



Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού
Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο
Περιβαλλοντικός Σχεδιασμός

Διπλωματική Εργασία

Πράσινοι και Μπλε Διάδρομοι και Αστική Ανθεκτικότητα, η
περίπτωση της Αθήνας

Χατζηβασιλείου Στυλιανός

Επιβλέπουσα καθηγήτρια: Ναταλία Λιώρα

Πάτρα, Ιούλιος 2026

Η παρούσα εργασία αποτελεί πνευματική ιδιοκτησία του/της φοιτητή/φοιτήτριας («συγγραφέας/δημιουργός») που την εκπόνησε. Στο πλαίσιο της πολιτικής ανοικτής πρόσβασης ο συγγραφέας/δημιουργός εκχωρεί στο ΕΑΠ, μη αποκλειστική άδεια χρήσης του δικαιώματος αναπαραγωγής, προσαρμογής, δημόσιου δανεισμού, παρουσίασης στο κοινό και ψηφιακής διάχυσής τους διεθνώς, σε ηλεκτρονική μορφή και σε οποιοδήποτε μέσο, για διδακτικούς και ερευνητικούς σκοπούς, άνευ ανταλλάγματος και για όλο το χρόνο διάρκειας των δικαιωμάτων πνευματικής ιδιοκτησίας. Η ανοικτή πρόσβαση στο πλήρες κείμενο για μελέτη και ανάγνωση δεν σημαίνει καθ' οιονδήποτε τρόπο παραχώρηση δικαιωμάτων διανοητικής ιδιοκτησίας του συγγραφέα/δημιουργού ούτε επιτρέπει την αναπαραγωγή, αναδημοσίευση, αντιγραφή, αποθήκευση, πώληση, εμπορική χρήση, μετάδοση, διανομή, έκδοση, εκτέλεση, «μεταφόρτωση» (downloading), «ανάρτηση» (uploading), μετάφραση, τροποποίηση με οποιονδήποτε τρόπο, τμηματικά ή περιληπτικά της εργασίας, χωρίς τη ρητή προηγούμενη έγγραφη συναίνεση του συγγραφέα/δημιουργού. Ο συγγραφέας/δημιουργός διατηρεί το σύνολο των ηθικών και περιουσιακών του δικαιωμάτων.

Πράσινοι και Μπλε Διάδρομοι και Αστική Ανθεκτικότητα, η
περίπτωση της Αθήνας

Στυλιανός Χατζηβασιλείου

Επιτροπή Επίβλεψης Πτυχιακής / Διπλωματικής Εργασίας

Επιβλέπουσα Καθηγήτρια:

Ναταλία Λιώρα

Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και
Βιώσιμου Σχεδιασμού

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Συν-Επιβλέπων Καθηγητής

Ναλμπάντης Δημήτριος

Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και
Βιώσιμου Σχεδιασμού

Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο

Πάτρα, Ιούλιος 2026

«Στη σύντροφό μου Μαίρη»

Περίληψη

Η κλιματική αλλαγή και η έντονη αστικοποίηση έχουν επιδεινώσει περιβαλλοντικά ζητήματα όπως το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, την εκτεταμένη σφράγιση του εδάφους και την υποβάθμιση των φυσικών οικοσυστημάτων. Χρησιμοποιώντας ως παράδειγμα την πόλη της Αθήνας, η εργασία αυτή διερευνά πώς οι Πράσινες-Μπλε Υποδομές θα μπορούσαν να βελτιώσουν το μικροκλίμα και να αυξήσουν την ανθεκτικότητα των πόλεων.

Τέσσερις περιβαλλοντικοί δείκτες - ο Δείκτης Βλάστησης (NDVI), η Πυκνότητα από Δενδρώδεις περιοχές (TCD), η Πυκνότητα Αδιαπερατότητας (IMD) και η Θερμοκρασία Επιφάνειας Γης (LST) - υποβλήθηκαν σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας λογισμικό GIS και χωρική ανάλυση. Οι τομείς προτεραιότητας για δράση προσδιορίστηκαν με την ομαλοποίηση και τον συνδυασμό των μεταβλητών χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού (WLC) για τη δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας.

Το ανοιχτό τμήμα του Ιλισού αναγνωρίστηκε από τα αποτελέσματα ως μέρος με σημαντικό δυναμικό για περιβαλλοντική βελτίωση. Με βάση τα συμπεράσματα της ανάλυσης, δημιουργήθηκε ένα σχέδιο παρέμβασης που ενσωματώνει τις έννοιες των Πράσινων-Μπλε Υποδομών και των Λύσεων που Βασίζονται στη Φύση, βελτιώνοντας τον δημόσιο χώρο, αναπτύσσοντας υποδομές ήπιας κινητικότητας, βελτιώνοντας τη βλάστηση και διαχειριζόμενοι τα όμβρια ύδατα με βιώσιμο τρόπο. Η μελέτη δείχνει πώς οι προσεγγίσεις πολλαπλών κριτηρίων και τα χωρικά δεδομένα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό για την ενίσχυση του περιβαλλοντικού σχεδιασμού και τη δημιουργία πιο ανθεκτικών, βιώσιμων και χρήσιμων αστικών χώρων.

Λέξεις – Κλειδιά

Αστική Ανθεκτικότητα, BGI, NBS, WLC, Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας, Αθήνα, Ιλισός Ποταμός, Περιβαλλοντική Αναβάθμιση.

Πράσινοι και Μπλε Διάδρομοι και Αστική Ανθεκτικότητα, η
περίπτωση της Αθήνας
(Blue – Green Infrastructure and Urban Resilience, Athens case
study)
«Χατζηβασιλείου Στυλιανός»
(Chatzivasileiou Stylianos)

Abstract

The Urban Heat Island (UHI) effect, sealed surfaces, and the deterioration of urban ecosystems are only a few of the environmental issues that modern cities face as a result of climate change and fast urbanization. These difficulties underscore the necessity of sustainable planning strategies that boost environmental quality and urban resilience.

