



ΙΟΝΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ

ΤΜΗΜΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΜΕΠΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΣΠΟΥΔΩΝ -
ΨΗΦΙΑΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΚΑΙ ΚΑΙΝΟΤΟΜΙΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ – “CAPSTONE PROJECT”

**ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΡΑΣΙΝΟΥ ΣΤΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ ΤΗΣ
ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ ΤΩΝ ΑΣΤΙΚΩΝ ΙΣΤΩΝ ΜΕΣΩ ΧΡΗΣΗΣ
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΚΑΙ ΔΕΙΚΤΩΝ ΣΥΝΘΕΣΗΣ &
ΔΙΑΡΘΡΩΣΗΣ ΤΟΠΙΟΥ**

ΣΑΜΟΪΛΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ (ΠΚΜ 201913)

Επιβλέπων Καθηγητής: Ποϊραζίδης Κωνσταντίνος

Κέρκυρα, Φεβρουάριος 2021

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Η παρούσα πτυχιακή εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του Μεταπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών “Ψηφιακές Εφαρμογές και Καινοτομία” του Τμήματος Πληροφορικής Ιονίου Πανεπιστημίου, υπό την επίβλεψη του καθηγητή Κωνσταντίνου Ποϊραζίδη.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλους όσους συνέβαλαν με οποιονδήποτε τρόπο στην εκπόνηση αυτής της εργασίας, αλλά και όσους προσέφεραν την αμέριστη συμπαράστασή τους καθ’ όλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών σπουδών μου.

Ιδιαίτερα, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Ποϊραζίδη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον αντικείμενο, το οποίο από την πρώτη στιγμή με ενθουσίασε ενώ μέχρι το τέλος της εκπόνησης της εργασίας, ο ζήλος και το ενδιαφέρον παρέμεναν αμείωτα. Τον ευχαριστώ, ακόμα, από καρδιάς για την αμέριστη συμπαράστασή του, την καθοδήγηση, τις πολύτιμες συμβουλές αλλά και τις αμέτρητες συζητήσεις που πραγματοποιήθηκαν καθ’ όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της πτυχιακής μου εργασίας, ώστε να καταφέρω να την ολοκληρώσω και να επιτύχω το μέγιστο αποτέλεσμα.

Επιπλέον, στο πλαίσιο της εργασίας είχα την χαρά να συνεργαστώ με τον εξαίρετο Δρ. Γιώργο Κεφαλά, ο οποίος με τις επιστημονικές γνώσεις του με καθοδήγησε και με βοήθησε στην επίλυση καίριων και δύσκολων προβλημάτων που απαιτούνταν. Τον ευχαριστώ θερμά για την υπομονή, την κατανόηση, τις συμβουλές και τον τεράστιο χρόνο που αφιέρωσε για μένα ώστε να επιτευχθεί το μέγιστο αποτέλεσμα της παρούσας εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω και τα υπόλοιπα μέλη της Τριμελούς Επιτροπής κ. Μάρκο Αυλωνίτη και κ. Αριστοτέλη Μαρτίνη για την ευγενή συμπαράσταση και καθοδήγηση τους.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	4
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο- ΕΙΣΑΓΩΓΗ & ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	6
2.1. Αστικό Πράσινο (<i>Urban Green Spaces</i>)	7
2.1.1. Δίκτυα Πρασίνου	8
2.1.2. Αστικοί Υγρότοποι	8
2.1.3. Φυτεμένο Δώμα (<i>Green Roof</i>)	9
2.2. Ιστορική Εξέλιξη Αστικού Πρασίνου	9
2.3. Αστικό Πράσινο στις Ελληνικές Πόλεις	10
2.4. Ελληνικό Θεσμικό Πλαίσιο	12
2.5. Ο ρόλος του Αστικού Πρασίνου	12
2.5.1. Επίδραση στο μικροκλίμα	13
2.6. Αστικό Μικροκλίμα.....	14
2.6.1. Αστική Θερμική Νησίδα	15
2.7. Δορυφορική Τηλεπισκόπηση	17
2.7.1. Δορυφόρος <i>Landsat 8</i>	17
2.8. Ταξινόμηση Πολυφασματικών Εικόνων.....	19
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	21
3.1. Περιοχή Μελέτης – Νομός Αττικής	22
3.1.1. Γεωγραφική Θέση – Κλιματολογικές Συνθήκες	22
3.1.2. Πολεοδομικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης.....	23
3.2. Υπολογισμός Δεδομένων Θερμοκρασίας.....	24
3.2.1. Προεπεξεργασία εικόνων <i>Landsat 8</i>	24
3.2.2. Λήψη Δορυφορικών Δεδομένων	25
3.2.3. Ραδιομετρικές και Ατμοσφαιρικές Διορθώσεις.....	26
3.3. Υπολογισμός δείκτη βλάστησης (<i>NDVI</i>)	27
3.4. Υπολογισμός της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (<i>LST</i>).....	29
3.5. Ταξινόμηση Ορθοφωτογραφιών.....	31
3.5.1. Αντικειμενοστραφείς ταξινόμηση - <i>eCognition</i>	33
3.5.2. <i>Multiresolution Segmentation</i>	35
3.6. Δείκτες Σύνθεσης και Διάρθρωσης “Τοπίου”	38
3.7. Τοπογραφικοί δείκτες	40
3.8. Μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης – Γεωμετρικά σταθμισμένης παλινδρόμησης (<i>GWR</i>).....	42

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ	45
4.1. Αποτελέσματα στατιστικών δεδομένων - ΕΛΣΤΑΤ.....	46
4.2. Αποτελέσματα δορυφορικών εικόνων <i>Landsat 8</i>	47
4.2.1. Αποτελέσματα Δείκτη Βλάστησης <i>NDVI</i>	47
4.2.1. Αποτελέσματα Θερμικών Χαρτών.....	49
4.3. Συσχέτιση δείκτη βλάστησης <i>NDVI</i> με θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (<i>LST</i>).....	55
4.4. Αποτελέσματα Ταξινόμησης - Δημιουργία “Τοπίων”	57
4.5. Αποτελέσματα τοπογραφικών δεικτών	59
4.6. Διαγράμματα διασποράς μέσης θερμοκρασίας – δεικτών	61
4.7. Αποτελέσματα μοντέλων πρόβλεψης.....	75
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	89
5.1. Γενικά Συμπεράσματα – Κατανομή Αστικού Πρασίνου.....	90
5.2. Δείκτης βλάστησης <i>NDVI</i>	91
5.3. Σχολιασμός Θερμικών Χαρτών.....	92
5.3.1. Συσχέτιση Μέσης Εποχιακής Θερμοκρασίας (<i>LST</i>) με δείκτη Βλάστησης <i>NDVI</i>	93
5.4. Δείκτες “Τοπίου” & τοπογραφικοί δείκτες.....	94
5.4.1. Διαγράμματα Διασποράς.....	95
5.4.2. Διαγράμματα Συσχέτισης (<i>Correlogram</i>)	95
5.4. Μοντέλα Πρόβλεψης	96
Βιβλιογραφία	98

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στα σύγχρονα αστικά κέντρα οι παράγοντες που διαμορφώνουν το αστικό μικροκλίμα ποικίλουν και εξαρτώνται από πολλούς διαφορετικούς παράγοντες. Η αυξημένη αστικοποίηση, οι ανάγκες για μεγάλο και πυκνό αστικό δίκτυο, καθώς και το έντονο δομημένο περιβάλλον έχουν οδηγήσει στην αύξηση της θερμοκρασίας εντός των μεγάλων αστικών κέντρων. Το αστικό πράσινο αποτελεί ένας από τους ισχυρότερους παράγοντες στην διαμόρφωση ευνοϊκότερων θερμοκρασιών εντός των αστικών κέντρων. Σύμφωνα με μελέτες τα μεγάλα αστικά πάρκα με υγρή βλάστηση μπορεί να καταγράφουν έως και πέντε βαθμούς λιγότερη θερμοκρασία από το γειτονικό περιβάλλον τους.

Σκοπός της μεταπτυχιακής εργασίας (capstone project) είναι η καταγραφή, η συσχέτιση, η ερμηνεία και η πρόβλεψη των ισχυρών δεικτών και χαρακτηριστικών μιας περιοχής που συμβάλλουν θετικά ή αρνητικά στην διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκαν συγκεκριμένα δημοτικά διαμερίσματα της Αττικής, περιοχή η οποία χαρακτηρίζεται από την μεγάλη έλλειψη οργανωμένων χώρων αστικού πρασίνου καταγράφοντας τα χαμηλότερα ποσοστά σε αναλογία σε όλη την Ευρώπη. Τα δεδομένα από τις δορυφορικές εικόνες Landsat 8 OLI/TIRS του έτους 2020 έδειξαν μεγάλες θερμοκρασιακές διακυμάνσεις στην περιοχή μελέτης. Τα πιο θερμά σημεία εντοπίζονται σε βιομηχανικές περιοχές καθώς και στο πυκνό αστικό δίκτυο των μεγάλων αθηναϊκών λεωφόρων. Οι περιοχές με την υψηλότερη θερμοκρασία εντοπίζονται στο κέντρο του Δήμου Αθηνών καθώς και στα Δυτικά και Νοτιοδυτικά προάστια. Αντιθέτως, οι περιοχές με χαμηλότερη μέση θερμοκρασία εντοπίζονται στα βόρεια και στα ανατολικά της Αττικής. Άξιο αναφοράς είναι η διαμόρφωση ευνοϊκότερης θερμικής ζώνης που παρατηρείται γύρω από μεγάλα αστικά πάρκα και χώρους πρασίνου με ισχυρότερο το Λυκαβηττό.

Τέλος, μέσω διαγραμμάτων διασποράς και συσχέτισης, μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης και γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης γίνεται εκτίμηση των ισχυρότερων δεικτών στη πρόβλεψη και συσχέτιση της μέσης θερμοκρασίας. Ως εξαρτημένες μεταβλητές τέθηκαν οι μέσες θερμοκρασίες για κάθε εποχή του έτους 2020, ενώ σαν ανεξάρτητες τέθηκαν δείκτες σύνθεσης και διάρθρωσης τοπίου καθώς και τοπογραφικοί δείκτες. Η μέθοδος της αντικειμεστραφούς ταξινόμησης ορθοφωτογραφιών ήταν αναγκαία για τον υπολογισμό των δεικτών σύνθεσης και διάρθρωσης τοπίου κάθε περιοχής. Τα μοντέλα πρόβλεψης κατάφεραν να επιτύχουν αρκετά καλούς βαθμούς συσχέτισης με $R^2 > 0,50$ έως 0,78 με ισχυρότερους δείκτες το υψόμετρο και το ποσοστό κλάσης βλάστησης (PLAND_VEG) με αρνητική ισχυρή συσχέτιση καθώς και το ποσοστό δομημένου περιβάλλοντος με θετική συσχέτιση στη διαμόρφωση των μέσων θερμοκρασιών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο- ΕΙΣΑΓΩΓΗ & ΣΚΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η Γη διανύει μια θερμή περίοδο αφού πριν 12.000 χρόνια τελείωσε ο τελευταίος παγετώνας *Wurm* που είχε αρχίσει πριν 120.000 έτη Π.Χ.. Η περίοδος όμως που συντέλεσε πιο πολύ στην κλιματική αλλαγή ήταν η βιομηχανική επανάσταση τον 18^ο αιώνα όταν οι έντονες ανθρώπινες δραστηριότητες εκτόξευσαν τις τιμές του διοξειδίου του άνθρακα (CO_2), του μεθανίου (CH_4) αλλά και άλλων αερίων του θερμοκηπίου στα ύψη. Αποτέλεσμα αυτής της κατάστασης με το πέρασμα των χρόνων ήταν η αύξηση της μέσης θερμοκρασίας στον πλανήτη από το 1860 μέχρι σήμερα μεταξύ 0,4° C – 0,8° C (Μπαντούνας, 2008). Τα μεγάλα αστικά κέντρα του κόσμου είτε βρίσκονται σε επαφή με τη θάλασσα είτε σε μεγάλο υψόμετρο, είτε διαθέτουν πυκνή ή αραιή δόμηση, καταγράφουν σημαντική αύξηση θερμοκρασίας σε σχέση με τα προάστιά τους. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και έχει καταγραφεί από πολλούς αναλυτές με πρώτες έρευνες στη Μητροπολιτική περιοχή του Λονδίνου (Γκιάκας 2019). Τίθεται λοιπόν το ερώτημα, ποιοι είναι οι παράγοντες που διαμορφώνουν την θερμοκρασία μιας πόλης και για ποιο λόγο παρατηρούνται θερμοκρασιακές διακυμάνσεις σε περιοχές του ίδιου αστικού κέντρου.

Σκοπός της εργασίας είναι η εκτίμηση της επίδρασης του αστικού πρασίνου, καθώς και χαρακτηριστικών δεικτών στη διαμόρφωση των μέσων εποχιακών θερμοκρασιών. Η περιοχή μελέτης που εξετάστηκε αφορά συγκεκριμένα δημοτικά διαμερίσματα της περιφέρειας Αττικής.

Με βάση τον παραπάνω σκοπό, αναλύονται δορυφορικές εικόνες *Landsat 8*, οι οποίες παρέχουν όλα τα απαραίτητα δεδομένα θερμοκρασίας για την περιοχή μελέτης. Ακολουθεί αντικειμενοστραφής ταξινόμηση με χρήση ορθοφωτογραφιών όπου προσδιορίζονται τα πολύγωνα του αστικού πρασίνου – βλάστησης, του δομημένου περιβάλλοντος και των αδόμητων περιοχών. Υπολογίζονται οι απαραίτητοι δείκτες σύνθεσης και διάρθρωσης τοπίου καθώς και τοπογραφικοί δείκτες που χαρακτηρίζουν κάθε περιοχή. Τέλος, μέσω διαγραμμάτων διασποράς, μοντέλων πρόβλεψης γραμμικής και χωρικά σταθμισμένης παλινδρόμησης παρουσιάζεται η συσχέτιση και καταγραφή των ισχυρότερων δεικτών στη διαμόρφωση της μέσης εποχιακής και ετήσιας θερμοκρασίας του έτους 2020.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο - ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

2.1. Αστικό Πράσινο (*Urban Green Spaces*)

Ο όρος «αστικό πράσινο» αναφέρεται στις περιοχές και στους χώρους εντός του πολεοδομικού ιστού, που σχεδιάστηκαν με στόχο να φιλοξενήσουν μορφές βλάστησης. Οι χώροι αστικού πρασίνου αποτελούν τα πάρκα, άλση, κήποι μικρής ή μεγάλης κλίμακας, τμήματα που δημιουργούνται ως αδόμητοι χώροι καθώς και άλλοι διαμορφωμένοι χώροι πρασίνου (Nikol & Blake 2000). Το αστικό και περιαστικό πράσινο αποτελεί βασικό δείκτη της βιωσιμότητας εντός του αστικού ιστού των πόλεων. Η προσφορά του είναι σημαντική, καθώς συμβάλει στη διαμόρφωση του μικροκλίματος περιοχών της πόλης, καθώς αποτελεί χώρο αναψυχής και περιπάτου (Alcofora et. al. 2009). Οι αστικοί χώροι πρασίνου χαρακτηρίζονται από μεγάλη και διαφορετική ποικιλομορφία. Σύμφωνα με επιστήμονες προτάθηκε η ταξινόμηση των αστικών χώρων πρασίνου χρησιμοποιώντας διαφορετικά κριτήρια (Mc Pherson et. al. 2008). Τα κριτήρια ταξινόμησης είναι η σημασία, το μέγεθος, η λειτουργία, η θέση στον αστικό ιστό, το ιδιοκτησιακό καθεστώς, ο βαθμός ανθρώπινης παρέμβασης, η προσβασιμότητα κλπ. Κάθε χώρος αστικού πρασίνου μπορεί να ταξινομηθεί σε περισσότερες από μια κατηγορίες. (Flore et. al. 1998)

Οι χώροι αστικού πρασίνου ανάλογα με την διάταξή τους στον χώρο κατηγοριοποιούνται σε περιοχές (Κουκλαδάς, 2002):

- Γραμμικής ανάπτυξης
- Ακτινικής ανάπτυξης
- Ομόκεντρης ανάπτυξης

Προτείνεται η κατάταξη των χώρων πρασίνου στις παρακάτω χρήσεις: (Μπελαβίλας (2009)

- Τα πάρκα και τα άλση
- Οι κήποι
- Οι οδοί
- Οι πεζόδρομοι
- Τα πεζοδρόμια
- Οι πλατείες
- Οι παιδικές χαρές

Τα πάρκα και τα άλση αποτελούν ειδικότερη διάκριση των αστικών κοινόχρηστων χώρων πρασίνου, σύμφωνα με τις ισχύουσες πολεοδομικές διατάξεις (Κοντογιάννης Α. 2017). Οι δύο έννοιες διαφοροποιούνται ως προς τον τρόπο διαμόρφωσης της φυσικής ή τεχνητής βλάστησής τους. Τα πάρκα αποτελούν εκτάσεις εντός του πολεοδομικού ιστού, που καλύπτονται από ποικίλα βλάστηση,

ενώ τα άλση αποτελούν εκτάσεις πρασίνου εντός των πόλεων, στις οποίες υπάρχει ελεύθερη βλάστησης (Chiesura et. al. 2004). Ο σχεδιασμός των οδών επιτρέπει την τοποθέτηση πρασίνου και βλάστησης ώστε να αποτελούν ελεύθερους κοινόχρηστους χώρους αστικού πρασίνου (Σαρηγιάννη, 2006, Dimoudi et. al. 2003). Επιπλέον οι πεζόδρομοι αποτελούν διαμορφωμένους οδούς που δε προορίζονται για την κυκλοφορία οχημάτων, αλλά για την εξυπηρέτηση πεζών. Σε έναν πεζόδρομο υπάρχει η δυνατότητα κάλυψης με δένδρα, διάφορους χώρους βλάστησης κ.λπ. (Αγγέλη, 2017). Όσων αφορά τα πεζοδρόμια είναι τα τμήματα στην άκρη των οδών, που προορίζονται αποκλειστικά για την κίνηση των πεζών, στα οποία επιτρέπεται η ύπαρξη δενδροστοιχιών και άλλων στοιχείων (Σαρηγιάννη, 2006).

Σύμφωνα με τους διεθνείς πολεοδομικούς κανονισμούς οι πλατείες είναι οι πιο σημαντικοί ελεύθεροι χώροι στο ρυμοτομικό σχεδιασμό μιας πόλης. Οι πλατείες κατατάσσονται στην κατηγορία των ελεύθερων κοινόχρηστων χώρων συνάθροισης πολιτών, και όχι στην κατηγορία των χώρων πρασίνου. Η φυτοκάλυψή τους δεν αποτελεί υποχρέωση, όμως προτείνεται για την βελτίωση και την αύξηση των ποσοστών αστικού πρασίνου που αναλογούν στους πολίτες (Chiesura A. et. al. 2013).

2.1.1. Δίκτυα Πρασίνου

Τα δίκτυα πρασίνου αναφέρονται στο σύνολο τμημάτων πρασίνου που μπορεί να συνδέονται μεταξύ τους. Τα δίκτυα πρασίνου αποτελούν σημαντικό κομμάτι που συνδέεται άμεσα με τον αστικό ιστό των πόλεων (Κοντογιάννη 2017). Χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες:

- Οικολογικά Δίκτυα
- Δίκτυα Αναψυχής
- Δίκτυα Πολιτισμού και Ιστορικής Μνήμης
- Δίκτυα Αειφορικής Μετακίνησης
- Πολεοδομικά Δίκτυα (Ποδηλατοδρόμοι, Διαδρομές πεζών, Δρόμοι Ήπιας Κυκλοφορίας)

Στόχος των δικτύων αποτελεί η σύνδεση μέσω πράσινων διαδρομών των ίδιων περιοχών πρασίνου σε επίπεδο γειτονιών, περιοχών πόλεων, πόλεων, οικισμών, περιφερειών, κλπ.

2.1.2. Αστικοί Υγρότοποι

Μια άλλη περίπτωση αστικού πρασίνου είναι οι αστικοί υγρότοποι οι οποίοι βρίσκονται εντός ή και εκτός αστικού ιστού, και περιλαμβάνουν ποτάμια, λίμνες, βάλτους καθώς και παράκτιες περιοχές. Οι υγρότοποι έχουν θετικές επιδράσεις στην βιώσιμη ανάπτυξη των αστικών ιστών και τη ζωή των ανθρώπων. Διαθέτουν νερό για ύδρευση, εμπλουτίζουν τους υπόγειους υδροφορείς,

προστατεύουν από πλημμύρες και αποτελούν σημείο αναψυχής του αστικού περιβάλλοντος (Μπελαβίδας et. al. 2012).

2.1.3. Φυτεμένο Δώμα (*Green Roof*)

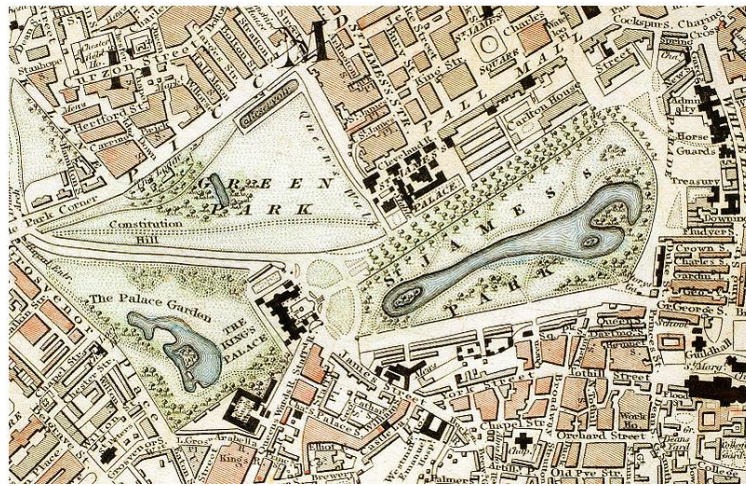
Τα φυτεμένα δώματα (*green roof*) αποτελούν μια καινοτόμα προσέγγιση του φυσικού τοπίου για την δημιουργία χώρων πρασίνου πάνω στην οροφή των κτιρίων. Λόγω της εντατικής δόμησης στα αστικά κέντρα, οι υπαίθριοι χώροι καθώς και οι ελεύθερες αδόμητες περιοχές εξαφανίζονται. Τα φυτεμένα δώματα ή πράσινες στέγες προσφέρουν ενεργειακά, περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη. Φυτεμένο δώμα είναι μια πράσινη επιφάνεια που κατασκευάζεται στην επιφάνεια ενός συμβατικού δώματος κατάλληλα μεμονωμένου το οποίο σε συνδυασμό με ένα ολοκληρωμένο σύστημα υποδομής εξασφαλίζει την υγιή ανάπτυξη φυτών. Το ολοκληρωμένο σύστημα φυτεμένου δώματος μπορεί να εφαρμοστεί στα περισσότερα κτίρια λόγω του μικρού φορτίου με το οποίο επιβαρύνει την πλάκα της οροφής (Βαβανου 2013). Η δημιουργία ενός φυτεμένου δώματος προσφέρει περιβαλλοντικά, ενεργειακά, και οικονομικά οφέλη και συμβάλει στην βελτίωση της ποιότητας των κατοίκων στα αστικά κέντρα. Ωστόσο πολύ σημαντική είναι η συνεισφορά των φυτεμένων δωμάτων στην εξοικονόμηση ενέργειας καθώς μειώνονται οι υψηλές και χαμηλές θερμοκρασίες εντός του κτιρίου. Η θερμομόνωση που παρέχεται από την φυτεμένη επιφάνεια συμβάλει στην εξοικονόμηση της ενέργειας που καταναλώνεται για ψύξη και θέρμανση. Σύμφωνα με διεθνείς έρευνες τα φυτεμένα δώματα αποτελούν μια σύγχρονη λύση αύξησης του αστικού πρασίνου σε πυκνοκατοικημένα αστικά κέντρα (Cantor 2008).

2.2. Ιστορική Εξέλιξη Αστικού Πρασίνου

Οι χώροι πρασίνου εξελίχθηκαν αρκετά με το πέρασμα των χρόνων. Η πρώτη αναφορά , χώρων πρασίνου αναφέρεται σε ιδιωτικές κατοικίες, με τη δημιουργία των ιδιωτικών κήπων. Οι χώροι πρασίνου χρησιμοποιούνταν, κυρίως, από τα ανώτερα κοινωνικά στρώματα, ως χώροι προσωπικής άθλησης, κοινωνικών συγκεντρώσεων κ.τ.λ.π. (Τσαλικίδης, 2005).

Στο κέντρο των οικισμών κατά τον 17^ο αιώνα αναπτύσσονται για πρώτη φορά δημόσια πάρκα και κοινόχρηστοι χώροι ενώ κοντά στα τέλη του 18ου αιώνα λαμβάνουν χώρα καίριες πολεοδομικές αλλαγές και καινοτομίες, με τις οποίες επιχειρείται η ισοκατανομή των ελεύθερων χώρων και των ιδιωτικών εκτάσεων με στόχο την ενσωμάτωση χώρων αστικού πρασίνου εντός του πολεοδομικού ιστού. Κατά τα τέλη του 19ου αιώνα, πραγματοποιείται οργανωμένη σχεδίαση χώρων αστικού πρασίνου, οι όποιοι συνδέουν τα προάστια με τα αστικά κέντρα των πόλεων (Αραβαντινός et.al. 1988). Τα επόμενα χρόνια, το αστικό πράσινο αποτελεί πλέον τμήμα των πολεοδομικών μελετών για

όλες τις μεγάλες πόλεις ενώ προτείνεται ο σχεδιασμός και η δημιουργία ενιαίου δικτύου πράσινων χώρων και διαδρομών (Mc Pherson et. al. 2008). Στις φωτογραφίες παρουσιάζονται παλιοί χάρτες χρήσεων γης με σημειωμένους και τους χώρους πρασίνου.



Εικόνα 1 Πολεοδομικός Χάρτης Αστικού Πάρκου "St. James Park" στο Λονδίνο - Έτος 1833 -

Πηγή: https://en.wikipedia.org/wiki/File:Green_Park_and_St._James's_Park_London_from_1833_Schmollinger_map.jpg

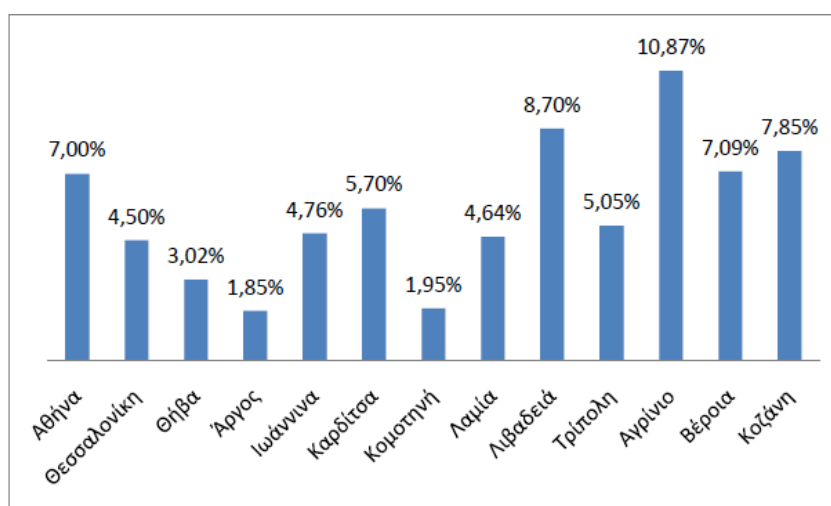
Μέχρι το 19ο αιώνα το δομημένο περιβάλλον του αστικού ιστού και οι δρόμοι δεν επηρεάζονται από την ύπαρξη πρασίνου. Επικρατούσε η σκέψη ότι το αστικό πράσινο δεν ήταν σε έλλειψη, καθώς η απόσταση από το περιμετρικό πράσινο των οικισμών ήταν πολύ μικρή (Κοντογιάννης, 2017). Από τα μέσα του 20ου αιώνα, όπου αρχίζει η έντονη και εκτεταμένη ανάπτυξη του αστικού ιστού και το φαινόμενο της αστικοποίησης, κρίθηκε απαραίτητη η αναζήτηση χώρων για την διαμόρφωση αστικού πρασίνου εντός του αστικού ιστού. Το πρόβλημα αυτό έρχεται σήμερα να αντιμετωπίσει ο πολεοδομικός σχεδιασμός.

2.3. Αστικό Πράσινο στις Ελληνικές Πόλεις

Η ποιότητα της ζωής των κατοίκων μιας πόλης καθορίζεται εκτός των άλλων και από το αστικό πράσινο που διατίθεται στους πολίτες. Λόγω της ραγδαίας πολεοδομικής ανάπτυξης και της ανάγκης για περισσότερες χρήσεις κτηρίων και κατοικιών στον αστικό ιστό, δημιουργήθηκε έλλειψη χώρων αστικού πρασίνου. Στόχος του Πολεοδομικού Σχεδιασμού αποτελεί ο προσδιορισμός ποσοτικά, γεωγραφικά και θεσμικά των δημοσίων χώρων καθώς και των ιδιωτικών (Μαρίνη 2016). Στην Ελληνική Πολεοδομική Νομοθεσία για τον προσδιορισμό και την ορθή εκμετάλλευση των κοινόχρηστων χώρων εντός του αστικού ιστού γίνεται χρήση συγκεκριμένων πολεοδομικών μεθόδων. Μέσω των Γενικών Πολεοδομικών Σχεδίων πραγματοποιείται η καταγραφή των αναγκών σε κοινόχρηστους και κοινωφελείς χώρους, και ακολουθεί ο σχεδιασμός της Ρυμοτομίας, όπου καθορίζονται οι χώροι πρασίνου με τις διαδικασίες της αποζημίωσης και της απαλλοτρίωσης στα

σχέδια προ του Ν. 1337/83 ή της εισφοράς σε γη και σε χρήμα στα σχέδια μετά το 1983 (Γιαννακού 2008, Γ.Ο.Κ. 1985).

Κρίσιμο πρόβλημα στην Ελλάδα αποτελεί η αδυναμία εφαρμογής του πολεοδομικού σχεδιασμού, που σχετίζονται με την εξασφάλιση των χώρων, και προορίζονται για συλλογική χρήση. Ακόμα οι υφιστάμενοι χώροι μιας πόλης είναι αρκετά λιγότεροι από το αντίστοιχο δομημένο περιβάλλον. Το πρόβλημα για κάποιες περιπτώσεις είναι σχεδόν πρακτικά άλυτο, καθώς εδώ και δεκαετίες δεν αντιμετωπίζεται με καμία πράξη εφαρμογή (Γιαννακού 2008). Όλα τα παραπάνω έχουν ως αποτέλεσμα τη ραγδαία μείωση χώρων πρασίνου. Στην Ελλάδα οι περισσότεροι οργανωμένοι χώροι πρασίνου σχεδιάστηκαν μετά την οικιστική εξάπλωση. Η Ερευνητική Ομάδα Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων του Πανεπιστημίου Αθηνών μελέτησε την κατανομή του αστικού πρασίνου σε πόλεις της Ελλάδας. Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται η ποσοστιαία αναλογία των αστικών χώρων πρασίνου στην έκταση κάθε πόλης το έτος 2014 (Βιλανού Χ. 2014).



Διάγραμμα 1 : Αναλογία Ποσοστού Πρασίνου ανά κάτοικο στις ελληνικές πόλεις – Πηγή: Γ.Π.Α. & www.protothema.gr

Η πόλη με το μεγαλύτερο ποσοστό αστικού πρασίνου είναι το Αγρίνιο, ενώ τα αντίστοιχα ποσοστά για τις Ευρωπαϊκές Πόλεις κυμαίνονται περίπου στο 25 % (Πρώτο Θέμα, 2015). Σύμφωνα με τις ελληνικές προδιαγραφές, την Πολεοδομική Νομοθεσία, η επιθυμητή έκταση ελεύθερων χώρων ανά κάτοικο ορίζεται σε 8 τετραγωνικά μέτρα. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι επιθυμητές επιφάνειες ελεύθερων χώρων ανά κάτοικο καθώς και το βιώσιμο μέγεθός τους (Μαρίνη 2016). Τα παραπάνω μεγέθη δυστυχώς αποτελούν επιθυμητά μεγέθη και όχι υποχρεωτικά. Το γεγονός αυτό, έχει ως αποτέλεσμα οι υφιστάμενες περιοχές των πόλεων στην Ελλάδα καθώς και νέες να υστερούν σε

αστικό πράσινο σε μεγάλο ποσοστό. Τα περισσότερα σχεδιαστικά προβλήματα αντιμετωπίζονται με την δημιουργία μεγάλων πάρκων, τα οποία είναι απαραίτητα για τα μεγάλα αστικά κέντρα, ωστόσο οι χρονοβόρες διαδικασίες για την απαλλοτρίωση εκτάσεων, για το σχεδιασμό, την υλοποίηση και την διαχείρισή απαιτούν αρκετό χρόνο γεγονός που τα καθιστά μη υλοποιήσιμα. Ακόμα ένα σημαντικό ζήτημα αποτελεί η έλλειψή και ο κατακερματισμός του αστικού πρασίνου σχεδόν σε όλα τα μεγάλα αστικά κέντρα της Ελλάδας (Γεροντίδου 2010, Μαρίνη 2016).

2.4. Ελληνικό Θεσμικό Πλαίσιο

Το νομοθετικό πλαίσιο στην Ελλάδα για την προστασία των ελεύθερων χώρων πρασίνου περιγράφεται αρχικά στον Νόμο 998/1979 “Προστασία των Δασών και των Δασικών εν γένει εκτάσεων της χώρας” και από την ισχύουσα Πολεοδομική Νομοθεσία. Σύμφωνα με το Ν. 998/1979 οι ελεύθεροι αστικοί χώροι κατατάσσονται στα πάρκα, στα οποία ανήκουν όλες οι εκτάσεις εντός πόλεων ή οικιστικών περιοχών και καλύπτονται από βλάστηση, και στα άλση στα οποία ανήκουν οι εκτάσεις εντός πόλεων ή οικιστικών περιοχών και καλύπτονται από φυσική δασική βλάστηση. Ακόμα σύμφωνα με την νομοθεσία απαγορεύεται ρυτά οποιαδήποτε αλλαγή προορισμού ή χρήσης των προαναφερθέντων περιοχών. Η Πολεοδομική Νομοθεσία στην Ελλάδα, διαμορφώνει τα σχέδια πόλεων, όπου εκτός των οικοδομήσιμων, των κοινωφελών και των οικοδομικών τετραγώνων, καθορίζονται κοινόχρηστοι χώροι. Οι χώροι αστικού πρασίνου ανήκουν στους χώρους κοινής χρήσης όπου είναι επιτρεπτή η δημιουργία εγκαταστάσεων για την εξυπηρέτηση του κοινού. Ακόμα ο Γενικός Οικοδομικός Κανονισμός 1577/1985 ορίζει την έννοια των κοινόχρηστων χώρων όπου περιλαμβάνονται οι χώροι αστικού πρασίνου. Στον ΓΟΚ όμως δεν προσδιορίζονται οι όροι μετατροπής χώρων σε κοινόχρηστους όπως γίνεται για παράδειγμα στους ιδιωτικούς χώρους που μετατρέπονται σε κοινόχρηστους με την βούληση των ιδιωτών (ΓΟΚ 1985, Μαρίνη 2016).

2.5. Ο ρόλος του Αστικού Πρασίνου

Οι χώροι αστικού πρασίνου αποτελούν βασικό συστατικό ενός βιώσιμου περιβάλλοντος καθώς καθορίζουν την ποιότητας ζωής των πολιτών με τα οφέλη που προσφέρουν. Στην σύγχρονη εποχή, το αστικό πράσινο κατέχει πολλαπλούς ρόλους στις λειτουργίες μιας πόλης τόσο με οικολογικά οφέλη όσο και με λειτουργικά, κοινωνικά καθώς και οικονομικά (Μηχαλίδου 2018).

Οι αστικοί χώροι πρασίνου προσφέρουν σημαντικά οφέλη στο περιβάλλον, με αισθητική αναβάθμιση του αστικού ιστού καθώς και στη βελτίωση του αστικού μικροκλίματος. Ακόμα προσφέρουν βελτίωση της ποιότητας των υδάτων, αποτροπή πλημμυρών, μείωση ηχορύπανσης καθώς και προστασία της βιοποικιλότητας. Ένα από τα σημαντικότερα οφέλη που προσφέρουν οι χώροι αστικού πρασίνου αποτελεί η μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης καθώς και η βελτίωση της

ποιότητας του αέρα στις κοντινές περιοχές που αναπτύσσονται. Κάθε είδους βλάστηση έχει την ικανότητα να βελτιώνει την ποιότητα του αέρα και επομένως συμβάλει στην μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που προκαλείται στους αστικούς ιστούς. Σύμφωνα με έρευνες που έλαβαν μέρος στη Γερμανία, εικοσιπέντε τετραγωνικά μέτρα φυλλώματος κατά την διάρκεια μιας ηλιόλουστης μέρας έχουν την ικανότητα να καλύψουν την ημερήσια ανάγκη ενός ατόμου σε καθαρό οξυγόνο (Αραβατινός 1988, Μπάλλα 2016, Μηχαλίδου 2018).

2.5.1. Επίδραση στο μικροκλίμα

Η βλάστηση με τις ιδιότητες της απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία με βελτίωση της θερμοκρασίας των αστικών χώρων τόσο τον χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Με τον τρόπο αυτό όπως θα διαπιστωθεί και στη συνέχεια της εργασίας διατηρείται μια μέση σταθερή θερμοκρασία στις περιοχές αυτές χωρίς μεγάλες θερμοκρασιακές αυξομειώσεις. Η σκιά που δημιουργείται από την παρουσία ενός μέσου ύψους δένδρου ελαττώνει την ορατή ακτινοβολία του ηλίου σε ποσοστό 25% έως και 30%, προσφέροντας σκίαση και τοπική δροσιά. Ακόμα το γρασίδι έχει την ικανότητα από μόνο του να απορροφά και να διοχετεύει μέρος της ηλιακής ακτινοβολίας στο έδαφος. Σύμφωνα με έρευνες έχει παρατηρηθεί ότι σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών (καύσωνα) εντός αστικού ιστού η παρουσία κατάλληλων χώρων πρασίνου μπορεί να επιτύχει μείωση της τοπικής θερμοκρασίας έως και πέντε βαθμούς (Σιαπκαλή 2011, Αρσενίου 2010, Κασσιός 2005, Σαλίκας 2014, Μηχαλίδου 2018).

Τα δένδρα και οι θάμνοι έχουν την ικανότητα μείωσης της έντασης και της κίνησης του ανέμου, δημιουργώντας με την παρουσία τους σταθερά εμπόδια καθώς προστατεύουν με ευνοϊκό τρόπο το περιβάλλον τους από ισχυρές ριπές ανέμου που μερικές φορές μπορεί να είναι καταστροφικές. Τα διάφορα χαρακτηριστικά τους, όπως το είδος, το ύψος, η πυκνότητα του φυλλώματος καθώς και η χωροθέτηση τους καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό την εκτροπή και την ελάττωση του ανέμου. (Αρσενίου 2010, Κασσιός 2005, Σαλίκας 2014, Μηχαλίδου 2018) Επιπλέον τα φυτά μέσω του ριζικού τους συστήματος συγκρατούν το έδαφος, καθώς δημιουργούν ένα πλέγμα με ρίζες. Με τον τρόπο αυτό αποτρέπεται ο κίνδυνος κατολισθήσεων και διαβρώσεων από έντονες βροχοπτώσεις. Ακόμα στις περιπτώσεις εντός του αστικού ιστού οι χώροι πρασίνου απορροφούν τις ποσότητες των βρόχινων κατακρημνίσεων προσδίδοντας ομαλή απορροή των όμβριων υδάτων αποτρέποντας υπερχειλίσσεις και ενδεχόμενες πλημμύρες στο εσωτερικό του αστικού ιστού (Αρσενίου 2010, Κασσιός 2005, Σαλίκας 2014, Μηχαλίδου 2018).

Ακόμα τα διάφορα είδη φυτών που συνθέτουν το αστικό πράσινο έχουν την δυνατότητα να απορροφήσουν σημαντικό μέρος θορύβου που δημιουργείται στα πυκνά αστικά κέντρα. Η ηχομόνωση που μπορεί να προσφέρει ένας χώρος πρασίνου εξαρτάται κατά μεγάλο ποσοστό από το είδος της

χλωρίδας που το συνθέτει. Σύμφωνα με μελέτες κάθε τετραγωνικό μέτρο ενός χώρου με φυτοκάλυψη έχει τη δυνατότητα να μειώσει το θόρυβο κατά 0,17 ντεσιμπέλ (Ντάφης 1989, Κάσσιος 2005). σε δρόμους πόλεων παρατηρείται η διάταξη δεντροστοιχιών παράλληλα καθώς επιτυγχάνεται εκτός των άλλων και μείωση της προκαλούμενης σκόνης από τα μέσα μαζικής μεταφοράς και την ανθρώπινη δραστηριότητα. Υπάρχουν συγκεκριμένα ήδη χλωρίδας που συγκρατούν τη σκόνη η οποία στη πορεία οδηγείται στο έδαφος μέσω της βροχής. Βάση μελετών τα δέντρα και οι θάμνοι έχουν τη δυνατότητα να συγκρατούν έως και το 75% της προερχόμενης σκόνης και καπνό. Αναφέρεται επίσης ότι περίπου εκατό στρέμματα αστικού πρασίνου μπορούν να κατακρατήσουν ετησίων έως και τέσσερις τόνους σκόνης (Κασσιός 2005, Σαλίκα 2014).

Οι χώροι αστικού πρασίνου προσφέρουν επίσης πολλά οικονομικά οφέλη τόσο στην ίδια την πόλη όσο και στους πολίτες που ζουν στην περιοχή. Πολλές ευρωπαϊκές πόλεις προσπαθώντας να ενισχύσουν τα μεγάλα αστικά κέντρα των πόλεων προωθούν πολιτικές για τη δημιουργία χώρων αστικού πρασίνου (Tajima 2003). Τα ιδιαίτερα οφέλη του αστικού πρασίνου αυξάνουν την οικονομική αξία της γης, όσο πλησιέστερα βρίσκεται σε περιοχή αστικού πρασίνου. Παράδειγμα αποτελεί η περιοχή του Μανχάταν στην Νέα Υόρκη όπου τα διαμερίσματα τα οποία βρίσκονται κοντινότερα στο μεγάλο πάρκο της πόλης το Σεντραλ Παρκ, είναι περιζήτητα με μεγάλη οικονομική αξία (Alcoforado et. al. 2009, Flores et. al 1998). Ακόμα η παρουσία πρασίνου στις πόλεις προσφέρει ένα καλύτερο μικροκλίμα στις κοντινές περιοχές τους καλοκαιρινούς μήνες με άμεση συνέπεια την μείωση χρήσης κλιματιστικών. Στην αντίθετη περίπτωση όπου η απουσία αστικού πρασίνου είναι σημαντική, αυξάνονται και οι απαιτήσεις για ψύξη, με αποτέλεσμα την μεγαλύτερη κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας. Η συγκεκριμένη εργασία θα εξετάσει κατά πόσο μεταβάλλεται η θερμοκρασία των αστικών περιοχών λόγω της ύπαρξης χώρων αστικού πρασίνου (Mc Pherson 2008, Μηχαηλίδου 2018).

