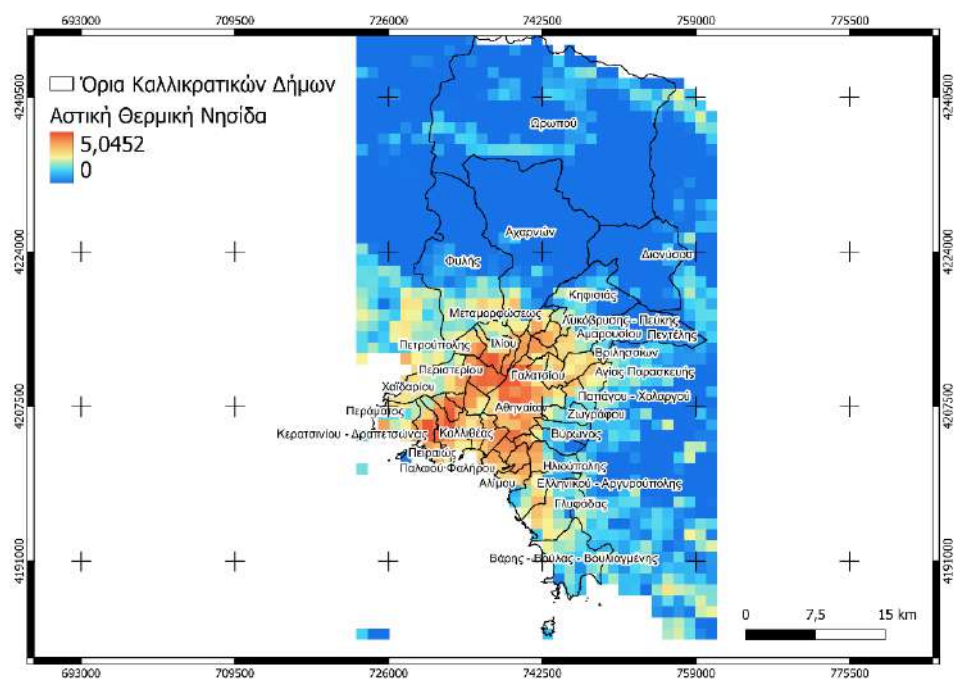


Εικόνα 61: UHI_celsius 14/7/2023

Στο QGIS, πραγματοποιήθηκε αρχικά περικοπή των raster χρησιμοποιώντας ως αναφορά τους καλλικρατικούς δήμους του Λεκανοπεδίου της Αττικής και ακολουθώντας τα βήματα Raster – Extraction – Clip Raster by Extent.

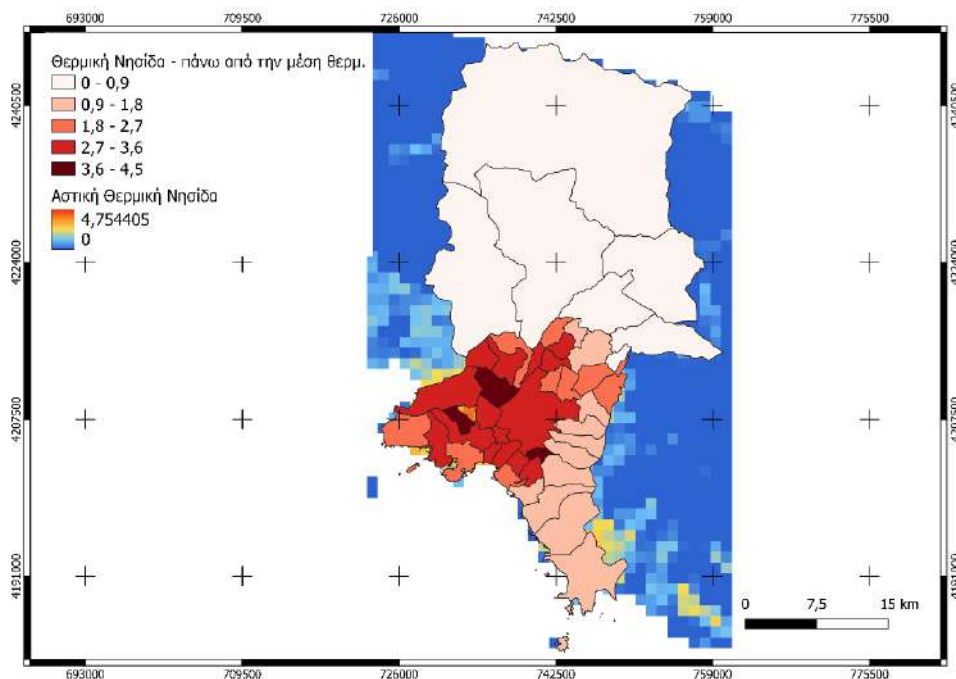


Εικόνα 62: Περικοπή raster 3/8/2021

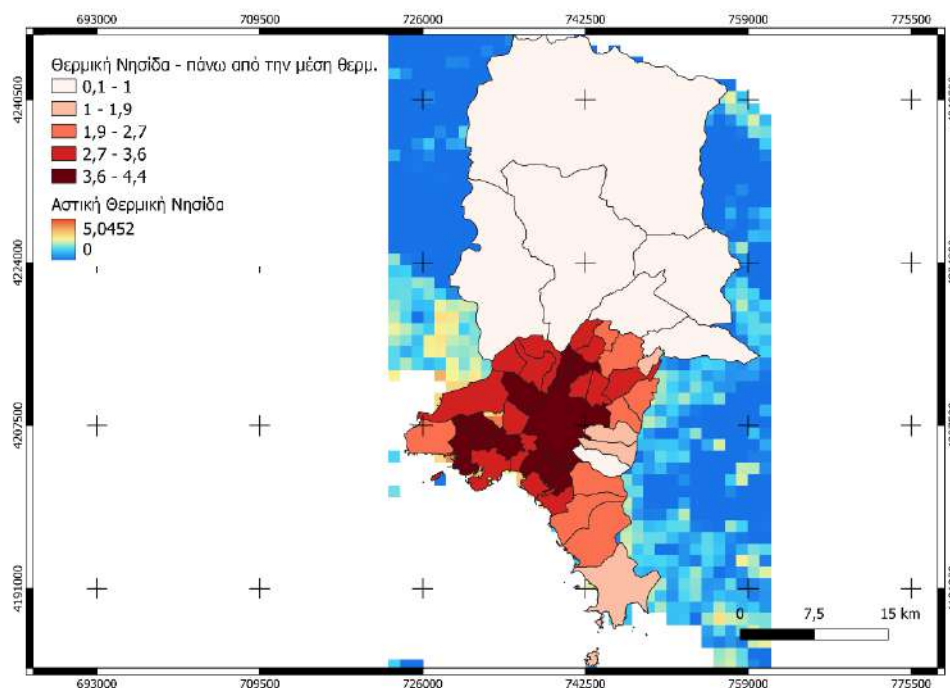


Εικόνα 63: Περικοπή raster 14/7/2023

Ακολούθησε προσδιορισμός της μέσης θερμοκρασίας ανά δήμο του λεκανοπεδίου Αττικής, λόγω του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Για τον σκοπό αυτό, έγινε συνδυασμός των πληροφοριών του raster με το shapefile των δήμων του λεκανοπεδίου, χρησιμοποιώντας το εργαλείο Zonal Statistics.



Εικόνα 64: Μέση θερμοκρασία 3/8/2021



Εικόνα 65: Μέση θερμοκρασία 14/7/2023

Έπειτα, πραγματοποιήθηκε προσδιορισμός της πυκνότητας του πληθυσμού ανά δήμο. Αρχικά έγινε υπολογισμός της έκτασης κάθε δήμου της περιοχής μελέτης σε km². Στην συνέχεια, υπολογίστηκε η πυκνότητα του πληθυσμού για κάθε δήμο. Τα πληθυσμιακά δεδομένα προέρχονται από την απογραφή πληθυσμού κατοικιών 2021 της ΕΛΣΤΑΤ.