Geographic Information Systems (GIS) and Spatial Multi-Criteria Decision Analysis (SMCDA) constitute the foundation of the study's technique. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Tree Canopy Density (TCD), Imperviousness Density (IMD), and Land Surface Temperature (LST) were the four environmental indicators chosen to describe the urban environment. The indicators were integrated using the Weighted Linear Combination (WLC) method to create a composite Environmental Vulnerability Index (EVI), which allowed for the spatial identification of areas in need of priority intervention after the necessary preprocessing, normalization, and inversion.

The open portion of the Ilisos River corridor was found to be a suitable place for environmental restoration. To improve local microclimatic conditions and strengthen ecological connectedness, the plan calls for urban greening, sustainable stormwater management, permeable surfaces, active mobility infrastructure, and public space development.

The study shows that a useful framework for identifying environmentally vulnerable urban regions and directing climate-responsive planning strategies may be created by combining open geospatial data with GIS-based multi-criteria analysis. Future urban renewal initiatives

and the creation of more resilient, sustainable, and livable cities can both benefit from the suggested technique.

Keywords

Green–Blue Infrastructure (GBI), Nature-Based Solutions (NBS), Urban Resilience, Geographic Information Systems (GIS), Spatial Multi-Criteria Decision Analysis (SMCDA), Environmental Vulnerability Index (EVI), Urban Heat Island (UHI), Athens, Ilisos River.

Περιεχόμενα

Περίληψη.....	v
Abstract.....	vi
Περιεχόμενα.....	viii
Κατάλογος Εικόνων.....	x
Κατάλογος Πινάκων.....	xiv
Συνοτομογραφίες & Ακρωνύμια.....	xv
Σημαντικά σημεία της εργασίας (highlights).....	xvi
Συμβολή της Εργασίας.....	xvii
Poster Δημοσίευσης.....	xviii
Άρθρο Δημοσίευσης.....	xix
1. Εισαγωγή.....	28
1.1 Ερευνητικά Ερωτήματα.....	29
1.2 Βιώσιμη Αστική Ανάπτυξη και Σύγχρονες Περιβαλλοντικές Προκλήσεις.....	30
1.3 Σκοπός και Προσδοκώμενα αποτελέσματα.....	32
2. Θεωρητικό Πλαίσιο και Βιβλιογραφική Ανασκόπηση.....	35
2.1 Αστική και Κλιματική Ανθεκτικότητα.....	35
2.1.1 Αστική Ανθεκτικότητα.....	35
2.1.2 Κλιματική Ανθεκτικότητα.....	36
2.2 Αστικό Μικροκλίμα και Αστική Θερμική Νησίδα.....	37
2.2.1 Υλικά και αδιαπέραστες επιφάνειες.....	37
2.2.2 Αστική μορφολογία.....	39
2.2.3 Αστική Θερμική Νησίδα.....	39
2.2.4 Ρόλος πρασίνου και ύδατος.....	42
2.3 Λύσεις Βασισμένες στη Φύση.....	42
2.4 Μπλε και Πράσινες Υποδομές - Διάδρομοι.....	44
2.5 Σημαντικοί Ορισμοί.....	46
2.5.1 Ευπάθεια.....	46
2.5.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).....	47
2.5.3 Data Driven Spatial Screening.....	48
2.5.4 Environmental Vulnerability Index.....	48
2.5.5 Multi-Criteria Spatial Analysis.....	49
2.5.6 Κανόνας 3 – 30 – 300.....	49
3. Μεθοδολογική Προσέγγιση.....	51
3.1 Ερευνητική Προσέγγιση και Μεθοδολογικό Πλαίσιο.....	51
3.2 Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS).....	52
3.3 Συλλογή και Επεξεργασία Γεωχωρικών Δεδομένων.....	54
3.4 Ορισμός Κριτηρίων Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης.....	55
3.5 Ποσοτικοποίηση και Χωρική Ανάλυση των Περιβαλλοντικών Δεικτών.....	55
3.6 Data-Driven Spatial Screening –Περιοχές Περιβαλλοντικής Ευπάθειας.....	57
3.7 Σύνθεση του Σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας.....	59
3.8 Επιλογή Περιοχής Παρέμβασης.....	59
4. Εφαρμογή στην πόλη της Αθήνας.....	60
4.1 Χωρικοί Δείκτες και Θεματικά Επίπεδα Ανάλυσης.....	61
4.1.1 NDVI – Δείκτης Βλάστησης.....	61
4.1.2 Imperviousness – Δείκτης Διαπερατότητας.....	63

4.1.3 LST – Θερμοκρασία Επιφάνειας Εδάφους	70
4.1.4 Tree Canopy Density (TCD) – Δείκτης δενδροκάλυψη	74
4.2 Ενοποίηση Χωρικών Δεικτών και Ανάπτυξη Πολυκριτηριακού Δείκτη	77
4.2.1 Κανονικοποίηση.....	77
4.2.2 Εναρμόνιση της κατεύθυνσης των δεικτών	77
4.2.3 Επιλογή Βάρους Επιμέρους Δεικτών	78
4.3 Αποτελέσματα	82
5. Πρόταση Παρέμβασης	85
5.1 Εντοπισμός Περιοχών Περιβαλλοντικής Ευπάθειας	86
5.2 Επιλογή περιοχής παρέμβασης	89
5.3 Διεθνής Καλές Πρακτικές	93
5.3.1 Κανάλι Cheonggyecheon στη Σεούλ, Νότια Κορέα	93
5.3.2 Ποταμός Rio Comprido στο Ρίο ντε Τζανέιρο, Βραζιλία	95
5.4 Σχεδιαστική πρόταση ανάπτυξης του ανοικτού τμήματος του Ιλισού με βάση τις αρχές των BGI.....	98
5.4.1 Ο Ιλισός ως τμήμα ενός συνολικού αστικού δικτύου Μπλε και Πράσινων Υποδομών	98
5.4.2 Διαχείριση υδάτων και περιβαλλοντική αναβάθμιση	100
5.4.3 Ανασχεδιασμός του δημόσιου χώρου και βιώσιμη κινητικότητα	102
5.4.4 Αναμενόμενα περιβαλλοντικά, οικολογικά και κοινωνικά οφέλη της παρέμβασης	103
5.4.5 Συνολική αξιολόγηση της προτεινόμενης παρέμβασης	106
6. Συμπεράσματα και προοπτικές περαιτέρω έρευνας.....	107
6.1 Συμπεράσματα της έρευνας	107
6.2 Συμβολή της εργασίας.....	107
6.3 Αναπάντητα Ερωτήματα	108
6.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα	109
6.4 Τελικές παρατηρήσεις	109
Βιβλιογραφία.....	111
Παράρτημα Α: Χάρτες Επιμέρους Δεικτών και Σύνθετου Δείκτη	117
Παράρτημα Β: Ιστογράμματα Δεικτών.....	121