2.6. Αστικό Μικροκλίμα

Με τον όρο κλίμα ορίζεται η μέση καιρική κατάσταση που επικρατεί σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Ειδικότερα αναφέρεται στη σύνθεση του καιρού για μια μεγάλη χρονική περίοδο. Το κλίμα μιας περιοχής αποτελεί ξεχωριστή παράμετρο και δεν συνδέεται με κάποιο στιγμιαίο καιρικό φαινόμενο. Αντίθετα εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την κατανομή της χλωρίδας, της πανίδας και του ανθρώπινου πληθυσμού καθώς και άλλως παραμέτρων (Castan et. al. 2013). Το κλίμα που επικρατεί σε μια περιοχή, μπορεί να περιγραφεί συναρτήση τριών επιπέδων, του μακροκλίματος, του μεσοκλίματος και του μικροκλίματος. Το μακροκλίμα περιλαμβάνει τα γενικά κλιματικά χαρακτηριστικά μιας περιοχής όπως για παράδειγμα η ηλιοφάνεια, οι βροχοπτώσεις, ο άνεμος, η υγρασία και οι νεφώσεις. Το μεσοκλίμα διαμορφώνεται από το μακροκλίμα σε συνδυασμό με τα

γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά του εδάφους, την βλάστηση καθώς και τις υδάτινες περιοχές που υπάρχουν. Το μικροκλίμα μια περιοχής λοιπόν ορίζεται ως η διαφορά του μακροκλίματος και του μεσοκλίματος. Η διαφορά οφείλεται κυρίως στις ανθρώπινες παρεμβάσεις και δραστηριότητες, όπως το δομημένο περιβάλλον (Γιώβος et. al. 2020, Κοντογιάννη 2017). Το μικροκλίμα που επικρατεί σε μια αστική περιοχή ονομάζεται ‘‘αστικό μικροκλίμα’’. Με τον όρο περιγράφονται οι τοπικές κλιματολογικές συνθήκες μιας αστικής περιοχής οι οποίες παρουσιάζουν διαφοροποιήσεις με τις συνθήκες που επικρατούν στην ευρύτερη περιοχή. Σημαντικό ρόλο διαδραματίζουν ακόμα η μορφολογία και η δόμηση της αστικής περιοχής καθώς επηρεάζουν σημαντικά την σκίαση και την ροή του αέρα στην περιοχή (Mirzaei & Haghighat, 2010, Κοντογιάννη 2017, Τζώρτζη Τ.).

Στα σύγχρονα αστικά κέντρα η συνεχόμενη αστικοποίηση, η διαρκής εκμετάλλευση κάθε ελεύθερου χώρου καθώς και η πυκνή δόμηση επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε περιοχής. Στα αστικά κέντρα λόγω του ύψους των κτηρίων και του προσανατολισμού των δρόμων δεν επιτυγχάνεται καλή κυκλοφορία του αέρα με αποτέλεσμα οι ατμοσφαιρικοί ρύποι και η αστική σκόνη να μην διαφεύγουν δημιουργώντας έντονη άπνοια και νέφος ειδικότερα κατά τους καλοκαιρινούς μήνες (Γαλανός et. Al 2008). Στα περισσότερα σύγχρονα αστικά κέντρα παρουσιάζεται το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Κύριο αίτιο για την δημιουργία του φαινομένου αποτελεί η χρήση κατασκευαστικών υλικών με υψηλό συντελεστή θερμοχωρητικότητας όπως το οπλισμένο σκυρόδεμα. Τα συγκεκριμένα δομικά υλικά χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των περισσότερων κατασκευών τα οποία αποθηκεύουν σημαντικά ποσά θερμικής ενέργειας κατά την διάρκεια της ημέρας, ενώ κατά την νυχτερινή περίοδο αποβάλλονται στην ατμόσφαιρα με την μορφή θερμότητας. Λόγω αυτού του φαινομένου αυξάνεται η θερμοκρασία των αστικών κέντρων. Το φαινόμενο της θερμικής αστικής νησίδας θα μελετηθεί λεπτομερώς στη συνέχεια (Κοντογιάννη 2017, Τζώρτζη Τ.)

2.6.1. Αστική Θερμική Νησίδα

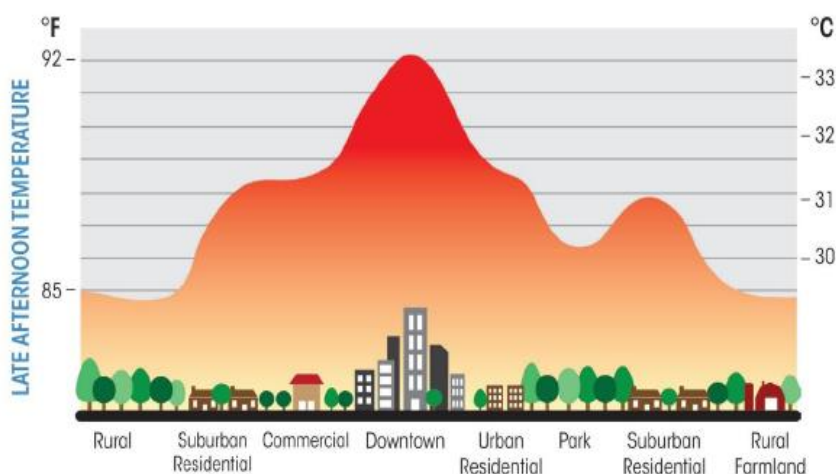
Το φαινόμενο της Αστικής Θερμικής Νησίδας περιεγράφηκε για πρώτη φορά το 1819 από τον *Luke Howard* μελετώντας και ερμηνεύοντας το κλίμα της πόλης του Λονδίνου (Γκικόκας 2019). Πιο συγκεκριμένα, με τον όρο Αστική Θερμική Νησίδα (ΑΘΝ) περιγράφεται το φαινόμενο αυξημένων τιμών θερμοκρασίας εντός των αστικών κέντρων σε σύγκριση με τις αντίστοιχες θερμοκρασίες στα προάστια. Ακόμα η θερμική νησίδα μπορεί να περιγραφεί ως το φαινόμενο κατά το οποίο ένας χώρος είναι αισθητά πιο θερμός από το περιβάλλον του (Γιώβος et. al. 2020). Η θερμική νησίδα είναι μετρήσιμο μέγεθος με υπολογισμό της ισχύς της.

Η ισχύς ή αλλιώς η ένταση της ΑΘΝ μπορεί να υπολογιστεί μέσω της έντασης του φαινομένου, η οποία δίνεται από τον τύπο:

$$UHI_{max}=T_{urban}-T_{rural}$$

Όπου *Turban* είναι η θερμοκρασία στον αστικό ιστό, ενώ *Trural* είναι η αντίστοιχη θερμοκρασία στον υπαίθριο χώρο (Γιώβος et. al. 2020, Γκικόκας 2019).

Στις αστικές περιοχές η παραγόμενη θερμότητα από ανθρωπογενείς δραστηριότητες επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την θερμοκρασία. Η συνεχώς παραγόμενη θερμότητα σε συνδυασμό με την μειωμένη ανανέωση του αέρα εντός των πόλεων προκαλεί την αύξηση της θερμοκρασίας. Η διαφορά αυτή παρατηρείται από νωρίς το μεσημέρι και αποκτά τη μέγιστη τιμή της δύο ή τρεις ώρες μετά τη δύση του ηλίου (Γιώβος et. al. 2020, Γκικόκας 2019).



Εικόνα 2 : Φαινόμενο Αστικής Θερμικής Νησίδας

Το μεγαλύτερο ποσοστό της παραγόμενης θερμότητας προέρχεται από τα κτήρια και τα μέσα μαζικής μεταφοράς. Οι αυξημένες απαιτήσεις για θέρμανση τον χειμώνα και για δροσισμό τους καλοκαιρινούς μήνες έχουν ως αποτέλεσμα την μερική έκκλιση θερμότητας από τα κτήρια, λόγω κακής μόνωσης, προς τον περιβάλλοντα χώρο με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας τοπικά. Σύμφωνα με έρευνες σε μεγάλα αστικά κέντρα, όπως το Λος Άντζελες, η Βοστώνη και η Ουάσιγκτον, παράγεται περίπου ποσότητα θερμότητας ίση με το ήμισυ της ηλιακής ακτινοβολίας που προσπίπτει σε μία οριζόντια επιφάνεια το χειμώνα και περίπου 15% της ακτινοβολίας που προσπίπτει κατά την θερινή περίοδο (Μπουντας, 2014, Γιώβος et. al. 2020, Γκικόκας 2019). Αποτέλεσμα είναι η έκκλιση θερμότητας κατά τις βραδινές ώρες από το κέλυφος των κτηρίων αυξάνοντας την θερμοκρασία στην περιοχή. Επιπλέον σύμφωνα με ερευνητές (Santamouris, et al., 2007) το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας εμφανίζεται σε αστικά κέντρα με αυξανόμενη πληθυσμιακή πυκνότητα.

Ο ερευνητής Oke το 1973 ανέπτυξε μοντέλο παλινδρόμησης, διαπιστώνοντας πως το 97% της έντασης της θερμικής αστικής νησίδας οφείλεται αποκλειστικά στην μεταβολή του πληθυσμού στη μελετούμενη περιοχή (Γιώβος et. al. 2020, Γκιόκας 2019).

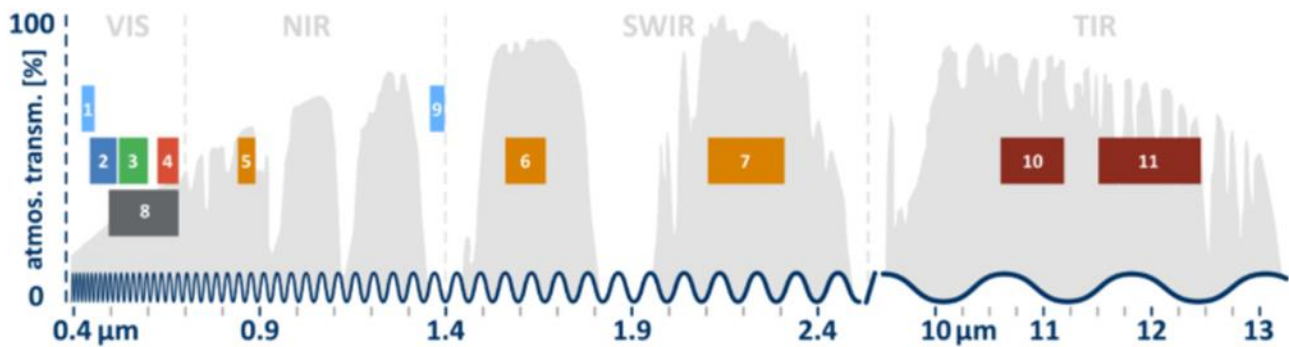
2.7. Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

Με την συνεχή πρόοδο της τεχνολογίας και την επιτακτική ανάγκη στη σύγχρονη εποχή για ακριβή αποτελέσματα, όσον αφορά τις καλύψεις γης, η επεξεργασία δεδομένων τα οποία λαμβάνονταν με την βοήθεια δορυφόρων αποτελούσαν μια καλή προσπάθεια των μελετητών για να παραβλέψουν τις δυσκολίες που αντιμετώπιζαν παλαιότερα. Με την κατάκτηση του διαστήματος ο άνθρωπος έθεσε δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη γη, οι οποίοι σαρώνουν την επιφάνεια της. Με την βοήθεια αυτών διατίθενται ενημερωμένα δεδομένα, με την μορφή εικόνων, σε διαφορετικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Τα συγκεκριμένα δεδομένα είναι τα πλέον κατάλληλα μιας και σε συνδυασμό με τις μεθόδους τηλεπισκόπησης μπορούν να παρέχουν γρήγορα και με μεγάλη ακρίβεια θεματικούς ψηφιακούς χάρτες διάφορων ειδών. Η Τηλεπισκόπηση, είναι η επιστήμη και η τεχνική της απόκτησης πληροφορίας για ένα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο μέσω της ανάλυσης δεδομένων τα οποία αποκτώνται με διατάξεις που δεν είναι σε επαφή με το αντικείμενο το οποίο μελετάται (Λαζαρίδου, 2012, Μετρίκας 2006, Παπαθανασίου 2017).

2.7.1. Δορυφόρος Landsat 8

Ο Landsat 8 είναι ένας δορυφόρος με στόχο την παρατήρηση την καταγραφή και συλλογή δεδομένων από τη Γης. Είναι ο όγδοος κατά σειρά δορυφόρος στο πρόγραμμα Landsat και ανήκει στην Landsat Data Continuity Mission (LDCM), όπου αποτελεί συνεργασία της NASA και της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών (United States Geological Survey- USGS). Ο δορυφόρος Landsat 8 παρέχει αυξημένη κάλυψη για την καταγραφή δεδομένων από την επιφάνεια της Γης , ενώ εξασφάλισε τη συνεχή απόκτηση και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων Landsat χρησιμοποιώντας ένα ωφέλιμο φορτίο δύο αισθητήρων, του Operational Land Imager (OLI) και του Thermal InfraRed Sensor (TIRS). Τα δύο αυτά όργανα συλλέγουν δεδομένα εικόνας για εννέα μικρού μήκους κύματος ζώνες και δύο μεγάλου μήκους κύματος θερμικές ζώνες (Αστάρας 2006, Δαλαγγέλη 2016). Βασικός στόχος είναι η συλλογή και αρχειοθέτηση πολυφασματικών δεδομένων εικόνας μεσαίας ανάλυσης με Pixel 30 μέτρων σε χωρική ανάλυση. Τα δεδομένα αυτά συλλέγονται για εποχιακή κάλυψη των παγκόσμιων επιφανειών του εδάφους. Τα στοιχεία αυτά αποτελούν την γεωμετρία απόκτησης δεδομένων, την βαθμονόμηση των χαρακτηριστικών κάλυψης, των φασματικών χαρακτηριστικών την ποιότητα των προϊόντων της παραγωγής και τη διαθεσιμότητα των

δεδομένων για να επιτραπούν μελέτες της εδαφοκάλυψης και της αλλαγής της χρήσης γης με την πάροδο του χρόνου. Ακόμα κύριος στόχος και στρατηγική των προγραμμάτων Landsat είναι η διανομή των δεδομένων Landsat 8 χωρίς κανένα κόστος στο ευρύ κοινό (Αστάρας 2006, Δαλαγγέλη 2016).



Εικόνα 3: Κανάλια καταγραφής δεδομένων από Δορυφόρο Landsat 8 -- Πηγή: Freie Universitat Berlin -- <https://blogs.fu-berlin.de/reseda/landsat-8/>

Παρέχοντας μέτρια ανάλυση εικόνων της επιφάνειας της Γης και των πολικών περιοχών σε ύψος από 15 έως 100 μέτρα, ο Landsat 8 λειτουργεί στο ορατό, στο εγγύς υπέρυθρο, στο μικρό μήκους κύματος υπέρυθρο και στα θερμικά υπέρυθρα φάσματα. Επιπλέον, συλλαμβάνει πάνω από 700 σκηνές την ημέρα, μια αύξηση από τις 250 σκηνές την ημέρα που απαθανατίζει ο Landsat 7. Οι αισθητήρες OLI και TIRS βελτιώνουν το σήμα επιτρέποντας 12-bit κβαντισμού των δεδομένων, δηλαδή περισσότερα bits για τον καλύτερο χαρακτηρισμό της κάλυψης της Γης. Στην περιοχή μελέτης ο δορυφόρος Landsat 8 επαναλαμβάνει την πορεία του κάθε περίπου 15 ημέρες (Αστάρας 2006, Δαλαγγέλη 2016).

Operational Land Imager (OLI)

Το όργανο OLI συλλέγει δεδομένα από εννέα φασματικές ζώνες. Επτά από τις εννέα ζώνες είναι συμβατές με αισθητήρες που υπήρχαν σε προηγούμενους δορυφόρους Landsat (*Thematic Mapper(TM)* και *Enhanced Thematic Mapper Plus(ETM+)*) παρέχοντας συμβατότητα με τα ιστορικά δεδομένα Landsat, βελτιώνοντας παράλληλα τις δυνατότητες μέτρησης. Δύο νέες φασματικές ζώνες, μια βαθιά μπλε παράκτια και μια μικρού μήκους κυμάτων-υπέρυθρη κιτρινοκόκκινη ζώνη, συλλέγονται, επιτρέποντας στους επιστήμονες να μετρήσουν την ποιότητα του νερού και τη βελτίωση της ανίχνευσης των υψηλών, λεπτών σύννεφων. Τα δεδομένα που παρέχονται από τον αισθητήρα OLI διαθέτουν ανάλυση 30 x 30 μέτρα (Αστάρας 2006, Δαλαγγέλη 2016).

BAND	SPECTRAL	WAVELEN. [μm]	GEOM. [m]	SENSOR
1	aerosols	0.435 – 0.451	30	OLI
2	blue	0.452 – 0.512	30	OLI
3	green	0.533 – 0.590	30	OLI
4	red	0.636 – 0.673	30	OLI
5	NIR	0.851 – 0.879	30	OLI
6	SWIR-1	1.566 – 1.651	30	OLI
7	SWIR-2	2.107 – 2.294	30	OLI
8	pan	0.503 – 0.676	15	OLI
9	cirrus	1.363 – 1.384	30	OLI

Εικόνα 4: Φασματικά Κανάλια Αισθητήρα OLI - Landsat 8 -- Πηγή: Freie Universitat Berlin -- <https://blogs.fu-berlin.de/reseda/landsat-8/>

2.8. Ταξινόμηση Πολυφασματικών Εικόνων

Η ταξινόμηση ψηφιακής πολυφασματικής εικόνας, αναφέρεται στη διαδικασία κατηγοριοποίησης των εικονοστοιχείων σε ομάδες, ή κλάσεις, με κοινά χαρακτηριστικά, όπως φασματική απόκριση, υφή κ.τ.λ.π.. Οι κλάσεις αυτές μπορούν να εκφράζουν, τύπους φυτοκάλυψης, χρήσεις γης και άλλες οντότητες γεωλογικού, εδαφολογικού, χωροταξικού ή φυσικογεωγραφικού χαρακτήρα. Υπάρχουν διάφορες αυτοματοποιημένες μέθοδοι ταξινόμησης, που περιλαμβάνουν διάφορες μεθοδολογίες όπως θεωρία αλγορίθμων, οι διανυσματικοί χώροι, η θεωρία πιθανοτήτων, τα νευρωνικά δίκτυα και ο προγραμματισμός, μέσω του οποίου αναπτύσσεται το κατάλληλο λογισμικό, ώστε να υλοποιηθεί, η διαδικασία ταυτοποίησης και ταξινόμησης του κάθε εικονοστοιχείου σε μια κατηγορία. Επιπλέον κρίνεται αναγκαία η καλή γνώση των γεωλογικών και φυσικογεωγραφικών συνθηκών και χαρακτηριστικών της περιοχής, ώστε οι αυτοματοποιημένοι αλγόριθμοι ταξινόμησης να οδηγήσουν σε αξιόπιστα αποτελέσματα.

Όταν η ταξινόμηση πραγματοποιείται με κριτήριο τη φασματική απόκριση του κάθε εικονοστοιχείου, τότε πρόκειται για πολυφασματική ταξινόμηση (*multispectral classification*). Σε αυτό το είδος ταξινόμησης, σημασία έχει η έννοια της περιοχής ομαδοποίησης (*cluster*) στην οποία ανήκουν οι φασματικές αποκρίσεις πολλών εικονοστοιχείων. Μια περιοχή ομαδοποίησης στο φασματικό χώρο, θεωρείται ότι αντιστοιχεί σε μια γεωλογική ή φυσικογεωγραφική ενότητα στο γεωγραφικό χώρο. Πιο συγκεκριμένα, μια περιοχή ομαδοποίησης μπορεί να αντιστοιχεί σε έναν τύπο πετρώματος, ή σε έναν τύπο φυτοκάλυψης. Το πλήθος λοιπόν των περιοχών ομαδοποίησης είναι ίσο με το πλήθος των επιφανειακών σχηματισμών ή τύπων εδαφοκάλυψης που δημιουργούν την περιοχή έρευνας. Η διαδικασία πολυφασματικής ταξινόμησης, αποτελεί τη διαδικασία ένταξης του κάθε εικονοστοιχείου σε μια περιοχή ομαδοποίησης, με βάση κάποιο κριτήριο. Όταν το κάθε

εικονοστοιχείο έχει ενταχθεί, με βάση τη φασματική υπογραφή του, σε μια περιοχή ομαδοποίησης του φασματικού χώρου, τότε ολοκληρώνεται η διαδικασία ταξινόμησης της ψηφιακής εικόνας. Ο γεωγραφικός χώρος έχει ταξινομηθεί πλέον σε διάφορες γεωλογικές, εδαφολογικές ή φυσικογεωγραφικές ενότητες διακριτή φασματική απόκριση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο - ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Στο συγκεκριμένο κεφάλαιο αναφέρονται οι μέθοδοι και οι διαδικασίες καθώς και η σειρά εκτέλεσης των διαφόρων εργασιών που πραγματοποιήθηκαν στη πτυχιακή εργασία με στόχο την εξαγωγή των αποτελεσμάτων για την ερμηνεία της διαμόρφωσης της θερμοκρασίας σε περιοχές της Αττικής. Όλα τα βήματα και οι διαδικασίες θα αναλυθούν λεπτομερώς στις επόμενες ενότητες. Αρχικά θα γίνει αναφορά στην περιοχή μελέτης και τα χαρακτηριστικά της, θα αναφερθούν οι διαδικασίες υπολογισμού των θερμικών χαρτών για τις τέσσερις εποχές του έτους 2020, ο υπολογισμός του δείκτη βλάστησης *NDVI*, η μέθοδος αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης ορθοφωτογραφιών κάθε περιοχής, ο υπολογισμός των δεικτών σύνθεσης και διάρθρωσης τοπίου, των σχετικών τοπογραφικών δεικτών καθώς και η μέθοδος γραμμικής και γεωγραφικής παλινδρόμησης για την συσχέτιση όλων των δεδομένων και δεικτών στην διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας.

3.1. Περιοχή Μελέτης – Νομός Αττικής

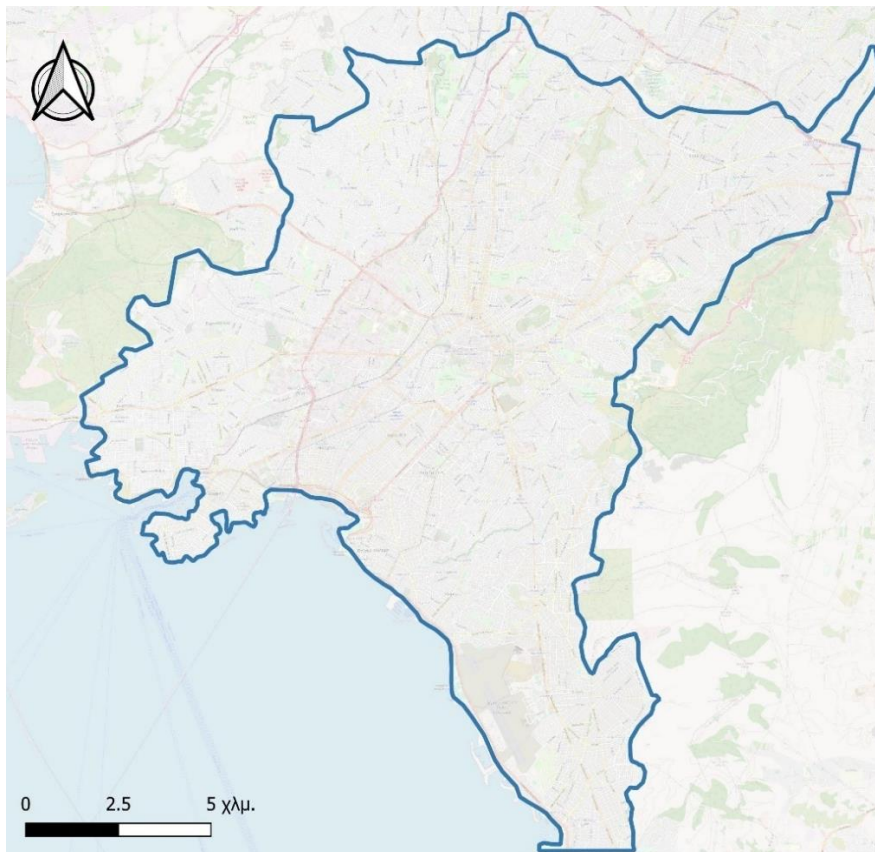
Η συγκεκριμένη εργασία έχει ως στόχο την ερμηνεία της επίδρασης του αστικού πρασίνου στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας στην περιοχή της Αττικής. Η περιοχή μελέτης αφορά την Αττική, με συγκεκριμένα δημοτικά διαμερίσματα. Η περιοχή μελέτης αποτελεί έναν μεγάλο αστικό ιστό με μεγάλη πληθυσμιακή κάλυψη, λανθασμένη ανακατανομή αστικού πρασίνου και πολλά πολεοδομικά προβλήματα ανάμεσα στις διαφορετικές περιοχές. Αποτελεί ένα μωσαϊκό δημοτικών διαμερισμάτων με τελείως διαφορετικά πολεοδομικά συστατικά το καθένα στον ιστό του καθώς κάθε περιοχή της Αττικής διαφέρει από κάθε άλλη (Καλούδης et.al. 2017, Μπαλαβίδας et. al. 2012).

Η διαφορετικότητα αυτή στάθηκε έναυσμα για την μελέτη που πραγματοποιήθηκε καθώς δόθηκε η δυνατότητα μελέτης, καταγραφής, συσχέτισης και σύγκρισης των αποτελεσμάτων μεταξύ των διαφορετικών δημοτικών διαμερισμάτων που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα μελετήθηκαν τα δημοτικά διαμερίσματα της Αττικής από τα Νότιοανατολικά Προάστια (Γλυφάδα, Ελληνικό, Άλιμος) έως τα νοτιοδυτικά προάστια (Κερατσίνι, Δραπετσώνα) κλείνοντας βόρεια μέχρι την Αττική Οδό. Στόχος η καταγραφή και η ερμηνεία της διαμόρφωσης της θερμοκρασίας εντός του πυκνού αστικού ιστού, δηλαδή στις πιο πυκνοκατοικημένες περιοχές.

3.1.1. Γεωγραφική Θέση – Κλιματολογικές Συνθήκες

Η Αθήνα είναι η πρωτεύουσα και μεγαλύτερη πόλη της Ελλάδας, με την ιστορία της να φθάνει έως το 3200 π.Χ. Βρίσκεται στην Περιφέρεια Αττικής και με 3.180.000 κατοίκους, σύμφωνα με την τελευταία απογραφή του 2011, συγκεντρώνει σχεδόν το ένα τρίτο του πληθυσμού της χώρας. Το Λεκανοπέδιο Αττικής, στο οποίο απλώνεται η περιοχή μελέτης, περικλείεται από πέντε βουνά: το Όρος Αιγάλεω και το Ποικίλο Όρος στα δυτικά, την Πάρνηθα και την Πεντέλη στα βόρεια και τον Υμηττό στα ανατολικά, ενώ στα νότια η Αθήνα διαθέτει παραθαλάσσιο μέτωπο προς τον Σαρωνικό

Κόλπο (Καλούδης et.al. 2017, Μπαλαβίδας et. al. 2012). Η Αθήνα χαρακτηρίζεται για το εύκρατο μεσογειακό κλίμα της το οποίο είναι ήπιο κατά το μεγαλύτερο μέρος του χρόνου, καταγράφοντας μέση ετήσια θερμοκρασία 18°C και αρκετές ημέρες ηλιοφάνειας. Ακόμα καταγράφονται αρκετά θερμά καλοκαίρια, με την θερμοκρασία με θερμότερο μήνα τον Αύγουστο, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες οι χαμηλότερες θερμοκρασίες καταγράφονται κατά τον Ιανουάριο (Καλούδης et.al. 2017, Μπαλαβίδας et. al. 2012).



Εικόνα 5: Περιοχή Μελέτης

3.1.2. Πολεοδομικά χαρακτηριστικά περιοχής μελέτης

Συλλέχθηκαν πολεοδομικά χαρακτηριστικά στοιχεία των δημοτικών διαμερισμάτων της Αττικής ώστε να παρουσιαστούν και να προκύψουν οι περιοχές με εντονότερα πολεοδομικά προβλήματα. Ακόμα μέσω των στατιστικών στοιχείων που συλλέχθηκαν πραγματοποιήθηκε η αρχική καταγραφή των ποσοστών οργανωμένων χώρων αστικού πρασίνου που διαθέτει κάθε περιοχή ώστε να είναι γνωστά τα προβλήματα κάθε περιοχής. Πιο συγκεκριμένα για κάθε δημοτικό διαμέρισμα λήφθηκαν δεδομένα από την ΕΛΣΤΑΤ σχετικά με τον ενεργό πληθυσμό, την έκταση κάθε δημοτικού διαμερίσματος καθώς και την πυκνότητά του (κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο). Ακόμα πραγματοποιήθηκε συλλογή δεδομένων από την ΕΛΣΤΑΤ σχετικά με την έκταση των πάρκων πρασίνου στην Αττική, και καταγράφηκε για κάθε δημοτικό διαμέρισμα το ποσοστό πρασίνου που

διαθέτει σε σχέση με την έκταση του καθώς και τα τετραγωνικά μέτρα που αναλογούν σε κάθε κάτοικο κάθε περιοχής (ΕΛΣΤΑΤ, Καλούδης 2017, Μπελαβίδας 2012).

3.2. Υπολογισμός Δεδομένων Θερμοκρασίας

Αναλύθηκαν δορυφορικές εικόνες *Landsat 8* για τον υπολογισμό των θερμοκρασιών των μελετούμενων περιοχών της Αττικής καθώς και του δείκτη βλάστησης *NDVI* για τις τέσσερις εποχές του έτους 2020. Εκτελέστηκε επεξεργασία των επιλεγμένων δορυφορικών εικόνων μέσω του λογισμικού Γεωγραφικών Πληροφοριών το *QGIS* ενώ με την χρήση κατάλληλων μαθηματικών συναρτήσεων δημιουργήθηκαν διανυσματικές εικόνες με θερμοκρασιακά δεδομένα. Ακόμα καταγράφηκαν οι πιο θερμές περιοχές στην περιοχή μελέτης καθώς και οι πιο δροσερές και οι οποίες αναλύονται λεπτομερώς στα τα αποτελέσματα που προκύπτουν. Επιπλέον μελετήθηκε η επίδραση των μεγάλων πάρκων αστικού πρασίνου στην διαμόρφωση του τοπικού μικροκλίματος και εν γένη της θερμοκρασίας και υπολογίστηκε ο δείκτης βλάστησης για κάθε μια εποχή.

3.2.1. Προεπεξεργασία εικόνων *Landsat 8*

Οι δορυφορικές πλατφόρμες οι οποίες σαρώνουν τη γη, προσφέρουν χρήσιμα δεδομένα με σκοπό την επεξεργασία τους καθώς και την συλλογή πληροφοριών. Κάθε ψηφιακή εικόνα εισέρχεται σε έναν αλγόριθμο κατά ένα εικονοστοιχείο κάθε φορά στη συνέχεια τα δεδομένα τα οποία χρησιμοποιεί ο αλγόριθμος εισάγονται σε διάφορες εξισώσεις και μετά από πολύπλοκες διεργασίες και εφόσον έχουν υπολογιστεί, αποθηκεύονται για κάθε εικονοστοιχείο τα αποτελέσματα των εξισώσεων. Τα αποτελέσματα που προκύπτουν για κάθε εικονοστοιχείο δημιουργούν μια νέα ψηφιακή εικόνα η οποία μπορεί να απεικονιστεί, να εκτυπωθεί ή να υποστεί περισσότερη επεξεργασία εφόσον απαιτείται (Ρέντζιος, 2009). Οι συγκεκριμένες λειτουργίες στοχεύουν στην διόρθωση διάφορων πιθανών παραμορφώσεων, οι οποίες μπορεί να εντοπιστούν από τον εκάστοτε μελετητή στα δεδομένα της απεικόνισης. Οι παραμορφώσεις αυτές πιθανότατα να προέρχονται από την διαδικασία απόκτησης των εικόνων καθώς εξαρτώνται από τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα που χρησιμοποιείται (Αστάρης 2006). Οι διαδικασίες βελτίωσης της εικόνας περιλαμβάνουν διάφορες τεχνικές οι οποίες βελτιώνουν την οπτική διάκριση μεταξύ των χαρακτηριστικών. Η διαδικασία της βελτίωσης στοχεύει στη δημιουργία “νέων” εικόνων από τα αρχικά δεδομένα απεικόνισης, ώστε να αυξηθούν οι πληροφορίες που μπορεί συλλεχθούν από τα δεδομένα. Μέσω της διαδικασίας αυτής προκύπτουν βελτιωμένες απεικονίσεις (Αστάρης 2006).

Η αρχική λήψη των προϊόντων του δορυφόρου *Landsat 8* περιλαμβάνει 12 εικόνες τύπου *GeoTiff*, μία για το κάθε κανάλι, όπου χρειάζονται συγχώνευση σε ενιαίο αρχείο για την ευκολότερη

επεξεργασία τους καθώς και ατμοσφαιρικές διορθώσεις ώστε οι τιμές των εικονοστοιχείων να θεωρούνται αξιόπιστες και κατάλληλες για περαιτέρω επεξεργασία. Στην παρούσα εργασία, τα κανάλια που χρησιμοποιούνται είναι από το 1 έως και το 7, άρα θα κάνουμε συγχώνευση σε ένα αρχείο με αυτά τα 7 κανάλια (Αστάρας 2006, Δαλαγγέλη 2016). Μέσω αυτών των καναλιών θα υπολογιστεί στη συνέχεια και ο δείκτης βλάστησης *NDVI*. Ακόμα για την εύρεση της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (*Land Surface Temperature*) στην περιοχή μελέτης θα χρειαστούν τα κανάλια 10 και 11 καθώς παρέχουν θερμικά δεδομένα όπου με την κατάλληλη επεξεργασία παρέχουν δεδομένα σχετικά με την θερμοκρασία μιας περιοχής (Aliihsan et. al. 2020, Fraz 2018). Η λήψη των δορυφορικών εικόνων πραγματοποιείται μέσω της ιστοσελίδας της Γεωλογικής Υπηρεσίας των Ηνωμένων Πολιτειών κάνοντας χρήση της πλατφόρμας *Earth Explorer*. Αποκτήθηκαν οι διαθέσιμες εικόνες για όλο το έτος 2020 και παρείχαν όλες τις φασματικές ζώνες διορθωμένες (1 έως 12) από ατμοσφαιρικά σφάλματα, καθώς αποτελούν φωτογραφίες τύπου *T1*.

3.2.2. Λήψη Δορυφορικών Δεδομένων

Για την λήψη δορυφορικών εικόνων μέσω της εφαρμογής *Earth Explorer* αρχικά επιλέγεται η περιοχή αναζήτησης, οριοθετώντας την περιοχή ενδιαφέροντος με σημεία, ενώ ταυτόχρονα η εφαρμογή επισημαίνει οριοθετημένη περιοχή. Στη συνέχεια στην επιλέγεται το *Landsat Archive* και έπειτα, στο συγχωνευμένο μενού, μαρκάρεται το *L8 OLI/TIRS* που αντιστοιχεί στα δεδομένα του *Landsat 8*. Το αρχικό προϊόν των δορυφορικών εικόνων αποτελείται από 12 εικόνες μορφής *Tiff*, οι οποίες ενσωματώνουν την πληροφορία των εικονοστοιχείων σε κωδικοποίηση ακέραιου αριθμού 16 bit (*Unsigned 16-bit*), ενώ η γεωαναφορά τους είναι σύμφωνα με το σύστημα *WGS 84 – Greek Grid*. Οι 12 διαφορετικές εικόνες *Tiff* αποτελούν αποτέλεσμα της ίδιας δορυφορικής λήψης, η κάθε μία όμως αντιπροσωπεύει ένα συγκεκριμένο εύρος συχνοτήτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (*band*). Στην συγκεκριμένη έρευνα απαιτούνται τα κανάλια 2 έως 7 καθώς και τα θερμικά κανάλια 10 και 11.

Έγινε χρήση δορυφορικών εικόνων για το έτος 2020 για τον υπολογισμό της μέσης εποχιακής, της ετήσιας θερμοκρασίας καθώς και του δείκτη βλάστησης *NDVI*. Οι δορυφορικές εικόνες που συλλέχθηκαν πληρούσαν συγκεκριμένα κριτήρια όπως ο τύπος *T1* που παρέχει διόρθωση ατμοσφαιρικού σφάλματος, καθώς και μειωμένη νεφοκάλυψη σε ποσοστό μικρότερο ή ίσο του 10 %. Η νεφοκάλυψη κρίθηκε σημαντική παράμετρος καθώς τα σύννεφα θα αποτελούσαν εμπόδιο στην καταγραφή της θερμοκρασίας καθώς θα παρουσιάζονταν ως μελανά σημεία με πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Με βάση τα παραπάνω κριτήρια λήφθηκαν οι παρακάτω δορυφορικές φωτογραφίες από τον δορυφόρο *Landsat 8* για τις ημερομηνίες.

Πίνακας 1 Δεδομένα λήψεων δορυφορικών Εικόνων Landsat 8 για το έτος 2020

Εποχή	Ημερομηνία	Ωρα
Χειμώνας	28/1/2020	09:05 πμ
	29/2/2020	09:05 πμ
Ανοιξη	17/4/2020	09:04 πμ
Καλοκαίρι	4/6/2020	09:05 πμ
	22/7/2020	09:07 πμ
	23/8/2020	09:04 πμ
Φθινόπωρο	8/9/2020	09:05 πμ
	26/20/2020	09:04 πμ
	27/11/2020	09:05 πμ

Να σημειωθεί ότι για τους μήνες Μάρτιο, Μάιο καθώς και Δεκέμβριο του έτους 2020 οι διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες για την περιοχή μελέτης περιείχαν ποσοστό νεφοκάλυψης άνω του 40 % με αποτέλεσμα να μην επιλεχθούν καθώς δεν θα ήταν εφικτή η καταγραφή των ορθών θερμικών δεδομένων. Το αρχικό στάδιο επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων περιλαμβάνει την συγχώνευση των εικόνων *Tiff* σε ένα αρχείο τύπου *tiff* με στόχο να διευκολύνεται η φόρτωση της εικόνας σε διαφορετικά προγράμματα επεξεργασίας καθώς η επεξεργασία και η συσχέτιση των ζωνών (*bands*) μεταξύ τους. Τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η δημιουργία του δείκτη βλάστησης (*NDVI*), που περιγράφεται στη συνέχεια της εργασίας (Αστάρας 2006, Δαλαγγέλη 2016).

3.2.3. Ραδιομετρικές και Ατμοσφαιρικές Διορθώσεις

Οι δορυφορικές εικόνες παθητικής τηλεπισκόπησης καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία (ή εκπεμπόμενη αν πρόκειται για το εύρος του θερμικού υπερύθρου) που συγκεντρώνεται στον δορυφόρο αισθητήρα. (Αστάρας 2006, Δαλαγγέλη 2016). Η ακτινοβολία που φθάνει στο ραδιόμετρο δεν αντιπροσωπεύει μόνο την ανακλώμενη ακτινοβολία λόγω της γήινης εδαφικής επιφάνειας αλλά αποτελεί προϊόν ατμοσφαιρικών ανακλάσεων. (Aliihsan *et. al.* 2020, Fraz 2018). Κρίνεται απαραίτητο η δορυφορική εικόνα να υποστεί διορθώσεις, ώστε να εξαλειφθούν οι ατμοσφαιρικές παρεμβολές και οι τιμές των εικονοστοιχείων να καταστούν αντιπροσωπευτικές της ανακλαστικότητας τους εδάφους. Το αρχικό προϊόν του *Landsat 8* είναι κβαντοποιημένο και βαθμονομημένο, αλλά δεν έχει υποστεί ατμοσφαιρική διόρθωση. Η *USGS (United States Geological Survey)* προτείνει μια συγκεκριμένη μεθοδολογία για την ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων που προέρχονται από τον δορυφόρο *Landsat 8*. Οι υπολογισμοί που πραγματοποιούνται στις τιμές των εικονοστοιχείων, διορθώνουν και μετατρέπουν τις τιμές ακτινοβολίας σε ανακλαστικότητα *TOA Reflectance (Top Of the Atmosphere Reflectance)* αφαιρώντας τις ατμοσφαιρικές ανακλάσεις. Το λογισμικό του *QGIS* παρέχει προεπεξεργασία δορυφορικών εικόνων με πλήθος επιλογών για κάθε

κατηγορία και τύπο δορυφόρου. Αρχικά γίνεται επιλογή του σετ εικόνων που χρειάζεται ο χρήστης για επεξεργασία. Στη συνέχεια επιλέγεται το αρχείο *mlt* το οποίο περιέχει στοιχεία για την συγκεκριμένη ημερομηνία λήψης των εικόνων, την απόσταση του δορυφόρου από το σημείο, την κλίση του ήλιου καθώς και σημαντικές παραμέτρους για την διόρθωση και προεπεξεργασία των εικόνων. Κατά την προεπεξεργασία των εικόνων Landsat 8 εκτελούνται οι ακόλουθες ενέργειες:

1. Μετατροπή Ψηφιακών Τιμών (*Digital Number — DN*) σε Ακτινοβολία (*TOA Radiance*) και ανακλαστικότητα (*TOA Reflectance*)
2. Μέθοδος αφαίρεσης σκοτεινού σημείου (*Dark Object Subtraction- DOS*)

Μετά την ολοκλήρωση της προεπεξεργασίας των διαφόρων καναλιών των συγκεκριμένης ημερομηνίας δορυφορικής λήψης, οι πολυφασματικές εικόνες είναι πλέον απαλλαγμένες από σφάλματα και μπορούν να επεξεργαστούν περαιτέρω για την δημιουργία συγχώνευσης σε μια πολυφασματική εικόνα, τον υπολογισμό δεικτών βλάστησης, μέτρηση θερμοκρασίας καθώς και την καταγραφή δεδομένων με διαφορετικό συνδυασμό προβολής χρώματος καναλιών (Aliihsan et. al. 2020, Fraz 2018).

3.3. Υπολογισμός δείκτη βλάστησης (*NDVI*)

Με την χρήση των χαρτών κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί ποσοτική εκτίμηση της υγιούς βλάστησης σε μία δεδομένη περιοχή ή σημείο. Γνωρίζοντας την συμπεριφορά της βλάστησης στο φάσμα του ορατού ερυθρού (*RED*) και στο κοντινό υπέρυθρο τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (*Near Infrared- NIR*) γίνεται συνδυασμός των φασματικών καναλιών (*band4 – band5*) και υπολογίζεται μια τιμή για το κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας. Η τελική εξαγόμενη τιμή δείχνει το βαθμό και την ποσότητα της υγιούς βλάστησης (Παπαθανασίου 2017). Τα φύλλα ανακλούν λιγότερη ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο όταν δεν είναι υγιή ή έχουν ξεραθεί και η διαφορά ανάμεσα στα δύο κανάλια είναι σχεδόν μηδενική για την πέτρα και το χώμα. .Περαιτέρω μελέτες διαπίστωσαν ότι η κανονικοποιημένη εκδοχή της αναλογίας λειτουργεί καλύτερα σε ορισμένες περιπτώσεις, δηλαδή ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Aliihsan et. al. 2020, Fraz 2018, Παπαθανασίου 2017). Ανάμεσα στους πολυάριθμους δείκτες βλάστησης που υπάρχουν, ο *NDVI* έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο στην παρακολούθηση της βλάστησης λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει. Ο δείκτης βλάστησης *NDVI* ορίζεται ως ο λόγος της διαφοράς των καναλιών 5 (*near IR*) και 4 (*red*) προς το άθροισμά τους. Ο μαθηματικός τύπος του δείκτη *NDVI* είναι ο παρακάτω:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Ο δείκτης *NDVI* παρουσιάζει αδυναμίες. Πιο συγκεκριμένα οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα λεπτά σύννεφα μπορούν να επηρεάσουν τον υπολογισμό του *NDVI* όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα. Ακόμα όταν η κάλυψη της βλάστησης είναι χαμηλή, οτιδήποτε βρίσκεται κάτω από την βλάστηση συμβάλλει στην καταγραφή σήματος ανάκλασης. Οι χάρτες δεικτών βλάστησης κατασκευάζονται εύκολα με τη βοήθεια λογισμικών *GIS* και ανάλυσης δορυφορικών εικόνων. Για τον *NDVI* εισάγονται τα δεδομένα, οι ρυθμίσεις για το κάθε κανάλι και στη συνέχεια γίνονται οι απαραίτητοι υπολογισμοί. Επιλέγεται το αρχείο εισόδου, το οποίο είναι το κομμένο αρχείο *DOS* (*Dark Object Subtraction*) που αποτελεί το βαθμονομημένο και ατμοσφαιρικά διορθωμένο πολυφασματικό αρχείο του δορυφόρου *Landsat 8*. Στη συνέχεια επιλέγεται το αρχείο εξόδου, καθώς επίσης προσδιορίζεται το ποια κανάλια του πολυφασματικού αρχείου εισόδου αντιστοιχούν στο *NIR* (*Near Infrared*) και το *RED*, που είναι απαραίτητα για τον υπολογισμό. Στη συνέχεια γίνεται εκκίνηση του αλγορίθμου, ο οποίος εκτελεί τις πράξεις και εγγράφει τα αποτελέσματα. (Aliihsan et. al. 2020, Fraz 2018, Παπαθανασίου 2017) Το παραγόμενο αρχείο *.tiff*, όπως φαίνεται σε μορφή χάρτη, παρουσιάζει τα σημεία στα οποία επικρατεί υψηλή / υγιής βλάστηση με τόνους χρωμάτων κοντά στο έντονο πράσινο (τιμές εικονοστοιχείων κοντά στο 1), ενώ τα σημεία χωρίς βλάστηση, όπως π.χ. ασφαλτοστρωμένες εκτάσεις και κτίρια, εμφανίζονται σε τόνους κοντά στο κόκκινο (τιμές κοντά στο -1) (Παπαθανασίου 2017).