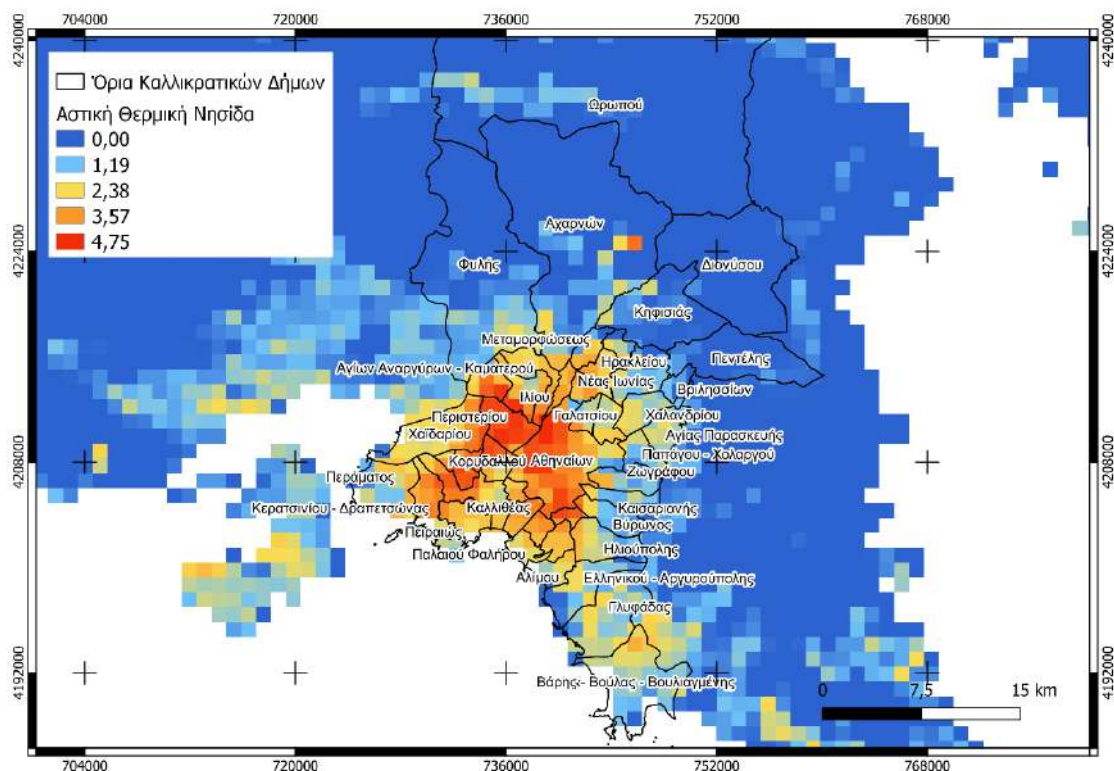
fid	NAME	KWD_YFES	POP	_mean	_min	_max	Area_km2	POP_density_km2
1	1 Θίσιο	9182	84004	3,275513013203...	1,910410881042...	4,698405265908...	9,27	9062
2	2 Αγίας Παρασκευ...	9167	82147	1,981999015808...	1,666392328354...	2,300395011901...	8,28	7506
3	3 Αγίου Δημητρίου	9194	71664	3,098399162292...	2,844401359558...	3,636393547058...	3,05	14191
4	4 Αγίων Αναργών...	9180	81482	2,679402987162...	1,664408683776...	3,740397453308...	9,14	6725
5	5 Αθηναικών	9186	643452	3,458055959429...	0,638409614562...	4,754405021667...	38,95	16520
6	6 Αιγάλεω	9181	65831	3,576065381368...	2,074412345888...	4,452403068542...	6,53	10081
7	7 Αίγινα	9195	43174	1,547900676727...	0,114392280578...	2,246409416198...	5,32	7293
8	8 Αμφοσσειού	9168	71830	1,232833385467...	0	2,464396476745...	13,02	5517
9	9 Αχαρνών	9215	108169	0,318829894065...	0	4,000407218933...	149,22	725
10	10 Βάρης - Βούλα...	9216	32546	1,614095020294...	0,040387153625...	3,174387931823...	34,17	1538
11	11 Βαθυσίων	9169	32417	0,662260033341...	0	1,192395210266...	3,58	9055
12	12 Βαρωνας	9187	39134	1,012914930071...	0	2,496409416198...	9,33	6338
13	13 Γαλατσίου	9188	57909	2,502390861511...	1,076383781433...	3,674387931823...	4,22	13723
14	14 Γλυφάδας	9196	89597	1,707977144341...	0,604413032531...	2,522410392781...	25,59	3501
15	15 Δαίρης - Ψημτ...	9189	33886	3,977061271667...	3,264384289714...	4,472392002214...	2,47	13719
16	16 Διονύσου	9217	42376	0,014422275401...	0	0,552411079406...	68,6	618
17	17 Ελληνικού - Αρ...	9197	50027	1,250398476918...	0,106396675109...	2,322410392781...	15,67	3193
18	18 Ζωγράφου	9190	69874	1,440065066019...	0,460400581359...	3,122385978698...	8,66	8069
19	19 Ηλιούπολης	9191	76730	1,665814833207...	0	3,070394025573...	12,71	6037
20	20 Ηρακλείου	9170	50494	2,969726880391...	2,654398918151...	3,488383293151...	4,71	10721
21	21 Καισαρινής	9192	26269	1,208327942759...	0	2,504405021667...	7,76	3385

Εικόνα 66: Έκταση και πυκνότητα πληθυσμού κάθε δήμου 3/8/2021 και 14/7/2023

Το τελευταίο βήμα ήταν ο συνδυασμός της μέσης θερμοκρασίας που προκύπτει λόγω του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας και της πυκνότητας του πληθυσμού για κάθε δήμο, με χρήση του εργαλείου Centroids. Τα αποτελέσματα της παραπάνω ανάλυσης απεικονίζονται σε χάρτες, που παρουσιάζονται και αξιολογούνται στην επόμενη ενότητα.

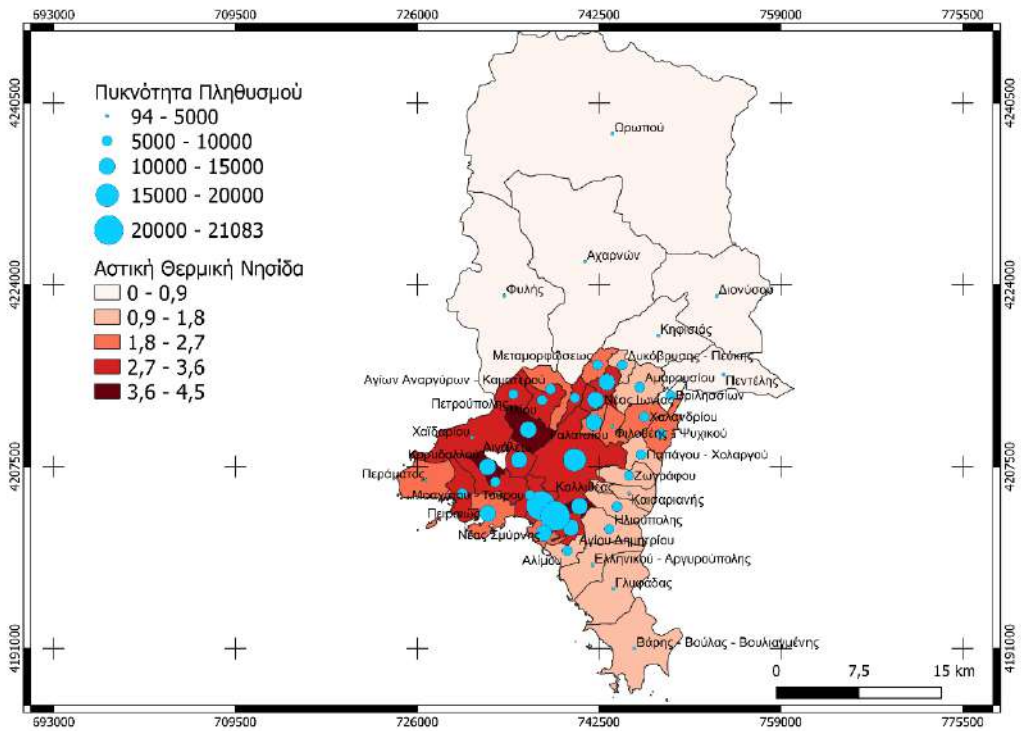
2.3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην περιοχή του Λεκανοπεδίου Αττικής, για τις 3/8/2021 παρουσιάζονται στους παρακάτω χάρτες.