Κατάλογος Εικόνων

Εικόνα 1 Χωρική κατανομή των τεσσάρων περιβαλλοντικών δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας: (a) NDVI, (b) Imperviousness Density (IMD), (c) Land Surface Temperature (LST) και (d) Tree Canopy Density (TCD).....	23
Εικόνα 2 Σύνθετος Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας	25
Εικόνα 3 Τύπου επιφανειών γης. Με τον μωβ χρωματισμό φαίνονται οι αδιαπέραστες επιφάνειες (Z. Wang et al., 2025)	38
Εικόνα 4 Οπτικοποίηση υψηλών θερμοκρασιών επιφάνειας γης (LST) (Z. Wang et al., 2025)	38
Εικόνα 5 Απεικόνιση προφίλ του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας.....	40
Εικόνα 6 Κατηγορίες Συμβιβασμών που απαιτούν οι NbS (Guimarães et al., 2018).....	42
Εικόνα 7 Με την παροχή, τη ρύθμιση και την αναβάθμιση των πόλεων, κάθε τύπος τοπίου στον αστικό πίνακα - από πυκνοκατοικημένες περιοχές έως εκτεταμένα αστικά πάρκα - μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της αστικής βιοποικιλότητας. Αυτά τα στοιχεία πρέπει να ελέγχονται κατάλληλα και να συνδέονται χωρικά (Biella et al., 2025).....	45
Εικόνα 8 Αρχική οπτικοποίηση δορυφορικών δεδομένων δείκτη ποσοστού πρασίνου στην πόλη της Αθήνας	57
Εικόνα 9 Χάρτης κατανομής του δείκτη βλάστησης (NDVI) στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας	62
Εικόνα 10 Χάρτης κάλυψης γης όπως εισάγεται στο QGIS από τα δεδομένα του Copernicus Urban Atlas	63
Εικόνα 11 Χάρτης κάλυψης γης όπως εισάγεται στο QGIS από τα δεδομένα του Copernicus Urban Atlas ανα κατηγορία χρήσης γης	65

Εικόνα 12 Απεικόνιση διαπερατών (πράσινος χρωματισμός) και αδιαπέραστων (πορτοκαλί χρωματισμός) επιφανειών ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων Urban Atlas	66
Εικόνα 13 Συνολική περιοχή για την οποία υπάρχουν δεδομένα μέσω του Urban Atlas ..	67
Εικόνα 14 Αρχική απεικόνιση του δείκτη IMD. Με κόκκινο χρωματισμό εμφανίζονται οι αδιαπέραστες επιφάνειες εντός του αστικού ιστού. Οι θαλάσσιοι όγκοι δεν αποτελούν τμήμα των εν λόγω δεδομένων και η αποτύπωση τους δεν λαμβάνεται υπόψη για τον συγκεκριμένο δείκτη.	69
Εικόνα 15 Χάρτης κατανομής της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST) και εντοπισμός ζωνών αστικής θερμικής νησίδας (UHI)	71
Εικόνα 16 Τα σημεία μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας εντοπίστηκαν από το θερμικό προφίλ και αποτυπώθηκαν στον χάρτη, προκειμένου να καταδειχθεί η χωρική αντιστοίχιση των θερμικών ακροτάτων με συγκεκριμένες χρήσεις γης.	73
Εικόνα 17 Δείκτης TCD - Με πράσινο χρωματισμό εμφανίζεται η κάλυψη επιφανειών από δασικές ή δενδρώδεις περιοχές στην περιοχή μελέτης	74
Εικόνα 18 Σύνθεση των επιμέρους δεικτών (NDVI, TCD, IMD, LST) στον χώρο με διαφορετικά blending modes και επίπεδα διαφάνειας (opacities), για οπτική διερεύνηση των χωρικών προτύπων και των μεταξύ τους σχέσεων.	82
Εικόνα 19 Τελικός σύνθετος δείκτης περιβαλλοντικής ευπάθειας (UEVI) που προκύπτει από τη μέθοδο Weighted Linear Combination. Οι υψηλές τιμές (θερμές αποχρώσεις) δηλώνουν μεγαλύτερη περιβαλλοντική ευπάθεια, ενώ οι χαμηλές (ψυχρές αποχρώσεις) υποδηλώνουν καλύτερη περιβαλλοντική κατάσταση.	84
Εικόνα 20 Περιοχές ενδιαφέροντος που προκύπτουν από την οπτικοποίηση του UEVI...	86
Εικόνα 21 Φυσικοί Μπλε και Πράσινοι διάδρομοι που διασχίζουν τον αστικό ιστό της πόλης της Αθήνας.....	90