Εικόνα 6: Τιμές δείκτη βλάστησης *NDVI* - Πηγή: Marwaha N. (2020) - <https://up42.com/blog/tech/5-things-to-know-about-ndvi>

Έχοντας πραγματοποιήσει όλους τους απαιτούμενους υπολογισμούς μεταξύ των δύο καναλιών 4 και 5, υπολογίστηκε ο δείκτης *NDVI* για τέσσερις μήνες έναν για κάθε εποχή του έτους 2020. Επιλέχθηκε ένας μήνας για κάθε εποχή καθώς ο δείκτης *NDVI* εκφράζει τον βαθμό υγιούς βλάστησης και παίρνει διαφορετικές τιμές ανά εποχή, καθώς την άνοιξη όπου τα περισσότερα φυτά ανθίζουν ο δείκτης παίρνει μέγιστες τιμές κοντά στο 1, ενώ τον χειμώνα λαμβάνει μικρότερες τιμές καθώς αρκετά φυτά φυλλοβολούν.

3.4. Υπολογισμός της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (LST)

Στη συνέχεια της έρευνας πραγματοποιήθηκε η καταγραφή των θερμοκρασιών και η δημιουργία διανυσματικών εικόνων με θερμοκρασιακά δεδομένα για τα δημοτικά διαμερίσματα της Αττικής. Στόχος της μελέτης είναι η καταγραφή των θερμοκρασιών, οι διαφορές που υπάρχουν από περιοχή σε περιοχή, η σχέση του αστικού πρασίνου στην δημιουργία ευνοϊκότερων συνθήκών σε κοντινές περιοχές καθώς και τα κριτήρια που διαμορφώνουν εν τέλει την μέση θερμοκρασία μιας περιοχής – δημοτικού διαμερίσματος. Καταγράφηκαν και δημιουργήθηκαν δεδομένα μέσω θερμοκρασιών για τέσσερις εποχές του έτους 2020. Για τον υπολογισμό των θερμοκρασιών επιλέχθηκε το κανάλι - *band 10* από τις διαθέσιμες δορυφορικές εικόνες *Landsat 8*, το οποίο παρέχει θερμικά δεδομένα μέσω του αισθητήρα *TIRS*. Ύστερα από την κατάλληλη προεπεξεργασία προέκυψαν οι τιμές των θερμοκρασιών σε *Pixels* δεδομένων 100*100 για την περιοχή μελέτης. Η προεπεξεργασία των θερμικών δεδομένων πραγματοποιήθηκε μέσω του λογισμικού ανοικτού κώδικα *QGIS* και αφορούσε τις παρακάτω διεργασίες.

Αρχικά προστέθηκε η εικόνα της θερμικής ζώνης που αντιστοιχεί στη φασματική ζώνη 10 για την εικόνα του *Landsat 8*, στον πίνακα των επιπέδων. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η επεξεργασία της εικόνας της θερμικής ζώνης και ο υπολογισμός των τιμών των συντελεστών *Lλ* (*Spectral Radiance at the sensor's aperture*) και *TB* (*At-Satellite Brightness Temperature*) για κάθε εικονοστοιχείο των εικόνων πριν από τον τελικό υπολογισμό της *Land Surface Temperature (LST)*. Ο υπολογισμός της θερμοκρασίας και οι μαθηματικοί τύποι βασίζεται στις οδηγίες του Αμερικάνικου οργανισμού γεωλογικής επισκόπησης (*USGS*) και γίνεται χρήση των καναλιών 10 και 11 του θερμικού αισθητήρα (*TIRS*) του δορυφόρου *Landsat-8*. Πάνω στην αρχική επεξεργασμένη εικόνα από τον δορυφόρο *Landsat 8* πραγματοποιήθηκαν οι παρακάτω υπολογισμοί μέσω του εργαλείου *Raster Calculator* του λογισμικού *QGIS*.

Μετατροπή Ψηφιακών Τιμών (*Digital Number — DN*) σε Ακτινοβολία (*TOA Radiance*) και ανακλαστικό ήτα (*TOA Reflectance*). Ο υπολογισμός της τιμής *Lλ* (*Spectral Radiance at the sensor's aperture*) έγινε με χρήση του τύπου:

$$L\lambda = ML * Q_{cal} + AL$$

Όπου:

ML = ειδικός συντελεστής διόρθωσης της θερμικής φασματικής ζώνης η τιμή του οποίου υπάρχει στα μεταδεδομένα του κάθε αρχείου εικόνας (*RADIANCE_MULT_BAND_10*)

Qcal = η τιμή του κάθε εικονοστοιχείου στην κλίμακα του γκρι (*DN values 0-255*).

AL = ειδικός συντελεστής διόρθωσης της θερμικής φασματικής ζώνης η τιμή του οποίου υπάρχει στα μεταδεδομένα του κάθε αρχείου εικόνας (*RADIANCE_ADD_BAND_10*) (*Congedo Luca, 2016 Semi-Automatic Classification Plugin Documentation*).

Ακόμα υπολογίζεται η τιμή της ανακλαστικότητας που φτάνει στο δορυφόρο TB (*At-Satellite Brightness Temperature*) από τον παρακάτω τύπο

$$T_B = \frac{K_2}{\ln \left[\left(\frac{K_1}{L_\lambda} \right) + 1 \right]}$$

Οι τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για τις σταθερές K1 και K2 υπήρχαν στο αρχείο με τα μεταδεδομένα κάθε εικόνας και ο υπολογισμός τους έχει γίνει με βάση τους τύπους

$$K_1 = c1 / \lambda^5 \quad (5.3)$$

$$K_2 = c2 / \lambda \quad (5.4)$$

Όπου σύμφωνα με τους *Mohr, Newell* και *Taylor, 2015*:

$$C1 = \text{πρώτη σταθερά ακτινοβολίας} = 1.191 * 10^{-16} \text{ W m}^2 \text{ sr}^{-1}$$

$$C2 = \text{δεύτερη σταθερά ακτινοβολίας} = 1.4388 * 10^{-2} \text{ m K}$$

Δημιουργήθηκε και πάλι νέα εικόνα με τις τιμές του TB αυτή τη φορά. Στο τελικό στάδιο έγινε μετατροπή τιμών ανακλαστικότητας σε τιμές θερμοκρασίας εδάφους και ο υπολογισμός της επιφανειακής θερμοκρασίας εδάφους (*Land Surface Temperature – Lst*) κατά *Weng, et al. 2004* με βάση τον τύπο:

$$T = \frac{TB}{[1 + (\lambda * \frac{T_B}{c2}) * \ln(e)]}$$

Όπου :

TB = η εικόνα που παράχθηκε από τον προηγούμενο τύπο

λ = το μήκος κύματος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας (*wavelength of emitted radiance*)

$$c2 = h * c / s = 1.4388 * 10^{-2} \text{ m K}$$

$$h = \text{σταθερή του Planck} = 6.626 * 10^{-34} \text{ J s}$$

$$s = \text{σταθερά του Boltzmann} = 1.38 * 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$c = \text{ταχύτητα του φωτός} = 2.998 * 10^8 \text{ m/s}$$

Είναι φανερό από τα παραπάνω ότι για τον υπολογισμό της Επιφανειακής Θερμοκρασίας του Εδάφους - *LST* πραγματοποιείται διαδικασία που εξαρτάται από το συντελεστή TB (*At-Satellite Brightness Temperature*) προκειμένου να μετατραπεί η θερμοκρασία στο ύψος του δορυφορικού αισθητήρα σε θερμοκρασία εδάφους. Η θερμοκρασία αυτή όπως προκύπτει από τους τύπους είναι εκφρασμένη σε βαθμούς *Kelvin* και για την μετατροπή σε βαθμούς Κελσίου αφαιρέθηκε το 273.15 για κάθε εικονοστοιχείο σύμφωνα με το τύπο:

$$T_c = T_k - 273.15$$

Όπου:

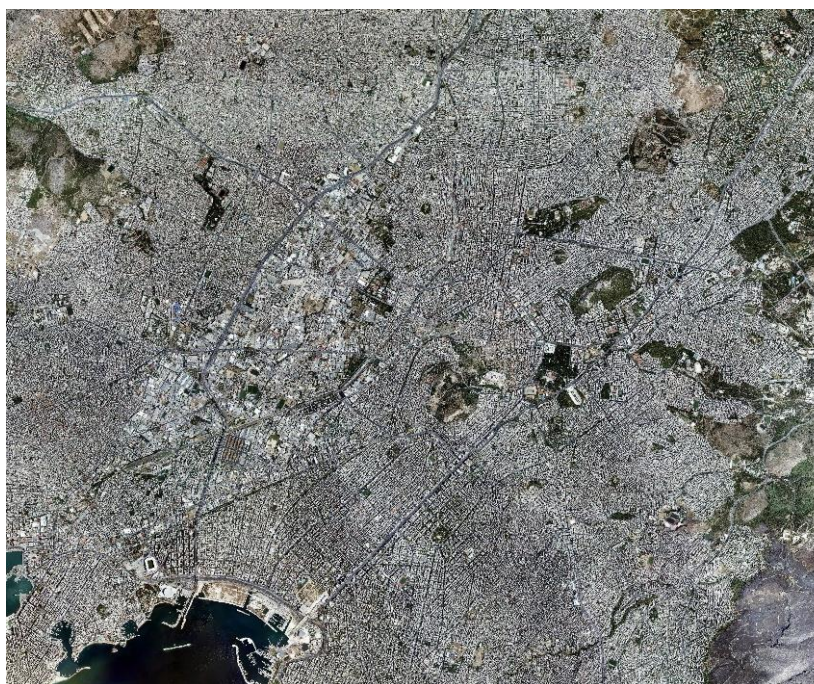
T_k = η θερμοκρασία σε βαθμούς *Kelvin*

T_c = η θερμοκρασία σε βαθμούς *Celsius*

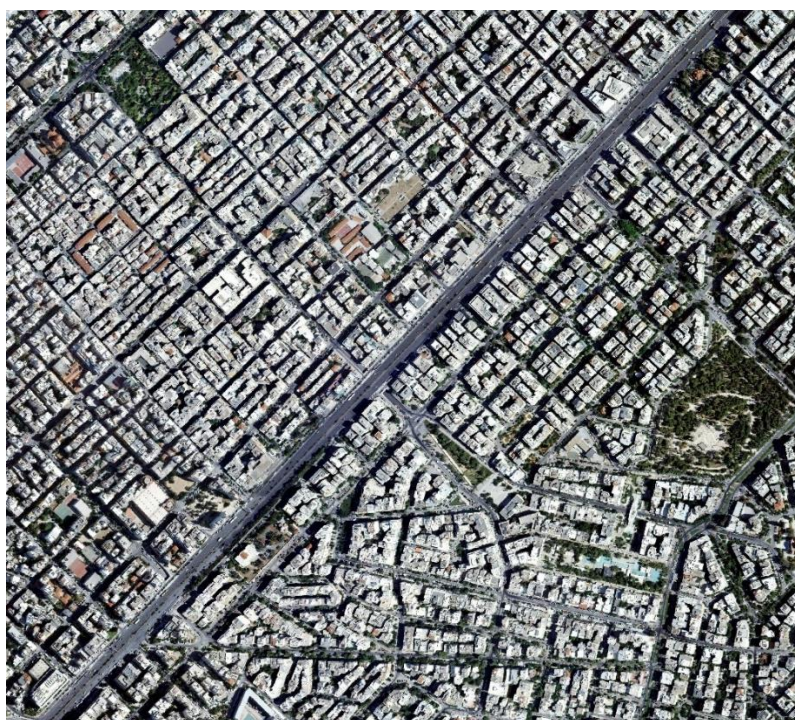
3.5. Ταξινόμηση Ορθοφωτογραφιών

Κάθε δημοτικό διαμέρισμα της περιοχής μελέτης ταξινομείται με την μέθοδο αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης για τρεις κλάσεις, δημιουργούνται τα τοπία των δημοτικών διαμερισμάτων και υπολογίζονται μετρικές τοπίου για το κάθε ένα. Για τον σκοπό αυτό πραγματοποιείται λήψη δορυφορικών ορθοφωτογραφιών υψηλής ευκρίνειας με ανάλυση *Pixel* 1,50 * 1,50 μ. για την περιοχή μελέτης της Αττικής. Οι συγκεκριμένες ορθοφωτογραφίες υψηλής ανάλυσης δίνουν τη δυνατότητα καταγραφής και επεξεργασίας σημαντικών λεπτομερειών για κάθε περιοχή μελέτης. Με την χρήση των ορθοφωτογραφιών εκτελείται αντικειμενοστραφής ταξινόμηση κάθε περιοχής για τρεις κατηγορίες - κλάσεις και ορίζονται τα πολύγωνα του αστικού πρασίνου, του δομημένου περιβάλλοντος καθώς και των αδόμητων ελεύθερων χώρων.

Η ορθοφωτογραφία είναι μια επεξεργασμένη αεροφωτογραφία, η οποία έχει υποστεί διόρθωση λόγω ανάγλυφου (ορθοδιόρθωση). Συγκεκριμένα κάθε στοιχειώδες εικονίδιο της εικόνας (*pixel*) μεγαλώνει ή μικραίνει ανάλογα με το σε ποιο υψόμετρο βρίσκεται με συνέπεια η παραγόμενη εικόνα (ορθοφωτογραφία) να αποκτήσει ενιαία κλίμακα και να μπορούν πλέον να γίνουν μετρήσεις σε αυτήν. Στις ορθοφωτογραφίες μπορούμε να κάνουμε επικάλυψη με σχέδια και χάρτες ή να συγκρίνουμε ορθοφωτογραφίες μεταξύ τους για να διαπιστώσουμε αλλαγές που έχουν επέλθει σε κάποια θέση στο έδαφος μέσα στο χρόνο. Οι ορθοφωτογραφίες έχουν γεωαναφορά είναι δηλαδή ενταγμένες σε ένα σύστημα συντεταγμένων το οποίο συνήθως είναι στο δίκτυο συντεταγμένων (Ε.Μ.Π. παρουσίαση ορθοφωτογραφιών).



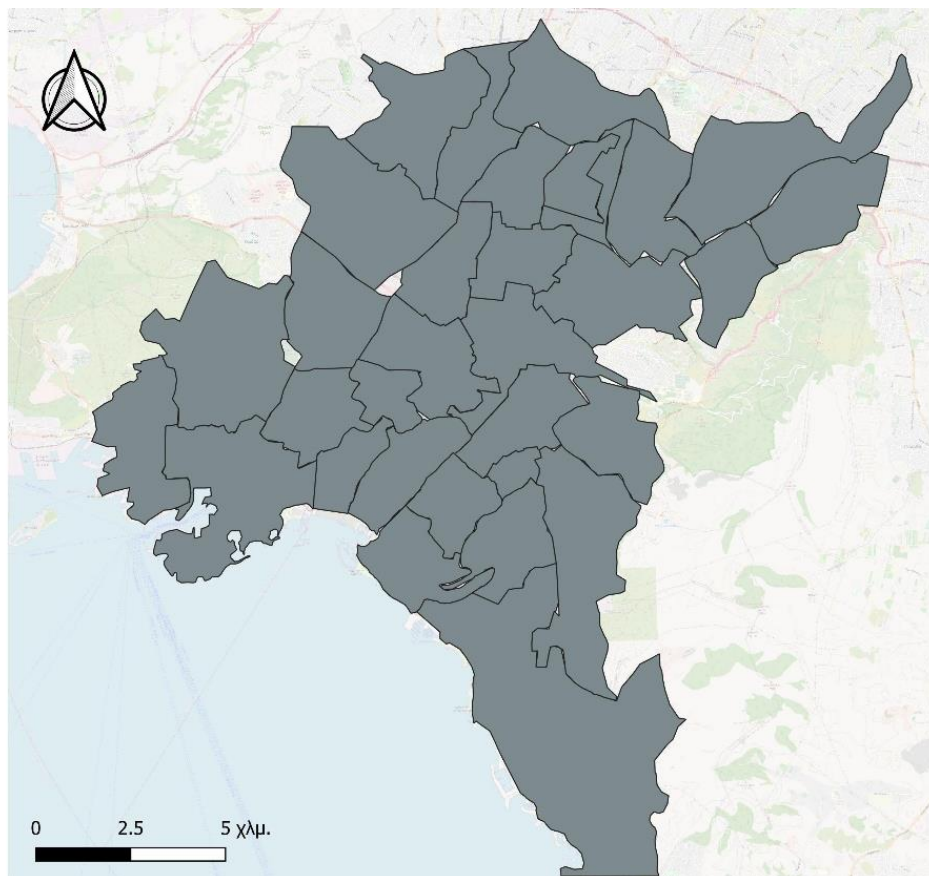
Εικόνα 7 : Ορθοφωτογραφία μελετούμενων Περιοχών Αττικής



Εικόνα 8: Λεπτομέρεια Ορθοφωτογραφίας

Με την χρήση των ορθοφωτογραφιών δίνεται η δυνατότητα λεπτομερούς μελέτης και καταγραφής στοιχείων κάλυψης και χρήσης γης για τα μελετούμενα δημοτικά διαμερίσματα. Καταγράφηκαν, κατηγοριοποιήθηκαν και δημιουργήθηκαν τα πολύγωνα του αστικού πρασίνου, των δομημένων περιοχών καθώς και τον ελεύθερων αδόμητων χώρων. Για την περιοχή μελέτης της

Αττικής έγινε χρήση τεσσάρων ορθοφωτογραφιών ώστε να καλύπτονται όλες οι περιοχές ενδιαφέροντος. Οι περιοχές μελέτης όπως δημιουργήθηκαν φαίνονται στον παρακάτω χάρτη.



Εικόνα 9: Όρια Περιοχών Μελέτης

Κατόπιν εκτελέστηκε στο λογισμικό QGIS αποκοπή της ορθοφωτογραφίας στα όρια κάθε περιοχής ώστε να μελετηθεί ξεχωριστά και να προκύψουν τα απαιτούμενα αποτελέσματα. Μετά τη ολοκλήρωση της αποκοπής των περιοχών, κάθε ορθοφωτογραφία εισάγεται στο λογισμικό eCognition Developer της εταιρείας Trimble για να πραγματοποιηθεί αντικειμοστραφής ταξινόμηση των χρήσεων και κάλυψης γης.

3.5.1. Αντικειμενοστραφείς ταξινόμηση - eCognition

Η αντικειμενοστραφής ταξινόμηση βασίζεται στην ανάλυση της εικόνας στο επίπεδο διακριτών αντικειμένων τυρώντας κριτήρια που θέτονται από τον εκάστοτε μελετητή, τα οποία αποτελούν τμήματα της εικόνας σε σχέση με την ανάλυση μεμονωμένων εικονοστοιχείων στα βασίζεται η κλασική ταξινόμηση. Τα αντικείμενα αποτελούν ένα σύνολο ομοιογενών περιοχών με

βασικό κριτήριο τη πολυφασματική πληροφορία τους σε επίπεδο αντικειμένων, με σημαντική σημασία να κατέχουν και άλλα χαρακτηριστικά των αντικειμένων, όπως η γεωμετρία (π.χ. γραμμικότητα), γειτνίαση, αλληλεπιδράσεις (InfoRest 2018). Τα στάδια στην εκτέλεση μιας αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνας είναι:

1. Η αντίληψη για την περιοχή ανάλυσης
2. Η εισαγωγή των δεδομένων
3. Η κατάτμηση της εικόνας σε διακριτά αντικείμενα
4. Η διαμόρφωση της στρατηγικής για την ανάλυση της εικόνας
5. Η μετάφραση της στρατηγικής σε κανόνες ταξινόμησης
6. Η εφαρμογή των κανόνων και η επισκόπηση των αποτελεσμάτων

Στη συνέχεια της εργασίας αναλύθηκαν οι περιοχές πρασίνου, οι αδόμητες περιοχές καθώς και οι δομημένες περιοχές στα μελετούμενα δημοτικά διαμερίσματα της Αττικής. Βασικός στόχος είναι η δημιουργία πολυγώνων κάθε κατηγορίας και η δημιουργία ταξινομημένων εικόνων με λεπτομέρειες για κάθε δημοτικό διαμέρισμα, ώστε να προκύψουν πληροφορίες για την συνολική επιφάνεια του αστικού πρασίνου όπως δενδροστοιχίες, πράσινες νησίδες, φυτεμένες αυλές, παιδικές χαρές, και όχι μόνο των μεγάλων περιοχών πρασίνου. Για τον σκοπό αυτό έγινε χρήση του λογισμικού *ecognition developer* της εταιρείας *Trimble* το οποίο παρέχει δυνατότητα αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης εικόνων μέσω δημιουργίας κανόνων, συναρτήσεων και σχέσεων. Αρχικά κατά την είσοδο στο λογισμικό *eCognition Developer* γίνεται εισαγωγή της διανυσματικής εικόνας ορθοφωτογραφίας της περιοχής μελέτης, που προέρχεται από προεπεξεργασία όπως αναλύθηκε προηγουμένως, παρουσιάζονται τα χαρακτηριστικά της εικόνας (*tiff*) και επιλέγονται αν κρίνεται απαραίτητο αλλαγές από τον χρήστη. Στο πρώτο στάδιο για την έναρξη των διαδικασιών θα εκτελεστεί μια σειρά από κανόνες ώστε να προκύψει η τελική ταξινόμηση των εικονοστοιχείων στις τρεις κατηγορίες μέσω αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης.(InfoRest 2018). Το πρώτο και βασικό βήμα κατά την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση είναι το *Segmentation* αφού από αυτό εξαρτάται η εξέλιξη και η πορεία της ταξινόμησης. Μετά την ολοκλήρωση του *Segmentation* το σημείο αναφοράς δεν είναι το *pixel* και τα χαρακτηριστικά του, αλλά το *Object* με μια σειρά από ταξινομημένα χαρακτηριστικά που το συνοδεύουν. Ουσιαστικά το *Object* αποτελεί πλέον το φορέα όλων των πληροφοριών που θα αξιολογηθούν και χρησιμοποιηθούν κατά την ταξινόμηση. Μια βασική αρχή στο *Segmentation* επισημαίνει πως τα αντικείμενα *Object* πρέπει να είναι τα λιγότερα δυνατά εξασφαλίζοντας παράλληλα την ομοιογένεια μέσα σε αυτά καθώς και την ετερογένεια μεταξύ τους.

Το λογισμικό *eCognition* προσφέρει διάφορους αλγορίθμους για την δημιουργία των *objects* με τις τρεις βασικότερες:

1. *Chessboard Segmentation*
2. *Quadtree Based Segmentation*
3. *Multiresolution Segmentation*

Στη παρούσα εργασία επιλέχθηκε ο αλγόριθμος *multiresolution Segmentation* καθώς προσφέρει τα καλύτερα αποτελέσματα όπως αναλύεται στη συνέχεια.

3.5.2. *Multiresolution Segmentation*

Η διαδικασία του *Multiresolution Segmentation* αποτελεί το σημαντικότερο εργαλείο και την κυριότερη δυνατότητα του λογισμικού *eCognition*. Με βάση αυτή την μέθοδο η εικόνα τμηματοποιείται σε ένα σύνολο αντικειμένων διαφορετικού μεγέθους και σχήματος. Ο αριθμός αντικειμένων που θα δημιουργηθούν εξαρτάται από το την παράμετρο *Scale Parameter* με την οποία όσο αυξάνεται η τιμή τόσο ο αριθμός των αντικειμένων μικραίνει. Το *Scale Parameter* είναι ίσως η σημαντικότερη παράμετρος του *Multiresolution Segmentation* αφού από αυτό εξαρτάται πόσο ομοιογενή ή ανομοιογενή θα είναι τα αντικείμενα που θα δημιουργηθούν (InfoRest 2018).



Εικόνα 10: Τμηματοποιημένη Λεπτομέρεια Ορθοφωτογραφίας με *Scale Parameter 15* (Περιοχή Άγιοι Ανάργυροι)

Η σωστή επιλογή της παραμέτρου *Scale Parameter* πραγματοποιείται ύστερα από δοκιμές καθώς δεν υπάρχει συγκεκριμένη μεθοδολογία. Σε μια ανομοιογενή περιοχή γίνεται έλεγχος αν τα αντικείμενα αποτελούνται από *pixel* αρκετά ανομοιογενή μεταξύ τους και ανάλογα επιλέγεται αντίστοιχο το *Scale Parameter*. Ύστερα από δοκιμές που πραγματοποιήθηκαν σε αρκετές περιοχές μελέτης επιλέχθηκε *scale parameter* 15, ενώ για λίγες επιλέχθηκε *scale parameter* 20 καθώς δεν χρειαζόταν μεγαλύτερη ομοιογένεια των αντικειμένων. Μετά την ολοκλήρωση της τμηματοποίησης της εικόνας, το επόμενο βήμα που ακολουθεί είναι η ταξινόμηση των αντικειμένων σε τρεις κατηγορίες βάση φασματικών χαρακτηριστικών καθώς διαφορετικά χαρακτηριστικά διαθέτει η βλάστηση από τις δομημένες περιοχές και τις αδόμητες. Πραγματοποιείται δημιουργία των τριών κατηγοριών – κλάσεων, με διαφορετικά διακριτά χρώματα ώστε να είναι εμφανή στην τελική ταξινομημένη εικόνα. Πιο αναλυτικά επιλέχθηκαν τα παρακάτω:

1. Βλάστηση – Κόκκινο
2. Δομημένο Περιβάλλον – Κίτρινο
3. Αδόμητες Περιοχές – Μπλε

Οι ορθοφωτογραφίες που εισήχθησαν στο λογισμικό *eCognition* όπως αναφέρθηκε αποτελούν υψηλής ευκρίνειας, με ευκρίνεια *pixel* 1.50*1.50, και διαθέτουν τρία φασματικά *layer* το κόκκινο, πράσινο και μπλε. Για να πραγματοποιηθεί ορθή ταξινόμηση των τριών κατηγοριών επιλέχθηκε η δημιουργία κανόνων με βάση τον δείκτη *NRGVI*, ο οποίος λαμβάνει συγκεκριμένες τιμές για την βλάστηση, το δομημένο περιβάλλον και τις αδόμητες περιοχές καθώς η βλάστηση αντιδρά διαφορετικά στο υπέρυθρο φως, από ότι τα υπόλοιπα στοιχεία. Πιο αναλυτικά για τις τρεις φασματικές ζώνες που διαθέτουν οι ορθοφωτογραφίες ο δείκτης *NRGVI* υπολογίζεται με τον ακόλουθο τύπο :

$$NRGVI = (GREEN * GREEN) - (RED * BLUE) / (GREEN * GREEN) + (RED * BLUE)$$

Σύμφωνα με δοκιμές, παρατηρήθηκε ότι ο δείκτης *NRDVI* παίρνει τιμές από 58 ~ 65 μέχρι 300 για την βλάστηση και αυξάνεται ανάλογα με την υγεία της φυτόκάλυψης, από 20 ~ 40 για αδόμητες ελεύθερες περιοχές και τιμές κάτω του 20 για το δομημένο περιβάλλον.

Ο δείκτης *NRGVI* επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως παρατηρήθηκε, γεγονός που καθιστά την διόρθωση κάποιων περιοχών αντικειμένων με χειροκίνητο τρόπο. Οι τιμές σε κάθε περιοχή μπορεί να διαφέρουν ελάχιστα λόγω της διαφοράς του χρώματος των κτηρίων και του εδάφους των αδόμητων περιοχών. Ακόμα καταγράφηκε πως ο δείκτης δεν παίρνει σωστές τιμές σε περιοχές σκίασης, καθώς δεν μπορούν να ληφθούν σωστά φασματικά χαρακτηριστικά. Στις περιοχές

με σκίαση λόγω των λανθασμένων μερικές φορές τιμών, για την σωστή ταξινόμηση εκτελείται χειροκίνητη επιλογή των σχετικών αντικειμένων στην επιθυμητή κατηγορία. Έχοντας καταγράψει τις τιμές που παίρνουν οι κατηγορίες που διαμορφώθηκαν σύμφωνα με τον δείκτη *NRGVI*, επόμενο βήμα είναι η δημιουργία των κανόνων ταξινόμησης ώστε να ταξινομηθούν τα αντικείμενα της ορθοφωτογραφίας σε κάθε κατηγορία σύμφωνα με τους κανόνες. Η σειρά των κανόνων που δημιουργήθηκε στο λογισμικό *eCognition Developer* παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα.

1. *Classification*
2. *Assign Class* – $20 \leq NRGVI \leq 40$ τότε αποτελεί αδόμητη περιοχή
3. *Manual classification selection* – Επιλογή αντικειμένων που δεν ανήκουν σε αδόμητες περιοχές, διόρθωση της αρχικής σχέσης
4. *Assign Class* -- $NRGVI \geq 58 - 60$ τότε αποτελεί βλάστηση
5. *Manual Classification* – Επιλογή αντικειμένων βλάστησης που δεν καταχωρήθηκαν λόγω σκίασης.
6. *Assign Class* – Όλα τα υπόλοιπα μη ταξινομημένα αντικείμενα καταχώρηση ως δομημένο περιβάλλον
7. *Manual classification selection* – Διόρθωση αντικειμένων μετά από τελικό έλεγχο

Πιο συγκεκριμένα αφού τέθηκε ο μαθηματικός τύπος του δείκτη *NRGVI* επιλέχθηκε να πραγματοποιηθεί ο κανόνας ταξινόμησης των αντικειμένων που δημιουργήθηκαν κατά το στάδιο του *Multiresolution Segmentation*. Στη συνέχεια μέσω του κανόνα *assign class* θέτεται ως κανόνας τα αντικείμενα που διαθέτουν τιμές δείκτη *NRGVI* από 20 έως 40 και να ταξινομηθούν ως αδόμητες περιοχές και να λάβουν τον μπλε χρωματισμό στην εικόνα ταξινόμησης. Στη συνέχεια ελέγχεται σε οπτική παρατήρηση η αποτελεσματικότητα της συγκεκριμένης συνθήκης. Με τον κανόνα της χειροκίνητης ταξινόμησης πραγματοποιείται οπτικός έλεγχος και αν διαπιστωθεί από τον χρήστη αδόμητες περιοχές που δεν έχουν ταξινομηθεί τότε επιλέγονται ώστε να ανήκουν στην σωστή κλάση. Οι περισσότερες περιοχές που αναλύθηκαν διέθεταν πολύ μικρό αριθμό αδόμητων περιοχών καθώς αποτελούσαν από πυκνό δομημένο περιβάλλον. Στο επόμενο βήμα και το πιο κρίσιμο αφού διαπιστωθεί και καταγραφεί το εύρος τιμών που λαμβάνει η βλάστηση για κάθε περιοχή εκτελείτε ο επόμενος κανόνας *assign class* όπου τίθεται ως κριτήριο τα αντικείμενα που δεν έχουν ταξινομηθεί και λαμβάνουν τιμές για τον δείκτη *NDVI* μεγαλύτερες από περίπου 58 (εξαρτάται την περιοχή μελέτης) να ταξινομηθούν στην κλάση βλάστηση. Πλέον η ταξινομημένη εικόνα γεμίζει με δύο χρώματα το κόκκινο για την βλάστηση και το μπλε για τις αδόμητες περιοχές. Ακόμα εκτελείται ξανά οπτικός έλεγχος της ταξινομημένης περιοχής έχοντας σε παράθεση την αρχική ορθοφωτογραφία, και να διαπιστωθούν περιοχές πρασίνου οι οποίες δεν ταξινομήθηκαν σωστά ως βλάστηση τότε με τον κανόνα της χειροκίνητης ταξινόμησης πραγματοποιούνται οι κατάλληλες διορθώσεις. Στο τέλος της διαδικασίας επιλέγεται με τον κανόνα *assign class*, να ταξινομηθούν όλα τα αντικείμενα που δεν έχουν

ταξινομηθεί ακόμα ως δομημένες περιοχές. Με την ολοκλήρωση όλων των παραπάνω κανόνων η τελική μας ταξινομημένη εικόνα περιλαμβάνει αντικείμενα τριών κλάσεων όπως αυτές ορίστηκαν. Η διαδικασία των παραπάνω κανόνων εφαρμόστηκε επαναληπτικά για κάθε ένα από τα τριανταένα μελετούμενα δημοτικά διαμερίσματα - περιοχές της Αττικής με μικρές αλλαγές στις συνθήκες των κανόνων ανάλογα με την περιοχή μελέτης ώστε να προκύψει ορθότερη ταξινόμηση των αντικειμένων στις επιλεγόμενες κατηγορίες – κλάσεις. Κάθε ταξινομημένη εικόνα αποθηκεύεται με μορφή *Img.* περιέχοντας τα ταξινομημένα αντικείμενα στο κατάλληλο χρώμα καθώς και τις σχετικές πληροφορίες για τις κατηγορίες που δημιουργήθηκαν.

3.6. Δείκτες Σύνθεσης και Διάρθρωσης “Τοπίου”

Η ταξινόμηση των ορθοφωτογραφιών δημιούργησε τα πολύγωνα των τριών κατηγοριών μελέτης, βλάστηση – αστικό πράσινο, δομημένο περιβάλλον και αδόμητες περιοχές, σε δεδομένα υψηλής ανάλυσης *pixel* 1.50 x 1.50. Με την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση υπάρχει η δυνατότητα ποσοτικής και ποιοτικής μέτρησης των κατηγοριών για κάθε περιοχή. Κάθε περιοχή μελέτης θα αναλυθεί ως ανεξάρτητο τοπίο με βάση τα χαρακτηριστικά που διέπουν κάθε κλάση, δηλαδή τους δείκτες κλάσης καθώς και τους δείκτες σύνθεσης και διάρθρωσης σε επίπεδο τοπίου. Ακόμα θα καταγραφούν και τοπογραφικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής όπως το υψόμετρο, η τραχύτητα του εδάφους, η έκθεση του ηλίου (*aspect*) καθώς και η απόσταση από την θάλασσα. Πιο αναλυτικά μετά την εκτέλεση και την ολοκλήρωση της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης θα υπολογιστούν τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

- Ποσοτική ανάλυση της βλάστησης κάθε περιοχής (Ακόμα και των μεμονωμένων δένδρων)
- Ποσοτική ανάλυση του δομημένου περιβάλλοντος
- Ποσοτική ανάλυση ελεύθερων χώρων
- Ποιοτικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής ανάλογα με τα ποσοστά κάθε κατηγορίας
- Ανάλυση κάθε περιοχής με δείκτες οικολογίας τοπίου
- Ανάλυση με τοπογραφικά χαρακτηριστικά

Οι δείκτες τοπίου αποτελούν στην ουσία αλγόριθμους οι οποίοι έχουν ως στόχο την ποσοτικοποίηση της χωρικής ετερογένειας (Ποιραζίδης 2010). Η ποσοτικοποίηση λαμβάνει χώρα σε επίπεδο χωροψηφίδας (*patch level*) καθώς και για ψηφίδες που ανήκουν στην ίδια κατηγορία (*class level*) καθώς και σε επίπεδο τοπίου (*landscape level*).

Επομένως οι δείκτες οικολογίας τοπίου παρέχουν την δυνατότητα ποσοτικού προσδιορισμού καθώς και της διαφοροποίησης των χαρακτηριστικών του χώρου. Οι δείκτες τοπίου διακρίνονται σε δύο κατηγορίες

1. Δείκτες χωρικής σύνθεσης
2. Δείκτες διαμόρφωσης τοπίου

Οι δείκτες χωρικής σύνθεσης παρέχουν την δυνατότητα ανάλυσης της σύνθεσης των τοπίων χωρίς όμως να ορίζονται χωρικά, ενώ χρησιμοποιούνται αποκλειστικά στο επίπεδο του τοπίου (landscape level) καθώς για την σύνθεση του τοπίου απαιτούνται όλες οι κλάσεις – κατηγορίες. Οι δείκτες διαμόρφωσης τοπίου αφορούν τη χωρική κατανομή των χωροψηφίδων μέσα στο τοπίο και παρέχουν δεδομένα σε επίπεδο ψηφίδας, κλάσης καθώς και τοπίου. Ο υπολογισμός των παραπάνω δεικτών θα πραγματοποιηθεί σύμφωνα με τα αποτελέσματα της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης που πραγματοποιήθηκε στο προηγούμενο μέρος της εργασίας, καθώς μέσα από την ταξινόμηση δημιουργήθηκαν αντικείμενα ταξινομημένα σε τρεις κατηγορίες τα οποία θα αποτελέσουν τις χωροψηφίδες για την περαιτέρω ανάλυση. Στη συνέχεια θα αναλυθούν οι βασικοί δείκτες τοπίου που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των μελετούμενων περιοχών της Αττικής ώστε κάθε δημοτική ενότητα να μελετηθεί ως ανεξάρτητο τοπίο βάση των χαρακτηριστικών που το διέπουν. (Ποιραζίδης 2010). Επιλέχθηκαν οι παρακάτω δείκτες σύνθεσης

- Np (Number of Patches) = Σύνολικός αριθμός χωροψηφίδων της κλάσης
- $Pland$ = Ποσοστό συμμετοχής κάθε κλάσης (%)
- PD = Πυκνότητα Χωροψηφίδων
- $Area_AM$ = Μέγεθος ψηφίδας σε hectares

Καθώς και οι παρακάτω δείκτες χωρικής διαμόρφωσης

- $SHDI$ = Δείκτης Ποικιλότητας Shannon
- $SHEI$ = Δείκτες ομοιογένειας του Shannon
- $SIDI$ = Δείκτης ποικιλότητας του Shimpson
- MPS = Μέσο μέγεθος χωροψηφίδας (Εκφράζει την διάσπαση τοπίου)
- ED = Δείκτης Πυκνότητας περιμέτρου (Χωρική Ομοιογένεια)
- $Contagion$ = Συνάθροιση (%)
- IJI = Δείκτης Διασποράς και Γειτνίασης (%)
- LSI = Δείκτης Σχήματος Τοπίου

Ο υπολογισμός μετρικών τοπίου πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του ελεύθερου λογισμικού *FRAGSTAT V4*. Στα αρχικά στάδια της διαδικασίας εισάγεται αρχείο *img* κάθε ταξινομημένης εικόνας όπως δημιουργήθηκε στο προηγούμενο στάδιο μέσω του λογισμικού *eCognition*. Μετέπειτα εισάγεται η ονομασία των κλάσεων και θέτονται ενεργές (*enabled*) μέσω αρχείου κειμένου *.txt*. Στη συνέχεια επιλέγονται οι δείκτες σύνθεσης και διάρθρωσης τοπίου τόσο σε επίπεδο χωροψιφίδα, κλάσεων και σε επίπεδο τοπίου, που βρίσκονται στις αντίστοιχες καρτέλες. Μετά την εκτέλεση του προγράμματος και την ολοκλήρωση της διαδικασίας εμφανίζονται σε σχετικό πίνακα οι δείκτες που υπολογίστηκαν, και με επιλογή του χρήστη αποθηκεύονται σε αρχείο υπολογιστικού φύλλου τύπου *.csv*. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι δείκτες χωρικής σύνθεσης και διαμόρφωσης των υπό μελέτη περιοχών.

3.7. Τοπογραφικοί δείκτες

Οι γεωγραφικές πληροφορίες καθίστανται σημαντικές για την ανάλυση και την μελέτη περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Πιο αναλυτικά με την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους θα υπολογιστούν:

- Διανυσματικές Ισοϋψείς Καμπύλες
- Κλίσεων Εδάφους
- Χάρτης έκθεσης (*aspect*)
- Απόσταση από θάλασσα
- Τραχύτητα ανάγλυφου

Για τον υπολογισμό των παραπάνω τοπογραφικών δεικτών λήφθηκαν αρχεία *DEM* από την ιστοσελίδα *asterweb*, η οποία παρέχει ελεύθερα δεδομένα ψηφιακού μοντέλου εδάφους σε παγκόσμια κλίμακα μέσω του προγράμματος της *NASA Reverb*. Τα αρχεία *DEM* επεξεργάζονται μέσω του λογισμικού ανοικτού κώδικα *QGIS* όπου παρέχει όλα τα απαραίτητα εργαλεία για την επεξεργασία και δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Για την περιοχή μελέτης χρειάστηκαν δύο εικόνες *DEM* ώστε να περιλαμβάνονται τα δημοτικά διαμερίσματα της Αττικής. Στα αρχικά στάδια της προεπεξεργασίας πραγματοποιείται παραμετροποίηση του αρχείου *DEM* ώστε να μετατραπεί σε *raster* και στη συνέχεια αποκοπή στην μελετούμενη περιοχή, ενώ χρειάζεται και η επιλογή του προβολικού συστήματος σε *Greek Grid* ώστε να τα δεδομένα να είναι σε μονάδα μέτρησης τα μέτρα.

Στο πρώτο στάδιο της επεξεργασίας δημιουργούνται μέσω της επιλογής *Raster Analysis* και *contour*, ισοϋψείς καμπύλες ανά δέκα μέτρα απόστασης κάθε μια. Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας προκύπτουν ως *shape file* οι ισοϋψείς από όπου και υπολογίζεται το μέσο υψόμετρο των περιοχών μελέτης.

Ακόμα υπολογίστηκε η κλίση εδάφους, η οποία αναφέρεται στο ρυθμό αλλαγής του υψομέτρου σε μια καθορισμένη τοποθεσία. Για την ασφάλεια και την καλύτερη κατανόηση των υπολογισμών επιλέχθηκε η μέτρηση της κλίσης σε ποσοστό επί της %.

Ένας ακόμα σημαντικός συντελεστής είναι η έκθεση του εδάφους (*aspect*) δηλαδή η κατευθυντήρια μέτρηση της κλίσης και αποτελούν κυκλική μέτρηση σε μοίρες. Η κυκλική έκθεση σε μοίρες για να μπορεί να εφαρμοστεί σε μαθηματικά μοντέλα μετασχηματίζεται σε γραμμική μορφή κάνοντας χρήση ημίτονου και συνημίτονου ώστε οι τιμές τους να κυμαίνονται από -1 έως 1. Με τον τρόπο αυτό αν επιλεγεί το ημίτονο η έκθεση δείχνει την επίδραση της ανατολής στον άξονα δύσης ανατολή. Με τον αντίστροφο τρόπο λειτουργεί η επιλογή του συνημίτονου όπου η έκθεση λαμβάνει τιμές για τον βορρά και το νότο από -1 έως +1. Όπως φαίνεται και στον παρακάτω χάρτη υπολογίστηκαν οι τιμές της έκθεσης με βάση το ημίτονο για την επίδραση της ανατολής και βάση του συνημίτονου για την επίδραση του βορρά – νότου.