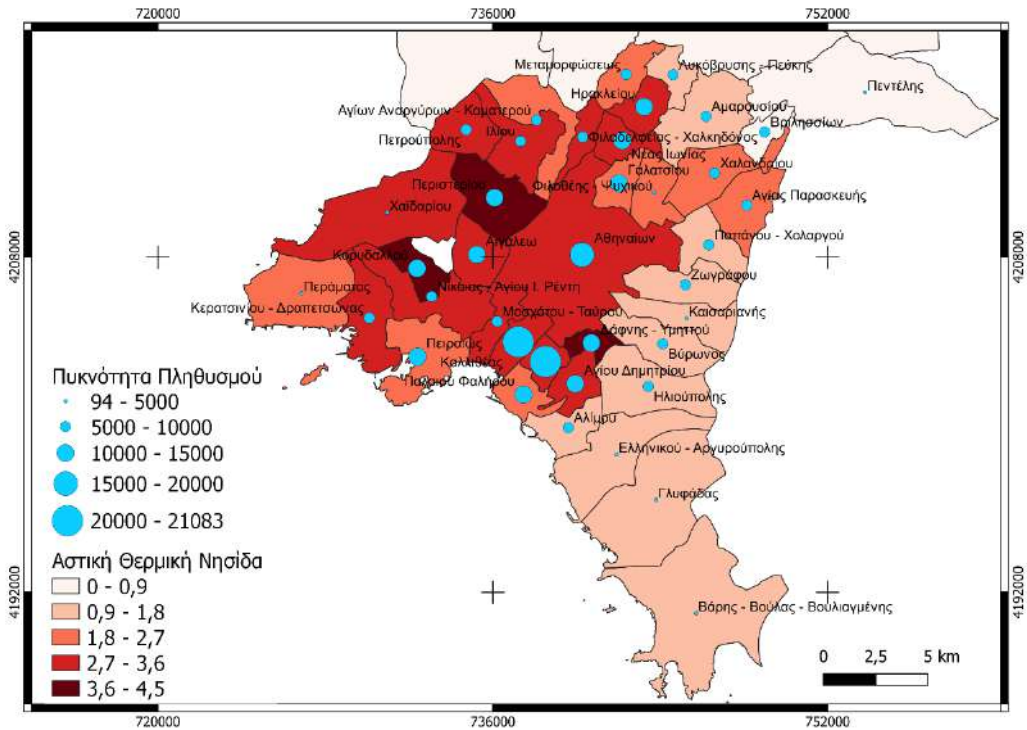


Εικόνα 67: Χάρτης 1 - 3/8/2021

Στον χάρτη 1, διακρίνονται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, καθώς και τα όρια των δήμων που ανήκουν στην περιοχή μελέτης. Από την ανάλυση που προηγήθηκε, βρέθηκε ότι η μέση θερμοκρασία του εδάφους στην περιοχή στις 23:12:38, ήταν 29,42 °C. Κάθε χρώμα που παρατηρείται στον χάρτη, αντιστοιχεί σε μια τιμή, που υποδηλώνει το κατά πόσους βαθμούς Κελσίου υψηλότερη από την μέση θερμοκρασία, ήταν η θερμοκρασία του εδάφους στην κάθε περιοχή. Ειδικότερα, στις περιοχές με μπλε χρώμα μετρήθηκε θερμοκρασία εδάφους ίση με την μέση τιμή, δηλαδή 29,42 °C. Στις περιοχές με γαλάζιο χρώμα μετρήθηκε θερμοκρασία $29,42 + 1,19 = 30,61$ °C, στις περιοχές με κίτρινο χρώμα $29,42 + 2,38 = 31,8$ °C και στις περιοχές με πορτοκαλί χρώμα $29,42 + 3,57 = 32,99$ °C. Τέλος, στις περιοχές με κόκκινο χρώμα, μετρήθηκε η μεγαλύτερη απόκλιση από την μέση θερμοκρασία, που ήταν $29,42 + 4,75 = 34,17$ °C. Παρατηρείται ότι οι θερμοκρασίες είναι αρκετά υψηλές για την ώρα της μέτρησης, γεγονός που υποδηλώνει την σημαντική επίδραση τόσο του κύματος καύσωνα, όσο και της Αστικής Θερμικής Νησίδας, στην θερμοκρασία.



Εικόνα 33: Χάρτης 2 - 3/8/2021



Εικόνα 34: Χάρτης 3 - 3/8/2021

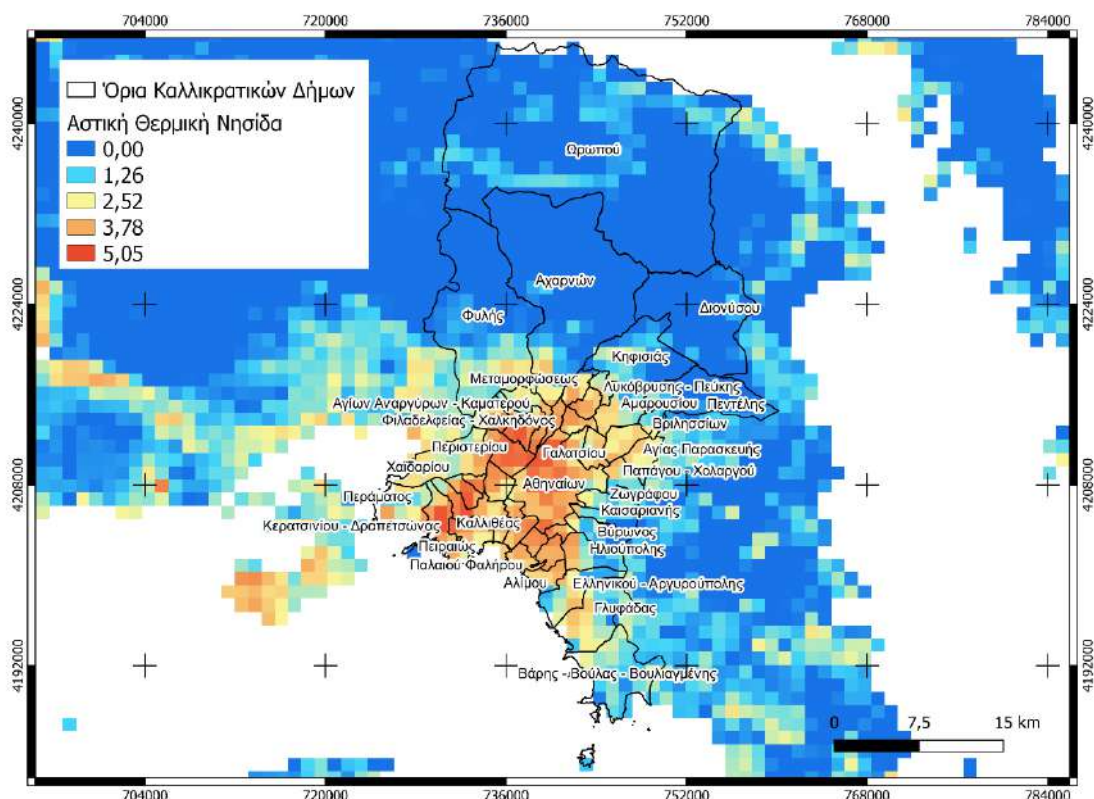
Στους χάρτες 2 και 3 παρατηρούνται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας στην περιοχή μελέτης, τα όρια των δήμων, καθώς και η πυκνότητα του πληθυσμού για κάθε δήμο. Από την ανάλυση, βρέθηκε ότι ακόμη και μέσα στον ίδιο δήμο, υπάρχουν θερμοκρασιακές διαφορές από περιοχή σε περιοχή και παρατηρείται ελάχιστη και μέγιστη απόκλιση από την μέση θερμοκρασία. Χρησιμοποιώντας αυτές τις τιμές για κάθε δήμο, βρέθηκε η μέση απόκλιση για την περιοχή μελέτης, που κυμαίνεται από 0 έως 4,5 °C. Με βάση τα παραπάνω, το κάθε χρώμα στον χάρτη αντιστοιχεί σε ένα εύρος απόκλισης από την μέση θερμοκρασία της περιοχής. Για παράδειγμα, στις περιοχές με το ανοιχτό ροζ χρώμα η θερμοκρασία του εδάφους κυμαίνεται από 29,42 °C έως $29,42 + 0,9 = 30,32$ °C, ενώ αντίστοιχα στις περιοχές με το σκούρο κόκκινο χρώμα, η θερμοκρασία του εδάφους κυμαίνεται από $29,42 + 3,6 = 33,02$ °C έως $29,42 + 4,5 = 33,92$ °C.

Όσον αφορά τον πληθυσμό που επηρεάζεται από τις αυξημένες θερμοκρασίες, στις περιοχές με το ανοιχτό ροζ χρώμα, που παρουσιάζουν θερμοκρασιακό εύρος 29,42 °C – 30,32 °C, ανήκουν οι δήμοι Ωρωπού, Φυλής, Αχαρνών, Διονύσου, Κηφισιάς, Πεντέλης και Βριλησίων με συνολικό πληθυσμό 371.418 άτομα. Στις περιοχές με το ροζ χρώμα, που παρουσιάζουν θερμοκρασιακό εύρος 30,32 °C – 31,22 °C, ανήκουν οι δήμοι Λυκόβρυσης – Πεύκης, Αμαρουσίου, Παπάγου – Χολαργού, Ζωγράφου, Καισαριανής, Βύρωνος, Ηλιούπολης, Αλίμου, Ελληνικού – Αργυρούπολης, Γλυφάδας και Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης, με συνολικό πληθυσμό 545.571 άτομα. Η πυκνότητα του πληθυσμού των παραπάνω δήμων είναι σχετικά χαμηλή σε σύγκριση με άλλους δήμους και εντάσσεται στο εύρος 94 – 10.000 άτομα ανά km². Στις περιοχές με το πορτοκαλί χρώμα, όπου μετρήθηκαν θερμοκρασίες 31,22 °C – 32,12 °C, συμπεριλαμβάνονται οι δήμοι Μεταμορφώσεως, Αγίων Αναργύρων – Καματερού, Γαλατσίου, Φιλοθέης – Ψυχικού, Χαλανδρίου, Αγίας Παρασκευής, Περάματος, Πειραιώς και Παλαιού Φαλήρου, ενώ επηρεάζονται συνολικά 575.072 άτομα. Στους δήμους αυτούς, η πληθυσμιακή πυκνότητα κυμαίνεται από 94 έως 15.000 άτομα ανά km².

Στην συνέχεια, στις περιοχές με το κόκκινο χρώμα, με θερμοκρασίες 32,12 °C – 33,02 °C, εντοπίζονται οι δήμοι Ηρακλείου, Νέας Ιωνίας, Φιλαδέλφειας – Χαλκηδόνος, Ιλίου, Πετρούπολης, Αθηναίων, Χαϊδαρίου, Αιγάλεω, Κερατσινίου – Δραπετσώνας, Νίκαιας – Αγίου Ι. Ρέντη, Μοσχάτου – Ταύρου, Καλλιθέας, Νέας Σμύρνης και Αγίου Δημητρίου. Σε αυτή την περίπτωση, από τις υψηλές θερμοκρασίες, επηρεάζεται το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της περιοχής, που είναι 1.525.365 άτομα, ενώ εντοπίζεται και το μεγαλύτερο εύρος της πληθυσμιακής πυκνότητας, από 94 έως 21.083 άτομα ανά km². Τέλος, στις περιοχές με το σκούρο κόκκινο χρώμα, που παρουσιάζουν θερμοκρασίες από 33,02 °C έως 33,92 °C, ανήκουν οι δήμοι Περιστερίου, Κορυδαλλού και Δάφνης – Υμηττού, με συνολικό πληθυσμό 228.764 άτομα. Η πυκνότητα του πληθυσμού στους δήμους αυτούς μετράται από 10.000 έως 15.000 άτομα ανά km². Αξίζει να σημειωθεί, ότι οι δήμοι με την μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα, που είναι ο δήμος Καλλιθέας με 21.083 άτομα ανά km² και ο δήμος Νέας Σμύρνης με 20.875 άτομα ανά km², δεν παρουσιάζουν τις υψηλότερες θερμοκρασίες στην περιοχή μελέτης, όπως αντίστοιχα συμβαίνει και με τον δήμο Αθηναίων που περιλαμβάνει τους περισσότερους κατοίκους, που είναι 643.452 άτομα.