Εικόνα 22 Επιλογή του ανοικτού τμήματος του Ιλισού ποταμού ως περιοχή παρέμβασης	91
Εικόνα 23 Κανάλι Cheonggyecheon στη Σεούλ, Νότια Κορέα, μετά την αποκατάστασή του	93
Εικόνα 24 Κανάλι Cheonggyecheon στη Σεούλ, Νότια Κορέα, μετά την αποκατάστασή του	94
Εικόνα 25 Απεικόνιση της παρέμβασης στον ποταμό Rio Comprido στο Ρίο ντε Τζανέιρο	96
Εικόνα 26 Εννοιολογική απεικόνιση του προτεινόμενου αστικού δικτύου BGI της Αθήνας. Τα σημεία με γαλάζιο χρωματισμό αποτυπώνουν τους κύριους πυρήνες πρασίνου ενώ η γραμμή με μαύρο χρωματισμό απεικονίζει τη διασύνδεση που στοχεύει να περιγράψει αυτή η εργασία. Ο άξονας του Ιλισού προτείνεται ως βασικός κορμός του δικτύου, συνδέοντας το εσωτερικό της πόλης με τον Σαρωνικό Κόλπο και λειτουργώντας ως πιλοτική εφαρμογή μιας ευρύτερης στρατηγικής ανάπτυξης πράσινων-μπλε υποδομών.	98
Εικόνα 27 Σχηματική απεικόνιση του Υδάτινου Κύκλου και του πώς μπορεί να αξιοποιηθεί σύμφωνα με την προτεινόμενη παρέμβαση.	101
Εικόνα 28 Ιστόγραμμα Δείκτη NDVI (κανονικοποιημένος και αντεσταμμένος).....	122
Εικόνα 29 Ιστόγραμμα Δείκτη LST (κανονικοποιημένος)	123
Εικόνα 30 Ιστόγραμμα Δείκτη IMD (κανονικοποιημένος)	124
Εικόνα 31 Ιστόγραμμα Δείκτη IMD (κανονικοποιημένος - λεπτομέρεια)	125
Εικόνα 32 Ιστόγραμμα Δείκτη TCD (κανονικοποιημένος - αντεστραμένος).....	126
Εικόνα 33 Ιστόγραμμα Δείκτη TCD (κανονικοποιημένος - αντεστραμένος - λεπτομέρεια)	127
Εικόνα 34 Ιστόγραμμα Σύνθετου Δείκτη EVI	128

Εικόνα 35 Ιστόγραμμα Σύνθετου Δείκτη EVI (λεπτομέρεια 1)	129
Εικόνα 36 Ιστόγραμμα Σύνθετου Δείκτη EVI (λεπτομέρεια 2)	130

Κατάλογος Πινάκων

Πίνακας 1 Επιμέρους Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας και τα χαρακτηριστικά τους	21
Πίνακας 2 Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας Ανάπτυξης του Σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας	22
Πίνακας 3 Κατηγορίες Χρήσεων Γης από το dataset του Urban Atlas	64
Πίνακας 4 Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων που μελετήθηκαν για την ανάπτυξη σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας UEVI	76
Πίνακας 5 Λεπτομέρειες επεξεργασίας Δεικτών που συμμετέχουν στην ανάπτυξη του σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας UEVI	81
Πίνακας 6 Πίνακας με πιθανές περιοχές παρέμβασης	88
Πίνακας 7 Στοιχεία Παρέμβασης και τα Κοινωνικά και Περιβαλλοντικά τους οφέλη	105

Συντομογραφίες & Ακρωνύμια

Συντομογραφία	Πλήρης όρος (English)	Απόδοση στα Ελληνικά
BGI	Blue–Green Infrastructure	Πράσινες-Μπλε Υποδομές
GBI	Green–Blue Infrastructure	Πράσινες-Μπλε Υποδομές
NBS	Nature-Based Solutions	Λύσεις Βασισμένες στη Φύση
GIS	Geographic Information Systems	Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών
SMCDA	Spatial Multi-Criteria Decision Analysis	Χωρική Πολυκριτηριακή Ανάλυση Αποφάσεων
WLC	Weighted Linear Combination	Σταθμισμένος Γραμμικός Συνδυασμός
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	Κανονικοποιημένος Δείκτης Διαφοράς Βλάστησης
TCD	Tree Canopy Density	Πυκνότητα Δενδροκάλυψης
IMD	Imperviousness Density	Δείκτης Πυκνότητας Αδιαπέραστων Επιφανειών
LST	Land Surface Temperature	Θερμοκρασία Επιφάνειας Εδάφους
UHI	Urban Heat Island	Αστική Θερμική Νησίδα
CLMS	Copernicus Land Monitoring Service	Υπηρεσία Παρακολούθησης Χερσαίου Περιβάλλοντος Copernicus
ESA	European Space Agency	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Διαστήματος
EEA	European Environment Agency	Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος
USGS	United States Geological Survey	Γεωλογική Υπηρεσία των Ηνωμένων Πολιτειών
NASA	National Aeronautics and Space Administration	Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος
QGIS	Quantum Geographic Information System	Λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών ανοικτού κώδικα

Σημαντικά σημεία της εργασίας (highlights)

1. A GIS-based methodology was developed to assess urban environmental vulnerability.
2. Four environmental indicators were integrated into a composite Urban Environmental Vulnerability Index.
3. Spatial analysis identified priority areas for urban regeneration in Athens.
4. The Ilissos River corridor was proposed as a strategic Blue-Green Infrastructure intervention.
5. The methodology supports evidence-based and climate-resilient urban planning.

Συμβολή της Εργασίας

Η παρούσα εργασία συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας για την αναγνώριση περιοχών αυξημένης περιβαλλοντικής ευπάθειας στον αστικό χώρο, αξιοποιώντας δεδομένα τηλεπισκόπησης και τεχνολογίες Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS). Μέσω της συνδυαστικής αξιολόγησης δεικτών βλάστησης (NDVI, Tree Canopy Density), στεγανοποίησης του εδάφους (Imperviousness Degree) και θερμοκρασίας επιφάνειας (Land Surface Temperature), αναπτύχθηκε ένας σύνθετος δείκτης περιβαλλοντικής ευπάθειας, ο οποίος επιτρέπει τη χωρική ιεράρχηση των περιοχών που εμφανίζουν αυξημένες ανάγκες περιβαλλοντικής αναβάθμισης.

Παράλληλα, η εργασία αποδεικνύει ότι η αξιοποίηση ανοιχτών ευρωπαϊκών γεωχωρικών δεδομένων μπορεί να αποτελέσει ένα αξιόπιστο και επαναλήψιμο εργαλείο υποστήριξης του αστικού σχεδιασμού, μειώνοντας την ανάγκη για πολύπλοκες και δαπανηρές προσομοιώσεις στα αρχικά στάδια λήψης αποφάσεων. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας στην Αθήνα ανέδειξε τον ανοιχτό άξονα του Ιλισού ως περιοχή με ιδιαίτερη στρατηγική σημασία, καθώς μπορεί να λειτουργήσει ως βασικός πράσινος-μπλε διάδρομος που συνδέει υφιστάμενους φυσικούς πυρήνες και ενισχύει τη λειτουργική συνοχή του αστικού οικοσυστήματος.