Η θάλασσα παρουσιάζει μεγάλη αδράνεια στις εξωτερικές θερμοκρασιακές μεταβολές, και επομένως περιοχές που βρίσκονται σε κοντινή απόσταση να επηρεάζονται θετικά ως έναν βαθμό από την θερμοκρασία της. Στην Αττική λόγω του σχήματος της αρκετές περιοχές απέχουν πάνω από δέκα χιλιόμετρα από την θάλασσα όπως τα βόρεια προάστια και οι κοντινές περιοχές, ενώ ένα μέρος της Αττικής έχει άμεση επαφή με το υδάτινο στοιχείο καθώς διαθέτουν παραλιακό μέτωπο. Για τον υπολογισμό των αποστάσεων των περιοχών μελέτης από τη θάλασσα μετρήθηκε στο λογισμικό ανοικτού κώδικα QGIS η απόσταση από το μέσο κάθε περιοχής μέχρι το κοντινότερο σημείο επαφής με την θάλασσα.

Τέλος επιλέχθηκε να μελετηθεί και η τραχύτητα του μελετούμενου ανάγλυφου με στόχο την επίδρασή της στη διαμόρφωση της θερμοκρασίας. Διαφορετικές τραχύτητας επιφανείας εδάφους ανακλούν ή απορροφούν τις ηλιακές ακτίνες. Οι λείες επιφάνειες απορροφούν αλλά ανακλούν και μέρος της ηλιακής ενέργειας στο περιβάλλον, ενώ σε αντίθεση με τις περισσότερες τραχύς επιφάνειες όπου έχουν την δυνατότητα απορρόφησης μεγαλύτερου μέρους ηλιακής ακτινοβολίας. Μέσω του λογισμικού QGIS εκτελέστηκε η δημιουργία χάρτη με δεδομένα τραχύτητας από το αρχείο DEM όπως αναλύθηκε προηγουμένως.

3.8. Μοντέλα Γραμμικής Παλινδρόμησης – Γεωμετρικά σταθμισμένης παλινδρόμησης (GWR)

Για την πρόβλεψη και ερμηνεία των μέσων εποχιακών θερμοκρασιών καθώς και τη μέση ετήσια, εφαρμόστηκε σύγχρονη τεχνική χωρικής ανάλυσης με τη δημιουργία μοντέλων παλινδρόμησης. Για την διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της θερμοκρασίας και των μετρικών τοπίου καθώς και τον τοπογραφικών δεικτών επιλέχθηκε η Γεωγραφική Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (*Geographical Weighted Regression – GWR*). Η μέθοδος αυτή βασίζεται σε σχέσεις που διέπουν τα χαρακτηριστικά μιας περιοχής, καθώς επίσης αποτελεί μέθοδο για την εύρεση αλληλεπιδράσεων. Η χρήση της είναι αρκετά ισχυρή στην μελέτη εύρεσης και ερμηνείας μεταξύ των μέσων θερμοκρασιών και μετρικών τοπίου ή τοπογραφικών δεικτών (Κεφαλάς, 2020). Πραγματοποιήθηκαν και εξετάστηκαν δύο είδη παλινδρόμησης :

- Πολλαπλή Γραμμική Παλινδρόμηση
- Γεωγραφική Σταθμισμένη Παλινδρόμηση

Κατά την επίλυση της μεθόδου πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης αρχικά οι εξαρτημένες μεταβλητές δηλαδή οι μέσες εποχιακές και η μέση ετήσια θερμοκρασία ελέγχθηκαν με την χρήση ελέγχου *Shapiro – Wilk* για την εκτίμηση της κανονικότητας κατανομής τους. Ακόμα για τις ανεξάρτητες μεταβλητές ,δηλαδή οι δείκτες που επιλέχθηκαν, ελέγχθηκε η ανεξαρτησία τους με την χρήση της συσχέτισης *Speraman*. Το τελικό αποτέλεσμα με τον συνδυασμό των πιθανών δεικτών τοπίου και τοπογραφίας που ερμηνεύουν καλύτερα την μέση θερμοκρασία, βρέθηκε με την απλουστευτική ‘‘προς τα πίσω προσέγγιση’’ (Κεφαλάς, 2020). Τα κριτήρια επιλογής που χρησιμοποιήθηκαν είναι βαθμός συσχέτισης R^2 και το μέτρο *Akaike Information Criterion (AIC)*. Δημιουργήθηκαν μοντέλα παλινδρόμησης της παρακάτω μορφής :

$$Y_i = \beta_0 + \sum \beta_{kj} X_{ij} + e_k$$

όπου Y_i η ανεξάρτητη μεταβλητή (δείκτες τοπίου και τοπογραφίας), β_0 σταθερά, β_k υπολογιζόμενη παράμετρος για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή K , X_{ij} η ανεξάρτητη μεταβλητή (μέση εποχιακή – μέση ετήσια θερμοκρασία) και e_k το σφάλμα.

Για την πρόβλεψη των σημαντικότερων δεικτών έγινε χρήση της γεωγραφικά σταθμισμένης παλινδρόμησης (*Geographical Weighted Regression -GWR*), η οποία αποτελεί μορφή τοπικής παλινδρόμησης κατάλληλη για χωρικά εξαρτημένα δεδομένα. Ο συγκεκριμένος τύπος παλινδρόμησης προσδιορίζει χωρικά τη μη στασιμότητα ανάμεσα σε μια εξαρτημένη μεταβλητή και ενός συνόλου επεξηγηματικών μεταβλητών. Αποτέλεσμα της διαδικασίας είναι η παρουσίαση σειράς χωρικά

εστιασμένων παραγόντων, που παρουσιάζουν την σχετική αλληλεπίδραση – εξάρτηση ανάμεσα στην εξαρτημένη μεταβλητή και των ανεξάρτητων μεταβλητών (Κεφαλάς, 2020). Το μοντέλο έχει την παρακάτω μορφή:

$$Y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_k \beta_k(u_i, v_i) X_{ik} + \varepsilon_i$$

Όπου (u_i, v_i) οι συντεταγμένες του i th σημείου στο χώρο και $\beta_k(u_i, v_i)$ οι εκτιμώμενες παράμετροι σε συνεχή επιφάνεια.

Για την εφαρμογή της μεθόδου πραγματοποιείται ο υπολογισμός επιμέρους μοντέλων από κάθε παρατήρηση δηλαδή γύρω από κάθε δημοτικό διαμέρισμα – περιοχή μελέτης, λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο όλων των παρατηρήσεων. Για κάθε περιοχή μελέτης ορίζεται μια γειτονιά που καθορίζεται από το σχήμα στάθμισης όπου οι κοντινότερες παρατηρήσεις στο σημείο παλινδρόμησης κατέχουν υψηλότερο βάρος σε αντίθεση με τις απομακρυσμένες. Η γειτονιά και η μέγιστη απόσταση από το σημείο παλινδρόμησης ονομάζονται *Kernel* και *Bandwidth* αντίστοιχα. Ακόμα η γειτονιά ορίζεται από έναν αριθμό πλησιέστερων γειτόνων οι οποίοι συμπεριλαμβάνονται στην διαδικασία της παλινδρόμησης. Ο υπολογισμός για το κατάλληλο μέγεθος του bandwidth πραγματοποιήθηκε με αυτόματο αλγόριθμο, ο οποίος μεταβάλλει αυτόματα το μέγεθος του ελέγχοντας κάποια συγκεκριμένα κριτήρια για την μεγιστοποίηση της απόδοσης της παλινδρόμησης (Κεφαλάς, 2020).

Έχοντας υπολογίσει στις προηγούμενες ενότητες τους δείκτες διάρθρωσης και σύνθεσης τοπίου καθώς και τους τοπογραφικούς δείκτες εκτελέστηκαν τρεις ενότητες ανεξάρτητων μεταβλητών με τους παρακάτω συνδυασμούς :

1. Δείκτες σύνθεσης κλάσης Βλάστησης

- I. *Pland_VEG*
- II. *Area_AM_VEG*
- III. *NP_VEG*
- IV. *Contagion*

2. Τοπογραφικοί δείκτες

- I. Υψόμετρο (*Alt*)
- II. Απόσταση από Θάλασσα (*Sea_D*)
- III. Τραχύτητα (*Roug*)
- IV. Δείκτης Έκθεσης Ανατολής -Δύσης (*ASPCT_EW*)
- V. Δείκτης Έκθεσης Βορρά – Νότου (*ASPCT_NS*)

3. Συνδυασμός δεικτών

- I. *Pland Veg*
- II. *Pland_Build*
- III. *Pland_Open Areas*

- IV. Τραχύτητα αναγλύφου (*Roug*)
- V. Υψόμετρο (*Alt*)
- VI. Απόσταση από Θάλασσα (*Sea_D*)

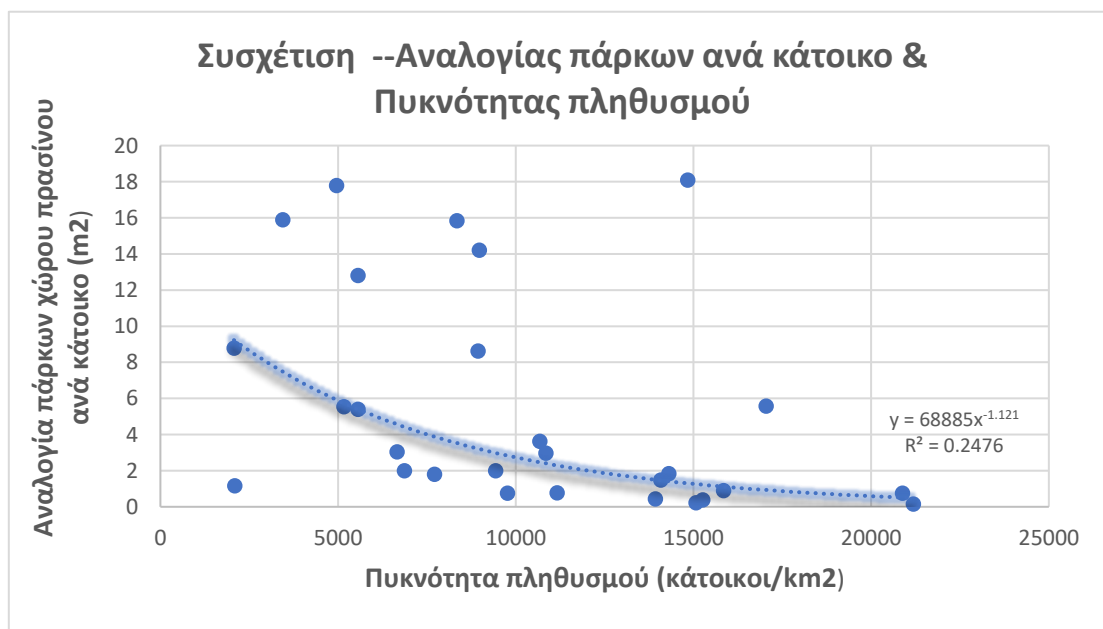
Όπως αναφέρθηκε οι εξαρτημένες μεταβλητές είναι συνολικά πέντε και αποτελούνται από τις μέσες εποχιακές θερμοκρασίες και την μέση ετήσια. Η μέθοδος *GWR* δημιουργεί χάρτες για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή, όπου εμφανίζεται η συνεισφορά της στην διαμόρφωση της εξαρτημένης μεταβλητής. Στην περιοχή μελέτης κάθε μοντέλο παράγει πέντε έως έξι χάρτες δημιουργώντας τελικά για όλα τα πακέτα ανεξάρτητων μεταβλητών και εξαρτημένων συνολικά εβδομήντα πέντε χάρτες.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο – ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1. Αποτελέσματα στατιστικών δεδομένων - ΕΛΣΤΑΤ

Για κάθε δημοτικό διαμέρισμα λήφθηκαν δεδομένα από την ΕΛΣΤΑΤ σχετικά με τον ενεργό πληθυσμό, την έκταση κάθε δημοτικού διαμερίσματος καθώς και την πυκνότητά του (κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο). Ακόμα πραγματοποιήθηκε συλλογή δεδομένων από την ΕΛΣΤΑΤ σχετικά με την έκταση των πάρκων πρασίνου στην Αττική, και καταγράφηκε για κάθε δημοτικό διαμέρισμα το ποσοστό πρασίνου που διαθέτει σε σχέση με την έκταση του καθώς και τα τετραγωνικά μέτρα που αναλογούν σε κάθε κάτοικο κάθε περιοχής (ΕΛΣΤΑΤ, Καλούδης 2017, Μπελαβίδας 2012).

Σύμφωνα με τα δεδομένα της ΕΛΣΤΑΤ οι βορειοδυτικές και νοτιοδυτικές περιοχές έχουν τη μικρότερη εδαφοκάλυψη σε πάρκα και οργανωμένους χώρους αστικού πρασίνου (ΕΛΣΤΑΤ, Καλούδης 2017, Μπελαβίδας 2012). Οι κεντρικές και νοτιοανατολικές περιοχές έχουν ελαφρώς καλύτερη κατανομή με ποσοστό που κυμαίνεται από 2,5% έως 10%. Σχετικά καλύτερη κάλυψη με πάρκα έχει ο δήμος Αθηναίων. Μεγαλύτερη εδαφοκάλυψη έχει η κεντρική και ανατολική έκταση της περιοχής μελέτης με ποσοστά που κυμαίνονται από 10% έως 45%. Ο δήμος Καισαριανής έχει την μεγαλύτερη εδαφοκάλυψη σε πάρκα του λεκανοπεδίου. Οι κεντρικές και ανατολικές περιοχές είναι και πάλι ευνοημένες σε σχέση με την υπόλοιπη έκταση της περιοχής μελέτης και είναι οι μόνες που έχουν αναλογία πρασίνου ανά κάτοικο πάνω από το όριο που θέτει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας, δηλαδή, κατ' ελάχιστο, 9 τ.μ./κάτοικο (ΕΛΣΤΑΤ, Καλούδης 2017, Μπελαβίδας 2012).



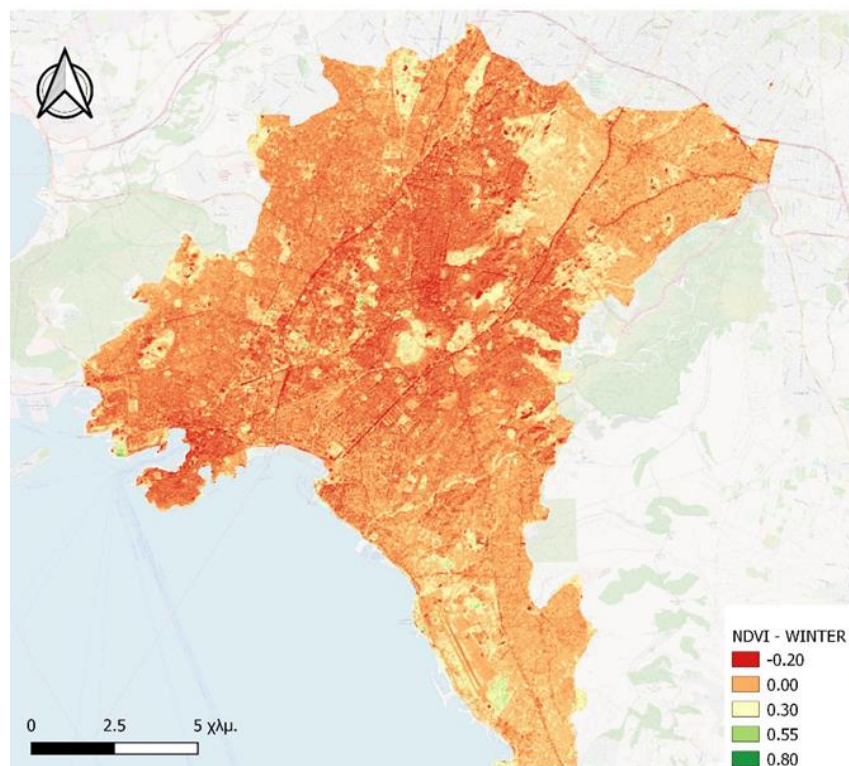
Διάγραμμα 2 : Διάγραμμα Διασποράς Συσχέτισης Αναλογίας πάρκων ανά κάτοικο & Πυκνότητας πληθυσμού (Περιοχή Μελέτης)

Στο παραπάνω διάγραμμα διασποράς αναλύθηκε η συσχέτιση της αναλογίας οργανωμένων χώρων πρασίνου και πάρκων με την πυκνότητα του πληθυσμού. Συμπεραίνουμε ότι οι περιοχές με μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού δυστυχώς καταγράφουν μικρά ποσοστά αναλογίας οργανωμένων χώρων πρασίνου κάτω του 4 % , γεγονός που επιβεβαιώνει την ανάγκη για εύρεση και δημιουργία τέτοιων χώρων στον πυκνό αστικό ιστό για την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Ο βαθμός συσχέτισης τη αναλογίας οργανωμένων χώρων πρασίνου ανά κάτοικο και πυκνότητας πληθυσμού ορίζεται σε $R^2 = 0.24$ με εκθετική συνάρτηση τύπου $y = 68885 * x^{-1.121}$.

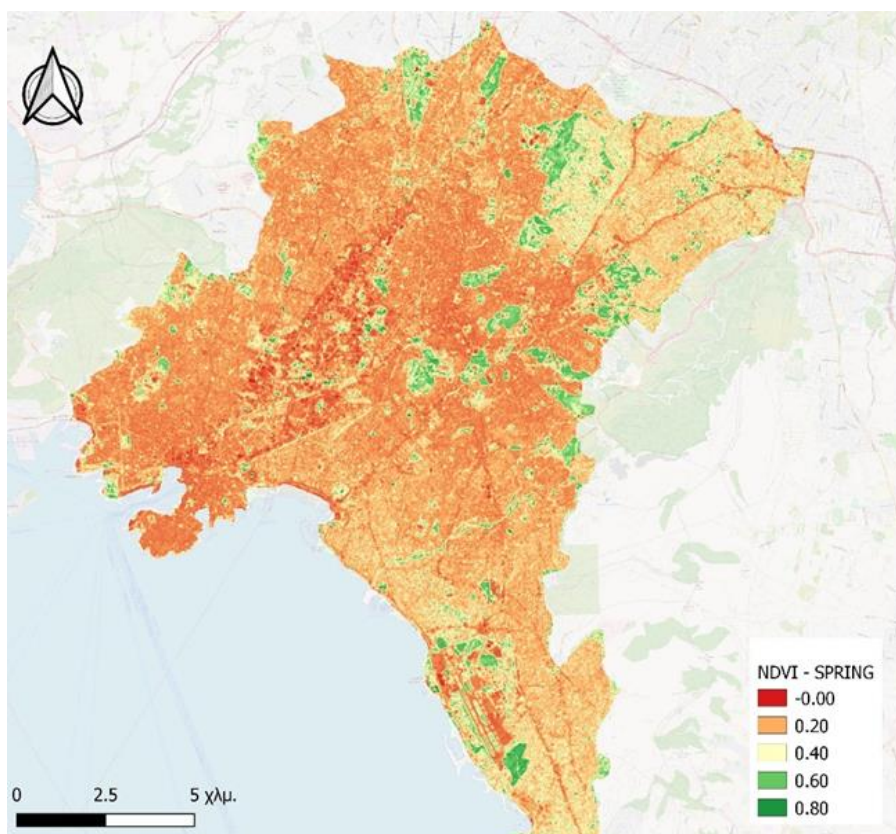
4.2. Αποτελέσματα δορυφορικών εικόνων Landsat 8

4.2.1. Αποτελέσματα Δείκτη Βλάστησης NDVI

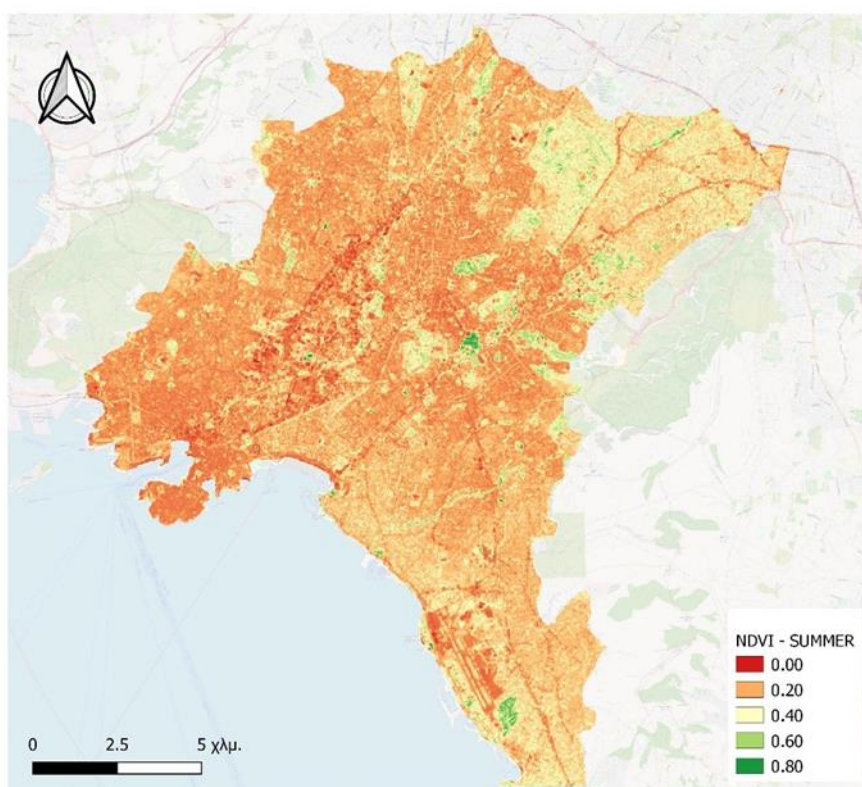
Έχοντας πραγματοποιήσει όλους τους απαιτούμενους υπολογισμούς μεταξύ των δύο καναλιών 4 και 5, υπολογίστηκε ο δείκτης NDVI για τέσσερις μήνες έναν για κάθε εποχή του έτους 2020. Επιλέχθηκε ένας μήνας για κάθε εποχή καθώς ο δείκτης NDVI εκφράζει τον βαθμό υγιούς βλάστησης και παίρνει διαφορετικές τιμές ανά εποχή, καθώς την άνοιξη όπου τα περισσότερα φυτά ανθίζουν ο δείκτης παίρνει μέγιστες τιμές κοντά στο 1, ενώ τον χειμώνα λαμβάνει μικρότερες τιμές καθώς αρκετά φυτά φυλλοβολούν. Παρακάτω παρατίθενται οι χάρτες του δείκτη NDVI για κάθε μια εποχή. Με κόκκινο χρώμα παρουσιάζονται οι δομημένες περιοχές ενώ με πράσινες οι περιοχές πρασίνου (Παπαθανασίου 2017).



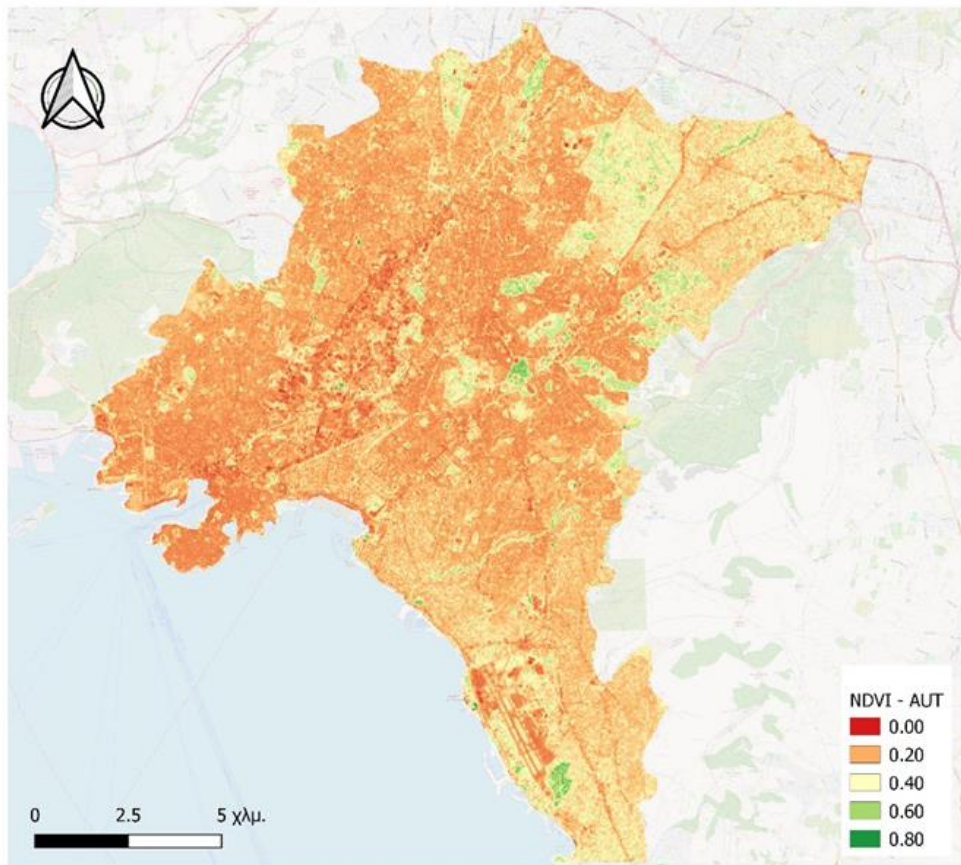
Εικόνα 11: Τιμές δείκτη NDVI για το Χειμώνα 2020



Εικόνα 12: Τιμές δείκτη NDVI για την Άνοιξη 2020



Εικόνα13: Τιμές δείκτη NDVI για το Καλοκαίρι 2020



Εικόνα 14: Τιμές δείκτη NDVI για το Φθινόπωρο 2020

Με τον δείκτη *NDVI* μπορούμε αρκετά εύκολα να ερμηνεύσουμε και να καταγράψουμε τις δομημένες περιοχές καθώς και τα αστικά πάρκα, τους διάφορους χώρους πρασίνου, τα υγιή πάρκα, τις πυκνοκατοικημένες περιοχές καθώς και τις αραιοκατοικημένες. Την άνοιξη και το καλοκαίρι που τα περισσότερα φυτά ανθίζουν οι περιοχές αστικού πρασίνου αποτυπώνονται με έντονο πράσινο χρώμα, ενώ το φθινόπωρο και το χειμώνα οι περιοχές πρασίνου λαμβάνουν μικρότερες τιμές για τον δείκτη *NDVI* και εμφανίζονται με αραιό πράσινο προς κίτρινο χρώμα.

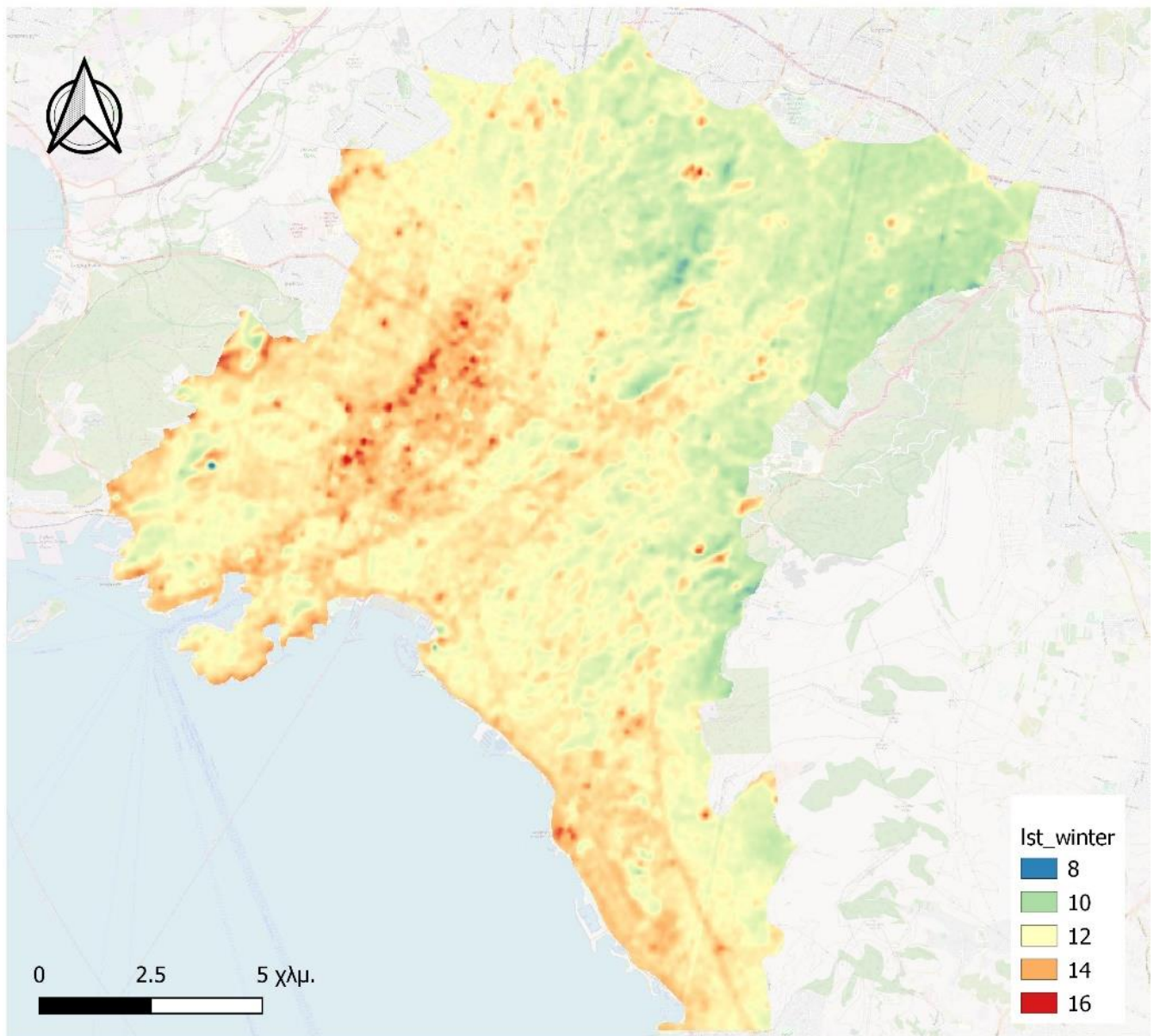
4.2.1. Αποτελέσματα Θερμικών Χαρτών

Μετά την ολοκλήρωση των μαθηματικών υπολογισμών εξήχθησαν τα αποτελέσματα των μέσων θερμοκρασιών για τις μελετούμενες περιοχές για τις εποχές του έτους 2020 καθώς επίσης εκτιμήθηκε και η μέση θερμοκρασία του έτους. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα για κάθε δημοτικό διαμέρισμα.

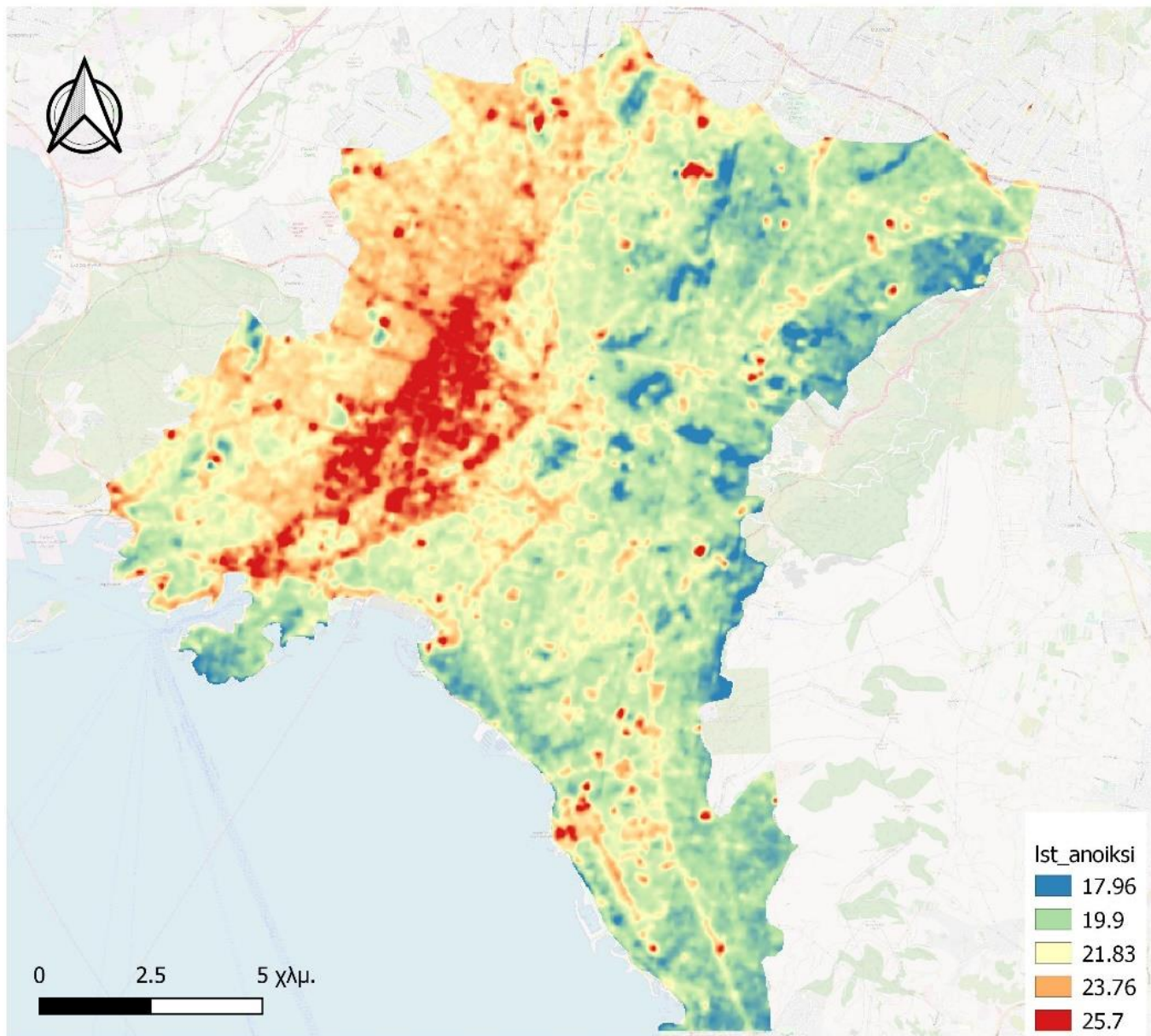
Πίνακας 2: Μέσες εποχιακές Θερμοκρασίες και ετήσια έτους 2020

	Χειμώνας	Άνοιξη	Καλοκαίρι	Φθινόπωρο	Ετήσια
Αγία Παρασκευή	9.51	19.36	31.6	21.1	20.39
Άγιος Δημήτριος	10.93	21.17	33.12	22.22	21.86
Άγιος Ιωάννης - Ρέντη	13.18	24.66	34.88	24.48	24.3
Αιγάλεω	12.03	23.83	34.24	23.48	23.4
Άλιμος - Γλυφάδα	11.3	18	33.08	22.3	21.17
Αθηνών_1	11.03	21.41	32.77	21.7	21.73
Αθηνών_2	12.3	22.6	33.1	22.78	22.7
Αθηνών_3	11.1	21.38	32.65	21.7	21.71
Αθηνών_4	11.42	21.4	32.52	21.85	21.8
Αθηνών_5	11.48	21.53	32.43	21.95	21.85
Αθηνών_6	11.3	21.34	32.35	21.66	21.66
Αθηνών_7	12.8	22.8	33.47	23.32	23.1
Δάφνη	10.72	21.19	32.74	22.03	21.67
Φιλοθέη - Ψυχικό	10.43	20.09	31.51	21.53	20.89
Γαλάτσι	10	20.52	32.46	22.05	21.26
Ίλιον	10.94	22.53	33.17	23.1	22.44
Ηλιούπολη - Αργυρούπολη	10.24	19.71	32.5	21.5	20.99
Καλλιθέα	11.52	21.87	33.14	22.38	22.23
Κερατσίνι - Δραπετσώνα	11.39	21.53	33.78	22.24	22.24
Μοσχάτο	11.42	22.07	33.83	23.15	22.62
Νέα Ιωνία	10.4	21.68	32.35	22.24	21.67
Νέα Σμύρνη	11.1	21.1	32.66	21.74	21.65
Νίκαια - Κορυδαλλός	11.65	22.95	34	23.9	23.13
Παλαιό Φάληρο	11.28	20.53	32.56	21.73	21.53
Παπάγου - Χολαργός	9.72	19.36	31.62	21.08	20.45
Πειραιάς	11.56	21.58	33.12	22.7	22.24
Περιστέρι	11.46	23.32	33.58	23.07	22.86
Ταύρος	12.8	24.21	34.65	24.05	23.93
Βύρωνα - Καισαριανή	10.11	19.76	32.08	21.94	20.97
Χαλάνδρι	10.95	19.95	32.41	21.72	21.26

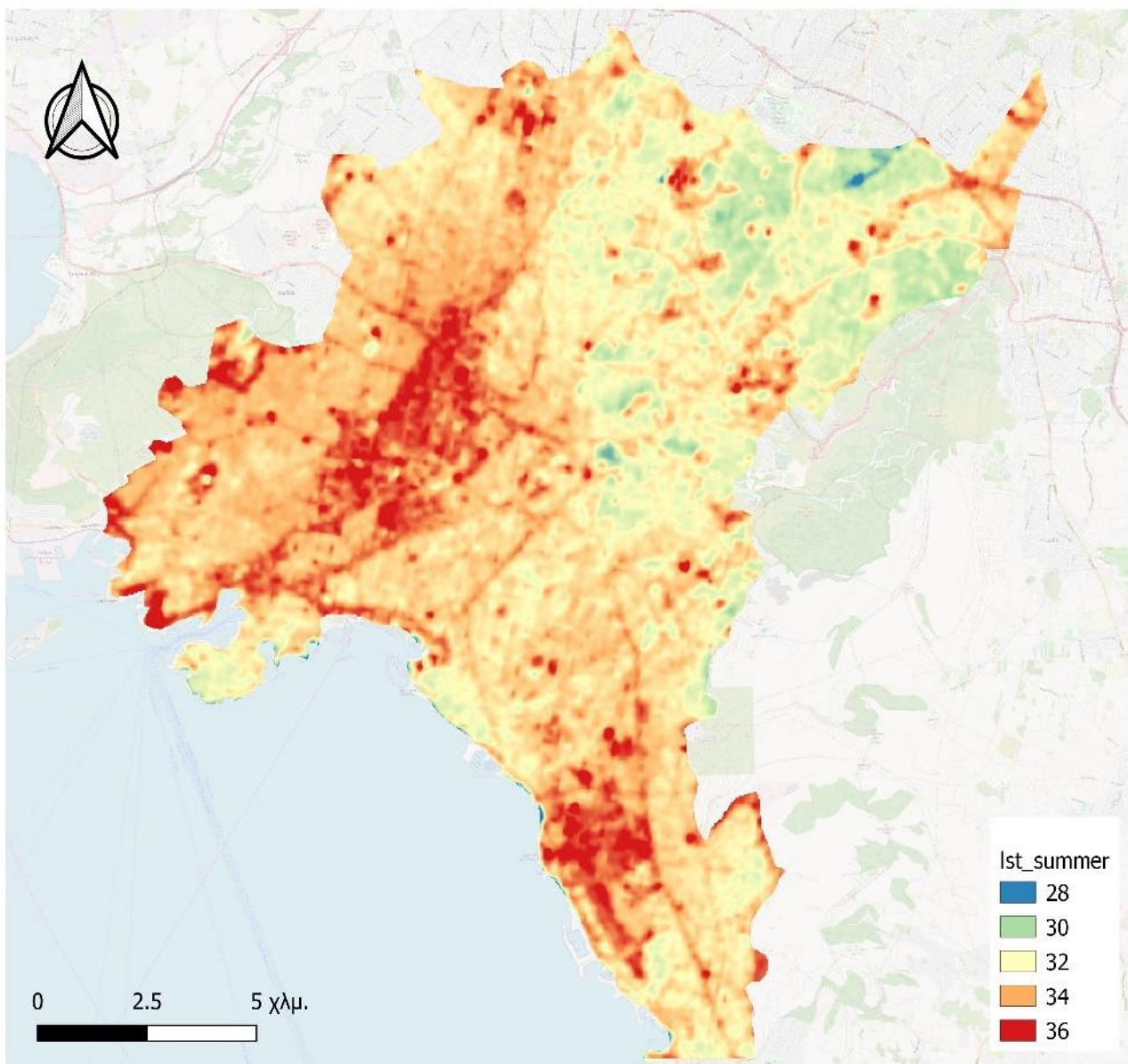
Παρακάτω παρατίθενται οι θερμικοί χάρτες για τις μέσες θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (*Ist*) των τεσσάρων εποχών του έτους 2020. Τα θερμικά αποτελέσματα εκφράζονται σε κλίμακα με διαφορά οκτώ βαθμών Κελσίου. Πιο αναλυτικά με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται τα σημεία με την μέγιστη θερμοκρασία χρώματος, ενώ με μπλε χρώμα οι ψυχρότερες περιοχές.