Τα δεδομένα αυτά επιβεβαιώνουν το γεγονός ότι το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, με την πυκνοκατοίκηση ή το μέγεθος του πληθυσμού να παίζουν σημαντικό, αλλά όχι απαραίτητα καθοριστικό ρόλο στην εμφάνιση και την ένταση του.

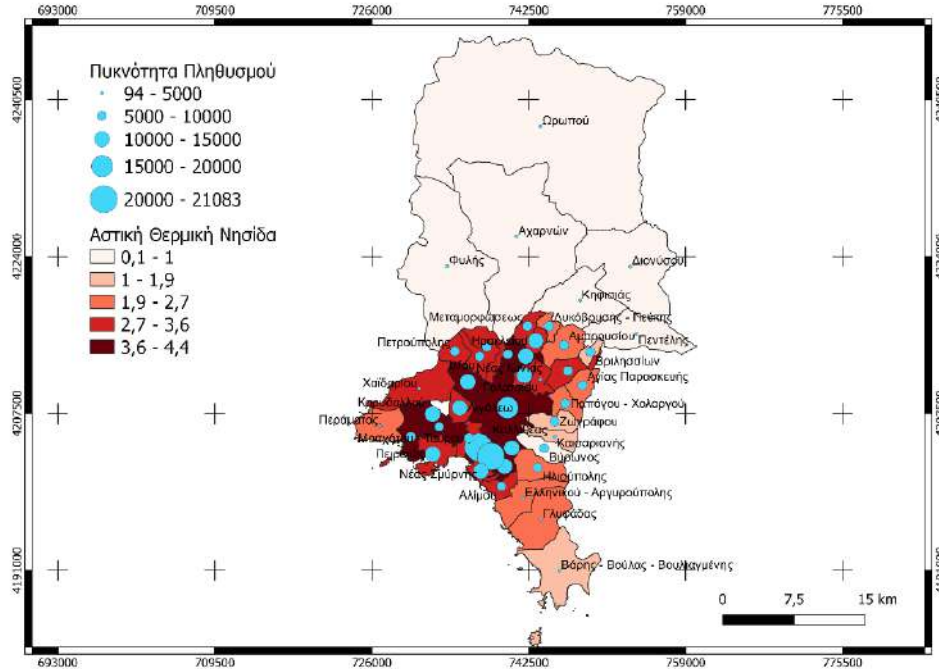
Στους παρακάτω χάρτες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης της Αστικής Θερμικής Νησίδας για τις 14/7/2023.



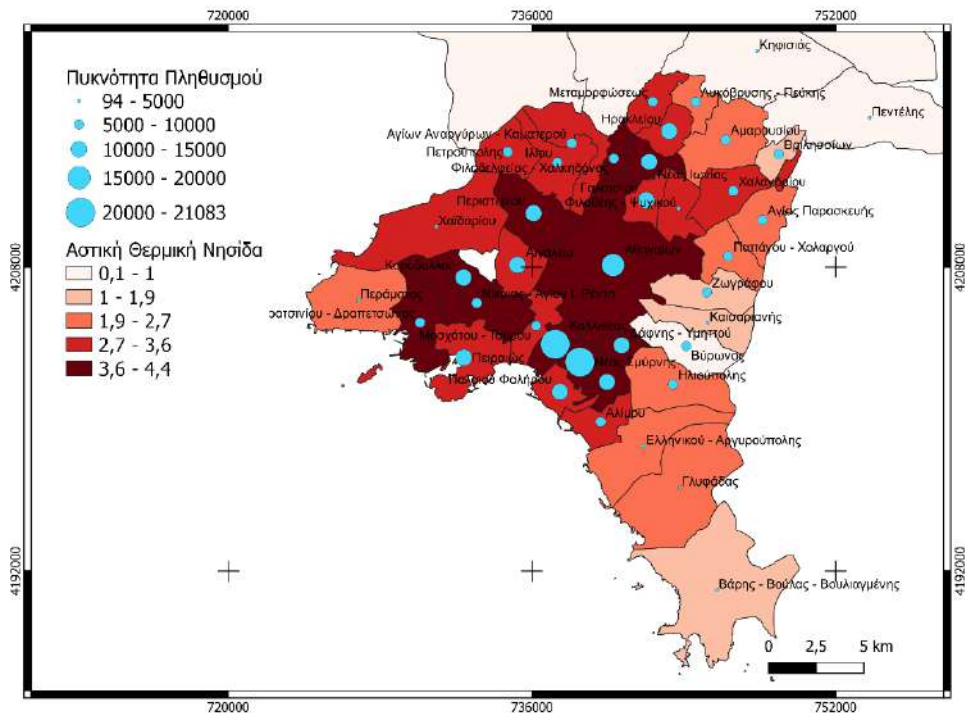
Εικόνα 68: Χάρτης 4 - 14/7/2023

Στον χάρτη 4, διακρίνονται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, καθώς και τα όρια των δημοτικών διαμερισμάτων της περιοχής μελέτης. Το κάθε χρώμα στον χάρτη, υποδηλώνει και πάλι την απόκλιση της θερμοκρασίας του εδάφους της κάθε περιοχής, από την μέση θερμοκρασία του Λεκανοπεδίου. Σύμφωνα με την ανάλυση που προηγήθηκε, η μέση θερμοκρασία της περιοχής στις 23:05:28, ήταν 28,9 °C και λόγω του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας, έφτανε έως και 5,05 βαθμούς υψηλότερα. Πιο συγκεκριμένα, με βάση τον χάρτη, στις περιοχές με μπλε χρώμα μετρήθηκαν 28,9 °C, δηλαδή η μέση θερμοκρασία. Στις περιοχές με γαλάζιο χρώμα, μετρήθηκαν $28,9 + 1,26 = 30,16$ °C.

Στην συνέχεια, στις περιοχές με κίτρινο χρώμα μετρήθηκε θερμοκρασία $28,9 + 2,52 = 31,42$ °C και στις περιοχές με πορτοκαλί χρώμα $28,9 + 3,78 = 32,68$ °C. Τέλος στις περιοχές με κόκκινο χρώμα η θερμοκρασία έφτασε τους $28,9 + 5,05 = 33,95$ °C.



Εικόνα 70: Χάρτης 5 - 14/7/2023



Εικόνα 69: Χάρτης 6 - 14/7/2023

Στους χάρτες 5 και 6, παρατηρούνται το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, τα όρια των δήμων και η πληθυσμιακή πυκνότητα για κάθε δήμο. Όπως και στους χάρτες 2 και 3, έτσι και σε αυτή την περίπτωση, τα χρώματα υποδηλώνουν την μέση απόκλιση της θερμοκρασίας της κάθε περιοχής, από την θερμοκρασία του Λεκανοπεδίου. Η μέση απόκλιση κυμαινόταν από 0,1 έως 4,4 °C. Ειδικότερα, στις περιοχές με το ανοιχτό ροζ χρώμα, μετρήθηκαν θερμοκρασίες από $28,9 + 0,1 = 29$ °C έως $28,9 + 1 = 29,9$ °C. Στις περιοχές με το ροζ χρώμα μετρήθηκαν θερμοκρασίες από 29,9 °C έως $28,9 + 1,9 = 30,8$ °C. Ακόμη, στις περιοχές με το πορτοκαλί χρώμα, η θερμοκρασία κυμαινόταν από 30,8 °C έως $28,9 + 2,7 = 31,6$ °C και στις περιοχές με το κόκκινο χρώμα από 31,6 °C έως $28,9 + 3,6 = 32,5$ °C. Τέλος, οι πιο υψηλές θερμοκρασίες παρουσιάστηκαν στις περιοχές με το σκούρο κόκκινο χρώμα και κυμαίνονταν από 32,5 °C έως $28,9 + 4,4 = 33,3$ °C.

Αναφορικά με τον πληθυσμό που επηρεάζεται από το κάθε θερμοκρασιακό εύρος, με βάση τους παραπάνω χάρτες, στις περιοχές με το ανοιχτό ροζ χρώμα, με θερμοκρασίες 29 °C - 29,9 °C, ανήκουν οι δήμοι Φυλής, Αχαρνών, Ωρωπού, Διονύσου, Κηφισιάς, Πεντέλης και Βύρωνος, με συνολικό πληθυσμό 398.135 άτομα. Στις περιοχές με το ροζ χρώμα, με θερμοκρασίες 29,9 °C - 30,8 °C ανήκουν οι δήμοι Βριλησίων, Ζωγράφου, Καισαριανής και Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης, με συνολικό πληθυσμό 181.106 άτομα. Για τους παραπάνω δήμους η πυκνότητα του πληθυσμού κυμαίνεται από 94 έως 10.000 άτομα ανά km². Έπειτα, στις περιοχές με το πορτοκαλί χρώμα, όπου μετρήθηκαν θερμοκρασίες 30,8 °C - 31,6 °C, συμπεριλαμβάνονται οι δήμοι Λυκόβρυσης – Πεύκης, Αμαρουσίου, Αγίας Παρασκευής, Παπάγου – Χολαργού, Ηλιούπολης, Ελληνικού – Αργυρούπολης, Γλυφάδας και Περάματος, με 452.223 άτομα να επηρεάζονται από τις υψηλές θερμοκρασίες. Η πληθυσμιακή πυκνότητα κυμαίνεται και πάλι από 94 έως 10.000 άτομα ανά km².