Τέλος, η εργασία προτείνει ένα πλαίσιο σχεδιασμού βασισμένο στις αρχές των Nature-based Solutions και της Blue-Green Infrastructure, το οποίο μπορεί να αποτελέσει σημείο αναφοράς για μελλοντικές παρεμβάσεις στην Αθήνα αλλά και σε άλλες μεσογειακές πόλεις που αντιμετωπίζουν αντίστοιχες προκλήσεις, όπως η αστική θερμική νησίδα, η έντονη στεγανοποίηση του εδάφους και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Η μεθοδολογία είναι επεκτάσιμη και μπορεί να προσαρμοστεί με την ενσωμάτωση πρόσθετων περιβαλλοντικών, κοινωνικών και πολεοδομικών κριτηρίων, συμβάλλοντας στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων για περισσότερο ανθεκτικές και βιώσιμες πόλεις.

Poster Δημοσίευσης

Ανάπτυξη σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την υποστήριξη του σχεδιασμού Πράσινων-Μπλε Υποδομών: Εφαρμογή στην Αθήνα

Χατζηβασιλείου Στυλιανός, Ναταλία Λιώρα

Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο,
Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα
email: stelioschatzivasileiou@gmail.com, natalia.liora@ac.eap.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

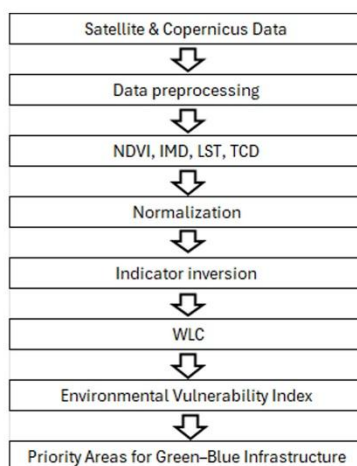
Η παρούσα εργασία αναπτύσσει μία μεθοδολογία εκτίμησης της περιβαλλοντικής ευπάθειας του αστικού χώρου μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) και χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης. Με τη χρήση τεσσάρων περιβαλλοντικών δεικτών (NDVI, Tree Canopy Density, Imperviousness Density και Land Surface Temperature) δημιουργήθηκε ένας σύνθετος Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας, ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας εφαρμογής Πράσινων-Μπλε Υποδομών στην Αθήνα. Η μεθοδολογία εφαρμόστηκε στο ανοικτό τμήμα του Ιλισού, όπου διατυπώθηκε πρόταση αστικής ανάπλασης βασισμένη στις αρχές των Nature-Based Solutions, αναδεικνύοντας τη δυνατότητα αξιοποίησης ανοικτών γεωχωρικών δεδομένων για την υποστήριξη του βιώσιμου αστικού σχεδιασμού.

ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΕΥΝΑΣ

Σκοπός της έρευνας είναι η ανάπτυξη ενός σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), με στόχο τον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας για την εφαρμογή Πράσινων-Μπλε Υποδομών στην Αθήνα και την υποστήριξη του βιώσιμου αστικού σχεδιασμού και της ενίσχυσης της αστικής ανθεκτικότητας.

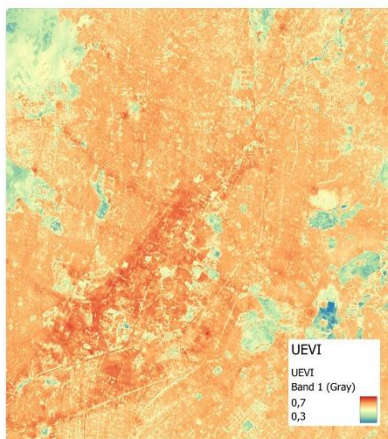
ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία βασίστηκε στη συλλογή και επεξεργασία ανοικτών γεωχωρικών δεδομένων από τις πλατφόρμες USGS και Copernicus Land Monitoring Service. Υπολογίστηκαν τέσσερις περιβαλλοντικοί δείκτες (NDVI, Tree Canopy Density, Imperviousness Density και Land Surface Temperature), οι οποίοι κανονικοποιήθηκαν σε κοινή



Σχήμα 1. Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας Ανάπτυξης του Σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας

κλίμακα και συνδυάστηκαν μέσω της μεθόδου **Weighted Linear Combination (WLC)** για την ανάπτυξη ενός σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας. Η χωρική ανάλυση πραγματοποιήθηκε στο **QGIS**, ενώ τα αποτελέσματα αξιοποιήθηκαν για την ιεράρχηση περιοχών προτεραιότητας και την επιλογή του ανοικτού τμήματος του Ιλισού ως περιοχής εφαρμογής πρότασης Πράσινων Μπλε Υποδομών.



Εικόνα 1. Απεικόνιση Σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας.

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Η εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας οδήγησε στην ανάπτυξη ενός σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας, ο οποίος αποτυπώνει τη χωρική κατανομή της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης στην Αθήνα. Τα αποτελέσματα ανέδειξαν σαφή συσχέτιση μεταξύ υψηλής θερμοκρασίας επιφάνειας, αυξημένης στεγανοποίησης και περιορισμένης βλάστησης στις πλέον επιβαρυνμένες περιοχές. Ο δείκτης επέτρεψε την ιεράρχηση περιοχών προτεραιότητας για την εφαρμογή Πράσινων-Μπλε Υποδομών, ενώ η ανάλυση οδήγησε στην επιλογή του ανοικτού τμήματος του Ιλισού ως κατάλληλης περιοχής για την ανάπτυξη πρότασης αστικής ανάπλασης βασισμένης στις αρχές των Nature-Based Solutions. Πράσινων-Μπλε Υποδομών στην Αθήνα και την υποστήριξη του βιώσιμου αστικού σχεδιασμού και της ενίσχυσης της αστικής ανθεκτικότητας.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Αναπτύχθηκε ένας σύνθετος Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας μέσω GIS και χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης, αξιοποιώντας αποκλειστικά ανοικτά γεωχωρικά δεδομένα. Η συνδυαστική αξιολόγηση των δεικτών αποδείχθηκε πιο αποτελεσματική από την εξέταση κάθε δείκτη ξεχωριστά. Ο σύνθετος δείκτης μπορεί να λειτουργήσει ως εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για τον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας και τον σχεδιασμό Πράσινων-Μπλε Υποδομών. Η εφαρμογή στην Αθήνα ανέδειξε το ανοικτό τμήμα του Ιλισού ως περιοχή με σημαντικές δυνατότητες περιβαλλοντικής αναβάθμισης