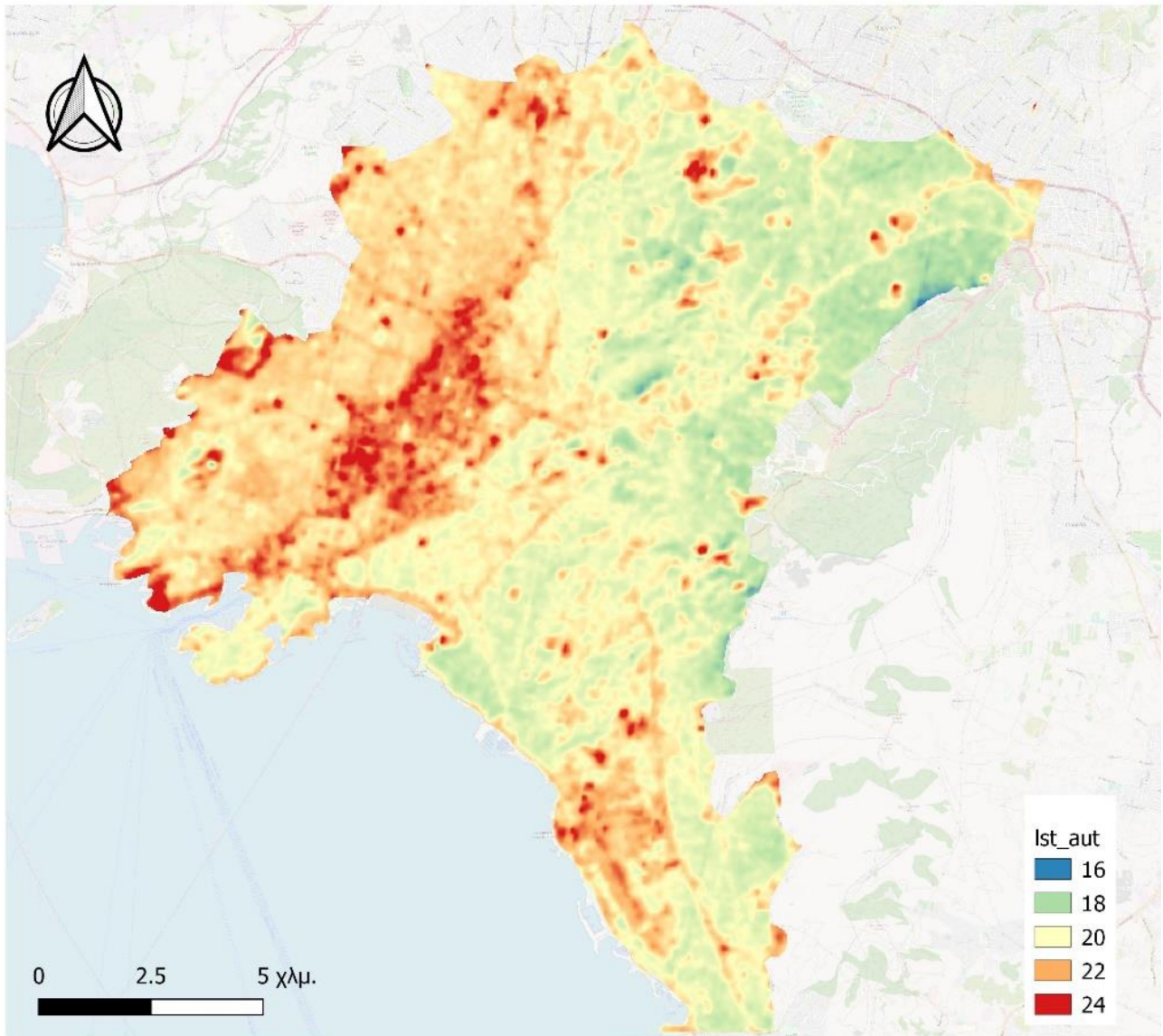
Εικόνα 15: Χάρτης με τιμές μέσης θερμοκρασίας Χειμώνα 2020



Εικόνα 16: Χάρτης με τιμές μέσης Θερμοκρασίας Άνοιξης 2020



Εικόνα 17: Χάρτης με τιμές μέσης Θερμοκρασίας Καλοκαιριού 2020



Εικόνα 18: Χάρτης με τιμές μέσης Θερμοκρασίας Φθινόπωρο

Από τα αποτελέσματα των θερμικών χαρτών παρατηρείται ότι η Αττική είναι μια περιοχή με πολλές θερμοκρασιακές μεταβολές. Υπάρχουν περιοχές με κανονικές θερμοκρασίες ενώ σε αντίθεση υπάρχουν περιοχές με αρκετές ζέστες ζώνες. Κοιτώντας τον θερμικό χάρτη παρουσιάζονται με γαλάζιο χρώμα τα Pixel με χαμηλότερη θερμοκρασία, με πορτοκαλί οι μεσαίες θερμοκρασίες και με έντονο κόκκινο τα pixel με υψηλές θερμοκρασίες. Αρχικά παρατηρείται ότι η θερμοκρασία σχετίζεται άμεσα με τις χρήσεις κάλυψης γης, καθώς καταγράφονται μεγάλες θερμοκρασίες στους μεγάλους αυτοκινητόδρομους και στο οδικό δίκτυο αφού η ασφαλτος είναι υλικό το οποίο απορροφά μεγάλα ποσά θερμότητας. Ακόμα έντονη αύξηση της θερμοκρασίας καταγράφεται σε περιοχές με κύρια βιομηχανική χρήση και στα βιομηχανικά κτήρια λόγω των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν. Μια ακόμα παρατήρηση, αφορά τις περιοχές που καλύπτονται από πράσινο με υγιή βλάστηση, καθώς σε αυτές καταγράφηκαν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες και για τις τέσσερις εποχές (Γιωβός et. al. 2020,

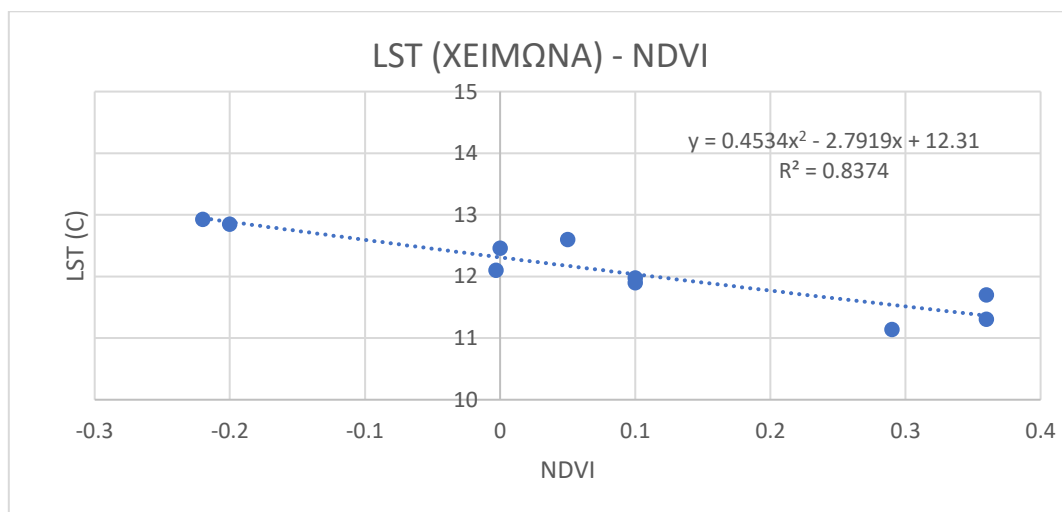
Γκιόκας 2019, Χατζίδης 1998). Τα αποτελέσματα των θερμικών δεδομένων παρέχουν πληθώρα συμπερασμάτων σχετικά με την διαμόρφωση της μέσης εποχιακής θερμοκρασίας, τα οποία περιγράφονται στο επόμενο κεφάλαιο.

4.3. Συσχέτιση δείκτη βλάστησης *NDVI* με θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (*LST*)

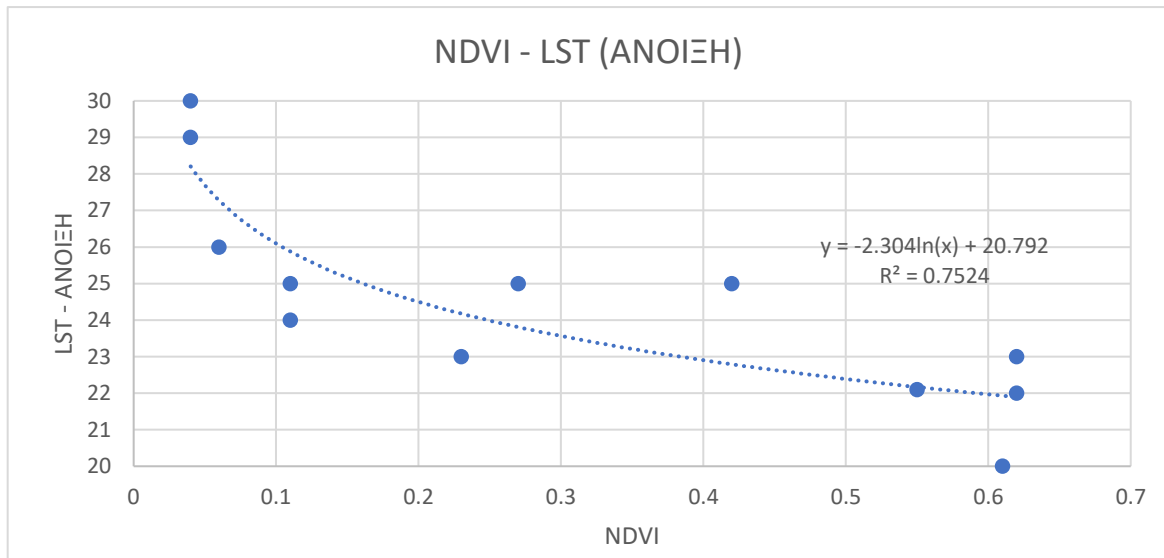
Σύμφωνα με τα προηγούμενα αποτελέσματα σχετικά με την διαμόρφωση της θερμοκρασίας, αναλύθηκε η σχέση μεταξύ της επιφανειακής θερμοκρασίας *LST* και του δείκτη βλάστησης *NDVI* για τέσσερις περιοχές κάλυψης γης. Για τον ανάλυση της σχέσης υπολογίστηκαν η τιμή του δείκτη *NDVI* και της μέση εποχιακής θερμοκρασίας για διάφορα τυχαία σημεία στις παρακάτω περιοχές.

1. Βιομηχανική Περιοχή – Εμπορικά Κτήρια
2. Συνεχής Πυκνή δόμηση
3. Ασυνεχής αστική δόμηση
4. Περιοχές αστικού πρασίνου

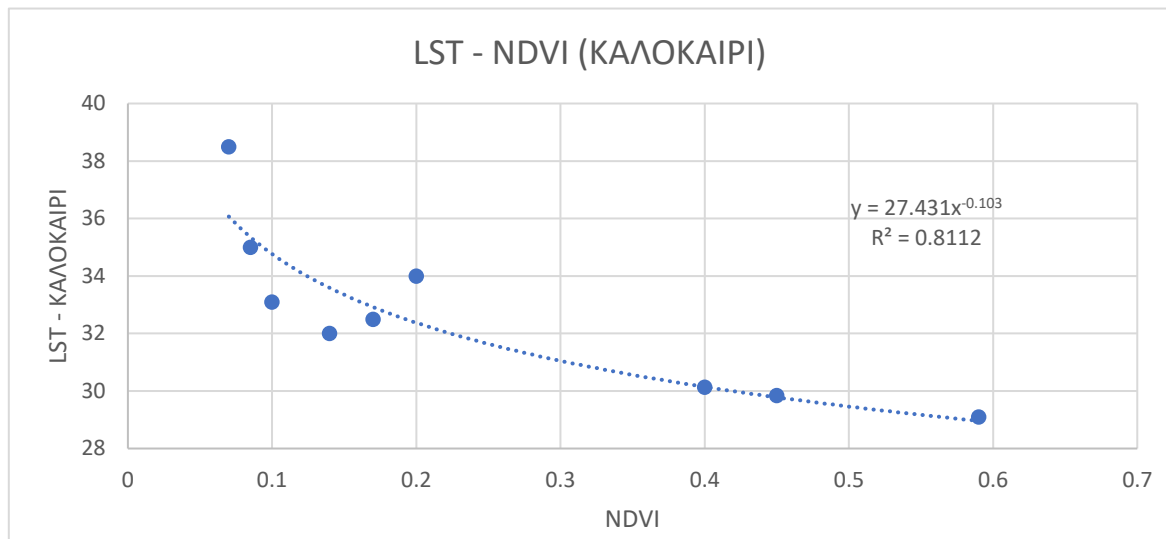
Στη συνέχεια παρουσιάζονται τα διαγράμματα διασποράς *LST* – *NDVI* για τις τέσσερις εποχές του έτους 2020.



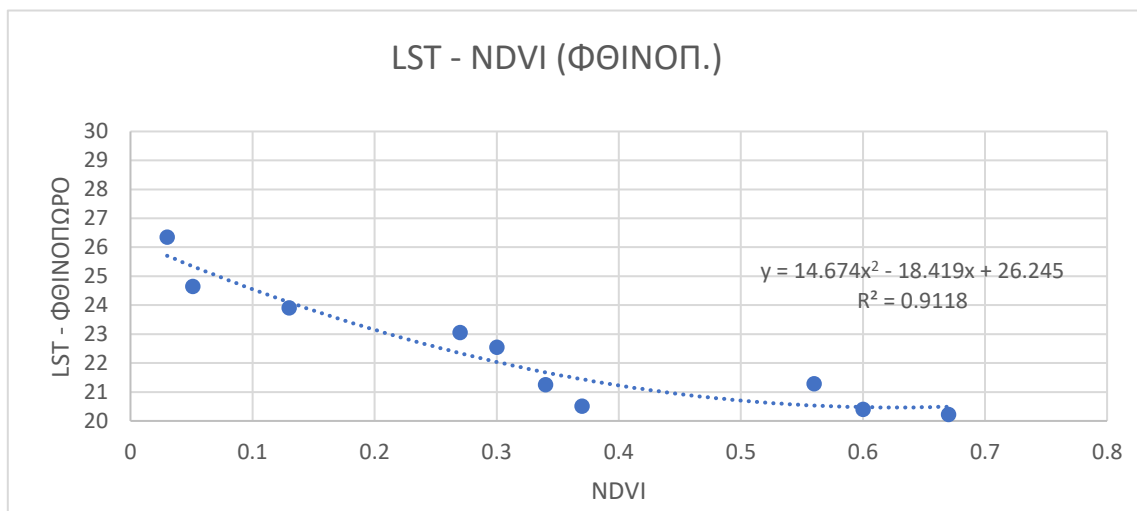
Διάγραμμα 3: Διάγραμμα Διασποράς Συσχέτισης *LST* Χειμώνα με *NDVI*



Διάγραμμα 4: Διάγραμμα Διασποράς Συσχέτισης LST Άνοιξης με NDVI



Διάγραμμα 5: Διάγραμμα Διασποράς Συσχέτισης LST Καλοκαιριού με NDVI



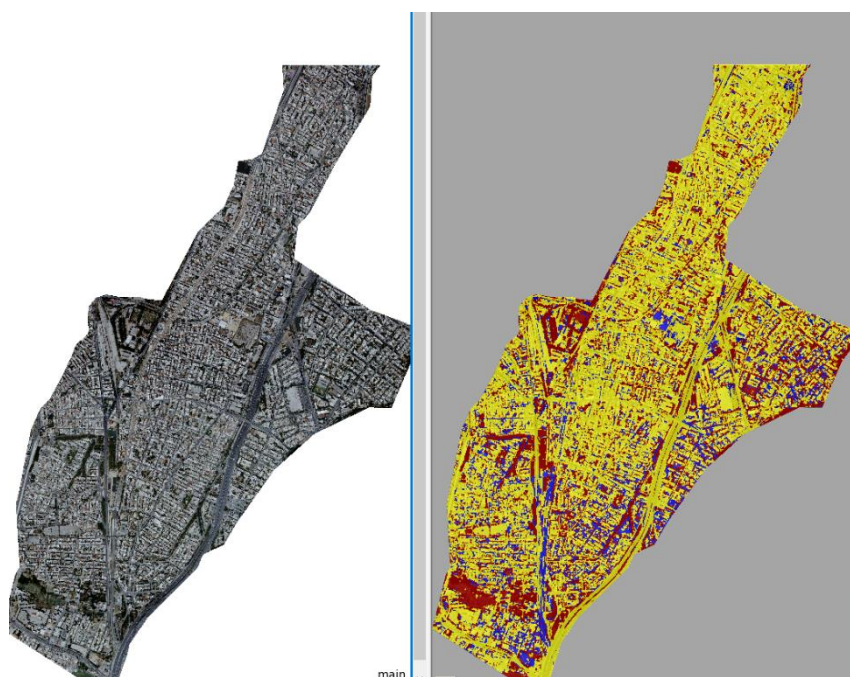
Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Διασποράς Συσχέτισης LST Φθινοπώρου με NDVI

Παρατηρείται ότι στις βιομηχανικές περιοχές και σε κτήρια με χαμηλό δείκτη *NDVI* η θερμοκρασία καταγράφει αύξηση. Σε περιοχές με μέση τιμή *NDVI* από 0,10 – 0,3 καταγράφονται μεσαίες θερμοκρασίες, ενώ για περιοχές με υψηλό δείκτη *NDVI* δηλαδή με αρκετά υγιή βλάστη καταγράφονται χαμηλές θερμοκρασίες και μπορούν να προσδώσουν αίσθημα δροσισμού.

Η μέγιστη συσχέτιση παρατηρείται το φθινόπωρο με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 91 \%$ και στη συνέχεια το χειμώνα με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 83,7 \%$. Ερμηνεύοντας τη μεγάλη συσχέτιση κατά το χειμώνα, η παραμένουσα βλάστηση που δεν φυλλοβολεί έχει την ικανότητα να μην επηρεάζεται από την επικρατούσα μέση θερμοκρασία και να προσφέρει χαμηλότερες θερμοκρασίες. Φαίνεται λοιπόν ότι η συσχέτιση του δείκτη *NDVI* και της θερμοκρασίας αλλάζει ανάλογα με την εποχή αλλά παραμένει αντιστρόφως ανάλογη.

4.4. Αποτελέσματα Ταξινόμησης - Δημιουργία ‘‘Τοπίων’’

Με την ολοκλήρωση της διαδικασίας αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης για κάθε μια από τις μελετούμενες, τελική ταξινομημένη εικόνα περιλαμβάνει αντικείμενα τριών κλάσεων, για την βλάστηση – αστικό πράσινο, το δομημένο περιβάλλον και τις αδόμητες περιοχές. Όπως αναφέρθηκε και στη μεθοδολογία η διαδικασία των κανόνων ταξινόμησης εφαρμόστηκε επαναληπτικά για κάθε ένα από τα τριανταένα μελετούμενα δημοτικά διαμερίσματα - περιοχές της Αττικής. Κάθε ταξινομημένη εικόνα αποθηκεύεται με μορφή *Img.* περιέχοντας τα ταξινομημένα αντικείμενα στο κατάλληλο χρώμα καθώς και τις σχετικές πληροφορίες για τις κατηγορίες που δημιουργήθηκαν. Στη συνέχεια παρατίθενται οι ταξινομημένες ορθοφωτογραφίες για τον Δήμο Αγίων Αναργύρων.



Εικόνα 19: Αρχική Ορθοφωτογραφία (αριστερά) σε σύγκριση με τελική ταξινομημένη εικόνα (δεξιά) -- Περιοχή Άγιοι Ανάργυροι

Μέσω των ταξινομημένων εικόνων για κάθε περιοχή υπολογίστηκαν οι δείκτες σύνθεσης για κάθε κλάση καθώς και οι δείκτες διάρθρωσης τοπίου μέσω του λογισμικού *eCognition*. Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται οι δείκτες χωρικής σύνθεσης και διαμόρφωσης των υπό μελέτη περιοχών.

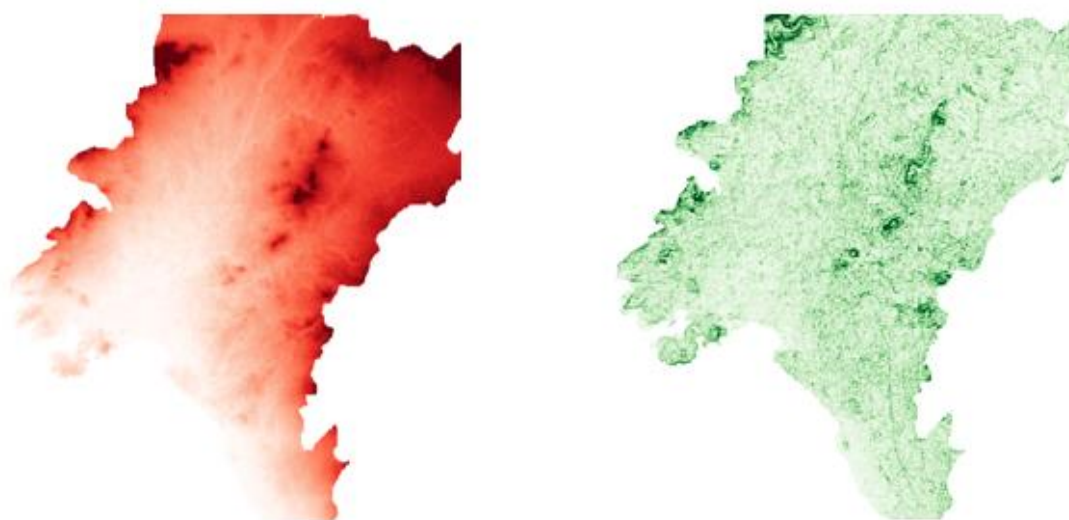
A/A	PLAND_VI	PLAND_BI	PLAND_OI	NP_V	PD_V	AREA_MN	LPI_V	ED_V	LSI_V	UI_V	PD_B	LPI_B	ED_B	LSI_B	MPS	SHDI	SIDI	SHEI	MESH	CONTAG
Αγία Παρασκευή	37.11	53.55	9.34	3997	366.0475	0.0589	8.9245	816.3275	145.1529	48.5703	226.4787	22.6848	888.4376	131.5594	0.0791	1.2168	0.6783	0.8777	8.8153	46.1061
Άγιος Δημήτριος	15.4	80.32	4.28	8094	753.605	0.0092	0.2648	420.5737	115.358	35.848	73.836	35.651	521.9361	53.655	0.0762	0.9593	0.5627	0.692	0.0284	53.9319
Άγιος Ιωάννης - Ρέντη																				
Αιγάλεω	12.37	77.74	9.89	1234	154.3978	0.0469	0.3609	264.2267	69.3547	32.0638	42.1654	44.933	489.6487	51.283	0.2167	1.0946	0.6146	0.6109	0.0443	64.831
	16.64	82.87	0.49	3032	288.5259	0.0357	1.6323	421.0013	114.895	40.516	33.6867	50.9445	431.1445	40.52	0.3084	0.9618	0.581	0.6938	0.3071	60.7845
Άλμος Πλυφάδα	23.87	60.52	15.6	17980	308.3801	0.035	0.8703	443.4211	100.58	55.9433	121.534	24.7655	575.4692	683561	0.1167	1.111	0.608	0.8014	0.5844	52.9008
Αθηνών_1	22.69	76.35	0.96	3702	456.7911	0.0249	0.4911	518.3987	109.4102	9.9967	63.7928	37.6713	525.952	60.5445	0.19	0.9871	0.5916	0.712	0.07	59.2854
Αθηνών_2	16.77	82.41	0.82	3409	395.3612	0.0225	0.9005	386.0495	95.0865	9.4822	36.5323	43.2566	397.7068	44.1906	0.2288	0.9552	0.5803	0.6891	0.092	61.3832
Αθηνών_3	15.39	83.93	0.68	2881	417.1712	0.0214	1.49	387.8954	85.2042	10.5377	54.8795	48.2071	403.8705	38.0159	0.2096	0.9523	0.5786	0.687	0.1721	61.3148
Αθηνών_4	31.92	66.71	1.36	5143	375.0515	0.3255	5.1173	514.2391	110.8802	13.3037	118.2838	35.9394	521.51	77.8045	0.2014	1.0812	0.6389	0.7799	4.49	55.4644
Αθηνών_5	21.74	77.31	0.95	3227	144.4479	0.0464	1.4977	180.6977	82.4011	13.7363	58.1462	22.527	189.975	45.9626	0.4898	0.7953	0.4605	0.5737	0.872	69.0654
Αθηνών_6	18.64	81.36	0	2331	215.1345	0.0394	1.4711	278.5397	78.7167	1.9587	68.6659	36.3832	290.6172	39.3278	0.3519	0.9074	0.5584	0.826	0.3819	54.7471
Αθηνών_7	18.97	77.12	3.91	3899	299.4209	0.0299	1.4634	332.7684	100.3773	19.6605	88.2366	34.6209	357.2178	53.4505	0.2513	0.9946	0.5801	0.618	0.4082	65.513
Δάφνη	15.21	84.41	0.38	1173	277.7593	0.03	0.8642	358.545	70.0962	6.6873	25.8105	45.7426	408.527	31.3055	0.3264	0.9348	0.5745	0.6743	0.046	61.9818
Φιλοθέη - Ψυχικό	35.7	57.82	6.48	6432	641.4986	0.0338	5.2483	943.4428	160.4667	17.4346	377.8977	15.512	1060.956	141.7821	0.0706	1.1947	0.6739	0.7423	3.54	52.2471
Γαλάτσι	20.93	67.69	11.37	2806	478.059	0.022	0.8824	464.8119	86.7777	56.637	63.7185	32.2628	620.2586	64.3809	0.0899	1.1146	0.6224	0.804	0.093	52.3054
Ίλιον	19.84	78.12	2.04	6739	443.7873	0.0187	0.4222	404.7328	136.759	9.778	38.3926	32.4352	422.048	71.8601	0.2046	0.9284	0.5483	0.6697	0.0552	62.3505
Ηλιούπολη - Αργυρούπολη																				
	19.81	73.33	6.85	7964	390.7722	0.0243	0.5187	456.0649	167.117	35.9772	78.3605	33.6596	594.2353	113.2159	0.1141	1.0423	0.5948	0.7519	0.0944	55.9987
Καλλιθέα	13.01	83.44	3.55	2075	203.5681	0.0297	0.2613	274.7566	89.1652	22.3699	20.2097	38.5222	362.1963	46.4069	0.2946	0.9393	0.5593	0.6776	0.0194	62.0203
Κερατσίνι - Δραπετσώνα	16.6	69.53	13.87	7049	618.5772	0.0158	0.2455	480.7553	129.7903	51.4997	98.8986	39.4809	784.5449	103.4771	0.0706	1.1627	0.647	0.8387	0.0436	49.2199
Μοσχάτο	19	78.89	2.11	2392	417.8843	0.0223	0.5595	455.6599	89.3546	9.0227	49.2656	38.2112	480.1695	46.2047	0.2103	0.9789	0.5815	0.7061	0.0431	59.8929
Νέα Ιωάνια	26.47	71.75	1.79	5385	344.6727	0.0297	1.2435	405.506	129.243	11.7865	66.3103	25.1429	411.2455	79.6186	0.2412	0.8953	0.5171	0.6458	0.3	63.6976
Νέα Σμύρνη	16.72	83.28	0	3041	428.3371	0.0589	0.8077	434.6495	99.1909	4.6318	42.2562	42.1851	445.4776	45.5817	0.0791	0.9229	0.5721	0.8401	0.058	46.1061
Νίκαια - Κορυδαλλός																				
	12.6	75.6	11.8	6771	591.5285	0.0148	0.814	465.1178	133.0487	44.3237	73.2968	51.8043	889.0068	103.7898	0.0673	1.1187	0.6167	0.807	0.0941	50.187
Παλαιό Φάληρο	20.83	79.17	0	2036	197.3715	0.0419	0.2699	395.4864	110.2912	7.3119	33.4446	28.9393	403.4913	57.7627	0.4327	0.8753	0.531	0.7967	0.032	55.2904
Παπάγου - Χολαργός	41.35	56.84	1.81	2285	282.1221	0.0747	2.006	809.4207	125.3735	13.6388	208.7827	24.224	807.9465	106.7704	0.199	1.0799	0.6313	0.779	1.1215	53.7626
Πειραιάς	12.1	82.81	5.09	5325	278.525	0.0186	0.1749	246.238	118.3439	32.3672	33.1615	35.1371	371.4432	68.2781	0.183	0.923	0.5435	0.6658	0.0187	62.5101
Περιστέρι	14.38	84.38	1.24	11181	548.2578	0.014	0.1841	424.1223	173.0594	8.1477	30.4016	44.6613	441.9094	74.4528	0.1714	0.9447	0.5736	0.6815	0.0164	61.5406
Ταύρος	16.69	81.36	1.95	1258	333.753	0.0321	1.4219	409.0916	60.6203	15.6484	55.4486	51.8529	433.0167	29.0619	0.2526	1.0011	0.5872	0.7221	0.1054	58.983
Βύρωνα - Καισαριανή																				
	14.6	32.94	6.76	4421	440.2549	0.0332	2.2549	500.9421	103.831	57.5991	50.548	28.3953	658.563	90.8693	0.093	1.1866	0.6567	0.856	0.093	49.0469
Χαλάνδρι	36.74	50.74	12.52	7146	221.2152	0.0528	1.7925	458.418	190.6647	52.9733	133.3297	11.4187	494.3093	174.9182	0.134	0.9339	0.4932	0.6737	1.2584	60.5515

4.5. Αποτελέσματα τοπογραφικών δεικτών

Οι γεωγραφικές πληροφορίες καθίστανται σημαντικές για την ανάλυση και την μελέτη περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών. Για τις περιοχές της Αττικής με την δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους υπολογίστηκαν:

- Διανυσματικές Ισοϋψείς Καμπύλες (*Altitude*)
- Χάρτης έκθεσης (*aspect*)
- Απόσταση από θάλασσα (*Sea Distance*)
- Τραχύτητα ανάγλυφου (*Roughness*)

Το υψόμετρο των περιοχών διαφέρει αρκετά με παραθαλάσσιες περιοχές όπως το Κερατσίνι, ο Πειραιάς, το Παλαιό Φάληρο, ο Άλιμος να έχουν χαμηλό υψόμετρο ενώ περιοχές των βορείων προαστίων όπως το Γαλάτσι, Νέα Ιωνία, Φιλοθέη, Παπάγου να έχουν υψόμετρο πάνω από εκατό μέτρα. Στη συνέχεια παρουσιάζεται η διανυσματική εικόνα με τις ισοϋψείς καμπύλες. Η Αττική αποτελεί λεκανοπέδιο και ως εκ τούτου δεν παρουσιάζει μεγάλες διαφοροποιήσεις στις κλίσεις ανάγλυφου ανά περιοχή. Παρατηρείται απλά μια πολύ μικρή σταθερή κλίση από τα νότια προάστια προς τα βόρεια η οποία θεωρήθηκε πως δεν παίζει σημαντικό δείκτη για υπολογισμό και περαιτέρω ανάλυση. Το μεγαλύτερο μέρος της Αττικής αποτελείται από κατασκευές, οδικό δίκτυο και δομημένο περιβάλλον, οπότε στον χάρτη τραχύτητας δεν παρουσιάζονται μεγάλες διαφοροποιήσεις ανάμεσα στις μελετούμενες περιοχές. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τιμές των τοπογραφικών δεικτών.



Εικόνα 20: Χάρτης Υψομέτρων σε αυξητική κλίμακα χρώματος κόκκινου & χάρτης τραχύτητας ανάγλυφου σε αυξητική κλίμακα πράσινου

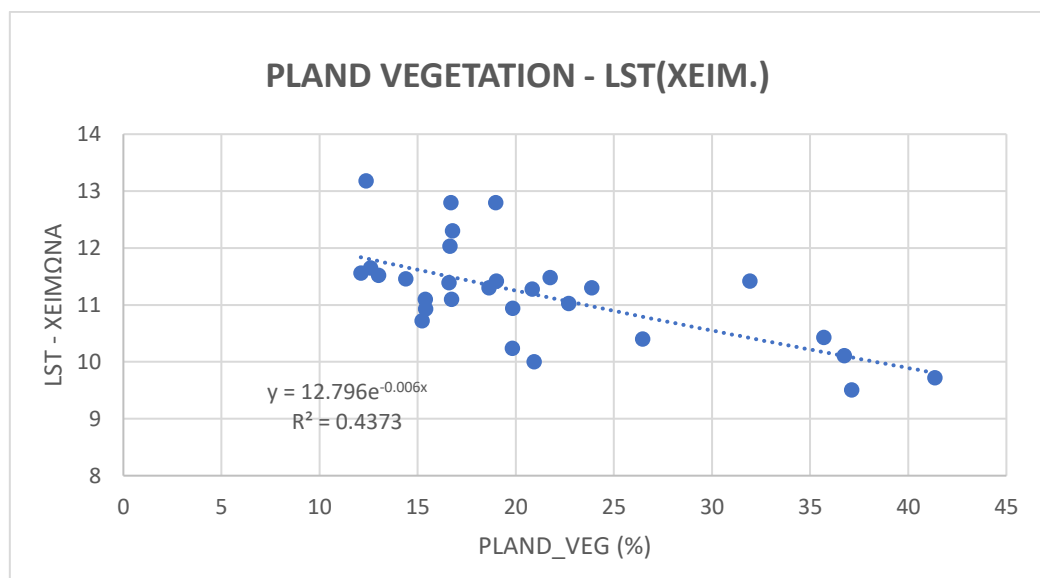
Πίνακας 3: Πίνακας τοπογραφικών δεικτών

A/A	ALT	ASPCT_E	ASPCT_N	ROUG	SEA_D
ΑΓΙΑ ΠΑΡΑΣΚΕΥΗ	230	-1	0	7.01	14.2
ΆΓΙΟΣ ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ	60	-1	0	8.09	3.3
ΆΓΙΟΣ ΙΩΑΝΝΗΣ - ΡΕΝΤΗ	10	0	-1	5	2.9
ΑΙΓΑΛΕΩ	50	1	0	6.26	5.6
ΆΛΙΜΟΣ ΓΛΥΦΑΔΑ	10	-1	0	6.25	0.5
ΑΘΗΝΩΝ_1	70	-1	0	3.61	10
ΑΘΗΝΩΝ_2	70	0	-1	8.2	8.3
ΑΘΗΝΩΝ_3	70	-1	0	9.9	8.8
ΑΘΗΝΩΝ_4	70	0	-1	9.01	7.05
ΑΘΗΝΩΝ_5	70	0	-1	10.5	6.65
ΑΘΗΝΩΝ_6	70	-1	0	9.12	4.8
ΑΘΗΝΩΝ_7	70	0	-1	8	4.9
ΔΑΦΝΗ	80	-1	0	7.9	4.7
ΦΙΛΟΘΕΗ - ΨΥΧΙΚΟ	170	1	0	8.31	11.2
ΓΑΛΑΤΣΙ	150	-1	0	10.98	10.1
ΊΛΙΟΝ	90	1	0	6.68	10.07
ΗΛΙΟΥΠΟΛΗ - ΑΡΓΥΡΟΥΠΟΛΗ	145	-1	0	8.88	3.5
ΚΑΛΛΙΘΕΑ	25	0	-1	6.06	1.5
ΚΕΡΑΤΣΙΝΙ - ΔΡΑΠΕΤΣΩΝΑ	30	-1	0	8.46	0.3
ΜΟΣΧΑΤΟ	10	0	-1	4.62	1.2
ΝΕΑ ΙΩΝΙΑ	155	-1	0	7.95	13.015
ΝΕΑ ΣΜΥΡΝΗ	50	-1	0	8.2	2.8
ΝΙΚΑΙΑ - ΚΟΡΥΔΑΛΛΟΣ	30	1	0	9.52	4
ΠΑΛΑΙΟ ΦΑΛΗΡΟ	5	0	-1	6.48	0.78
ΠΑΠΑΓΟΥ - ΧΟΛΑΡΓΟΣ	190	-1	0	7.56	11.4
ΠΕΙΡΑΙΑΣ	5	0	-1	7.38	0.2
ΠΕΡΙΣΤΕΡΙ	50	1	0	7.15	8
ΤΑΥΡΟΣ	20	0	-1	6.47	3.2
ΒΥΡΩΝΑΣ - ΚΑΙΣΑΡΙΑΝΗ	185	0	-1	6.38	13.8
ΧΑΛΑΝΔΡΙ	130	-1	0	7.9	6.8

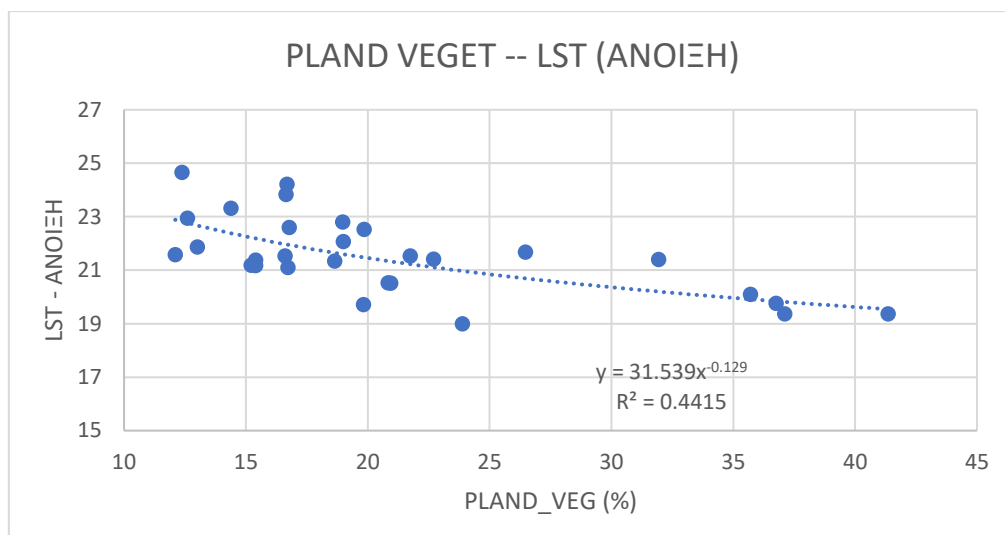
4.6. Διαγράμματα διασποράς μέσης θερμοκρασίας – δεικτών

Αναλύθηκε η επίδραση, η συσχέτιση, καθώς και η πρόβλεψη των σημαντικότερων δεικτών στην διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας των μελετούμενων περιοχών για κάθε εποχή. Όλοι οι δείκτες που υπολογίστηκαν και αναλύθηκαν μπορεί να έχουν θετική, αρνητική ή και ουδέτερη συσχέτιση με την διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας, κάτι που θα εξεταστεί στη συνέχεια της παρούσας ενότητας. Αρχικά μέσω διαγραμμάτων διασποράς θέτοντας κάθε φορά ως μεταβλητή την μέση εποχιακή θερμοκρασία θα ερευνηθεί ο βαθμός συσχέτισης κάθε δείκτη με την ανάλογη θερμοκρασία ώστε να προκύψουν μεμονωμένα ποιοι δείκτες επιδρούν υψηλότερα. Θα αναλυθεί ο βαθμός συσχέτισης R^2 τόσο των μετρικών σύνθεσης και διάρθρωσης τοπίου όσο και των δεικτών τοπογραφίας, για την ανάλυση των αποτελεσμάτων. Επιλέχθηκε ένα σύνολο δεικτών οι οποίοι κρίθηκαν σημαντικότεροι καθώς παρουσίασαν βαθμό υψηλό βαθμό συσχέτισης R^2 μεγαλύτερο από 0,30.

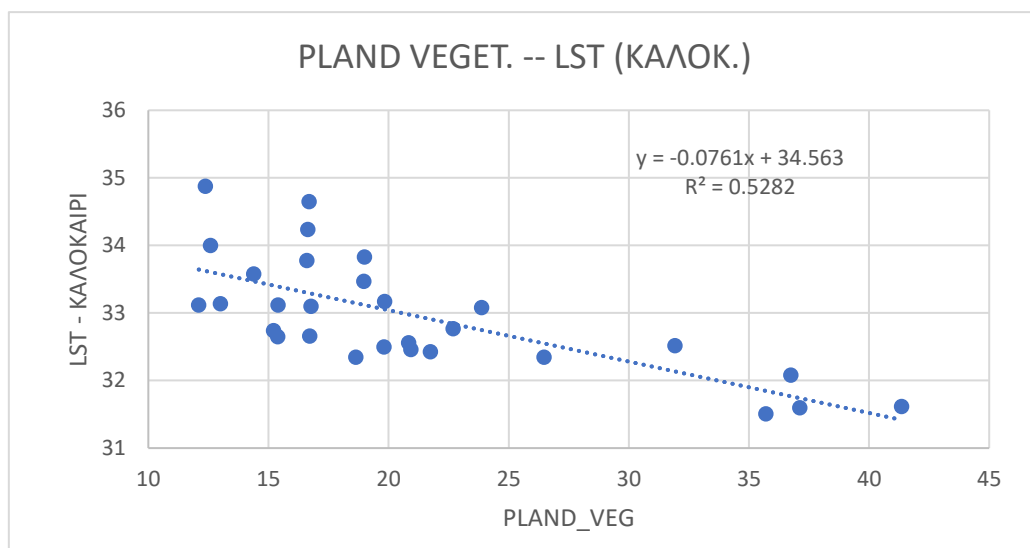
Ποσοστό Βλάστησης –(Pland Veg)



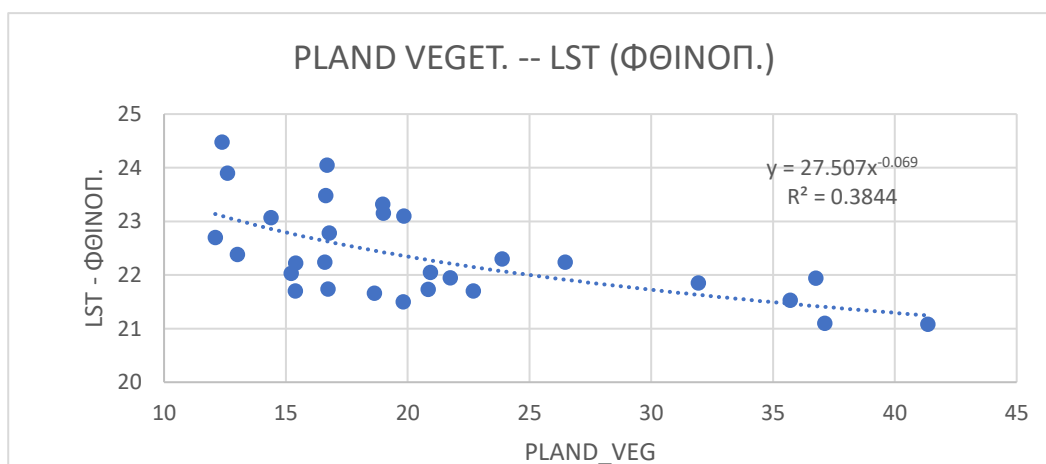
Διάγραμμα 5: Διάγραμμα διασποράς LST-Χειμώνα με PLAND_VEG



Διάγραμμα 6: Διάγραμμα Διασποράς LST - Άνοιξη με PLAND_VEG



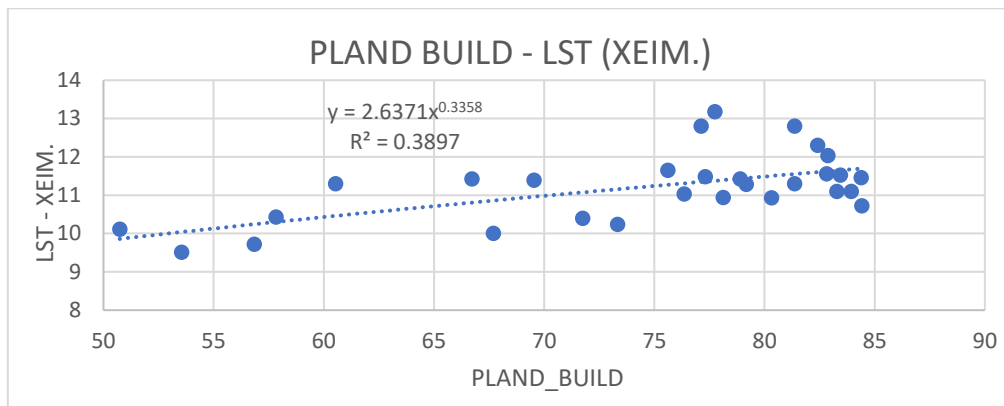
Διάγραμμα 7 : Διάγραμμα Διασποράς LST - Καλοκαίρι με PLAND_VEG



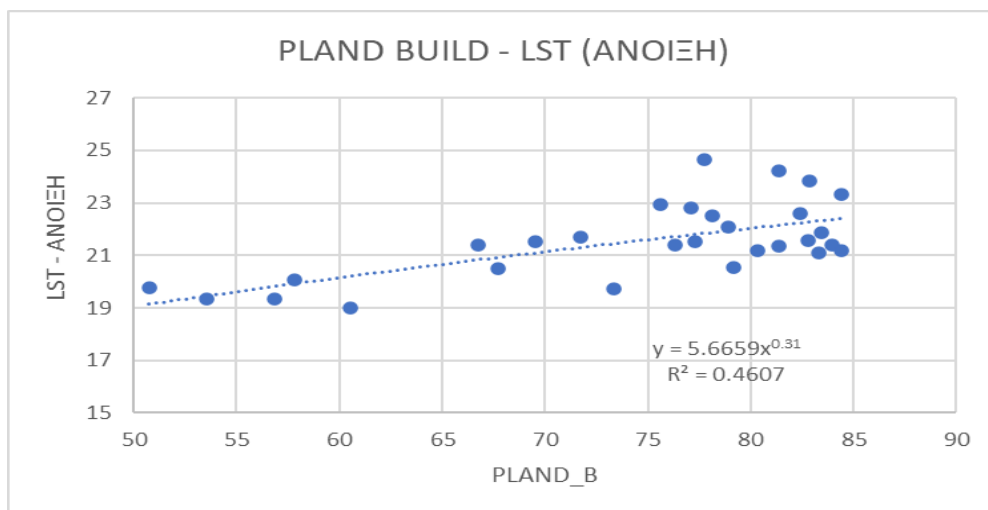
Διάγραμμα 8: Διάγραμμα Διασποράς LST- Φθινόπωρο με PLAND_VEG

Ο δείκτης *PLAND_VEG* που εκφράζει το ποσοστό της βλάστησης έχει αρνητική συσχέτιση με την εποχιακή θερμοκρασία. Η υψηλότερη συσχέτιση παρουσιάζεται το καλοκαίρι με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0.528$ και με γραμμική συνάρτηση τάσης $y = -0.0761x + 34.563$. Πιο αναλυτικά όταν το ποσοστό βλάστησης σε μια περιοχή αυξάνεται τότε η μέση θερμοκρασία μειώνεται για όλες τις εποχές του χρόνου.