Στις περιοχές με το κόκκινο χρώμα, με θερμοκρασίες 31,6 °C – 32,5 °C, συμπεριλαμβάνονται οι δήμοι Χαϊδαρίου, Πετρούπολης, Ιλίου, Αγίων Αναργύρων – Καματερού, Μεταμορφώσεως, Ηρακλείου, Γαλατσίου, Φιλοθέης – Ψυχικού, Χαλανδρίου, Αλίμου, Παλαιού Φαλήρου, Πειραιώς, Μοσχάτου – Ταύρου και Αιγάλεω, με συνολικό πληθυσμό 877.658 άτομα. Η πυκνότητα του πληθυσμού κυμαίνεται από 94 έως 15.000 άτομα ανά km². Τέλος, στις περιοχές με το σκούρο κόκκινο χρώμα, όπου μετρήθηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες, με εύρος 32,5 °C – 33,3 °C, ανήκουν οι δήμοι Φιλαδέλφειας – Χαλκηδόνος, Νέας Ιωνίας, Περιστερίου, Αθηναίων, Καλλιθέας, Νέας Σμύρνης, Δάφνης – Υμηττού, Αγίου Δημητρίου, Νίκαιας – Αγίου Ι. Ρέντη, Κορυδαλλού και Κερατσινίου – Δραπετσώνας. Σε αυτή την περίπτωση, από τις υψηλές θερμοκρασίες, επηρεάστηκε το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού, δηλαδή 1.406.942 άτομα. Παρατηρείται λοιπόν, ότι στις 14/7/2023 από τις πιο υψηλές θερμοκρασίες, επηρεάστηκαν περισσότερα άτομα από ότι στις 3/8/2021 και πιο συγκεκριμένα επηρεάστηκαν 1.178.178 άτομα παραπάνω. Τέλος, παρατηρείται ότι σε αυτή την περίπτωση, η πληθυσμιακή πυκνότητα έχει εύρος 5.000 – 21.083 άτομα ανά km² και ότι οι δήμοι Καλλιθέας και Νέας Σμύρνης, που όπως αναφέρθηκε είναι οι πιο πυκνοκατοικημένοι, εντάσσονται αυτή την φορά στις περιοχές όπου μετρήθηκαν οι υψηλότερες θερμοκρασίες.

Στους παρακάτω πίνακες, παρουσιάζονται συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα της ανάλυσης.

Πίνακας 5: Αποτελέσματα 3/8/2021

3/8/2021			
Δήμοι	Πληθυσμός	Θερμοκρασία (°C)	Απόκλιση από την μέση θερμοκρασία (°C)
Αγίας Παρασκευής	62.147	31,22 – 32,12	1,8 – 2,7
Αγίου Δημητρίου	71.664	32,12 – 33,02	3,6 – 4,5
Αγίων Αναργύρων – Καματερού	61.462	31,22 – 32,12	1,8 – 2,7
Αθηναίων	643.452	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Αιγάλεω	65.831	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Αλίμου	43.174	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Αμαρουσίου	71.830	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Αχαρνών	108.169	29,42 – 30,32	0 – 0,9
Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης	52.546	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Βριλησίων	32.417	29,42 – 30,32	0 – 0,9
Βύρωνος	59.134	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Γαλατσίου	57.909	31,22 – 32,12	1,8 – 2,7
Γλυφάδας	89.597	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Δάφνης - Ύμηττού	33.886	33,02 – 33,92	3,6 – 4,5
Διονύσου	42.376	29,42 – 30,32	0 – 0,9
Ελληνικού – Αργυρούπολης	50.027	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Ζωγράφου	69.874	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Ηλιούπολης	76.730	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Ηρακλείου	50.494	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Ιλίου	84.004	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Καισαριανής	26.269	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Καλλιθέας	97.616	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Κερατσινίου – Δραπετσώνας	89.536	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Κηφισιάς	72.878	29,42 – 30,32	0 – 0,9
Κορυδαλλού	61.248	33,02 – 33,92	3,6 – 4,5
Λυκόβρυσης – Πεύκης	30.998	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8
Μεταμορφώσεως	30.174	31,22 – 32,12	1,8 – 2,7
Μοσχάτου – Ταύρου	39.661	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Νέας Ιωνίας	64.611	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Νέας Σμύρνης	72.853	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Νίκαιας – Αγίου Ι. Ρέντη	103.488	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Παλαιού Φαλήρου	64.863	31,22 – 32,12	1,8 – 2,7
Παπάγου – Χολαργού	45.266	30,32 – 31,22	0,9 – 1,8

Πειραιώς	168.151	31,22 – 32,12	1,8 – 2,7
Πεντέλης	35.610	29,42 – 30,32	0 – 0,9
Περάματος	25.628	31,22 – 32,12	1,8 – 2,7
Περιστερίου	133.630	33,02 – 33,92	3,6 – 4,5
Πετρούπολης	60.146	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Φιλαδέλφειας – Χαλκηδόνος	34.958	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Φιλοθέης – Ψυχικού	27.636	31,22 – 32,12	1,8 – 2,7
Φυλής	48.157	29,42 – 30,32	0 – 0,9
Χαϊδαρίου	47.051	32,12 – 33,02	2,7 – 3,6
Χαλανδρίου	77.102	31,22 – 32,12	1,8 – 2,7
Ωρωπού	31.811	29,42 – 30,32	0 – 0,9

Πίνακας 6: Αποτελέσματα 14/7/2023

14/7/2023			
Δήμοι	Πληθυσμός	Θερμοκρασία (°C)	Απόκλιση από την μέση θερμοκρασία (°C)
Αγίας Παρασκευής	62.147	30,8 – 31,6	1,9 – 2,7
Αγίου Δημητρίου	71.664	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Αγίων Αναργύρων – Καματερού	61.462	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Αθηναίων	643.452	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Αιγάλεω	65.831	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Αλίμου	43.174	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Αμαρουσίου	71.830	30,8 – 31,6	1,9 – 2,7
Αχαρνών	108.169	29,0 – 29,9	0,1 – 1
Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης	52.546	29,9 – 30,8	1 – 1,9
Βριλησίων	32.417	29,9 – 30,8	1 – 1,9
Βύρωνος	59.134	29,0 – 29,9	0,1 – 1
Γαλατσίου	57.909	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Γλυφάδας	89.597	30,8 – 31,6	1,9 – 2,7
Δάφνης - Ύμηττού	33.886	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Διονύσου	42.376	29,0 – 29,9	0,1 – 1
Ελληνικού – Αργυρούπολης	50.027	30,8 – 31,6	1,9 – 2,7
Ζωγράφου	69.874	29,9 – 30,8	1 – 1,9
Ηλιούπολης	76.730	30,8 – 31,6	1,9 – 2,7
Ηρακλείου	50.494	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Ιλίου	84.004	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Καισαριανής	26.269	29,9 – 30,8	1 – 1,9
Καλλιθέας	97.616	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Κερατσινίου – Δραπετσώνας	89.536	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4

Κηφισιάς	72.878	29,0 – 29,9	0,1 – 1
Κορυδαλλού	61.248	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Λυκόβρυσης – Πεύκης	30.998	30,8 – 31,6	1,9 – 2,7
Μεταμορφώσεως	30.174	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Μοσχάτου – Ταύρου	39.661	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Νέας Ιωνίας	64.611	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Νέας Σμύρνης	72.853	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Νίκαιας – Αγίου Ι. Ρέντη	103.488	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Παλαιού Φαλήρου	64.863	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Παπάγου – Χολαργού	45.266	30,8 – 31,6	1,9 – 2,7
Πειραιώς	168.151	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Πεντέλης	35.610	29,0 – 29,9	0,1 – 1
Περάματος	25.628	30,8 – 31,6	1,9 – 2,7
Περιστερίου	133.630	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Πετρούπολης	60.146	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Φιλαδέλφειας – Χαλκηδόνος	34.958	32,5 – 33,3	3,6 – 4,4
Φιλοθέης – Ψυχικού	27.636	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Φυλής	48.157	29,0 – 29,9	0,1 – 1
Χαϊδαρίου	47.051	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Χαλανδρίου	77.102	31,6 – 32,5	2,7 – 3,6
Ωρωπού	31.811	29,0 – 29,9	0,1 – 1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

3.1. ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας, οι πόλεις θα πρέπει να μειώσουν την συσσώρευση της θερμότητας και να εφαρμόσουν τεχνικές ψύξης. Οι μέθοδοι που μπορούν να ακολουθηθούν από τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής αφορούν τις παρακάτω τέσσερις κατηγορίες:

1. Βλάστηση
2. Νερό
3. Δόμηση
4. Υλικά

Βλάστηση: Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, η βλάστηση μπορεί να συμβάλλει στην μείωση της θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, είτε άμεσα μέσω των διαδικασιών της εξάτμισης και της διαπνοής, είτε έμμεσα μέσω της σκίασης των επιφανειών. Ως αποτέλεσμα, ρυθμίζεται το μικροκλίμα της περιοχής και εξασφαλίζεται η θερμική άνεση του ανθρώπου (human thermal comfort). Οι τρόποι με τους οποίους η βλάστηση θα μπορούσε να ενσωματωθεί σε μία αστική περιοχή είναι οι εξής:

Αστικά δάση – πάρκα (urban forests – parks): Αποτελούν εκτάσεις πρασίνου μέσα στην αστική περιοχή, όπου παρατηρούνται χαμηλότερες θερμοκρασίες και έτσι σχηματίζονται νησίδες ψύξης (Park Cool Islands – PCIs). Από τα πειράματα των Armson et al. στο Manchester, βρέθηκε ότι το σκυρόδεμα όταν εκτεθεί στον ήλιο, μια ζεστή ημέρα, μπορεί να αποκτήσει θερμοκρασία έως και 19 – 23 °C υψηλότερη από την θερμοκρασία του αέρα. Αντίθετα, για το γρασίδι, μετρήθηκαν 0 – 3 °C χαμηλότεροι από την θερμοκρασία του αέρα. Επιπλέον, σύμφωνα με μελέτες, αυτές οι εκτάσεις πρασίνου δεν είναι απαραίτητο να είναι μεγάλες για να συμβάλουν στον δροσισμό μιας περιοχής. Για παράδειγμα, σύμφωνα με μια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στο Tel Aviv, ένα πάρκο έκτασης 0,15 εκτάρια (1500 m²) προκάλεσε μείωση της θερμοκρασίας κατά 1,5 – 3 °C σε μια απόσταση 100 m.

Δέντρα που τοποθετούνται στους δρόμους (street trees): Παρόλο που τα δέντρα είναι διασκορπισμένα στους δρόμους, η συλλογική τους επίδραση στην θερμοκρασία των αστικών περιοχών είναι σημαντική. Η φύτευση δέντρων σε μια αστική περιοχή, μπορεί να μειώσει την θερμοκρασία του περιβάλλοντος κατά 0,2 – 5 °C, με μέση μείωση κατά περίπου 1 °C.

Ιδιωτικό πράσινο σε κήπους: Όπως συμβαίνει και με τα αστικά πάρκα, έτσι και το ιδιωτικό πράσινο μπορεί να συμβάλει σημαντικά στην μείωση της θερμοκρασίας στην αστική περιοχή.

Πράσινες στέγες ή προσόψεις: Η συγκεκριμένη μέθοδος θεωρείται ως η καταλληλότερη για τις αστικές περιοχές, όπου οι ανοιχτοί ελεύθεροι χώροι είναι περιορισμένοι. Η κάλυψη μιας στέγης ή της πρόσοψης ενός κτηρίου με βλάστηση παίζει σημαντικό ρόλο τόσο στην ψύξη του αστικού περιβάλλοντος, όσο και του ίδιου του κτηρίου.

Η ψύξη του περιβάλλοντος πραγματοποιείται και πάλι μέσω του μηχανισμού της εξατμισοδιαπνοής, αλλά και μέσω της παρεμπόδισης της απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας από τα δομικά υλικά. Ακόμη, η βλάστηση λειτουργεί ως υλικό μόνωσης για το κτήριο, διατηρώντας το δροσερό το καλοκαίρι και ζεστό τον χειμώνα. Μέσα από μελέτες, έχει αποδειχθεί ότι η εφαρμογή αυτού του είδους της βλάστησης, μπορεί να μειώσει την θερμοκρασία κοντά στο έδαφος κατά 0,2 – 1,2 °C και να συμβάλει στην εξοικονόμηση ενέργειας για ψύξη κατά 4 – 40 % (Kleerekoper et al., 2012, Armson et al., 2012, Balany et al., 2020).

Νερό: Το νερό μπορεί να υπάρξει σε μια αστική περιοχή, είτε φυσικά λόγω της γεωγραφίας της περιοχής, με την μορφή ποταμών και λιμνών, είτε τεχνητά με την μορφή εγκαταστάσεων όπως σιντριβάνια κ.α. Αποτελεί βασικό στοιχείο κάθε στρατηγικής για τον περιορισμό της θερμικής καταπόνησης (heat stress). Το νερό, μπορεί να μειώσει την θερμοκρασία σε μια περιοχή μέσω της εξάτμισης και της παραγωγής υδρατμών, μέσω της απορρόφησης της θερμότητας, κυρίως από μεγάλες μάζες νερού, αλλά και μέσω της μεταφοράς της θερμότητας έξω από την περιοχή, ιδιότητα που αφορά την κίνηση των ποταμών.

Η χρήση του νερού ως μέτρο αντιμετώπισης των επιπτώσεων της Αστικής Θερμικής Νησίδας, είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν πρόκειται για μεγάλες επιφάνειες νερού ή όταν το νερό ρέει ή όταν διασκορπίζεται όπως συμβαίνει σε ένα σιντριβάνι. Η μέση μείωση της θερμοκρασίας που επιτυγχάνεται κυμαίνεται από 1 °C έως 3 °C, σε μια απόσταση περίπου 30 – 35 m. Τέλος, αξίζει να σημειωθεί, ότι ενώ το νερό που ρέει είναι πιο αποτελεσματικό στον δροσισμό μιας περιοχής από το στάσιμο, το νερό που διασκορπίζεται, όπως από ένα σιντριβάνι, παρουσιάζει την μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα (Kleerekoper et al., 2012, Gunawardena et al., 2017, Παπαευθυμίου, 2021).

Δόμηση: Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο κεφάλαιο, ο τρόπος δόμησης μιας πόλης παίζει σημαντικό ρόλο στην εμφάνιση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Αδιαμφισβήτητα, ο επανασχεδιασμός και η αλλαγή των ήδη υπαρχόντων αστικών περιοχών είναι ένα δύσκολο, έως και ακατόρθωτο εγχείρημα. Ωστόσο, είναι γνωστό ότι ο παγκόσμιος πληθυσμός και η τάση για αστικοποίηση θα συνεχίσουν να αυξάνονται και τα επόμενα χρόνια. Επομένως, καθώς οι πόλεις θα επεκτείνονται, είναι σημαντικό η Αστική Θερμική Νησίδα να ληφθεί υπόψιν στον αστικό σχεδιασμό.

Μια μέθοδος μετριασμού των επιπτώσεων της Αστικής Θερμικής Νησίδας με βάση την δόμηση, είναι ο σχεδιασμός των πόλεων λαμβάνοντας υπόψιν τον άνεμο. Αυτό σημαίνει ότι οι νέες αστικές περιοχές, θα περιλαμβάνουν φαρδύτερους δρόμους και χαμηλότερα κτήρια, με λιγότερους ορόφους, ώστε να περιορίζονται ο εγκλωβισμός και η απορρόφηση της ηλιακής ακτινοβολίας και να επιτρέπεται η διέλευση του ανέμου, που θα δροσίζει την περιοχή. Η μέθοδος αυτή θα είναι αποτελεσματική το καλοκαίρι, αλλά είναι πιθανό να προκαλέσει προβλήματα κατά τους χειμερινούς μήνες, όπου ο άνεμος είναι πιο ψυχρός.

Μια άλλη μέθοδος, αφορά τα κτήρια, που καταλαμβάνουν το μεγαλύτερο μέρος μιας πόλης, τα οποία θα πρέπει να τροποποιηθούν ώστε να μην συμβάλουν στην αύξηση της θερμοκρασίας της περιοχής. Για τον σκοπό αυτό δημιουργήθηκε η έννοια του «πράσινου κτηρίου» (Green Building – GB). Ο όρος αυτός, αναφέρεται στο κτίσμα στο οποίο επιδιώκονται καλύτερη ποιότητα εσωτερικού περιβάλλοντος, μείωση της κατανάλωσης ενέργειας και των εκπομπών άνθρακα, καθώς και μείωση των αποβλήτων, της ρύπανσης και της υποβάθμισης του περιβάλλοντος, καθ' όλη την διάρκεια του κύκλου ζωής του. Όταν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί για την αντιμετώπιση της Αστικής Θερμικής Νησίδας, στις προδιαγραφές του κτηρίου περιλαμβάνεται και η μείωση του θερμικού αντίκτυπου στο περιβάλλον, μέσω κατάλληλου σχεδιασμού και λειτουργίας (Bao-Jie He, 2019, Kleerekoper et al., 2012).

Υλικά: Είναι γεγονός, ότι τα περισσότερα υλικά δόμησης που χρησιμοποιούνται στις πόλεις, συσσωρεύουν την ηλιακή ακτινοβολία, την οποία στην συνέχεια απελευθερώνουν στο περιβάλλον, με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας. Επομένως, η χρήση διαφορετικών υλικών, με ιδιότητες που περιορίζουν όσο το δυνατόν την αποθήκευση θερμότητας, αποτελεί σημαντικό παράγοντα για τον μετριασμό των επιπτώσεων της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Αρχικά, σημαντικό ρόλο παίζει η ανακλαστική ικανότητα των υλικών. Με βάση ένα μοντέλο προσομοίωσης που πραγματοποιήθηκε για το Sacramento της California, με την αύξηση της ανακλαστικότητας σε όλη την πόλη από 25% σε 40%, μπορεί να επιτευχθεί μείωση της θερμοκρασίας κατά 1 – 4 °C. Ακόμη, ερευνητές στην Σιγκαπούρη, μελέτησαν την διαφορά θερμοκρασίας στις προσόψεις των κτηρίων λόγω σκούρων και ανοιχτών χρωμάτων. Βρέθηκε μέγιστη διαφορά 8 – 10 °C στις ώρες 13:00 και 16:00.