Ανάπτυξη σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την υποστήριξη του σχεδιασμού Πράσινων-Μπλε Υποδομών: Εφαρμογή στην Αθήνα

Χατζηβασιλείου Στυλιανός¹, Ναταλία Λιώρα¹

¹Σχολή Εφαρμοσμένων Τεχνών και Βιώσιμου Σχεδιασμού, Ελληνικό Ανοικτό Πανεπιστήμιο,
Πάροδος Αριστοτέλους 18, 26335 Πάτρα
email: stelioschatzivasileiou@gmail.com, natalia.liora@ac.eap.gr

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η κλιματική αλλαγή και η εντατική αστικοποίηση ενισχύουν την ανάγκη ανάπτυξης εργαλείων που υποστηρίζουν τον βιώσιμο αστικό σχεδιασμό και την ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας. Η παρούσα εργασία προτείνει μία μεθοδολογία εκτίμησης της περιβαλλοντικής ευπάθειας μέσω Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), αξιοποιώντας ανοικτά γεωχωρικά δεδομένα και τεχνικές χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης. Η μεθοδολογία βασίζεται στη σύνθεση τεσσάρων περιβαλλοντικών δεικτών: του δείκτη βλάστησης (NDVI), της πυκνότητας δενδροκάλυψης (Tree Canopy Density – TCD), της πυκνότητας αδιαπέραστων επιφανειών (Imperviousness Density – IMD) και της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (Land Surface Temperature – LST). Μετά την κανονικοποίηση των δεδομένων και την εφαρμογή της μεθόδου Weighted Linear Combination (WLC), αναπτύχθηκε ένας σύνθετος Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας, ο οποίος αποτυπώνει τη χωρική κατανομή των περιοχών με αυξημένη περιβαλλοντική επιβάρυνση στον αστικό ιστό της Αθήνας. Η μεθοδολογία αξιοποιήθηκε για την ιεράρχηση περιοχών προτεραιότητας και εφαρμόστηκε στο ανοικτό τμήμα του Ιλισού, όπου διατυπώθηκε πρόταση ανάπτυξης βασισμένη στις αρχές των Πράσινων-Μπλε Υποδομών και των Λύσεων Βασισμένων στη Φύση. Η προτεινόμενη προσέγγιση αποτελεί ένα επαναλήψιμο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων για τον σχεδιασμό βιώσιμων παρεμβάσεων σε αστικές περιοχές.

Λέξεις κλειδιά: Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS), Πράσινες-Μπλε Υποδομές (Green–Blue Infrastructure), Χωρική Πολυκριτηριακή Ανάλυση, Περιβαλλοντική Ευπάθεια, Αστική Ανθεκτικότητα.

ABSTRACT

Climate change and rapid urbanization increase the need for effective tools that support sustainable urban planning and climate resilience. This study presents a GIS-based methodology for assessing environmental vulnerability using open geospatial datasets and

Spatial Multi-Criteria Decision Analysis (SMCDA). Four environmental indicators—Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Tree Canopy Density (TCD), Imperviousness Density (IMD), and Land Surface Temperature (LST)—were integrated through the Weighted Linear Combination (WLC) method to develop a composite Environmental Vulnerability Index (EVI). The methodology was applied to the urban area of Athens, identifying priority areas for Green–Blue Infrastructure interventions. As a case study, the open section of the Ilisos River was selected for the development of a conceptual regeneration proposal based on Nature-Based Solutions (NBS). The proposed methodology provides a practical and transferable decision-support framework that can assist urban planners in identifying environmentally vulnerable areas and prioritizing sustainable interventions.

Keywords: Geographic Information Systems (GIS), Green–Blue Infrastructure (GBI), Environmental Vulnerability, Spatial Multi-Criteria Decision Analysis, Urban Resilience.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η επιτάχυνση της κλιματικής αλλαγής, σε συνδυασμό με την όλο και αυξανόμενη αστικοποίηση, έχει επιφέρει σημαντικές μεταβολές στο περιβάλλον των σύγχρονων πόλεων, εντείνοντας φαινόμενα όπως η αστική θερμική νησίδα (Urban Heat Island – UHI), η υποβάθμιση της ποιότητας του αέρα, η αύξηση των αδιαπέραστων επιφανειών και η μείωση των φυσικών οικοσυστημάτων (Ritchie et al., 2024). Οι επιπτώσεις αυτές είναι ιδιαίτερα έντονες στις πόλεις της Μεσογείου, όπου οι υψηλές θερινές θερμοκρασίες, η περιορισμένη παρουσία αστικού πρασίνου και η υψηλή πυκνότητα δόμησης δημιουργούν συνθήκες αυξημένης περιβαλλοντικής ευπάθειας και μειωμένης θερμικής άνεσης για τους κατοίκους (Polo-Martín, 2025).