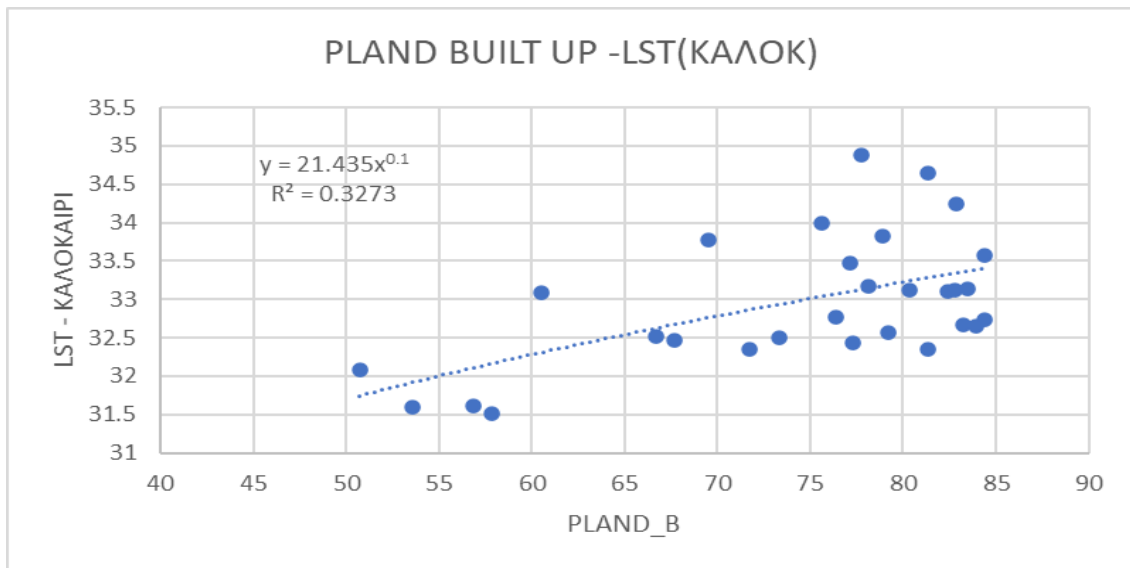
Ποσοστό δομημένου Περιβάλλοντος (*PLAND_B*)



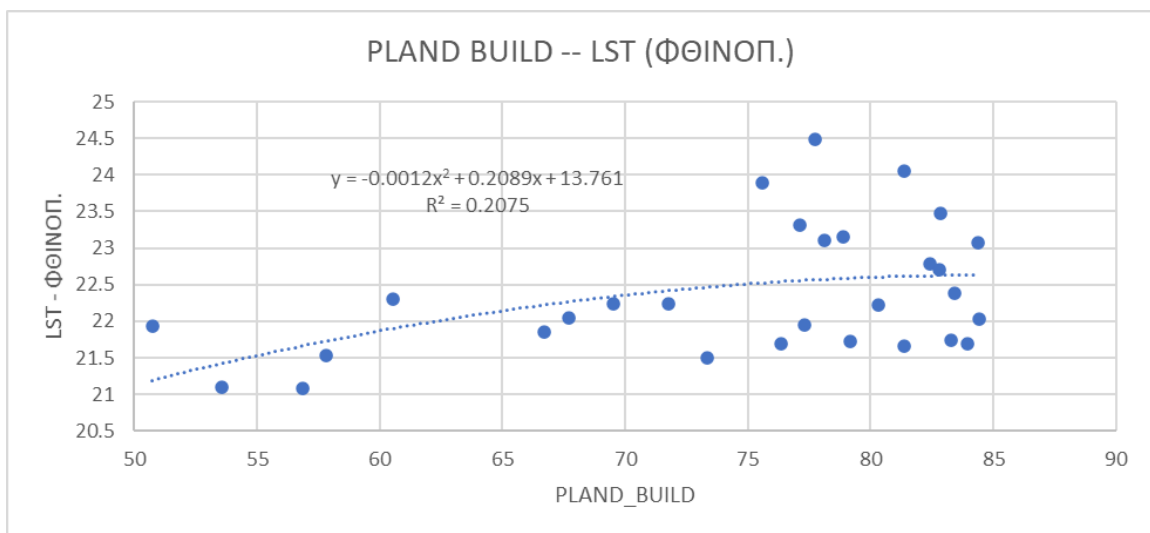
Διάγραμμα 9: Διάγραμμα Διασποράς LST ΚΑΛΟΚ. -- PLAND_BUILD



Διάγραμμα 10: Διάγραμμα διασποράς LST ΑΝΟΙΞΗ - PLAND_BUILD



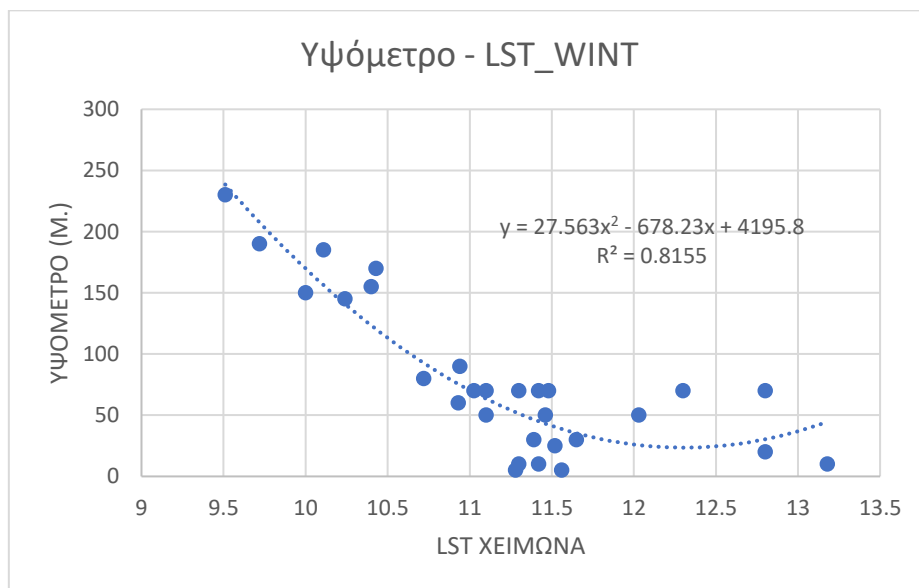
Διάγραμμα 11: Διάγραμμα Διασποράς LST ΧΕΙΜΩΝΑ - PLAND_BUILD



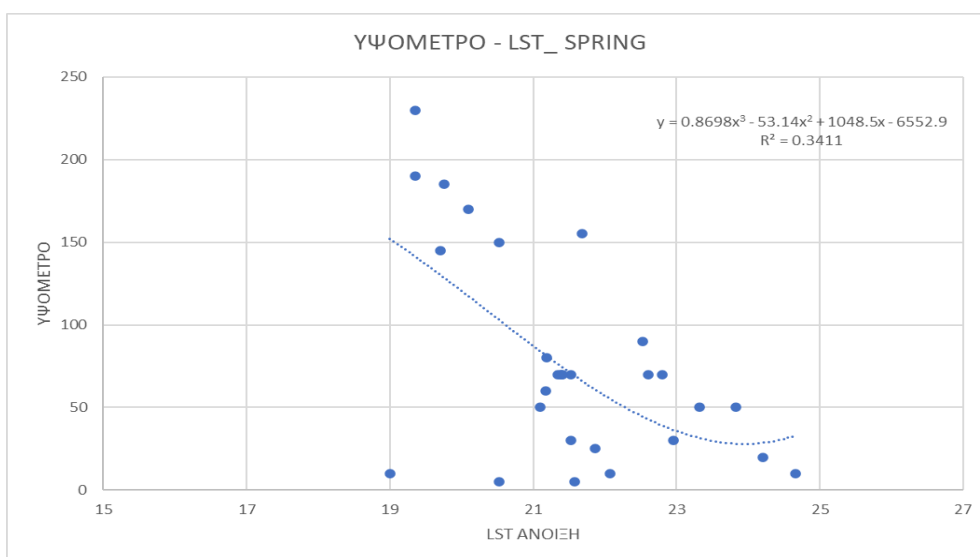
Διάγραμμα 12 Διάγραμμα διασποράς LST ΦΘΙΝΟΠ. -- PLAND_BUILD

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα διασποράς υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση του ποσοστού δομημένου περιβάλλοντος με την μέση εποχιακή θερμοκρασία. Πιο αναλυτικά σε περιοχές με μεγαλύτερο ποσοστό δομημένου περιβάλλοντος καταγράφεται αύξηση της θερμοκρασίας με την υψηλότερη συσχέτιση να λαμβάνει χώρα την περίοδο της Άνοιξης παρουσιάζοντας βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0.46$ και θετική γραμμή τάσης εκθετικού τύπου $y = 5.6659x^{0.31}$.

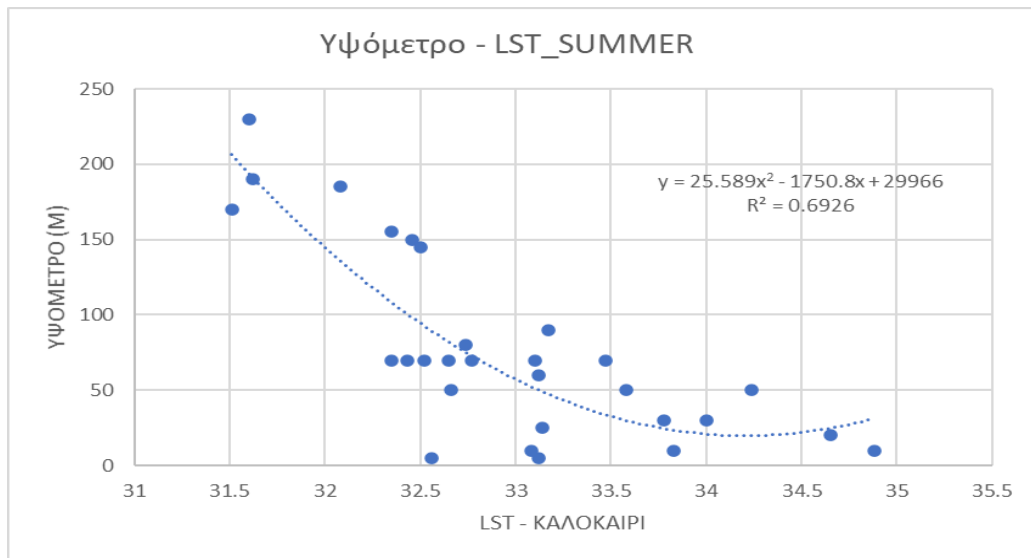
Υψόμετρο



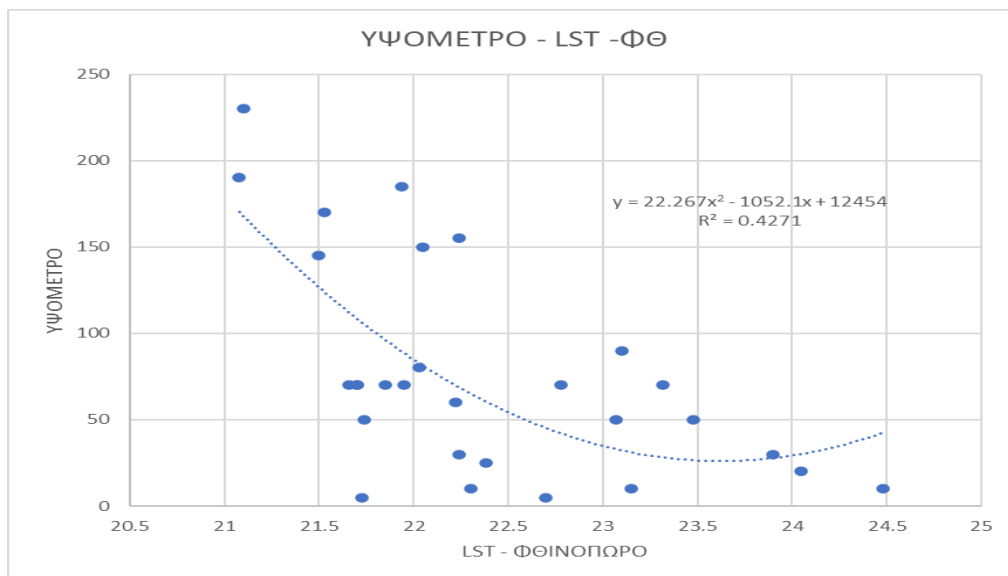
Διάγραμμα 13: Διάγραμμα Διασποράς Υψομέτρων και μέσης Θερμοκρασίας Χειμώνα



Διάγραμμα 14 Διάγραμμα Διασποράς Υψομέτρων με μέση Θερμοκρασία Άνοιξη



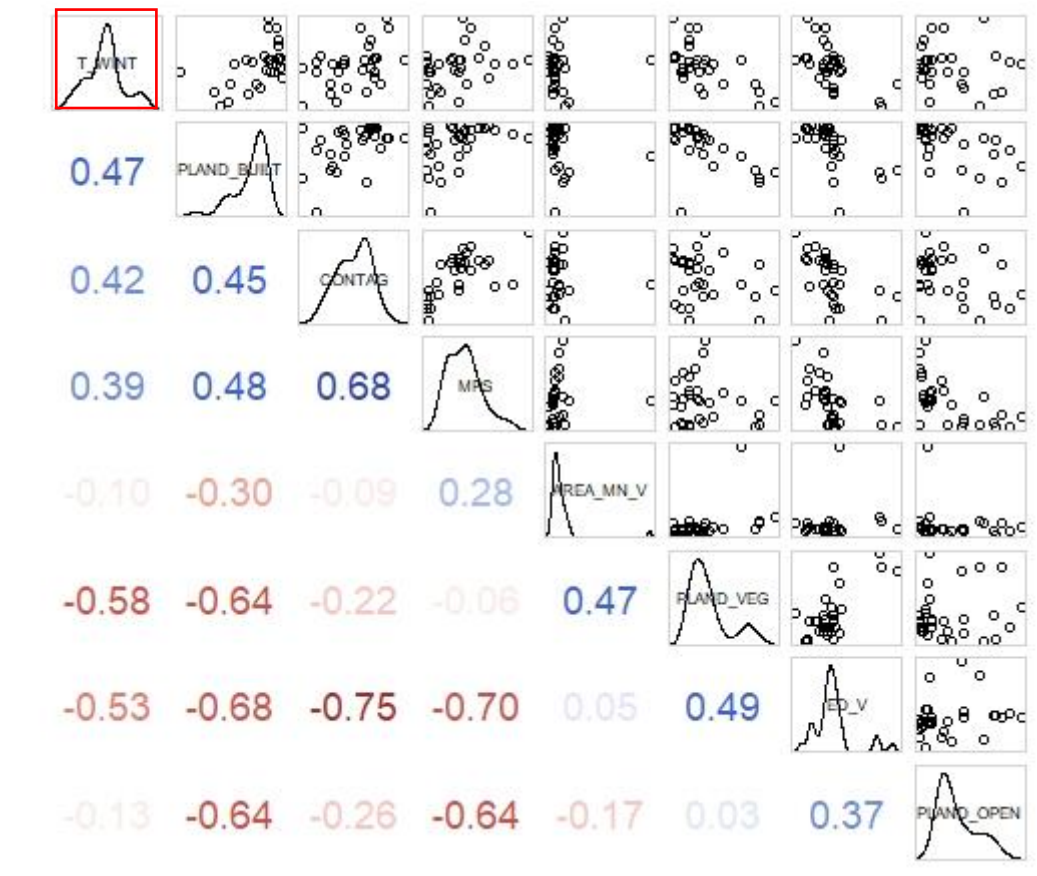
Διάγραμμα 15 Διάγραμμα Διασποράς Υψομέτρων με μέση Θερμοκρασία Καλοκαίρι



Διάγραμμα 16 Διάγραμμα Διασποράς Υψομέτρων με μέση Θερμοκρασία Φθινοπώρου

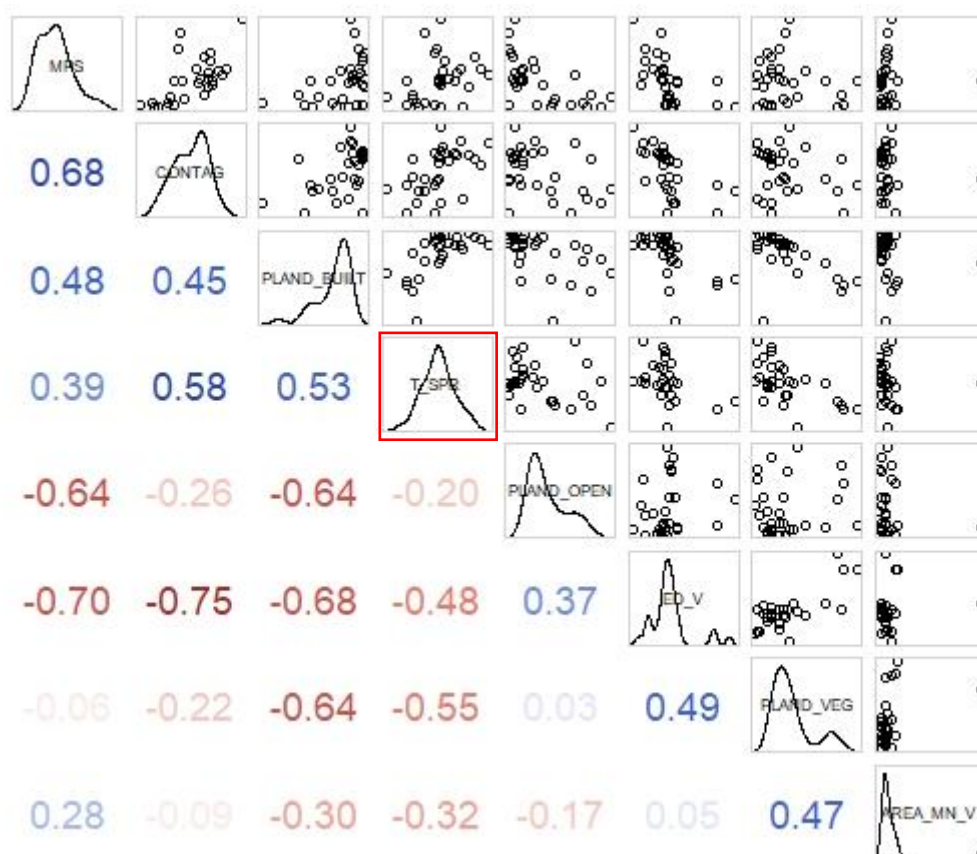
Βάση των διαγραμμάτων διασπορά το υψόμετρο κάθε περιοχής μελέτης σχετίζεται αρνητικά με την διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασία. Πιο αναλυτικά όταν το υψόμετρο αυξάνεται η μέση θερμοκρασία μειώνεται. Η υψηλότερη συσχέτιση εμφανίζεται για την περίοδο του χειμώνα με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0.81$.

Για τις τρεις ενότητες με τους δείκτες που δημιουργήθηκαν για την εκτέλεση των μοντέλων πρόβλεψης υπολογίστηκαν διαγράμματα συσχέτισης (*correlogram*) της μέσης εποχιακής και ετήσιας θερμοκρασίας. Η πρώτη ενότητα περιλαμβάνει δείκτες της κλάσης βλάστησης, του δομημένου περιβάλλοντος και δείκτες διάρθρωσης τοπίου, η δεύτερη μόνο τοπογραφικούς δείκτες και η τρίτη συνδυασμό δεικτών. Παρακάτω παρουσιάζονται τα σχετικά *correlograms* για τις μέσες εποχιακές και την ετήσια θερμοκρασία του 2020.

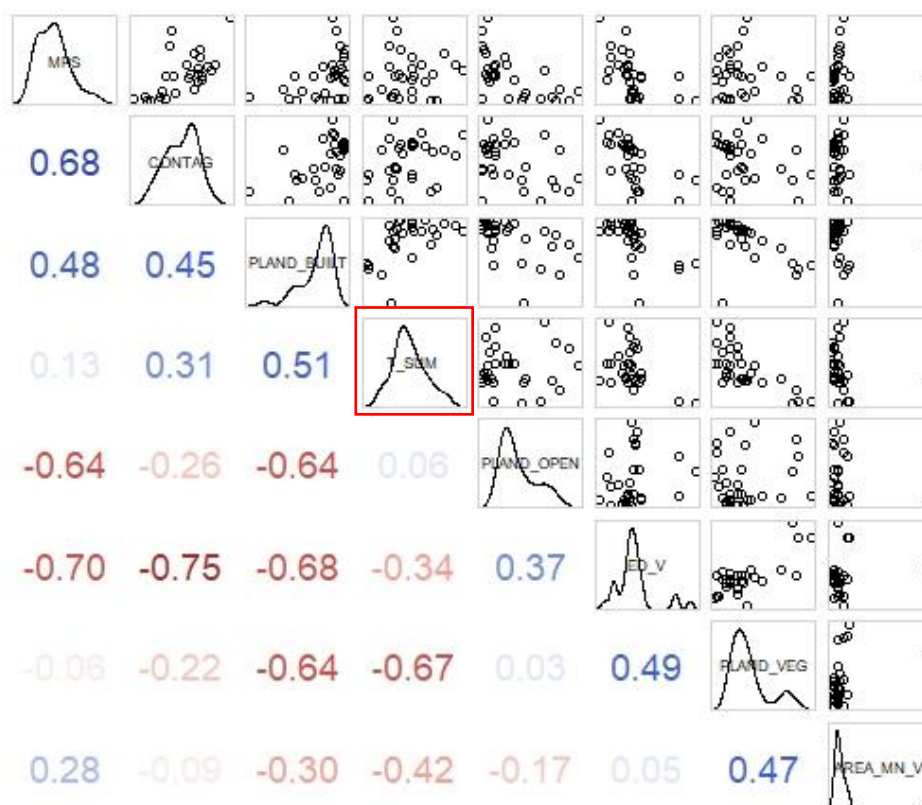


Διάγραμμα 17 : Διάγραμμα συσχέτισης Θερμοκρασίας Χειμώνα με Δείκτες Τοπίου

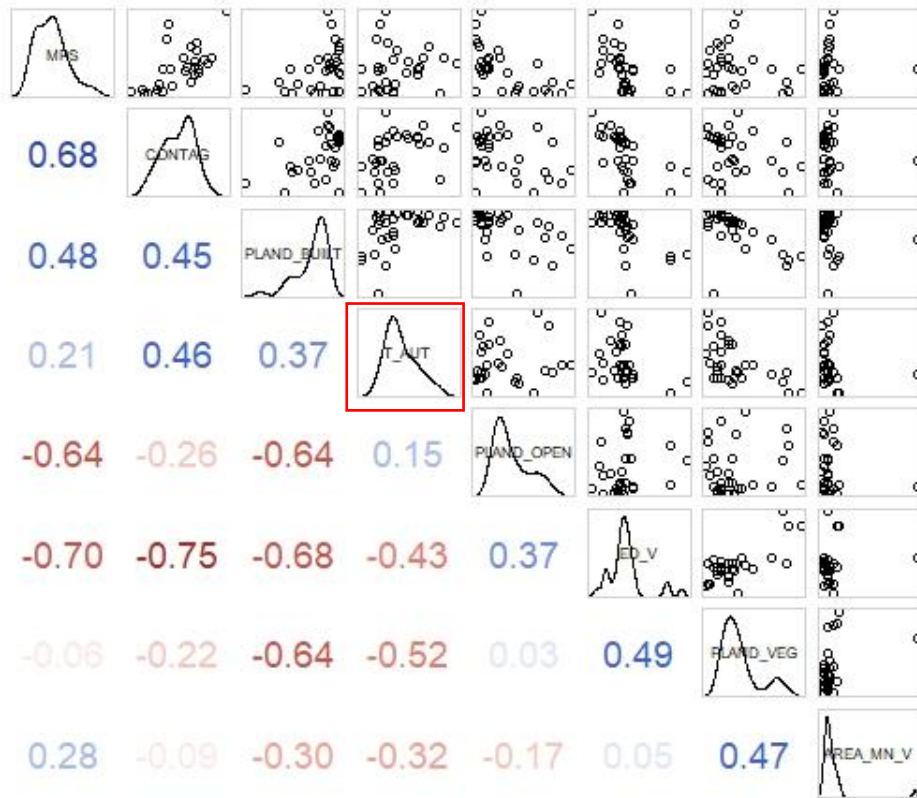
Η μεγαλύτερη συσχέτιση για την διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας χειμώνα, εμφανίζεται στο ποσοστό βλάστησης με αρνητική συσχέτιση της τάξης του -0,58 καθώς και στο ποσοστό δομημένου περιβάλλοντος με θετική συσχέτιση και τιμή + 0,47.



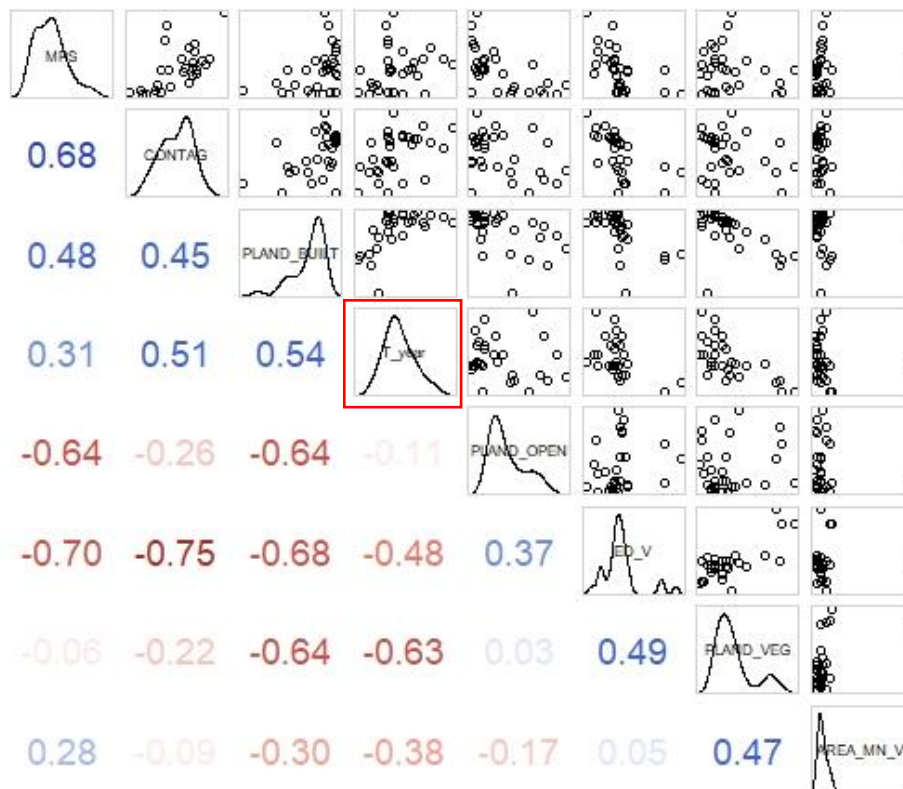
Διάγραμμα 18 : Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Άνοιξης με δείκτες τοπίου



Διάγραμμα 19 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Καλοκαιριού με δείκτες τοπίου



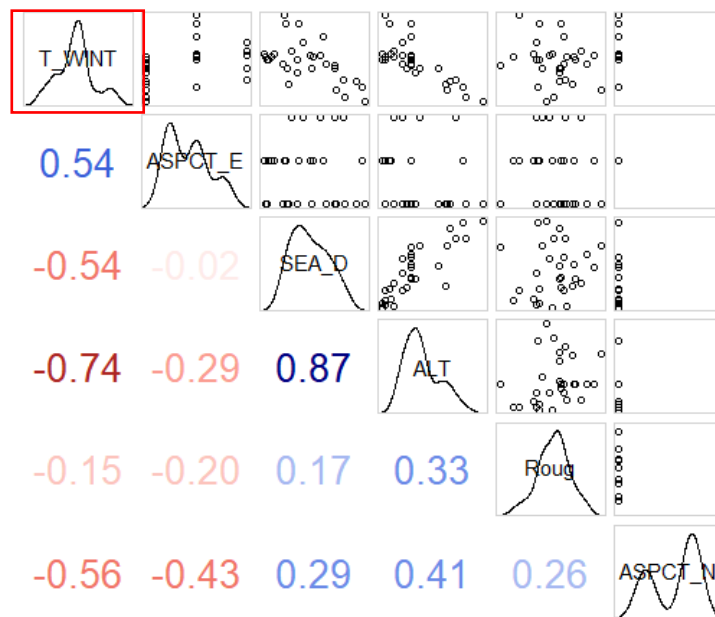
Διάγραμμα 20 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Φθινοπώρου με δείκτες τοπίου



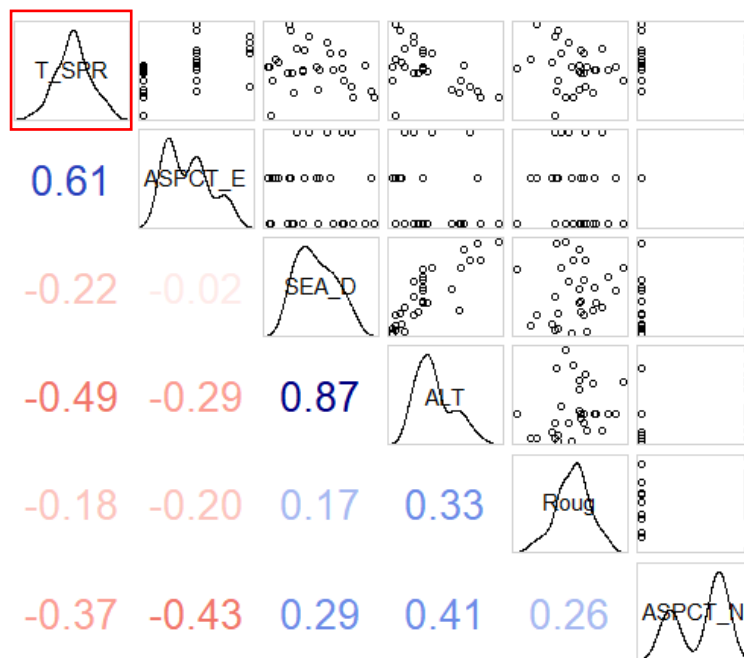
Διάγραμμα 21 Διάγραμμα Συσχέτισης μέσης Ετήσιας Θερμοκρασίας με δείκτες τοπίου

Σε όλα τα προηγούμενα διαγράμματα συσχέτισης παρατηρείται ως ισχυρότερος δείκτης για την διαμόρφωση των μέσων θερμοκρασιών το ποσοστό βλάστησης με βαθμό αρνητικής συσχέτισης μεγαλύτερο από 0,50, με τη μεγαλύτερη συσχέτιση να παρατηρείται στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας του καλοκαιριού έχοντας βαθμό συσχέτισης -0,67.. Δεύτερος πιο ισχυρός δείκτης εμφανίζεται το ποσοστό δομημένο περιβάλλοντος με θετική συσχέτιση στη διαμόρφωση των θερμοκρασιών.

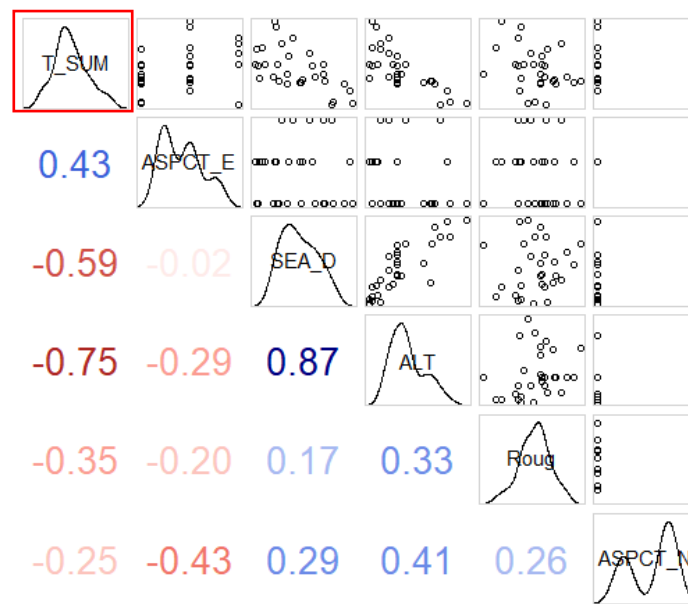
Τοπογραφικοί Δείκτες



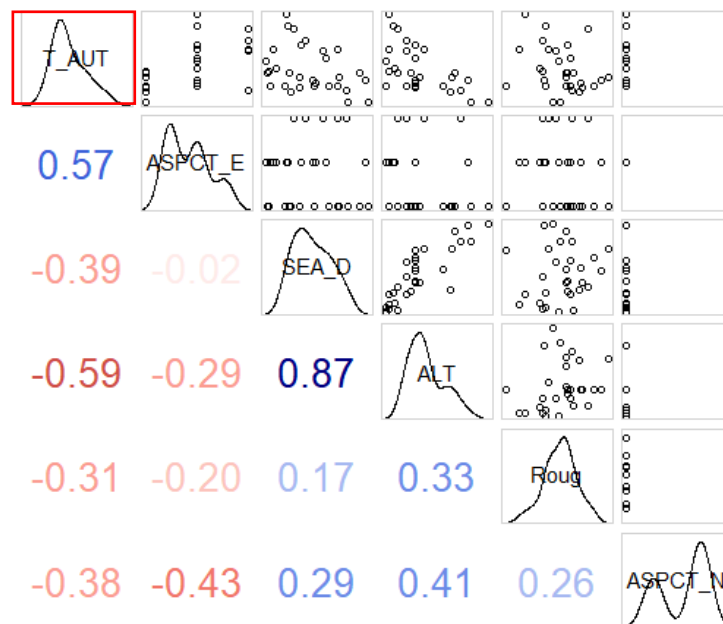
Διάγραμμα 22 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασία Χειμώνα με Δείκτες τοπογραφίας



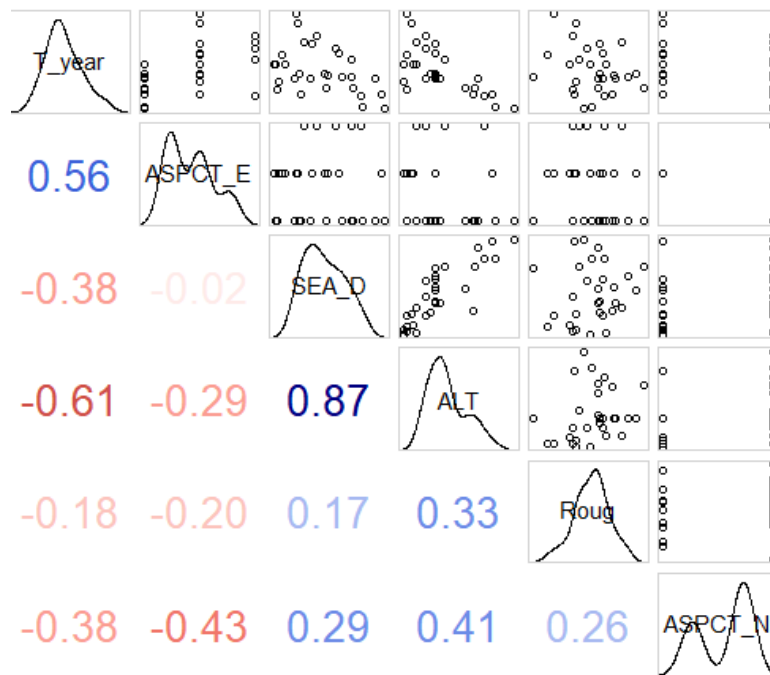
Διάγραμμα 23 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Άνοιξης με δείκτες τοπογραφίας



Διάγραμμα 24 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Καλοκαιριού με δείκτες τοπογραφίας



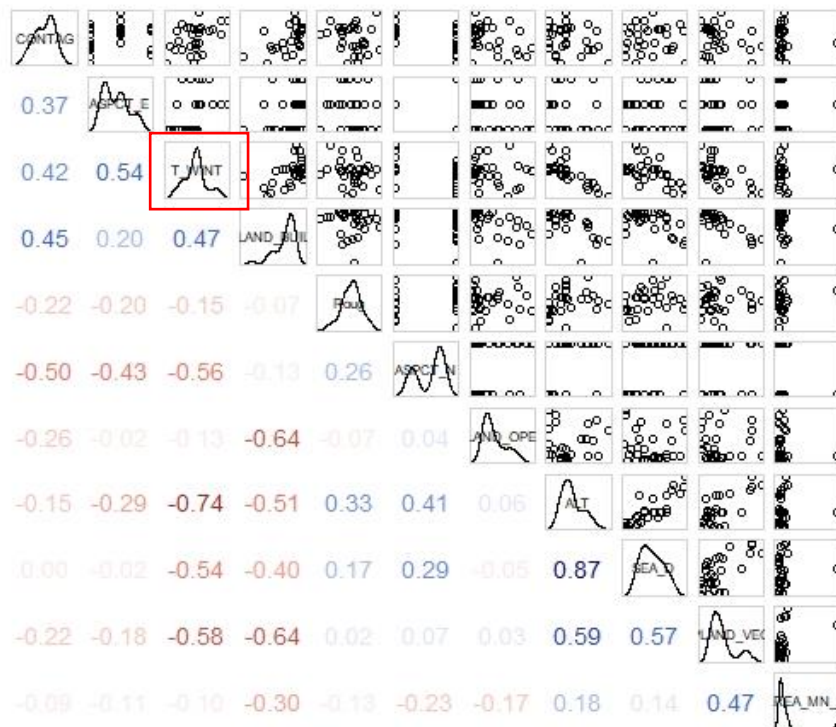
Διάγραμμα 25 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Φθινοπώρου με δείκτες τοπογραφίας



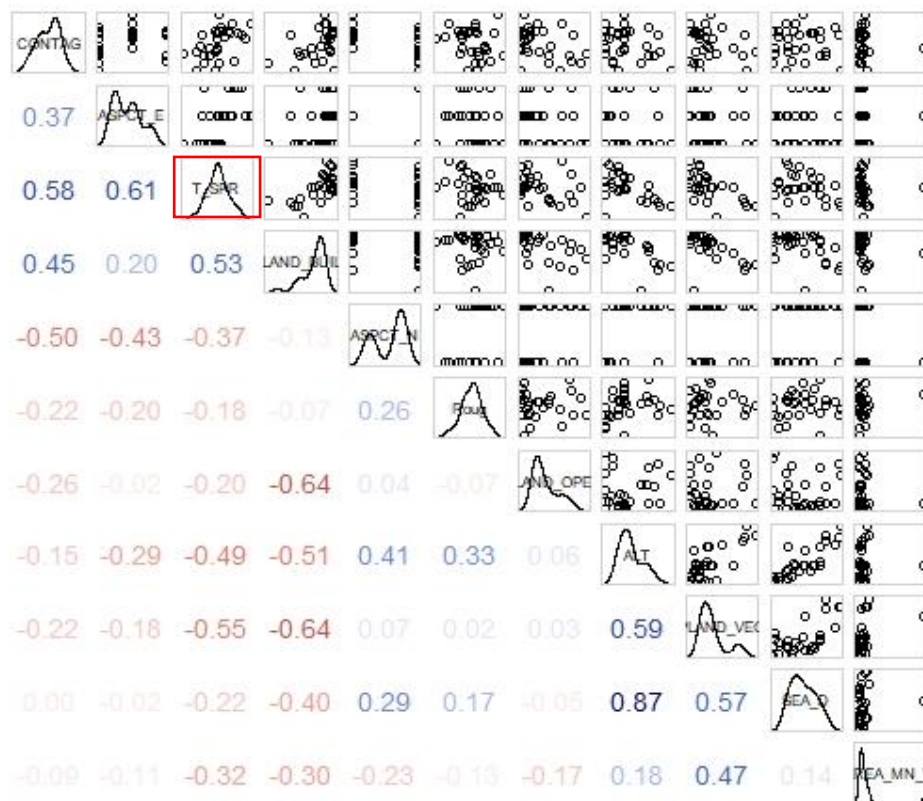
Διάγραμμα 26 Διάγραμμα Συσχέτισης μέσης Ετήσιας Θερμοκρασίας με δείκτες τοπογραφίας

Για τους τοπογραφικούς δείκτες το υψόμετρο παρουσίασε την μεγαλύτερη συσχέτιση στην διαμόρφωση των μέσων θερμοκρασιών έχοντας αρνητικές τιμές και ακολούθως η έκθεση ως προς τον άξονα ανατολής δύσης με θετική συσχέτιση. Το υψόμετρο σχετίζεται υψηλότερα με τη μέση θερμοκρασία καλοκαιριού παρουσιάζοντας βαθμό συσχέτισης -0,75. Τόσο το ποσοστό βλάστησης όσο και το υψόμετρο εμφάνισαν την υψηλότερη συσχέτισή τους στη θερμοκρασία του καλοκαιριού.

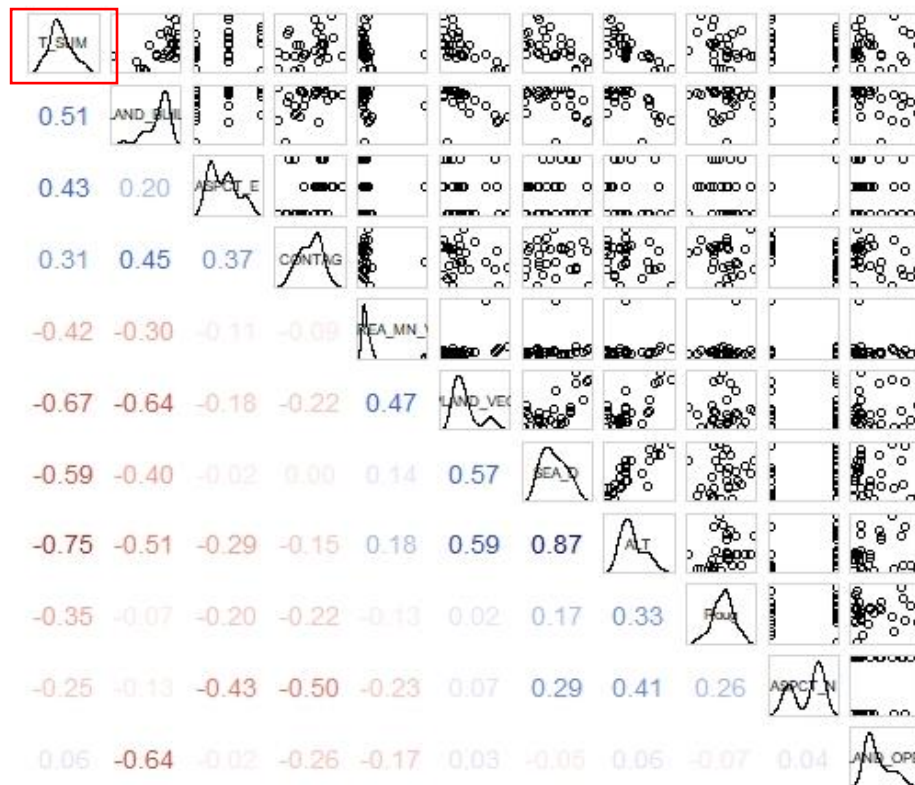
Ακόμα δημιουργήθηκαν διαγράμματα συσχέτισης για συνδυασμό δεικτών σύνθεσης και διάρθρωσης τοπίου καθώς και δεικτών τοπογραφίας.