Τέλος, υπάρχουν σήμερα στρατηγικές για την αντιμετώπιση της Αστικής Θερμικής Νησίδας, που σχετίζονται με τα υλικά των πεζοδρομίων. Αποτελούνται από τα «ανακλαστικά πεζοδρόμια» (reflective pavements) και τα «διαπερατά πεζοδρόμια» (permeable pavements) που εντάσσονται στην ευρύτερη κατηγορία των «ψυχρών πεζοδρομίων» (cool pavements). Τα «ανακλαστικά πεζοδρόμια» περιλαμβάνουν μια ανακλαστική επίστρωση, που συμβάλει στην μείωση της επιφανειακής και της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, με την αύξηση της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας. Το γεγονός αυτό, επηρεάζει θετικά την θερμική άνεση των πεζών, την χρήση ενέργειας των κτηρίων και τις εκπομπές άνθρακα.

Τα «διαπερατά πεζοδρόμια», περιλαμβάνουν ένα διαπερατό επιφανειακό στρώμα (πχ διαπερατό σκυρόδεμα ή πορώδη άσφαλτο) και δεσμεύουν το νερό της βροχής και την επιφανειακή απορροή, τα οποία στην συνέχεια διεισδύουν στα κατώτερα στρώματα και οδηγούν στην μείωση της θερμοκρασίας κυρίως μέσω εξάτμισης (Wang et al., 2021, Kleerekoper et al., 2012).

Από τα παραπάνω, γίνεται φανερό, ότι υπάρχει μια ποικιλία μεθόδων και μέτρων που μπορούν να υιοθετηθούν για την μείωση των θερμοκρασιών στις αστικές περιοχές, γεγονός που οδηγεί στον περιορισμό των επιπτώσεων της Αστικής Θερμικής Νησίδας, σε άνθρωπο και περιβάλλον. Τόσο η μελέτη και ο σχεδιασμός, όσο και η εφαρμογή των μέτρων αυτών, απαιτούν ειδικές γνώσεις και έτσι αφορούν επιστήμονες και γενικότερα ανθρώπους με εξειδίκευση σε αυτούς τους τομείς. Όμως, το ευρύ κοινό δεν θα πρέπει να παραλείπεται, αλλά αντίθετα να συμπεριλαμβάνεται σε όλη την διαδικασία. Είναι σημαντικό, οι πολίτες να είναι ενημερωμένοι για το τι είναι το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας, για τους παράγοντες που οδηγούν στην εμφάνισή του, για τις επιπτώσεις που παρουσιάζει αλλά και για τις δράσεις που συμβάλουν στην αντιμετώπισή του.

Για τον σκοπό αυτό, κρίνεται αναγκαίο οι πολίτες να έχουν εύκολη πρόσβαση σε έγκυρα άρθρα και εκθέσεις, αλλά και μελλοντικές προβλέψεις που να αφορούν το φαινόμενο, από εθνικούς και διεθνείς φορείς. Σε αυτό το πλαίσιο, έχει δημιουργηθεί το έργο LifeASTI – forecAsting System for urban heaT Island effect, που έχει χρηματοδοτηθεί από το πρόγραμμα LIFE της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Το έργο επικεντρώνεται στην περιοχή της Μεσογείου, που εκτιμάται ότι θα συμπεριλαμβάνεται στις περιοχές της Ευρώπης, όπου οι επιπτώσεις της Αστικής Θερμικής Νησίδας για τους κατοίκους της θα είναι εντονότερες. Ειδικότερα, αφορά τις πόλεις της Θεσσαλονίκης, του Ηρακλείου και της Ρώμης. Στο έργο αναπτύσσεται, εφαρμόζεται πιλοτικά και αξιολογείται ένα σύστημα μοντέλων για την βραχυχρόνια πρόγνωση και την μελλοντική προβολή του φαινομένου. Έτσι οι πολίτες μπορούν να έχουν καθημερινά πρόσβαση σε πληροφορίες όπως είναι η αισθητή θερμοκρασία της ημέρας, η σχετική υγρασία, το επίπεδο κινδύνου για την υγεία κ.α. (LifeASTI).

Τέτοιου είδους πρωτοβουλίες είναι πολύ σημαντικό να συνεχίσουν να αναπτύσσονται και για άλλες περιοχές της Ελλάδας, αλλά και του κόσμου, καθώς αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την ενημέρωση αλλά και για την προτροπή για ατομική και συλλογική δράση, με στόχο την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων των αστικών περιοχών και την προστασία του περιβάλλοντος. Αναμφίβολα, ένα παρόμοιο έργο θα ήταν χρήσιμο και για την περιοχή της Αττικής, όπου όπως αποδεικνύεται και από την συγκεκριμένη εργασία, το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας είναι αρκετά έντονο και επηρεάζει σημαντικά μεγάλο μέρος του πληθυσμού.

3.2. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συμπερασματικά, από όσα αναφέρθηκαν παραπάνω, μπορεί να γίνει κατανοητό το πόσο σημαντικό και πολυδιάστατο είναι το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες και εξαρτάται από μια ποικιλία παραγόντων, όπου τον σημαντικότερο ρόλο, παίζει η ολοένα και αυξανόμενη τάση για αστικοποίηση και ειδικότερα, οι μέθοδοι που χρησιμοποιούνται για τον σχεδιασμό των σύγχρονων πόλεων. Ακόμη, πρόκειται για ένα φαινόμενο με σοβαρές επιπτώσεις για την υγεία των ανθρώπων, αλλά και για το περιβάλλον, τόσο το αστικό όσο και το φυσικό. Επιπλέον, συνδέεται άμεσα με την κλιματική αλλαγή και τις υψηλές θερμοκρασίες που έχουν ήδη αρχίσει να εμφανίζονται στον πλανήτη, με αποκορύφωμα τα κύματα καύσωνα, που πρόκειται να καταστούν εντονότερα και συχνότερα μέσα στις επόμενες δεκαετίες.

Έτσι, με βάση αυτά τα δεδομένα, παρατηρείται ότι επιστήμονες από όλο τον κόσμο έχουν στρέψει την προσοχή τους και μελετούν το φαινόμενο όλο και πιο εντατικά, όπως διαφαίνεται και από τα παραδείγματα που αναφέρονται σε προηγούμενο κεφάλαιο. Η μέθοδος της τηλεπισκόπησης και τα δεδομένα και οι δυνατότητες που παρέχονται από τους δορυφόρους που βρίσκονται σε λειτουργία σήμερα, έχουν ρόλο – κλειδί σε αυτή την προσπάθεια. Από την μελέτη περίπτωσης στην συγκεκριμένη εργασία, μπορεί να γίνει κατανοητή η εφαρμογή και η αποτελεσματικότητα της τηλεπισκόπησης και ειδικότερα η χρήση των δεδομένων του δορυφόρου Sentinel – 3, στην μελέτη και διαχείριση του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Μέσω της αξιοποίησης των δεδομένων που παρέχει ο αισθητήρας SLSTR και της κατάλληλης μεθοδολογίας για την επεξεργασία τους, μπορεί να εξαχθεί μια ποικιλία αποτελεσμάτων και συμπερασμάτων για το φαινόμενο.

Όπως αποδεικνύεται και από τα αποτελέσματα της μελέτης περίπτωσης, με την μέθοδο της τηλεπισκόπησης μπορούν να αποκτηθούν τόσο γενικές πληροφορίες για την περιοχή μελέτης, όπως είναι η μέση θερμοκρασία την ώρα της μέτρησης, όσο και πιο ειδικές πληροφορίες που να αφορούν το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας. Σε αυτές, ανήκουν τα δεδομένα για την θερμοκρασιακή απόκλιση κάθε δήμου από την μέση θερμοκρασία, καθώς και τα δεδομένα που αφορούν στην σύνδεση της θερμοκρασίας με τον πληθυσμό της περιοχής. Το τελευταίο, αποτελεί πολύ χρήσιμο εργαλείο για την διαχείριση και τον περιορισμό του φαινομένου. Ως αποτέλεσμα, μέσω της τηλεπισκόπησης μπορεί κανείς να αποκτήσει μια αρκετά ολοκληρωμένη εικόνα του φαινομένου. Πιο συγκεκριμένα, από την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων για τις δύο ημερομηνίες που επιλέχθηκαν, επιβεβαιώνεται η ύπαρξη της Αστικής Θερμικής Νησίδας και η επίδρασή της στην θερμοκρασία του Λεκανοπεδίου Αττικής, καθώς καταγράφηκαν θερμοκρασίες έως και 4,75 °C πάνω από την μέση θερμοκρασία, για τις 3/8/2021 και έως και 5,05 °C για τις 14/7/2023.

Επομένως, η συμβολή των επιστημών της τηλεπισκόπησης και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών στον χωρικό εντοπισμό των περιοχών με Αστική Θερμική Νησίδα, αλλά και στην παροχή ποσοτικών πληροφοριών για το μέγεθος του πληθυσμού που δέχεται τις επιπτώσεις του φαινομένου, μπορεί να θεωρηθεί ιδιαίτερα σημαντική.