Τα τελευταία χρόνια, οι Πράσινες-Μπλε Υποδομές (Green–Blue Infrastructure – GBI) και οι Λύσεις Βασισμένες στη Φύση (Nature-Based Solutions – NBS) έχουν αναδειχθεί ως βασικές στρατηγικές για την αντιμετώπιση των προκλήσεων αυτών (Purpim De Oliveira et al., 2022). Η ενίσχυση της βλάστησης, η προστασία και αποκατάσταση των υδάτινων στοιχείων, η αύξηση των διαπερατών επιφανειών και η δημιουργία συνεχών οικολογικών διαδρόμων συμβάλλουν στη μείωση της θερμοκρασίας, στη

βελτίωση της διαχείρισης των όμβριων υδάτων, στην ενίσχυση της βιοποικιλότητας και στη συνολική αναβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος. Παράλληλα, οι παρεμβάσεις αυτές ενισχύουν την κοινωνική διάσταση του δημόσιου χώρου, βελτιώνοντας την ποιότητα ζωής και την ανθεκτικότητα των πόλεων απέναντι στις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής (Veerkamp et al., 2021).

Η αποτελεσματική εφαρμογή των πράσινων-μπλε υποδομών προϋποθέτει την αντικειμενική αξιολόγηση των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών του αστικού χώρου και τον εντοπισμό περιοχών που παρουσιάζουν αυξημένες ανάγκες παρέμβασης. Στο πλαίσιο αυτό, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Geographic Information Systems – GIS) αποτελούν ένα ιδιαίτερα ισχυρό εργαλείο χωρικής ανάλυσης, καθώς επιτρέπουν τη διαχείριση, επεξεργασία και σύνθεση μεγάλου όγκου γεωχωρικών δεδομένων. Η αξιοποίηση δορυφορικών εικόνων και ανοικτών περιβαλλοντικών δεδομένων, σε συνδυασμό με τεχνικές χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης (Spatial Multi-Criteria Decision Analysis – SMCDA), καθιστά δυνατή την ανάπτυξη σύνθετων δεικτών που υποστηρίζουν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων στον περιβαλλοντικό και πολεοδομικό σχεδιασμό (Massarelli & Binetti, 2025a).

Παρότι στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί πολυάριθμες μελέτες που εξετάζουν μεμονωμένους δείκτες, όπως ο δείκτης βλάστησης (NDVI), η θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (LST) ή ο βαθμός στεγανοποίησης του εδάφους (Imperviousness), παρατηρείται περιορισμένη αξιοποίηση σύνθετων δεικτών που συνδυάζουν πολλαπλές παραμέτρους για την εκτίμηση της συνολικής περιβαλλοντικής ευπάθειας του αστικού χώρου. Η ανάγκη αυτή είναι ακόμη πιο έντονη στην ελληνική πραγματικότητα, όπου η αξιοποίηση εργαλείων χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης στον σχεδιασμό πράσινων-μπλε υποδομών παραμένει σχετικά περιορισμένη (Eminoğlu & Çelik, 2026a). Το παρόν άρθρο αποσκοπεί στην ανάπτυξη ενός σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας με τη χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, αξιοποιώντας τέσσερις βασικούς περιβαλλοντικούς δείκτες: τον δείκτη βλάστησης (NDVI), την πυκνότητα δενδροκάλυψης (Tree Canopy Density – TCD), την πυκνότητα αδιαπέραστων επιφανειών (Imperviousness Density – IMD) και τη θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (Land Surface Temperature – LST). Οι δείκτες κανονικοποιούνται και συνδυάζονται μέσω της μεθόδου Weighted Linear Combination (WLC), οδηγώντας στην ανάπτυξη ενός ενιαίου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας (Environmental Vulnerability Index – EVI), ο οποίος χρησιμοποιείται για την ιεράρχηση περιοχών προτεραιότητας στην Αθήνα (Abdelkarim et al., 2024a).

Ως εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας επιλέγεται το ανοικτό τμήμα του Ιλισού ποταμού, το οποίο παρουσιάζει σημαντικές δυνατότητες ανάδειξης σε γραμμική πράσινη-μπλε υποδομή. Η περιοχή αξιοποιείται ως μελέτη περίπτωσης (case study), μέσω της οποίας διερευνάται η δυνατότητα μετατροπής των αποτελεσμάτων της χωρικής ανάλυσης σε τεκμηριωμένες προτάσεις αστικού σχεδιασμού. Με τον τρόπο αυτό, η εργασία επιχειρεί να συνδέσει την ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων με τον σχεδιασμό παρεμβάσεων που ενισχύουν την περιβαλλοντική και λειτουργική ανθεκτικότητα της πόλης.

2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

2.1 Περιοχή Μελέτης

Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε ο αστικός ιστός του Δήμου Αθηναίων και των όμορων περιοχών του μητροπολιτικού συγκροτήματος, ο οποίος χαρακτηρίζεται από υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, έντονη στεγανοποίηση του εδάφους και περιορισμένη παρουσία φυσικών οικοσυστημάτων. Η Αθήνα αποτελεί μία από τις ευρωπαϊκές πόλεις που εμφανίζουν αυξημένη ένταση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, γεγονός που αποδίδεται στον συνδυασμό της πυκνής δόμησης, των εκτεταμένων αδιαπέραστων επιφανειών, της περιορισμένης δενδροκάλυψης και των ιδιαίτερων κλιματικών χαρακτηριστικών της Μεσογείου.

Πίνακας 1 Επιμέρους Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας και τα χαρακτηριστικά τους

Δείκτης	Δεδομένα	Πηγή	Ανάλυση
NDVI	Landsat 9 Bands 4 & 5	USGS	30 m
LST	Landsat 9 Thermal Band 10	USGS	30 m
TCD	Tree Canopy Density 2024	Copernicus CLMS	10 m
IMD	Imperviousness Density 2024	Copernicus CLMS	10 m
Χρήσεις γης	Urban Atlas 2021	Copernicus	Vector

Η επιλογή της περιοχής κρίθηκε κατάλληλη, καθώς συγκεντρώνει έντονες περιβαλλοντικές αντιθέσεις, με σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τη βλάστηση, τη θερμοκρασία επιφάνειας, τη στεγανοποίηση του εδάφους και την παρουσία υδάτινων στοιχείων. Τα χαρακτηριστικά αυτά επιτρέπουν την εφαρμογή και αξιολόγηση μιας πολυκριτηριακής μεθοδολογίας χωρικής ανάλυσης, με στόχο τον εντοπισμό περιοχών που παρουσιάζουν αυξημένη περιβαλλοντική ευπάθεια και, κατά συνέπεια, μεγαλύτερη ανάγκη εφαρμογής πράσινων-μπλε υποδομών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία εφαρμόστηκε σε ολόκληρη την εξεταζόμενη περιοχή, ενώ στη συνέχεια τα αποτελέσματα αξιοποιήθηκαν για την επιλογή περιοχής μελέτης περίπτωσης, όπου αναπτύχθηκε πρόταση αστικής ανάπλασης βασισμένη στις αρχές των Green–Blue Infrastructure και των Nature-Based Solutions.