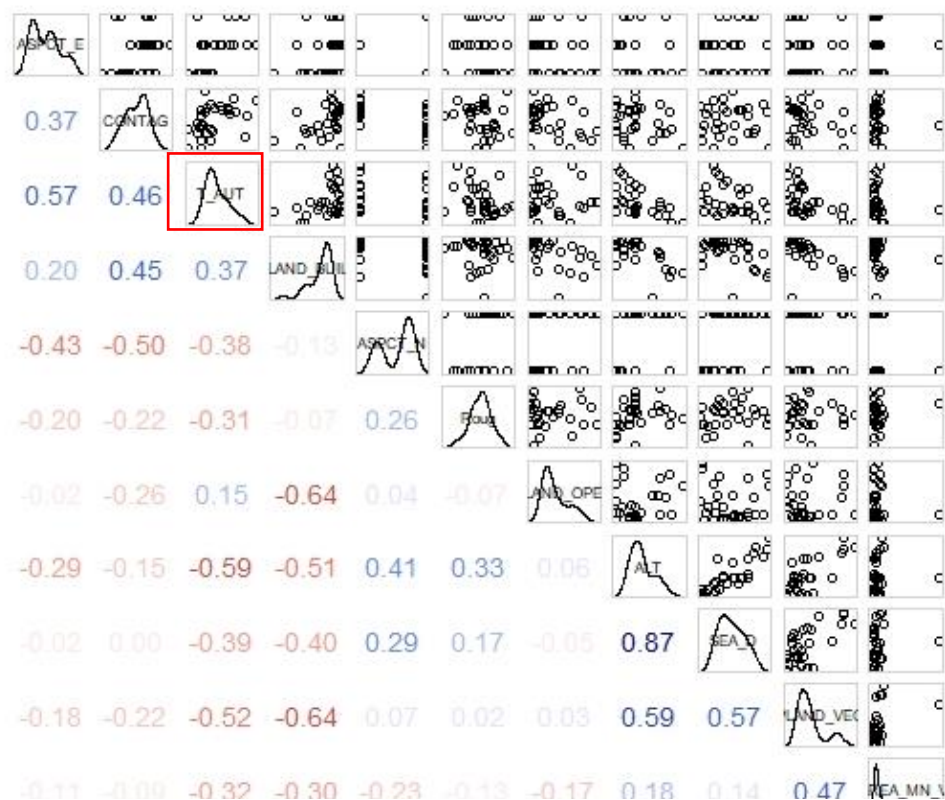
Διάγραμμα 27 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Χειμώνα για συνδυασμό δεικτών



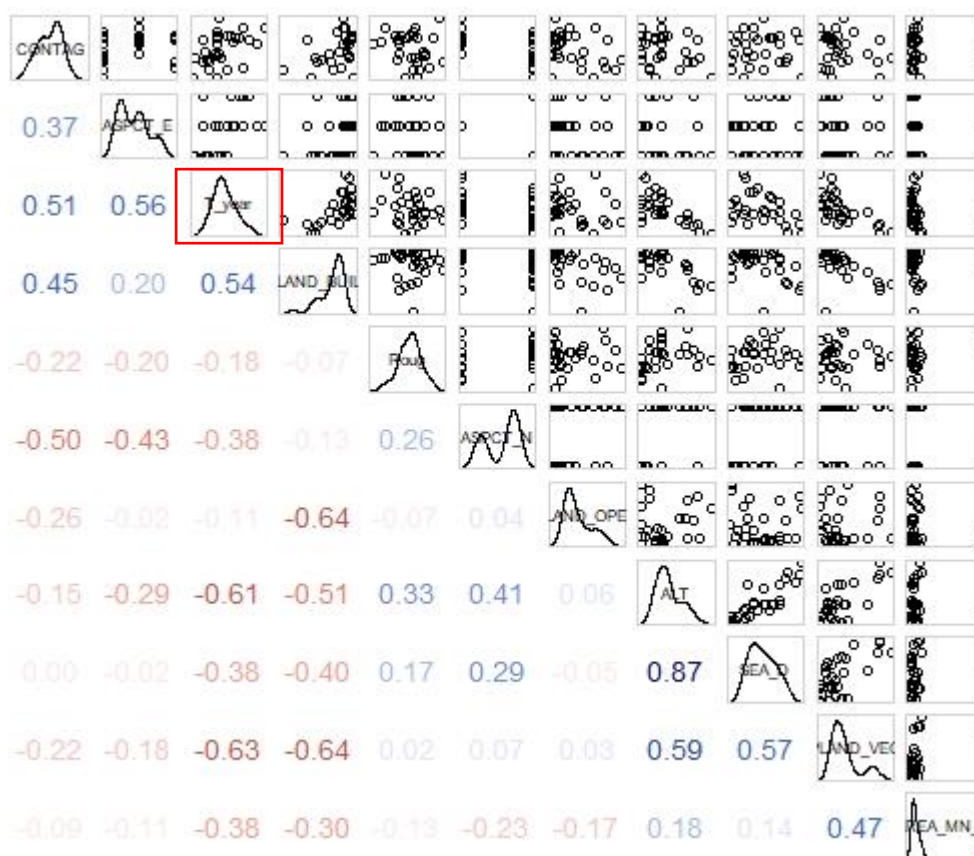
Διάγραμμα 28 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Άνοιξης για συνδυασμό δεικτών



Διάγραμμα 29 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Καλοκαιριού με συνδυασμό δεικτών



Διάγραμμα 30 Διάγραμμα Συσχέτισης Θερμοκρασίας Φθινοπώρου με συνδυασμό δεικτών



Διάγραμμα 31 Διάγραμμα Συσχέτισης μέσης Ετήσιας Θερμοκρασίας με συνδυασμό δεικτών

Ο συνδυασμός δεικτών επιβεβαίωσε τα προηγούμενα αποτέλεσμα των διαγραμμάτων συσχέτισης εμφανίζοντας το υψόμετρο και το ποσοστό βλάστησης ως τους ισχυρότερους δείκτες στη διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας, έχοντας αρνητική συσχέτιση

4.7. Αποτελέσματα μοντέλων πρόβλεψης

Μετά τον υπολογισμό όλων των παραπάνω αποτελεσμάτων εφαρμόστηκε σύγχρονη τεχνική χωρικής ανάλυσης με τη δημιουργία μοντέλων παλινδρόμησης για την πρόβλεψη και ερμηνεία των μέσων εποχιακών θερμοκρασιών καθώς και την μέση ετήσια, για την διερεύνηση της σχέσης μεταξύ της θερμοκρασίας και των μετρικών τοπίου καθώς και τον τοπογραφικών δεικτών επιλέχθηκε η πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση καθώς και η Γεωγραφική Σταθμισμένη Παλινδρόμηση (Geographical Weighted Regression – GWR). Η μέθοδος GWR δημιουργεί χάρτες για κάθε ανεξάρτητη μεταβλητή, όπου εμφανίζεται η συνεισφορά της στην διαμόρφωση της εξαρτημένης μεταβλητής. Στην περιοχή μελέτης κάθε μοντέλο παράγει πέντε έως έξι χάρτες δημιουργώντας τελικά για όλα τα πακέτα ανεξάρτητων μεταβλητών και εξαρτημένων συνολικά εβδομήντα πέντε χάρτες. Για την διευκόλυνση της παρουσίασης των αποτελεσμάτων θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα των

μεθόδων ταξινόμησης και ο βαθμός συσχέτισης R^2 για καθένα από τα μοντέλα που εκτελέστηκαν, καθώς και οι σχετικοί χάρτες μόνο για τους δείκτες που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη συσχέτιση για τις εποχιακές θερμοκρασίες καθώς και για την μέση ετήσια.

Συνδυασμός Δεικτών

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Χειμώνας				
	<i>Coefficients GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	10.696715	3.25e-07	***	10.51056
PLAND_VEG	-0.015509	0.431184		-0.007973
PLAND_BUILD	-0.01353	0.33831		-0.015947
PLAND_OP	-0.003059	0.909845		0.01616
CONTAG	0.04547	0.029055	*	5.53e-02
ALT	-0.00988	0.000941	***	-0.01144688

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Άνοιξη				
	<i>Coefficients GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	16.5753	3.34e-05	***	17.472307
PLAND_VEG	-0.061215	0.1501		-0.0308152
PLAND_BUILD	0.029206	0.331		0.018245
PLAND_OP	-0.015732	0.7843		0.02976
CONTAG	0.07277	0.0932	.	8.33e-02
ALT	-0.001212	0.8297		-0.00843

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Καλοκαίρι				
	<i>Coefficients GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	32.9425	<2ε-16	***	332265
PLAND_VEG	-0.02838	0.15		-0.0238099
PLAND_BUILD	0.01212	0.3649		0.008756
PLAND_OP	0.045738	0.0909	.	0.05691
ALT	-0.00633	0.0212	*	-0.0084178

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Φθινόπωρο				
	<i>Coefficients GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	22.10568	1.39e-15	***	22.115733
PLAND_VEG	-0.04486	0.01217	*	-0.045711
PLAND_BUILD	0.01524	0.242946		0.015036
PLAND_OP	0.05466	0.050068	.	0.06878
ASPCT_EW	0.60237	0.000241	***	0.693134

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM – Ετήσια Θερμοκρασία

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	21.7922	8.18E-13	***	22.1526
PLAND_VEG	-0.031761	0.217		-0.01859
PLAND_BUILD	0.01685	0.337		0.01231
PLAND_OP	0.012609	0.715		0.03632
ALT	-0.005457	0.12		-0.0087031

Δείκτες Βλάστης και τοπίου

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Χειμώνας

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	9.938	6.5E-08	***	-9.324
PLAND_VEG	-0.07228	0.000149	***	-0.06189
NP_VEG	-4.484E-06	0.8969		-0.000033784
CONTAG	0.04535	0.03517	*	0.053092
AREA_AM_VEG	4.433	0.059648	.	4.59e+00

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Άνοιξη

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	1.88e+01	1.25E-08	***	1.83e+01
PLAND_VEG	-9.99e-02	0.00147	**	-1.05e-01
NP_VEG	-1.10e-02	0.07409	.	-3.72e-05
CONTAG	8.88e-02	0.01828	*	9.47e-02
AREA_AM_VEG	3.86e+00	0.32964		5.08e+00

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Καλοκαίρι

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	3.30E+01	<2e-16	***	3.23E+01
PLAND_VEG	-7.41E+01	0.000114	***	-7.12E-02
NP_VEG	1.69E-05	0.62596		5.75E-06
CONTAG	2.33E+02	0.263906		3.10E-02
AREA_AM_VEG	1.73E+00	0.4502225		1.99E+00

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Φθινόπωρο

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	2.07E+01	4.17E-13	***	2.03E+01
PLAND_VEG	-5.55E-02	0.00642	**	-5.92E-02
NP_VEG	1.95E-05	0.62569		1.83E-05
CONTAG	4.62E-02	0.06041	.	4.72E-02
AREA_AM_VEG	7.53E-01	0.77373		1.48E+00

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Ετήσια

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	2.06E+01	1.43E-13	***	1.99E+01
PLAND_VEG	-7.55E-02	0.000249	***	-7.20E-02
NP_VEG	-1.96E-05	0.604824		-2.03E-05
CONTAG	5.09E-02	0.030837	*	5.71E-02
AREA_AM_VEG	2.69E+00	0.28311		3.30E+00

Δείκτες τοπογραφίας

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Χειμώνας

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	11.58709	<2e-16	***	11.6354
ALT	-0.011561	0.00207	**	-0.00908
ASPCT_EW	0.143512	0.34574		0.15027
ASPCT_N	-0.455692	0.05016	.	-0.61291
ROUG	0.01975	0.75078		-1.30E-02
SEA_D	0.041591	0.38201		0.05099

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Άνοιξη

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	21.762608	3.60E-16	***	22.85049
ALT	-0.022093	0.00599	**	-0.0180998
ASPCT_EW	0.62614	0.06717	.	0.614555
ASPCT_N	-0.1945	0.69095		-0.192639
ROUG	0.04204	0.75738		-5.54E-02
SEA_D	0.20062	0.06136	.	0.1628299

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Καλοκαίρι

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	34.359003	<2e-16	***	34.57658
ALT	-0.009132	0.0193	*	-0.007956
ASPCT_EW	0.233804	0.1625		0.260639
ASPCT_N	0.120546	0.6204		0.0048038
ROUG	-0.07424	0.277		-1.08ε-01
SEA_D	-0.002243	0.9651		-0.0046

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM Φθινόπωρο

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	23.29933	<2e-16	***	23.4898
ALT	-0.007759	0.0678	.	-0.005241
ASPCT_EW	0.4857	0.0129	*	0.4511
ASPCT_N	-0.0611	0.8213		-0.1717
ROUG	-0.047871	0.5264		-7.49ε-01
SEA_D	0.02561	0.6547		0.01695

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM -Ετήσια

	<i>Coefficiensts GLM</i>	<i>Pr(> t)</i>	<i>Significance Stars</i>	<i>Coefficients Median (GWR)</i>
(Intercept)	22.75357	<2e-16	***	23.1770603
ALT	-0.01265	0.00512	**	-0.0102064
ASPCT_EW	0.3731	0.05262	.	0.3911264
ASPCT_N	-0.14704	0.59239		-0.2436095
ROUG	-0.014872	0.8453		-6.75E-02
SEA_D	0.066487	0.25716		0.052251

Στους παρακάτω πίνακες παρουσιάζονται τα αποτελέσματα για τα μοντέλα που εκτελέστηκαν με την μέθοδο της γραμμικής παλινδρόμησης

Αποτελέσματα GLM για Τοπογραφικοί Δείκτες

	R ²		AICc	AIC	BIC	F-statistic
	Adjusted	Multiple				
Χειμώνας	0.6432	0.704	58.311	53.2205	56.837	F(5,24)= 11 P= 9.877e-06
Άνοιξη	0.438	0.535	105.308	100.217	103.833	F(5,24) = 5 p = 0.0016
Καλοκαίρι	0.546	0.624	63.337	58.246	61.862	F(5,24)= 7 p = 0.000152
Φθινόπωρο	0.475	0.565	69.814	64.723	68.3405	F(5,24)= 6 p= 0.000758
Ετήσια	0.553	0.6306	70.56	65.469	69.086	F(5,24)= 8 -- P= 0.000125

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM για Δείκτες Βλάστησης

	R ²		AICc	AIC	BIC	F-statistic
	Adjusted	Multip.				
Χειμώνας	0.486	0.5568	67.057	63.4052	62.2196	F(4,25) =7 P= 0.0003
Άνοιξη	0.4961	0.5656	99.84	96.188	95.003	F(4,25) =8 p = 0.00024
Καλοκαίρι	0.4445	0.5211	67.168	67.168	62.33	F(4,25) =6 p = 0.00075
Φθινόπωρο	0.3143	0.4089	75.622	71.97	70.7847	F(4,25) = 4 p= 0.957
Ετήσια	0.4891	0.5595	72.403	68.7514	67.565	F(4,25) =7 P= 0.85

Αποτελέσματα Μοντέλου GLM για συνδυασμό Δεικτών

	R²		AICc	AIC	BIC	F-statistic
	Adjusted	Multiple				
Χειμώνας	0.6132	0.68	60.74	55.65	59.266	F(5,24) =10 P= 2.48e-05
Άνοιξη	0.4255	0.5246	105.986	100.895	104.512	F(5,24) =5 p = 0.00203
Καλοκαίρι	0.594	0.6504	57.728	54.076	52.8903	F(4,25) =11 p = 1.78e-05
Φθινόπωρο	0.595	0.651	59.779	56.127	54.941	F(4,25) =11 p= 1.739e-05
Ετήσια	0.461	0.536	73.97	70.3208	69.135	F(4,25) =7 P= 0.00052

Στους παρακάτω πίνακες γίνεται σύγκριση των δύο μεθόδων και παρουσιάζονται οι ισχυρότεροι δείκτες. Οι δείκτες με αρνητική συσχέτιση εμφανίζονται με κόκκινο χρώμα ενώ οι δείκτες με θετική συσχέτιση με πράσινο.

Πίνακας 4 : Αποτελέσματα παλινδρομήσεων για δείκτες κλάσης βλάστησης

		Δείκτες τοπίου για κλάση Βλάστησης		
		R²	AICs	Δείκτης
Χειμώνας	GLM	0.5568	67.057	PLAND_VEG *** & CONTAG*
	GWR	0.655	74.701	
Άνοιξη	GLM	0.565	99.841	PLAND_VEG **& CONTAG *
	GWR	0.737	99.896	
Καλοκαίρι	GLM	0.521	67.168	PLAND_VEG ***
	GWR	0.672	70.907	
Φθινόπωρο	GLM	0.408	75.622	PLAND_VEG **
	GWR	0.588	79.935	
Ετήσια	GLM	0.559	72.403	PMAD_VEG ***& CONTAG *
	GWR	0.691	76.918	

Πίνακας 5: Αποτελέσματα παλινδρομήσεων για δείκτες τοπογραφίας

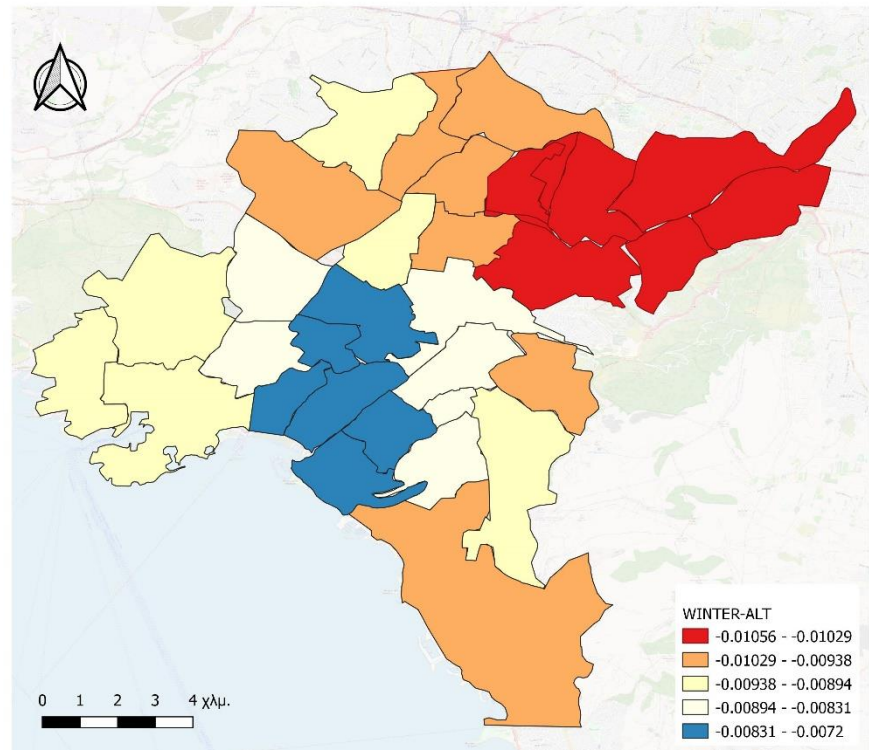
		Δείκτες Τοπογραφίας		
		R^2	AICs	Δείκτης
Χειμώνας	GLM	0.704	58.311	ALT **
	GWR	0.787	66.1904	
Άνοιξη	GLM	0.5352	105.308	ALT **
	GWR	0.741	105.375	
Καλοκαίρι	GLM	0.624	63.33	ALT *
	GWR	0.741	69.783	
Φθινόπωρο	GLM	0.565	69.814	ASPCT_E * & ALT.
	GWR	0.675	78.793	
Ετήσια	GLM	0.6306	70.5602	ALT ** & ASPCT_E.
	GWR	0.752	76.298	

Πίνακας 6: Αποτελέσματα παλινδρομήσεων για συνδυασμό δεικτών

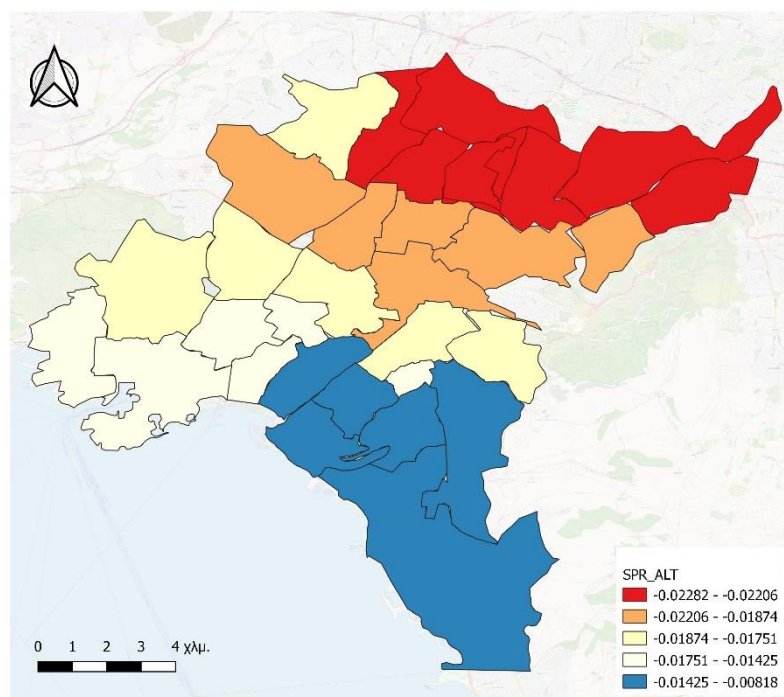
		Συνδυασμός		
		R^2	AICs	Δείκτης
Χειμώνας	GLM	0.68	60.74	ALT *** & CONTAG*
	GWR	0.738	75.13	
Άνοιξη	GLM	0.526	105.98	CONTAG.
	GWR	0.746	107.548	
Καλοκαίρι	GLM	0.658	57.728	ALT *
	GWR	0.732	64.66	
Φθινόπωρο	GLM	0.651	59.78	ASPCT_E *** & PLAND_VEG
	GWR	0.7109	69.324	
Ετήσια	GLM	0.536	73.973	PLAND_VEG
	GWR	0.687	77.059	

Από τα αποτελέσματα των γραμμικών παλινδρομήσεων διαπιστώνεται ότι για το πακέτο ανεξάρτητων μεταβλητών με δείκτες τοπίου κλάσης βλάστησης η μεγαλύτερη συσχέτιση παρουσιάστηκε για την μέση θερμοκρασία Χειμώνα με συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0.787$ και κυρίαρχο δείκτη το υψόμετρο, έχοντας αρνητική συσχέτισης.

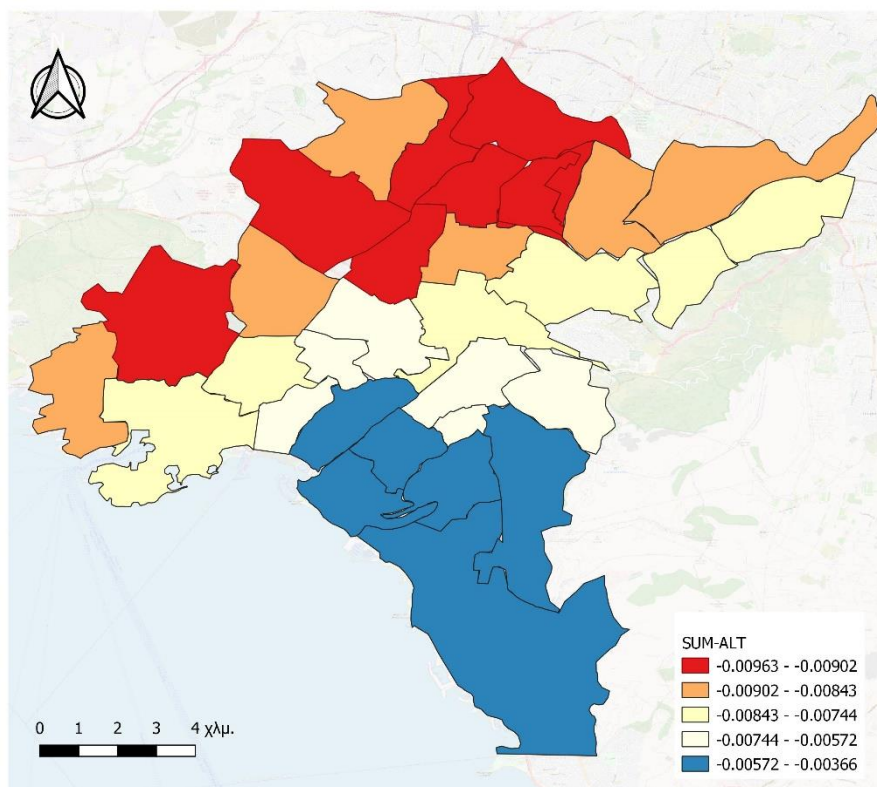
Παρακάτω παρουσιάζονται οι χάρτες που προκύπτουν ως αποτέλεσμα της γεωμετρικά σταθμισμένης παλινδρόμησης αρχικά για τον τοπογραφικό δείκτη υψόμετρο και στη συνέχεια για το ποσοστό βλάστησης.



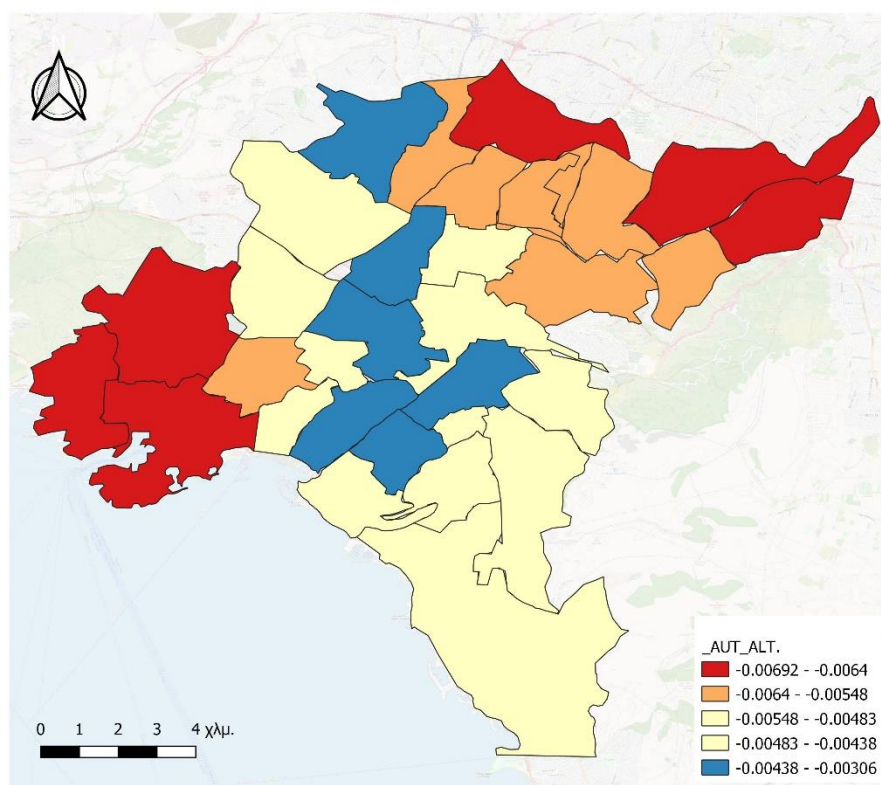
Διάγραμμα 32: Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση θερμοκρασία Χειμώνα με υψόμετρο



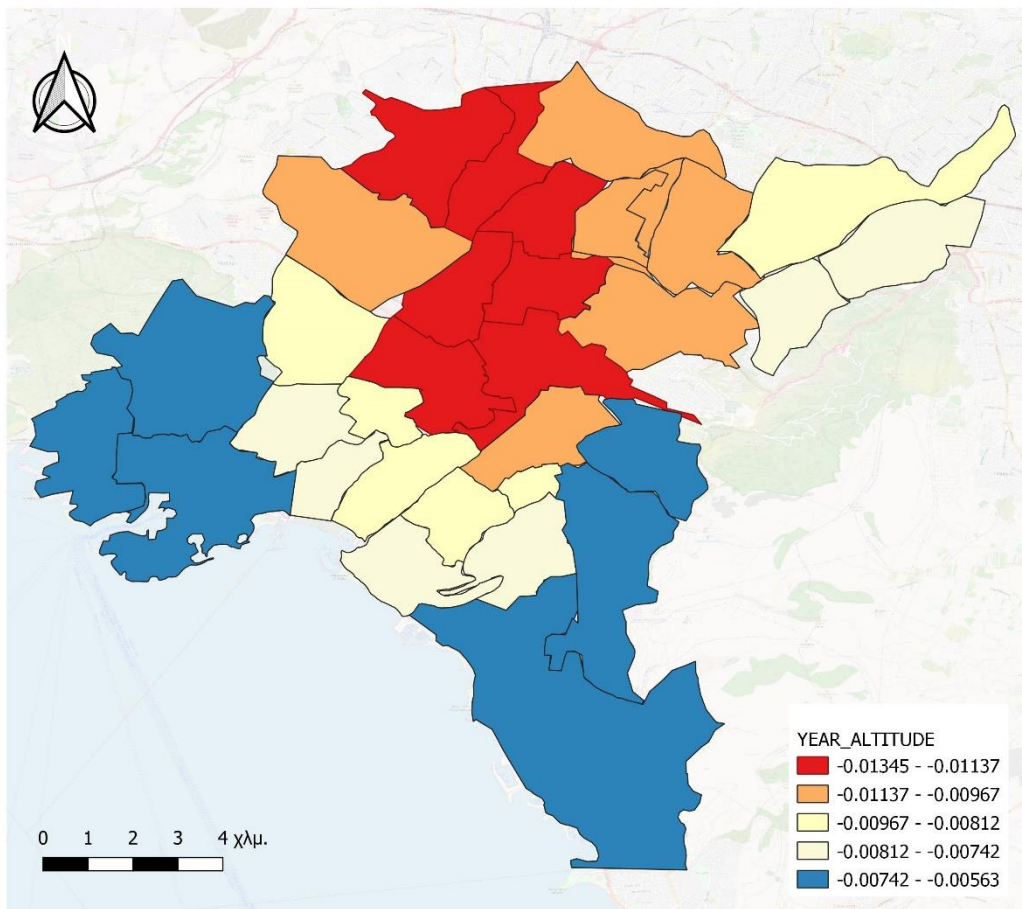
Διάγραμμα 33: Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση θερμοκρασίας Άνοιξης με υψόμετρο



Διάγραμμα 34 Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση Θερμοκρασίας Καλοκαιριού με Υψόμετρο



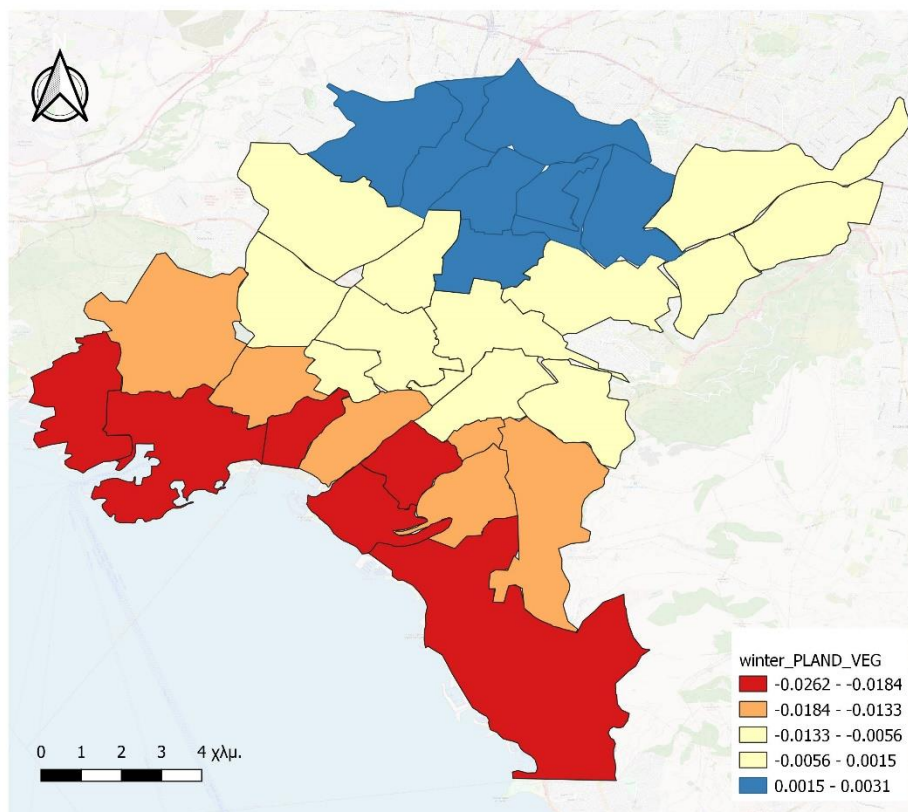
Διάγραμμα 35 Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση Θερμοκρασίας Φθινοπώρου με υψόμετρο



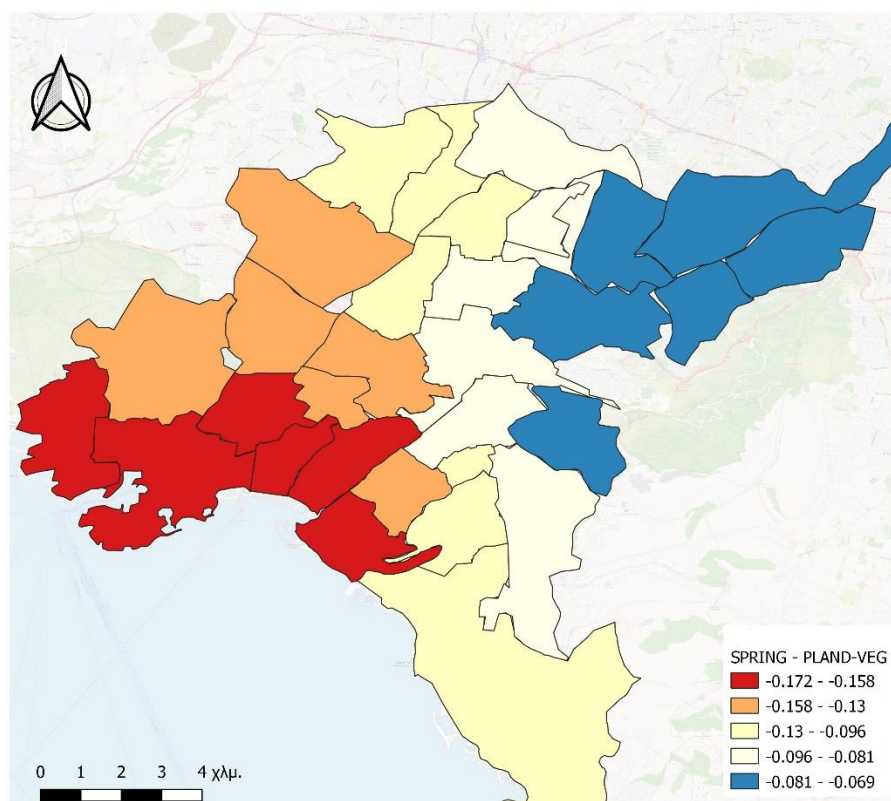
Διάγραμμα 36 Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας με υψόμετρο

Το υψόμετρο παρουσιάστηκε ο ισχυρότερος τοπογραφικός δείκτης με αρνητική συσχέτιση στην διαμόρφωση των μέσων εποχιακών και ετήσιας θερμοκρασίας. Τα βόρεια προάστια έχουν μεγαλύτερο υψόμετρο σε σχέση με τα νότια παραθαλάσσια προάστια με αποτέλεσμα να επηρεάζονται περισσότερο από το υψόμετρο τους. Περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο, θα παρουσιάζουν και μειωμένη θερμοκρασία.

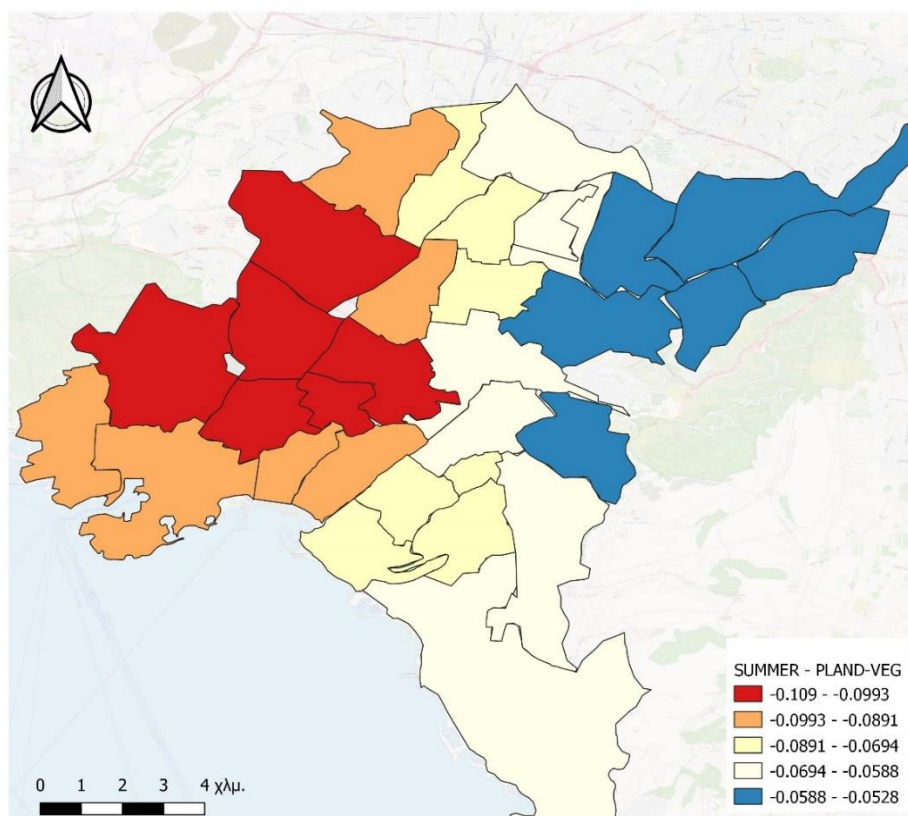
Παρουσιάζονται και τα αποτελέσματα – χάρτες της γεωμετρικά σταθμισμένης παλινδρόμησης (GWR) για το ποσοστό της κλάσης βλάστησης. Οι περιοχές με υψηλότερες θερμοκρασίες παρουσιάζουν υψηλότερη συσχέτιση διαμόρφωσης μέσης θερμοκρασίας με ποσοστό πρασίνου.



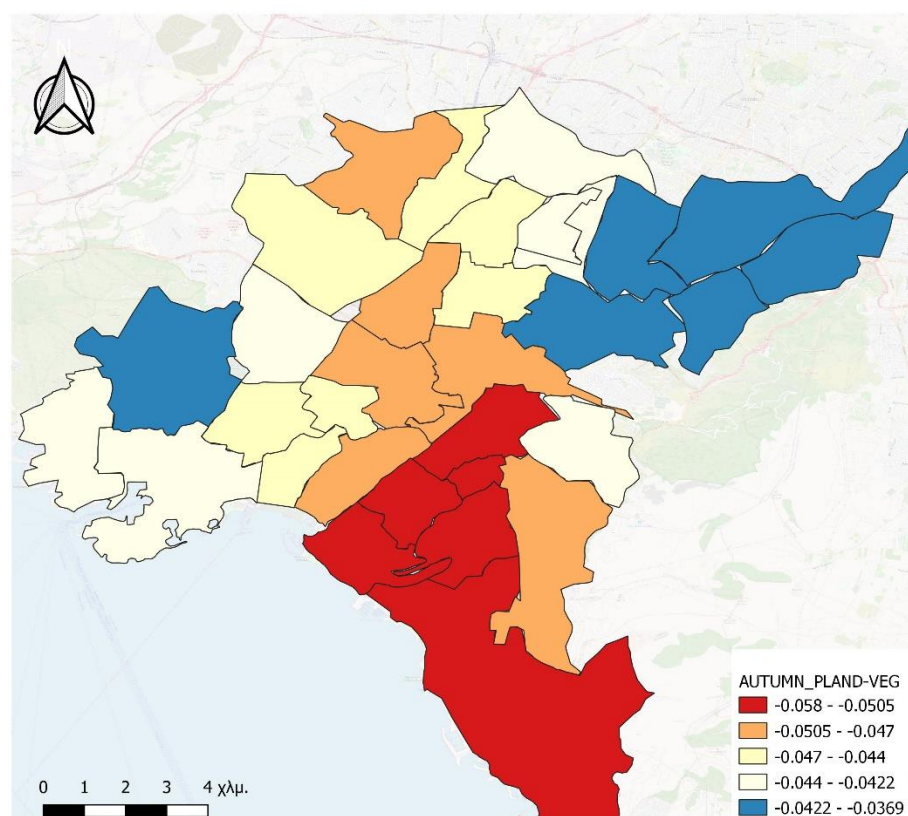
Εικόνα 37 : Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση μέσης θερμοκρασίας χειμώνα με ποσοστό θλάστησης (Pland_Veg)



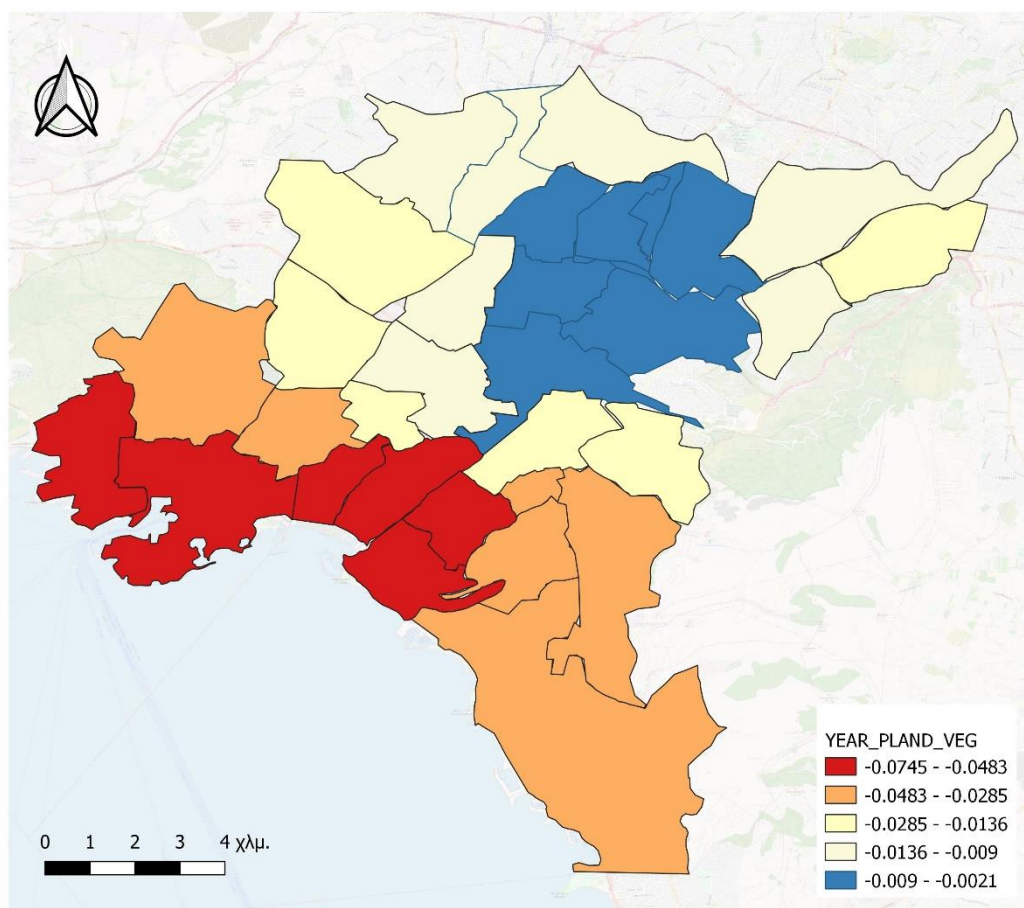
Εικόνα 38 Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση μέσης θερμοκρασίας Άνοιξης με ποσοστό θλάστησης (Pland-veg)



Εικόνα 39 Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση μέσης θερμοκρασίας Καλοκαιριού με ποσοστό βλάστησης (Pland-veg)



Εικόνα 40 Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση μέσης θερμοκρασίας Φθινοπώρου με ποσοστό βλάστησης (Pland-veg)



Εικόνα 41 Αποτέλεσμα GWR - Συσχέτιση μέσης ετήσιας θερμοκρασίας με ποσοστό βλάστησης (Pland-veg)

Από τα αποτελέσματα εμφανίζεται η μεγάλη συσχέτιση των νότιων παραθαλάσσιων περιοχών, καθώς και των δυτικών στη συσχέτιση της μέσης θερμοκρασίας με το ποσοστό βλάστησης. Να σημειωθεί ότι οι περιοχές αυτές κατέγραψαν και σχετικά τις υψηλότερες θερμοκρασίες στην περιοχή μελέτης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο – ΣΥΖΗΤΗΣΗ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1. Γενικά Συμπεράσματα – Κατανομή Αστικού Πρασίνου

Το αστικό πράσινο καθώς και οι περιοχές πρασίνου εντός των μεγάλων αστικών ιστών αποτελούν σημαντικό παράγοντα στη διαμόρφωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Τα οφέλη που προσφέρουν τα αστικά πάρκα, οι δενδροφυτεμένοι πεζόδρομοι καθώς και οποιαδήποτε είδους βλάστησης μέσα στον αστικό ιστό είναι σημαντικά, με κυριότερο τη διαμόρφωση του αστικού μικροκλίματος. Η βλάστηση με τις ιδιότητες της απορροφά την ηλιακή ακτινοβολία με βελτίωση της θερμοκρασίας των αστικών χώρων τόσο τον χειμώνα όσο και το καλοκαίρι. Η σκιά που δημιουργείται από την παρουσία ενός μέσου ύψους δένδρου ελαττώνει την ορατή ακτινοβολία του ηλίου σε ποσοστό 25% έως και 30%, προσφέροντας σκίαση και τοπική δροσιά. Σύμφωνα με έρευνες έχει παρατηρηθεί ότι σε συνθήκες υψηλών θερμοκρασιών (καύσωνα) εντός αστικού ιστού η παρουσία κατάλληλων χώρων πρασίνου μπορεί να επιτύχει μείωση της τοπικής θερμοκρασίας έως και πέντε βαθμούς. Όμως στα σύγχρονα αστικά κέντρα η συνεχόμενη αστικοποίηση, η διαρκής εκμετάλλευση κάθε ελεύθερου χώρου καθώς και η πυκνή δόμηση επηρεάζουν τις περιβαλλοντικές συνθήκες κάθε περιοχής.