Τα δεδομένα που παρέχονται μπορούν να χρησιμεύσουν αρχικά στην βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου, αλλά και να παρέχουν καλύτερη πληροφόρηση στους πολιτικούς και τους λήπτες αποφάσεων γενικότερα, ώστε να λάβουν πιο αποτελεσματικά μέτρα για τον μετριασμό του φαινομένου, που να είναι εξειδικευμένα στα χαρακτηριστικά και στις ανάγκες της κάθε αστικής περιοχής. Τέλος, η βελτίωση των δορυφορικών συστημάτων καταγραφής, με την αύξηση της χωρικής διακριτικής ικανότητας, μπορεί να βοηθήσει στην καλύτερη και πιο ακριβή χαρτογράφηση του φαινομένου στο μέλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Armson, D., Stringer, P., & Ennos, A.R. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 11, Issue 3.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1618866712000611>

Balany, F., Ng, A. W., Muttill, N., Muthukumaran, S., & Wong, M. S. (2020). Green Infrastructure as an Urban Heat Island Mitigation Strategy – A Review. *Water*, 12(12), 3577.

<https://www.mdpi.com/2073-4441/12/12/3577>

Bao-Jie He. (2019). Towards the next generation of green building for urban heat island mitigation: Zero UHI impact building. *Sustainable Cities and Society*. Volume 50.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210670719309503>

climatenexus. *RCP8.5: BUSINESS – AS – USUAL OR A WORST – CASE SCENARIO?*

<https://climatenexus.org/climate-change-news/rcp-8-5-business-as-usual-or-a-worst-case-scenario/>

Copernicus. *Copernicus in detail*.

<https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/copernicus-detail>

Copernicus. *Infrastructure Overview*.

<https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/infrastructure-overview>

EUMETSAT. *Sentinel-3*.

<https://www.eumetsat.int/sentinel-3>

European Centre for Medium – Range Weather Forecasts (ECMWF). Programme of the European Union. *Urban heat islands and heat mortality*.

<https://stories.ecmwf.int/urban-heat-islands-and-heat-mortality/index.html>

European Environment Agency. (2020). *The average summer season intensity of urban heat island (°C) and the projected number of extreme heatwaves in near future (2020-2052; RCP8.5)*.

<https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/the-average-summer-season-intensity>

García, D.H. (2022). Analysis of Urban Heat Island and Heat Waves Using Sentinel-3 Images: a Study of Andalusian Cities in Spain. *Earth Syst Environ* 6, 199–219.

<https://link.springer.com/article/10.1007/s41748-021-00268-9>

- GISGeography. (2023). *What is Remote Sensing ? The Definitive Guide*.
<https://gisgeography.com/remote-sensing-earth-observation-guide/>
- Gregory, J., Azarijafari, H., & Logan, A. (2021). *Urban Heat Islands*. MIT Climate Portal.
<https://climate.mit.edu/explainers/urban-heat-islands>
- Gunawardena, K.R., Wells M.J., & Kershaw, T. (2017). Utilizing green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of The Total Environment*. Volumes 584–585.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969717301754>
- Kotaridis, I., & Lazaridou, M. (2021). SEGMENTATION ON SENTINEL-3 DATA FOR SURFACE HEAT ISLAND DETECTION. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.* XLIII-B3-2021, 67–73.
<https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLIII-B3-2021/67/2021/>
- Kleerekoper, L., van Esch, M., & Salcedo, T.B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*. Volume 64.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344911001303>
- Mentaschi, L., Duveiller, G., Zulian, G., Corbane, C., Pesaresi, M., Maes, J., Stocchino, A., & Feyen, L. (2022). Global long-term mapping of surface temperature shows intensified intra-city urban heat island extremes. *Global Environmental Change*. Volume 72.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S095937802100220X>
- NASA EARTHDATA. *Copernicus Sentinel-3 Sea and Land Surface Temperature Radiometer (SLSTR)*.
<https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/slstr/>
- NASA EARTHDATA. *Heat Wave*.
<https://www.earthdata.nasa.gov/topics/atmosphere/weather-events/heat-wave>
- NASA EARTHDATA. *What is Remote Sensing ?*
<https://www.earthdata.nasa.gov/learn/backgrounders/remote-sensing>
- National Integrated Heat Health Information System (NIHHIS). *About Urban Heat Islands*.
<https://www.heat.gov/pages/urban-heat-islands>
- RUS Copernicus. (2019). *Training kit – LAND09. Urban heat island with Sentinel-3*.
<https://shorturl.at/awy01>
- RUS Webinar. *Urban Heat Island with Sentinel-3 – LAND09*.
<https://www.youtube.com/watch?v=5UHghHjP6ZQ>

- Santamouris, M. (2020). Recent progress on urban overheating and heat island research. Integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact. Synergies with the global climate change. *Energy & Buildings*.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778819326696>
- Sobrino, J. A., & Irakulis, I. (2020). A Methodology for Comparing the Surface Urban Heat Island in Selected Urban Agglomerations Around the World from Sentinel-3 SLSTR Data. *Remote Sensing*, 12(12), 2052.
<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/12/2052>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2022). *Learn About Heat Islands*.
<https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2022). *Heat Island Impacts*.
<https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-impacts>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2022). *Heat Islands and Equity*.
<https://www.epa.gov/heatislands/heat-islands-and-equity>
- United States Environmental Protection Agency (US EPA). (2023) *Climate Change and Heat Islands*.
<https://www.epa.gov/heatislands/climate-change-and-heat-islands>
- Wang, C., Wang, Z.H., Kaloush, K.E., Shacat, J. (2021). Cool pavements for urban heat island mitigation: A synthetic review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Volume 146.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032121004603>

ΕΛΛΗΝΙΚΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

- Γκιόκας, Κ. (2019). *Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας στη δυτική Μητροπολιτική Αθήνα* (Ερευνητική Εργασία).
http://oldwww.arch.ntua.gr/sites/default/files/project/14369_/gkiokas_konstantinos.pdf
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. *Καύσωνας 28/7/2021 – 5/8/2021*.
http://www.emy.gr/emv/el/pdf/heatwave_2021.pdf
- Εθνική Μετεωρολογική Υπηρεσία. *Επεισόδια καύσωνα Ιουλίου 2023 / πραγματικά και κλιματολογικά δεδομένα και ιστορική αναφορά*.
http://www.emy.gr/emv/el/pdf/EMY_C_Analysis_episodivn_kausona_Iouliou_2023.pdf

- Ελληνική Στατιστική Αρχή. *Αποτελέσματα απογραφής πληθυσμού κατοικιών 2021*.
https://elstat-outsourcers.statistics.gr/Census2022_GR.pdf
- Κολιώτης, Π. Τ. (2017). *Συμβολή των Χώρων Αστικού Πρασίνου στην Ποιότητα Ζωής των Κατοίκων του Λεκανοπεδίου Αττικής υπό το πρίσμα της Βιώσιμης Ανάπτυξης* (Διπλωματική Εργασία).
<https://shorturl.at/flSV6>
- Μπαϊρακτάρη, Α. (2021). *Διερεύνηση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στα μεγάλα αστικά κέντρα* (Διπλωματική Εργασία).
<https://apothesis.eap.gr/archive/item/143105?lang=el>
- Παπαευθυμίου, Δ. (2021). *Μελέτη του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας στις τρεις μεγαλύτερες πόλεις της Ελλάδας. Ομοιότητες και διαφορές*. (Διπλωματική Εργασία)
<https://apothesis.eap.gr/archive/item/82277>
- Περάκης, Κ., Μουσιάδης, Α., & Φαρασλής, Ι. (2015). *Η τηλεπισκόπηση σε 13 ενότητες* [Προπτυχιακό εγχειρίδιο]. Κάλλιπος, Ανοικτές Ακαδημαϊκές Εκδόσεις.
<http://83.212.175.100/jspui/handle/11419/1840>
- Πετρίδου, Δ. (2020). *Οι δορυφόροι Sentinel του ευρωπαϊκού προγράμματος Copernicus* (Ερευνητική Εργασία).
http://ikee.lib.auth.gr/record/325385/files/PETRIDOU DIMITRA780_EE.pdf
- Πετρίδου, Δ. (2020). *Περιβαλλοντική Τηλεπισκόπηση: διαχρονικές μεταβολές με την χρήση δορυφορικών εικόνων* (Διπλωματική Εργασία).
<http://ikee.lib.auth.gr/record/325388>
- Ρήγα, Μ. (2011). *Διερεύνηση Βιοκλιματικών Συνθηκών Περιοχών του Λεκανοπεδίου της Αττικής με Σύγχρονες Μεθόδους Ανάλυσης και Επεξεργασίας* (Μεταπτυχιακή Εργασία).
<http://dspace.aua.gr/xmlui/handle/10329/6204>
- Τσιαβος, Ι. (2016). *Η δορυφορική τηλεπισκόπηση στην περιβαλλοντική παρακολούθηση* (Διπλωματική Εργασία).
<http://ikee.lib.auth.gr/record/285462>
- Υπουργείο Υποδομών και Μεταφορών. (2023). *Επικαιροποίηση master plan αντιπλημμυρικών έργων Αττικής. Παραδοτέο 8: Ζώνη Λεκανοπέδιο Αττικής*.
<https://shorturl.at/dfDHW>
- EASTMEDITERRANEAN. (2016). *Φυσική Γεωγραφία του Λεκανοπεδίου Αττικής*.
<https://shorturl.at/bkrNW>

Jensen, J. R. (2015). *Τηλεπισκόπηση Περιβάλλοντος: Μια προοπτική για τα φυσικά διαθέσιμα*. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Ε.Μ.Π.

LifeASTI – forecAasting System for urban heaT Island effect.

<https://lifeasti.eu/el/arxikh/>

LifeASTI. Προγνωστικό Σύστημα Αστικής Θερμικής Νησίδας.

<https://app.lifeasti.eu/>