Δυστυχώς όμως η Αθήνα παραμένει η ευρωπαϊκή πρωτεύουσα με τη χαμηλότερη αναλογία αστικού πράσινου ανά κάτοικο. Ο Αμερικανός καθηγητής *Helmut Lieth* προσπάθησε να ερευνήσει στοιχεία το έτος 1980 για το πράσινο της Αθήνας στις πρώτες δορυφορικές εικόνες που παρουσίαζαν την ποσότητα της βλάστησης στα μεγάλα αστικά κέντρα, με δυσάρεστα αποτελέσματα καθώς ολόκληρη η περιοχή φαινόταν να καλύπτεται από πυκνό δομημένο περιβάλλον (Καλούδης et.al. 2017, Μπαλαβίδας et. al. 2012). Από τότε μέχρι σήμερα, το αστικό πράσινο μειώθηκε ακόμα περισσότερο. Το 1980, η συνολική δομημένη έκταση της πόλης ήταν η μισή από αυτή που είναι σήμερα ενώ η αναλογία πρασίνου ανά κάτοικο δεν ξεπερνούσε τα 2,6 τετραγωνικά μέτρα σύμφωνα με έρευνες του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος (Καλούδης et.al. 2017, Μπαλαβίδας et. al. 2012). Σήμερα, οι πυκνοκατοικημένες αστικές περιοχές της Αθήνας επεκτείνονται σχεδόν μιάμιση φορά σε μεγαλύτερη έκταση από ότι το έτος 1980 με την αναλογία αστικού πρασίνου ανά κάτοικο να έχει μειωθεί κοντά στο 2,55 τετραγωνικά μέτρα. Όπως αναφέρουν ερευνητές στο Τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, η Αττική έχει το μικρότερο ποσοστό πρασίνου ανά κάτοικο στην παγκόσμια κατάταξη. Ενώ ο Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος δέχεται ως «ανεκτή» την αναλογία 10 τετραγωνικών μέτρων πρασίνου ανά κάτοικο, η Αθήνα παρέχει μόνο 2,5 τετραγωνικά μέτρα πρασίνου σε κάθε έναν από τους κατοίκους της (Καλούδης et.al. 2017, Μπαλαβίδας et. al. 2012). Η περιοχή μελέτης αποτελεί έναν μεγάλο αστικό ιστό με μεγάλη πληθυσμιακή κάλυψη, λανθασμένη ανακατανομή αστικού πρασίνου και πολλά πολεοδομικά προβλήματα ανάμεσα στις διαφορετικές περιοχές. Οι βορειοδυτικές και νοτιοδυτικές περιοχές έχουν τη μικρότερη εδαφοκάλυψη σε πάρκα και οργανωμένους χώρους αστικού πρασίνου (ΕΛΣΤΑΤ, Καλούδης 2017, Μπαλαβίδας

2012). Μεγαλύτερη εδαφοκάλυψη έχει η κεντρική και ανατολική έκταση της περιοχής μελέτης με ποσοστά που κυμαίνονται από 10% έως 45%. Οι κεντρικές και ανατολικές περιοχές είναι και πάλι ευνοημένες σε σχέση με την υπόλοιπη έκταση της περιοχής μελέτης. Οι περιοχές με μεγαλύτερη πυκνότητα πληθυσμού δυστυχώς καταγράφουν μικρά ποσοστά αναλογίας οργανωμένων χώρων πρασίνου κάτω του 4 % , γεγονός που επιβεβαιώνει την ανάγκη για εύρεση και δημιουργία τέτοιων χώρων στον πυκνό αστικό ιστό για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων (ΕΛΣΤΑΤ, Καλούδης 2017, Μπελαβίδας 2012).

5.2. Δείκτης βλάστησης *NDVI*

Με τον δείκτη *NDVI* μπορούμε αρκετά εύκολα να ερμηνεύσουμε και να καταγράψουμε τις δομημένες περιοχές καθώς και τα αστικά πάρκα, τους διάφορους χώρους πρασίνου, τα υγιή πάρκα, τις πυκνοκατοικημένες περιοχές καθώς και τις αραιοκατοικημένες. Από τους χάρτες που προέκυψαν φαίνεται ξεκάθαρα πως η δυτική Αττική παρουσιάζει έλλειψη σε οργανωμένους χώρους πρασίνου καθώς όλα τα άλση και οι ελεύθεροι χώροι βρίσκονται στην ανατολική πλευρά. Ακόμα όπως φαίνεται και στους σχετικούς χάρτες η Λεωφόρος Κηφισού μπορεί να χαρακτηριστεί ως όριο που χωρίζει την Αττική σε δύο ζώνες, όσων αφορά την κατανομή των χώρων αστικού πρασίνου, καθώς η πλειοψηφία των οργανωμένων χώρων πρασίνου και βρίσκονται στο μισό της (Βαταβάλη et. al. 2016, Καλούδης et. al. 2017, Μανωλάς 2006). Ο μεγάλος και πυκνός αστικός ιστός των τρεισήμισι και πλέον εκατομμυρίων κατοίκων, αποτελείται από δύο τουλάχιστον διαφορετικές πόλεις. Σύμφωνα με αρκετές έρευνες πολεοδόμων οι πιο πράσινοι δήμοι φαίνεται πως είναι το Ψυχικό, η Φιλοθέη, η Νέα Σμύρνη, η Γλυφάδα, το Ελληνικό, η Νέα Ιωνία, η Νέα Φιλαδέλφεια, ο Άγιος Δημήτριος, η Ηλιούπολη, η Αγία Παρασκευή, το Χαλάνδρι, το Παλαιό Φάληρο και η Καισαριανή (Χατζίδης 1998, Μπελαβίδας et. al. 2012). Οι περιοχές διαφέρουν μεταξύ τους καθώς άλλες είναι παραθαλάσσιες, κάποιες κοντά σε βουνό και λίγες διαθέτουν άλση. Όλες έχουν όμως κάτι κοινό. Βρίσκονται ανατολικά της Λεωφόρου Κηφισού. Αντίθετα, στη δυτική πλευρά της πόλης οι χώροι πρασίνου που αντιστοιχούν στους κατοίκους είναι περίπου 1,3 και 2 τετραγωνικά μέτρα. Η Δυτική Αθήνα σήμερα καλύπτεται κατά 77% από κτίρια - έστω χαμηλά -, κατά 19% από ασφαλτοστρωμένους δρόμους και μόλις 4% καταλαμβάνουν το πράσινο και οι ελεύθεροι χώροι. Ειδικά οι περιφερειακοί δήμοι του Πειραιά καθώς και η Νίκαια, ο Κορυδαλλός, η Δραπετσώνα έχουν σχεδόν μηδενικούς χώρους αστικού πρασίνου (Χατζίδης 1998, Μπελαβίδας et. al. 2012). Το γειτονικό όρος Αιγάλεω λειτουργεί ως τείχος και δεν είναι ενταγμένο στη ζωή της πόλης και των γειτονικών περιοχών. Αν και βρίσκονται πολύ κοντά στη θάλασσα δεν διαθέτουν παραλία ενώ η περιοχή του Κερατσινίου εξακολουθεί έως και σήμερα να έχει

βιομηχανικό χαρακτήρα, ενώ οι πλατείες, οι ελεύθεροι χώροι, τα άλση είναι ανύπαρκτα (Καλούδης et. al. 2017, Μανωλάς 2006).

5.3. Σχολιασμός Θερμικών Χαρτών

Από τις θερμικές εικόνες παρατηρείται ότι η Αττική είναι μια περιοχή με πολλές θερμοκρασιακές μεταβολές. Υπάρχουν περιοχές με κανονικές θερμοκρασίες ενώ σε αντίθεση υπάρχουν περιοχές με αρκετές ζέστες ζώνες. Κοιτώντας τον θερμικό χάρτη παρουσιάζονται με γαλάζιο χρώμα τα Pixel με χαμηλότερη θερμοκρασία, με πορτοκαλί οι μεσαίες θερμοκρασίες και με έντονο κόκκινο τα pixel με υψηλές θερμοκρασίες. Αρχικά παρατηρείται ότι η θερμοκρασία σχετίζεται άμεσα με τις χρήσεις κάλυψης γης, καθώς καταγράφονται μεγάλες θερμοκρασίες στους μεγάλους αυτοκινητόδρομους και στο οδικό δίκτυο αφού η άσφαλτος είναι υλικό το οποίο απορροφά μεγάλα ποσά θερμότητας. Ακόμα έντονη αύξηση της θερμοκρασίας καταγράφεται σε περιοχές με κύρια βιομηχανική χρήση και στα βιομηχανικά κτήρια λόγω των δραστηριοτήτων που λαμβάνουν. Μια ακόμα παρατήρηση αφορά τις περιοχές που καλύπτονται από πράσινο με υγιή βλάστηση, καθώς σε αυτές καταγράφηκαν οι χαμηλότερες θερμοκρασίες και για τις τέσσερις εποχές (Γιωβός et. al. 2020, Γκιόκας 2019, Χατζίδης 1998).

Πιο αναλυτικά, οι πιο ζεστές περιοχές εντοπίζονται σε ένα μεγαλύτερο δακτύλιο που περικλείει το κέντρο της Αθήνας και εκτείνεται κυρίως προς τη Δυτική Αττική, φτάνοντας έως το Αιγάλεω. Σ' αυτές τις περιοχές η θερμοκρασία είναι ανεβασμένη κατά δύο έως και τέσσερις βαθμούς Κελσίου σε σχέση με περιοχές των βορείων προαστίων. Άνοδο τεσσάρων βαθμών παρουσιάζουν οι περιοχές της Δυτικής Αττικής και ειδικότερα το Κερατσίνι, η Δραπετσώνα, ο Ταύρος, το Μοσχάτο και ο Πειραιάς (Χατζίδης 1998). Σε αντίθεση οι πιο δροσερές περιοχές της Αττικής, , είναι δύο: στην πρώτη περιλαμβάνονται οι περιοχές των βορείων προαστίων το Ψυχικό, η Φιλοθέη και το Γαλάτσι. Στη δεύτερη συγκαταλέγονται τα νοτιοανατολικά προάστια και ειδικότερα η Γλυφάδα, το Ελληνικό, ο Άλιμος, ο Άγιος Δημήτριος, η Ηλιούπολη και η Καισαριανή.

Ακόμα, παρατηρήθηκε μεγάλη θερμοκρασία σε περιοχές οδικού δικτύου όπως αυτοκινητόδρομοι και κόμβοι. Η λεωφόρος Κηφισού, η Λεωφόρος Αθηνών, η Λεωφόρος Ποσειδώνος (Παραλιακή), αποτελούν τις θερμότερες περιοχές αστικών δικτύων στην Αττική με αυξημένες θερμοκρασίες σε σχέση με τις περιβάλλουσες περιοχές. Επιπλέον, όπως φαίνεται και στους θερμικούς χάρτες για όλες τις εποχές, η περιοχή της Δημοτικής Ενότητας Αγίου Ιωάννη – Ρέντη παρουσιάζει τη μεγαλύτερη θερμοκρασία που φτάνει σε σημαντική διαφορά από τις γειτονικές περιοχές τουλάχιστον

τέσσερεις με πέντε βαθμούς Κελσίου παραπάνω. Οι λόγοι για το φαινόμενο αυτό είναι αρκετοί καθώς αρχικά πρόκειται για μια βιομηχανική περιοχή με καθαρά χρήση επαγγελματική με λιγιστές κατοικίες. Η μεγαλύτερη έκτασή του χρησιμοποιείται περισσότερο από εργοστάσια, βιομηχανίες, αγορές και πολύ λιγότερο σαν τόπος κατοικίας γι' αυτό θεωρείται ως ένα από τα πιο αραιοκατοικημένα προάστια της Αττικής στο μέσο των σημαντικότερων συγκοινωνιακών κόμβων (wikipedia.org/wiki/Αγιος_Ιωάννης_Ρέντης). Παρατηρείται μηδενική ύπαρξη χώρων πρασίνου με αποτέλεσμα λόγω και της ύπαρξης των βιομηχανιών και των υπολοίπων επαγγελματικών χρήσεων, στην περιοχή να αναπτύσσονται μεγάλες θερμοκρασίες. Τα βιομηχανικά κτήρια με την συνεχή έκκληση θερμοκρασίας, λόγω των διαφόρων διεργασιών καθώς και οι σχετικοί ρύποι που εκπέμπονται δημιουργούν ένα δυσχερές μικρόκλιμα στην συγκεκριμένη περιοχή.

Τέλος, η σημαντικότερη παρατήρηση που διαπιστώνεται αφορά τους οργανωμένους χώρους πρασίνου. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα των θερμικών εικόνων οι χώροι αστικού πρασίνου όπως είναι λογικό καταγράφουν τις χαμηλότερες θερμοκρασίες, ανάλογα με το ποσοστό και το είδος της βλάστησής τους. Πιο αναλυτικά ο Λυκαβηττός παρουσίασε τις χαμηλότερες θερμοκρασίες καθ' όλη την διάρκεια του έτους ενώ προσφέρει μια ζώνη δροσισμού στις περιοχές που βρίσκονται βορειοδυτικά του. Πηγές δροσισμού στην θερμή Αθήνα αποτελούν ο Εθνικός Κήπος, το Α' Νεκροταφείο Αθηνών, το Αττικό Άλσος, το Άλσος Συγγρού και το πεδίο του Άρεως. Στις υπόλοιπες περιοχές της Αττικής σημαντική διαφορά θερμοκρασίας καταγράφεται στο Άλσος Νέας Φιλαδέλφειας, στις όχθες του Ρέματος Χαλανδρίου, στο Ρέμα της Πικροδάφνης, το Μπαρουτάδικο καθώς και άλλα.

5.3.1. Συσχέτιση Μέσης Εποχιακής Θερμοκρασίας (*LST*) με δείκτη Βλάστησης *NDVI*

Μέσα από τα διαγράμματα γραμμικής παρεμβολής εξάγεται το συμπέρασμα ότι η θερμοκρασία επιφανείας εδάφους σχετίζεται άμεσα με τον δείκτη *NDVI* έχοντας μια αρνητική γραμμική σχέση. Παρατηρείται λοιπόν πως στις βιομηχανικές περιοχές και σε κτήρια με χαμηλό δείκτη *NDVI* η θερμοκρασία καταγράφει αύξηση. Σε περιοχές με μέση τιμή *NDVI* από 0,10 – 0,3 καταγράφονται μεσαίες θερμοκρασίες, ενώ για περιοχές με υψηλό δείκτη *NDVI* δηλαδή με αρκετά υγιή βλάστη καταγράφονται χαμηλές θερμοκρασίες και μπορούν να προσδώσουν αίσθημα δροσισμού. Η μέγιστη συσχέτιση παρατηρείται το φθινόπωρο με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 91 \%$ και στη συνέχεια το χειμώνα με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 83,7 \%$. Ερμηνεύοντας τη μεγάλη συσχέτιση κατά το χειμώνα, η παραμένουσα βλάστηση που δεν φυλλοβολεί έχει την ικανότητα να μην επηρεάζεται από την επικρατούσα μέση θερμοκρασία και να προσφέρει χαμηλότερες θερμοκρασίες. Φαίνεται λοιπόν ότι η συσχέτιση του δείκτη *NDVI* και της θερμοκρασίας αλλάζει ανάλογα με την εποχή αλλά παραμένει αντιστρόφως ανάλογη.

5.4. Δείκτες ‘‘Τοπίου’’ & τοπογραφικοί δείκτες

Μέσα από τα αποτελέσματα που εξήχθησαν από το λογισμικό *Fragstats* καταγράφονται αρκετά σημαντικά συμπεράσματα για κάθε περιοχή μελέτης, τα οποία συγκρίθηκαν μεταξύ τους. Ο δείκτης *PLAND* παρουσιάζει το ποσοστό κάθε κλάσης σε κάθε περιοχή και επομένως καταγράφηκαν οι περιοχές με το μεγαλύτερο ποσοστό της κλάσης δομημένου περιβάλλοντος (*PLAND_B*) καθώς και οι περιοχές με το μεγαλύτερο και μικρότερο ποσοστό κλάσης βλάστησης (*PLAND_VEG*). Όπως προκύπτει και από τους σχετικούς δείκτες οι περιοχές με το μεγαλύτερο ποσοστό πρασίνου είναι η δημοτική ενότητα Παπάγου – Χολαργού με ποσοστό 41,35 %, ακολουθεί η Αγία Παρασκευή με ποσοστό 37,11% και εν συνεχεία το Χαλάνδρι και ο δήμος Φιλοθέης – Ψυχικού με ποσοστό 36,7% και 35,7% αντίστοιχα. Σε αντίθεση οι περιοχές με τα μικρότερα ποσοστά βλάστησης είναι ο Πειραιάς, ο Άγιος Ιωάννης Ρέντη και οι περιοχές της Νίκαιας Κορυδαλλού με ποσοστά που κυμαίνονται στο 12%, ενώ ακολουθεί η Καλλιθέα και το Περιστερί με ποσοστά 13% και 14,40 % αντίστοιχα. Συμπεραίνεται λοιπόν, όπως διατυπώθηκε και από στοιχεία της ΕΛΣΤΑΤ, ότι οι βόρειες και βορειοανατολικές περιοχές διαθέτουν μεγαλύτερα ποσοστά τόσο οργανωμένων χώρων πρασίνου όσο και συνολικής βλάστησης (*PLAND_VEG*) ενώ σε αντίθεση οι νοτιοδυτικές και νότιες περιοχές εμφανίζουν μεγάλη έλλειψη σε ποσοστά αστικού πρασίνου. Ο δείκτης *PLAND_B* εκφράζει το ποσοστό δομημένου περιβάλλοντος που υπάρχει σε κάθε περιοχή, όπως κτίσματα, δρόμους, πεζοδρόμια, πλατείες κ.τ.λ. Οι περιοχές με το μεγαλύτερο ποσοστό δομημένου περιβάλλοντος είναι η Δάφνη, το Περιστερί και η ενότητα Νο3 του Δήμου Αθηνών με ποσοστό που το 84 % και ακολουθούν η Καλλιθέα, Νέα Σμύρνη, το Αιγάλεω ο Πειραιάς, οι ενότητες Νο 2 και Νο 6 του Δήμου Αθηνών, ο Ταύρος και ο Άγιος Δημήτριος με ποσοστά που ξεπερνούν το 80 %. Σε αντίθεση οι περιοχές με τα χαμηλότερα ποσοστά δομημένου περιβάλλοντος ανήκουν ξανά σε βόρεια προάστια με το Χαλάνδρι, την Αγία Παρασκευή, τον Χολαργό και την Φιλοθέη να διαθέτουν ποσοστά της τάξης του 50% έως και 58% αντίστοιχα.

Ο δείκτης χωρικής διαμόρφωσης σε επίπεδο τοπίου *Contagion*, ως δείκτης συνάθροισης (%), εκφράζει με τιμές κοντά στο εκατό, παρουσιάζει όλα τα patch των διαφορετικών κλάσεων συγκεντρωμένα, ενώ με τιμές που πλησιάζουν το μηδέν το αντίθετο, δηλαδή με τα Patch να βρίσκονται διάσπαρτα. Για τις περιοχές μελέτης μεγαλύτερη συνάθροιση παρατηρείται στις ενότητες Νο 5 και Νο 7 του δήμου Αθηνών, στον Άγιο Ιωάννη Ρέντη καθώς και στη Νέα Ιωνία με ποσοστά συνάθροισης από 69% έως και 63%. Επιπλέον, μέσω των δεικτών ποικιλότητας του *Shannon (SHDI)* και *Shimpson (SIDI)* μεγαλύτερη ποικιλότητα τοπίου εμφανίζουν η Αγία Παρασκευή, η Φιλοθέη – Ψυχικό και ο Βύρωνας, ενώ την χαμηλότερη ποικιλότητα εμφανίζουν η ενότητα Νο5 του Δήμου Αθηναίων, το Χαλάνδρι, η Νέα Ιωνία και το Παλαιό Φάληρο. Επίσης σύμφωνα με τον δείκτη ομοιογένειας *Shannon*

(SHEI) υψηλή ομοιογένεια εμφανίζεται στην Αγία Παρασκευή, τον Βύρωνα και την Νέα Σμύρνη. Επομένως η Δημοτική Ενότητα της Αγίας Παρασκευής και του Βύρωνα – Καισαριανής κατέχουν τις υψηλότερες τιμές ποικιλότητας και ομοιογένειας σε επίπεδο τοπίου.

5.4.1. Διαγράμματα Διασποράς

Δημιουργήθηκαν διαγράμματα διασποράς για την ανάλυση της συσχέτισης της μέσης εποχιακής θερμοκρασίας και των δεικτών σύνθεσης, διάρθρωσης τοπίου καθώς και τοπογραφίας. Μέσα από τα διαγράμματα διασποράς ο δείκτης *PLAND_VEG* που εκφράζει το ποσοστό της βλάστησης έχει αρνητική συσχέτιση με την εποχιακή θερμοκρασία. Η υψηλότερη συσχέτιση παρουσιάζεται το καλοκαίρι με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0.528$ και με γραμμική συνάρτηση τάσης $y = -0.0761x + 34.563$. Πιο αναλυτικά όταν το ποσοστό βλάστησης σε μια περιοχή αυξάνεται τότε η μέση θερμοκρασία μειώνεται για όλες τις εποχές του χρόνου. Επομένως υπάρχει ισχυρή θετική συσχέτιση του ποσοστού δομημένου περιβάλλοντος με την μέση εποχιακή θερμοκρασία. Σε περιοχές με μεγαλύτερο ποσοστό δομημένου περιβάλλοντος καταγράφεται αύξηση της θερμοκρασίας με την υψηλότερη συσχέτιση να λαμβάνει χώρα την περίοδο της Άνοιξης παρουσιάζοντας βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0.46$ και θετική γραμμή τάσης εκθετικού τύπου $y = 5.6659x^{0.31}$. Το υψόμετρο κάθε περιοχής μελέτης σχετίζεται αρνητικά με την διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας. Άρα συμπεραίνουμε ότι, όταν το υψόμετρο αυξάνεται η μέση θερμοκρασία μειώνεται, γεγονός που καθιστά τις περιοχές των βορείων προαστίων σχετικά πιο δροσερές σε σχέσεις με τις παραθαλάσσιες περιοχές. Η υψηλότερη συσχέτιση εμφανίζεται για την περίοδο του χειμώνα με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0.81$.

5.4.2. Διαγράμματα Συσχέτισης (*Correlogram*)

Αναλύθηκαν μέσω διαγραμμάτων συσχέτισης οι υψηλότερα σχετιζόμενοι δείκτες στην διαμόρφωση της μέσης εποχιακής και ετήσιας θερμοκρασίας. Ανάμεσα στους δείκτες σύνθεσης και διάρθρωσης τοπίου το ποσοστό βλάστησης παρουσίασε την υψηλότερη αρνητική συσχέτιση σε όλες τις εποχές καθώς και στην μέση ετήσια με ποσοστά R^2 μεγαλύτερα από 0,50. Με βάση αυτό το αποτέλεσμα συμπεραίνουμε την μεγάλη σημασία του αστικού πρασίνου στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας. Περιοχές με υψηλότερα ποσοστά βλάστησης καταγράφουν χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η Φιλοθέη και το Ψυχικό κατέχουν από τα μεγαλύτερα ποσοστά βλάστησης σε σχέση με τις υπόλοιπες περιοχές, και σύμφωνα με τους θερμικούς χάρτες κατέγραψαν χαμηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με άλλες περιοχές που κατέχουν μικρότερα ποσοστά βλάστησης. Περιοχές της Αττικής με μειωμένο ποσοστό πρασίνου όπως το Περιστέρι και ο Πειραιάς εμφανίζουν μεγαλύτερες θερμοκρασίες. Ακόμα ως δεύτερος ισχυρότερος δείκτης στη διαμόρφωση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας παρουσιάστηκε το ποσοστό δομημένου περιβάλλοντος έχοντας θετική συσχέτιση. Περιοχές της Αττικής με αυξημένη δόμηση καθώς και πυκνοκατοικημένες παρουσιάζουν

αυξημένη θερμοκρασία συμπέρασμα που συμφωνεί με παρόμοιες έρευνες και αποτελέσματα. Βάση των παραπάνω κρίνεται απαραίτητη η χρήση χώρων πρασίνου καθώς καθίσταται ο ισχυρότερος παράγοντας διαμόρφωσης της θερμοκρασίας. Η σωστή αναλογία ποσοστών πρασίνου και δομημένου περιβάλλοντος σε μια περιοχή μέσω ορθών πολεοδομικών σχεδιασμών μπορεί να αποφέρει τα βέλτιστα αποτελέσματα στη διαμόρφωση ευνοϊκότερου μικροκλίματος εντός του αστικού ιστού.

Για τους τοπογραφικούς δείκτες το υψόμετρο του εδάφους κατέγραψε την υψηλότερη συσχέτιση στη διαμόρφωση των μέσω θερμοκρασιών με βαθμό συσχέτισης $R^2 = 0.61$. Εξάγεται λοιπόν το συμπέρασμα ότι οι περιοχές των βορείων προαστίων που βρίσκονται σε υψόμετρο πάνω από εκατό μέτρα καταγράφουν χαμηλότερες θερμοκρασίες από τα νότια παραλιακά προάστια της Αττικής. Η έκθεση ως προς την ανατολή παρουσιάστηκε ο δεύτερος ισχυρότερος τοπογραφικός δείκτης με βαθμό συσχέτισης πάνω από 0,50. Συμπεραίνεται ότι ο προσανατολισμός μια περιοχής έχει ισχυρή θετική επίδραση στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας. Περιοχές με ανατολικό προσανατολισμό είναι πιο θερμές από περιοχές με βόρειο ή νότιο προσανατολισμό. Για το καλοκαίρι η απόσταση από τη θάλασσα εμφάνισε μεγάλη αρνητική συσχέτιση με $R^2 = 0.59$.

5.4. Μοντέλα Πρόβλεψης

Για την πρόβλεψη και ερμηνεία των ισχυρότερων δεικτών συσχέτισης των μέσων εποχιακών θερμοκρασιών καθώς και της μέσης ετήσιας, εφαρμόστηκε σύγχρονη τεχνική χωρικής ανάλυσης με τη δημιουργία μοντέλων πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης καθώς και γεωμετρικά σταθμισμένης παλινδρόμησης (*GWR*). Ως εξαρτημένη μεταβλητή τέθηκε η μέση εποχιακή και ετήσια θερμοκρασία, και ως ανεξάρτητες μεταβλητές τέθηκαν δείκτες τοπίου, δείκτες τοπογραφίας καθώς και συνδυασμός των προηγούμενων δεικτών. Στην περιοχή μελέτης κάθε μοντέλο παράγει πέντε έως έξι χάρτες δημιουργώντας τελικά για όλα τα πακέτα ανεξάρτητων μεταβλητών και εξαρτημένων συνολικά εβδομήντα πέντε χάρτες. Για το πακέτο ανεξάρτητων μεταβλητών με δείκτες τοπίου κλάσης βλάστησης η μεγαλύτερη συσχέτιση παρουσιάστηκε για την μέση θερμοκρασία Άνοιξης με συντελεστή συσχέτισης $R^2 = 0.737$ και κυρίαρχο δείκτη το ποσοστό βλάστησης (*PLAND_VEG*), έχοντας αρνητική συσχέτιση. Για τους τοπογραφικούς δείκτες τα αποτελέσματα των μοντέλων *GWR* παρουσίασαν την μεγαλύτερη συσχέτιση τον Χειμώνα με ποσοστό επιτυχίας $R^2 = 0.787$ και σημαντικότερη ανεξάρτητη μεταβλητή το μέσο υψόμετρο, παρουσιάζοντας αντίστροφη συσχέτισης με την μέση θερμοκρασία του Χειμώνα. Για τα μοντέλα παλινδρόμησης που εκτελέστηκαν για τον συνδυασμό δεικτών σημειώθηκε βελτίωση που καταγράφηκε στους βαθμούς συσχέτισης για κάθε

εποχή. Η υψηλότερη τιμή συσχέτισης – πρόβλεψης αναλογεί στην εκτίμηση της μέσης θερμοκρασίας την Άνοιξη με $R^2 = 0.746$, αποτέλεσμα που καθορίζει το συγκεκριμένο μοντέλο και συνδυασμό δεικτών ως το πιο επιτυχημένο με την συνάθροιση τοπίου περιοχής τον ισχυρότερο θετικό παράγοντα στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας κατά τους μήνες της Άνοιξης. Το υψόμετρο του εδάφους παρουσιάζεται ως επόμενος πιο ισχυρός αρνητικός δείκτης για την διαμόρφωση των θερμοκρασιών το χειμώνα και το καλοκαίρι. Συμπεραίνεται πως το υψόμετρο επιδρά σημαντικά στη διαμόρφωση θερμοκρασιών κατά τους μήνες που καταγράφονται ακραίες υψηλές ή χαμηλές θερμοκρασίες. Τέλος, για την μέση ετήσια θερμοκρασία το ποσοστό βλάστησης εμφανίστηκε ως ισχυρότερος δείκτης με αρνητική συσχέτιση στη διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας.

Σύμφωνα με τα αποτελέσματα και συμπεράσματα όλων των προηγούμενων μεθόδων, διαγραμμάτων και μοντέλων παλινδρόμησης, εξάγεται ως συνολικό συμπέρασμα πως το ποσοστό βλάστησης είναι από τους ισχυρότερους δείκτες στη διαμόρφωση της μέσης θερμοκρασίας. Θεωρείται πλέον με βεβαιότητα ότι περιοχές της Αττικής οι οποίες κατέχουν αυξημένα ποσοστά πρασίνου διαθέτουν και ευνοϊκότερες θερμοκρασίες. Κρίνεται απαραίτητος ο ορθός σχεδιασμός για την ένταξη χώρων πρασίνου σε πυκνοκατοικημένες περιοχές με στόχο την βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων.

Βιβλιογραφία

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

1. Alcoforado, M. J., Andrade, H., Lopes A. and Vasconcelos J., 2009. Application of climatic guidelines to urban planning: The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and Urban Planning*, 90, pp. 56–65.
2. Aliihsan S., Bonafoni S. (2020), Land Surface Temperature Retrieval from Landsat 5, 7, and 8 over Rural Areas: Assessment of Different Retrieval Algorithms and Emissivity Models and Toolbox Implementation, *Article MDPI – Remote Sensing*
3. Baró, F., Chaparro, L., Gómez-Baggethun, E., Langemeyer, J., Nowak, D.J. and Terradas, J. (2014). Contribution of Ecosystem Services to Air Quality and Climate Change Mitigation Policies: The Case of Urban Forests in Barcelona. *AMBIO*, pp. 43.
4. Bo-Cai Gao, (1996). NDWI - A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space.
5. Burden, D., (2006). 22 benefits of urban street trees,. Διαθέσιμο στο: www.michigan.gov/documents/dnr/22_benefits_208084_7.pdf (Accessed 19-09-2014)
6. Βελλής Ι. (2017), Παρακολούθηση περιβαλλοντος χωρων υγειονομικης ταφης απορριμματος με τηλεπισκοπικες μεθοδους, Διπλωματική Εργασία, Προγραμμα μεταπτυχιακων σπουδων ειδικευσης “Προστασια περιβαλλοντος και βιωσιμη αναπτυξη” – Α.Π.Θ., σελ 20 - 42
7. Cantor (2008) ,S.L. Cantor. *Green Roofs in Sustainable Landscape Design*, W. W. Norton & Company, New York (2008)
8. Castán Broto, V. and Bulkeley, H., (2013). A survey of urban climate change experiments in 100 cities. *Global Environmental Change*, 23, pp. 92–102.
9. Chiesura, A., (2004). The role of urban parks for the sustainable city. *Landscape and Urban Planning*, 68(1), pp. 129–138.
10. Debashish K., Anukul ch M., Raja M., Patra P., Gouri S. B. (2018). Analysis for mapping of built-up area using remotely sensed indices – a case study of rajarhat block in barasat sadar sub-division in west bengal (india), *Journal of Landscape Ecology* (2018) Vol: 11/ No.2., Sciendo 10.2478/jlecol-2018-0007
11. Dimoudi A., Nikolopoulou M. (2003), Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits, *Energy and Buildings* 35, pg. 69-76.
12. ESA. (2015). Introducing Sentinel 1. Retrieved October 4, 2015, from http://www.esa.int/Our_Activities/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Introducing_Sentinel-1
13. ESA. (2015). Level-1 Ground Range Detected. Retrieved January 1, 2015, from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/resolutions/level-1-ground-range-detected>
14. Flores, A., Pickett, S. T. A., Zipperer, W. C., Pouyat, R. V. and Pirani. R., (1998). Adopting a Modern Ecological View of the Metropolitan Landscape: The Case of a Green Space System for the New York City Region. *Landscape and Urban Planning*, 39, pp. 295–308.
15. Franz P. (2018), How to calculate Land Surface Temperature with Landsat 8 satellite images, *Article, GIS CRACK*
16. Giannaros, T.M. and Melas, D., (2012). Study of the urban heat island in a coastal Mediterranean City: The case study of Thessaloniki, Greece. *Atmospheric Research*, 118, pp. 103-120.

17. Giorgos Mallinis, Ioannis Z. Gitas, Vassileios Giannakopoulos, Fotis Maris & Maria Tsakiri-Strati. (2011). An object-based approach for flood area delineation in a transboundary area using ENVISAT ASAR and LANDSAT TM data. <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/17538947.2011.641601>
18. McPherson, E.G., Simpson, J.R., Peper, P.J., Aguaron, E., (2008). Urban Forestry and Climate Change. USDA Forest Service, Pacific Southwest Research Station, Albany.
19. Richards, J. A., Jia, X., (1999). Remote Sensing Digital Image Analysis. Springer.
20. Xinjun Wang , Haoming C., Juan Xi, Guoying Y., Yanwen Z. (2018). Relationship between Park Composition, Vegetation Characteristics and Cool Island Effect, Article on MDPI

Ελληνική Βιβλιογραφία

1. Αγγέλη Ε. (2017), Οι επιδράσεις του πρασίνου στο δημόσιο χώρο & παράγοντες που επηρεάζουν τη χρήση του στον αστικό χώρο - Η περίπτωση της Αθήνας και της Στοκχόλμης , Μεταπτυχιακή διπλωματική εργασία, Τμήμα Πολεοδομίας και Χωροταξίας Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, σελ 10 – 48
2. Αραβαντινός, Α. (ανατ. 1998), Πολεοδομικός σχεδιασμός, για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου, Αθήνα, Συμμετρία.
3. Αστάρας, Θ. (2006). Τηλεπισκόπηση & Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες. Θεσσαλονίκη: Πανεπιστημιακές εκδόσεις ΑΠΘ
4. Βαβάνου Α. (2013). Φυτεμένα Δώματα – Ενεργειακή/ Περιβαλλοντική Αναβάθμιση στις πόλεις, Διάλεξη, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών Ε.Μ.Π.
5. Βαλάκου Α., Φάσσα Ν. (2017). *Αστικό Πράσινο και Οικιστικός Ιστός*. Ερευνητική εργασία. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή
6. Βαταβάλη Φ., Χατζηκωνσταντίνου Ε. (2016), Χαρτογραφώντας την ενεργειακή φτώχεια στην Αθήνα της κρίσης, Athens Social Atlas
7. Γιώβος Ρ., Αντονίτσεβα Ρ. (2020), Αστικοποίηση και μικροκλίμα, το φαινόμενο των αστικών θερμνησιδων στην Αττική, Hellas G.I.S., 1^ο Συνέδριο Hellas Digital
8. Γκιόκας Κ. (2019), Το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας στη δυτική Μητροπολιτική Αθήνα - Πολεοδομικά εργαλεία και φυσικές μέθοδοι για την αντιμετώπισή του, ΔΠΜΣ Πολεοδομία – Χωροταξία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
9. Δαλαγγέλη Α. (2016). Χρήση δορυφορικών μετρήσεων για την αποτύπωση των παραγόντων που επηρεάζουν το θερμικό περιβάλλον σε πυκνές αστικές περιοχές, Διπλωματική Εργασία, Μ.Δ.Ε. Φυσικής Περιβάλλοντος
10. Καλούδης Σ., Καμπερίδης Γ., Πολυτσέρης Ζ., Γαλανοπούλου Σ., Λορέντζος Ν. (2017), Παρκα αναψυχής στον αστικό ιστό του λεκανοπεδίου Αττικής, 2ο Συνέδριο Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων και Χωρικής Ανάλυσης στη Γεωργία και στο Περιβάλλον, Αθήνα, 25 & 26 Μάϊου 2017. ISBN: 978-960-6806-21-6
11. Καρτάλης, Κ., & Φεΐδας, Χ. (2006). Αρχές & Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης. Αθήνα: Εκδόσεις Γκιούρδας.
12. Κεφαλάς, Γ. (2020). Χωροχρονική ανάλυση και μοντελοποίηση των αλλαγών του τοπίου και οι επιδράσεις των φυσικών & ανθρωπογενών παραγόντων σε αυτό (Διδακτορική Διατριβή). Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο, Αθήνα.

13. Κοντογιάννη Α. (2017), Επίδραση της Δομής και Σύνθεσης του Αστικού Πρασίνου στη Διαμόρφωση του Κλίματος των πόλεων, Διδακτορική Διατριβή, Σχολή Γεωπονίας, Δασολογίας & Φυσικού Περιβάλλοντος Α.Π.Θ.
14. Λιονάτου Μ. Δ. (2008). Αρχιτεκτονική Τοπίου και Δίκτυα Πρασίνου στα Σύγχρονα Αστικά Κέντρα : Δυνατότητες και Προοπτικές – Μεθοδολογία και Εφαρμογή : Το παράδειγμα της Λάρισας. Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Γεωπονίας Α.Π.Θ.
15. Λύτρα Μ., Παπαθανασίου Α. (2012). *Χαρακτηρισμός και Ανάλυση Σωματιδιακής Ρύπανσης Ρμ2,5 για την Πόλη και το Λιμάνι της Θεσσαλονίκης κατά την Ψυχρή Περίοδο 2012*. Διπλωματική εργασία. Πανεπιστήμιο Δυτικής Μακεδονίας, Πολυτεχνική Σχολή
16. Μανωλάς Χ. (2006), Μόνο τσιμέντο πέρα από το ποτάμι, Άρθρο Εφημερίδα “ΤΑ ΝΕΑ”, 24 Ιουνίου 2006.
17. Μαρίνη Ε. (2016), "Αστικό πράσινο και πάρκα. Η ευρωπαϊκή και η ελληνική εμπειρία και η δυνατότητα υιοθέτησης καλών πρακτικών", Ερευνητική Εργασία, Σχολή Αρχιτεκτόνων Μηχανικών, Πολυτεχνείο Κρήτης, Χανιά, Ελλάδα, 2016
18. Μερτίκας, Σ. (2006). Τηλεπισκόπηση και ψηφιακή ανάλυση εικόνας. Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.
19. Μηχαλίδου Ι. (2018). Η Συμβολή των χώρων αστικού πρασίνου στη βιώσιμη ανάπτυξη και η επιρροή τους στην εκτίμηση της αξίας των ακινήτων, Ερευνητική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης Α.Π.Θ.
20. Μπαντούνας Κ. (2008). *Η Κλιματική Αλλαγή σε Τοπική Κλίμακα: Η Περίπτωση της Νήσου Λέσβου*. Πτυχιακή εργασία. Πανεπιστήμιο Αιγαίου, Σχολή Περιβάλλοντος
21. Μπελαβίλας Ν., Βαταβάλη Φ., Σουρέλη Ν., Πρέντου Π., (2012), Ελευθεροί χώροι, αστικό και περιαστικό πρασινο στο μητροπολιτικό συγκροτημα αθηνας, 3ο Πανελλήνιο Συνέδριο Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης , Βόλος 27 - 30 Σεπτεμβρίου 2012
22. Παπαθανασίου Κ. (2017), Συμβολή της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης στη χαρτογράφηση πλημμυρικών φαινομένων, Διπλωματική Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Περιβάλλοντος , Πολυτεχνείο Κρήτης
23. Ποιραζίδης Κ. (2010) Οικολογία & Ποιότητα Τοπίου – Θεωρία και Εφαρμογές, Τμήμα Περιβάλλοντος και Οικολογίας, Ιόνιο Πανεπιστήμιο.
24. Ποϊραζίδης, Κ., Δ., Β. Μ., Γ., Κ., & Λορίλια, Ρ. Σ. (2013). Βασικές Αρχές της Τηλεπισκόπησης. ΑΤΕΙ ΙΟΝΙΩΝ ΝΗΣΩΝ- ΤΜΗΜΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ & ΟΙΚΟΛΟΓΙΑΣ.
25. Ρούτση Κ. (2001), Ο χάρτης του... ζεστού και του κρύου στην Ελλάδα, Άρθρο Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ, 11 Ιουλίου 2001
26. Τζωρτζάκης, Ι. (2014). Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση. Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωγραφίας.
27. Τζώρτζη Τ. Η Συμβολή του Πρασίνου στη Βελτίωση του Μικροκλίματος
28. Υδράργυρο, Άρθρο Εφημερίδα ΤΑ ΝΕΑ , 22 Ιουνίου 1998
29. Χάρου, Ε. Αθ., (2001): Ανάπτυξη και Εφαρμογή προηγμένων μεθόδων Πληροφορικής, για την αναγνώριση γραμμικών σχηματισμών και την ταξινόμηση τύπων εδαφοκάλυψης από δορυφορικές εικόνες. Διδακτορική Διατριβή, Πανεπιστήμιο Αθηνών, Τμήμα Γεωλογίας.
30. Χατζίδης Κ. (1998), Κέντρο και Δυτική Αττική ανεβάζουν τον
31. Χρυσουλάκης, Ν. (2011). Σημειώσεις Μαθήματος “Αρχές και Εφαρμογές Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης.” Πανεπιστήμιο Κρήτης.