2.2 Δεδομένα και Προεπεξεργασία

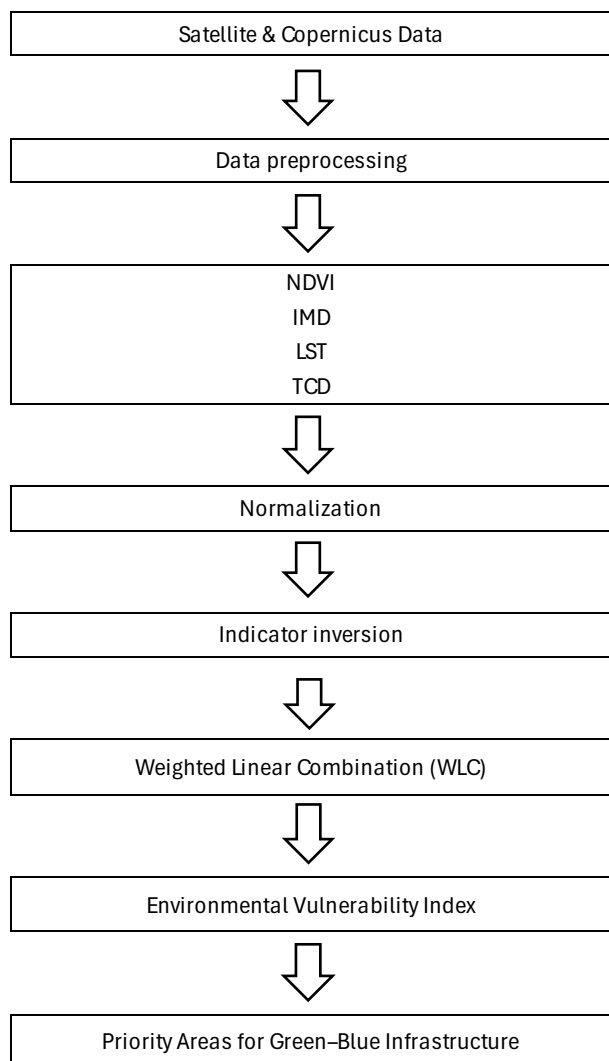
Η ανάπτυξη του σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας βασίστηκε αποκλειστικά σε ανοικτά γεωχωρικά δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης, τα οποία προέρχονται από ευρωπαϊκές και διεθνείς βάσεις δεδομένων. Η επιλογή των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με γνώμονα τη διαθεσιμότητα, τη χωρική ανάλυση, τη δυνατότητα επαναληψιμότητας της μεθοδολογίας και την αντιπροσωπευτικότητα των περιβαλλοντικών παραμέτρων που επηρεάζουν το μικροκλίμα του αστικού χώρου. Για την εκτίμηση της βλάστησης χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες **Landsat 9**, από τις οποίες υπολογίστηκε ο δείκτης **Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)** καθώς και η **Land Surface Temperature (LST)**. Για την αποτύπωση της πυκνότητας της δενδροκάλυψης αξιοποιήθηκε το θεματικό επίπεδο **Tree Canopy Density (TCD)** της υπηρεσίας **Copernicus Land Monitoring Service (CLMS)**, ενώ η στεγανοποίηση του εδάφους εκτιμήθηκε μέσω του θεματικού επιπέδου **Imperviousness Density (IMD)** της ίδιας υπηρεσίας. Επιπλέον, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα του **Urban Atlas** για την υποστήριξη

της ερμηνείας των αποτελεσμάτων και τη συσχέτισή τους με τις χρήσεις γης.

Η επεξεργασία όλων των δεδομένων πραγματοποιήθηκε στο λογισμικό **QGIS** (Bratislava 3.40.15). Αρχικά, τα δεδομένα μετασχηματίστηκαν σε κοινό σύστημα αναφοράς και περιορίστηκαν στην περιοχή μελέτης. Στη συνέχεια εφαρμόστηκαν οι απαραίτητες διαδικασίες υπολογισμού ή επεξεργασίας για κάθε επιμέρους δείκτη, ενώ όλα τα τελικά επίπεδα δεδομένων μετατράπηκαν σε κοινή χωρική ανάλυση και μορφή *raster*, ώστε να εξασφαλιστεί η συμβατότητά τους κατά την πολυκριτηριακή ανάλυση.

2.3 Ανάπτυξη σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας

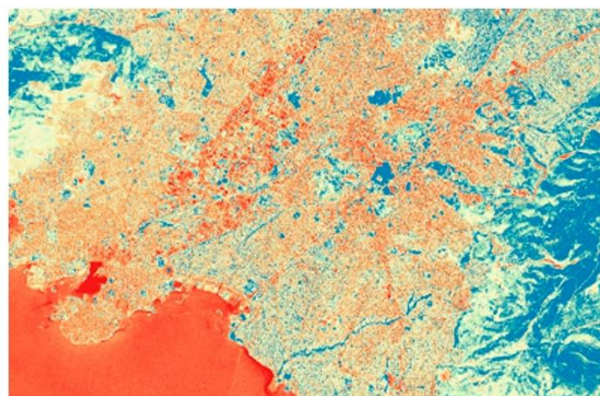
Πίνακας 2 Διάγραμμα Ροής Μεθοδολογίας Ανάπτυξης του Σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Εμπάθειας



Η μεθοδολογία βασίστηκε στην ανάπτυξη ενός σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας (Environmental Vulnerability Index – EVI), ο οποίος αποτυπώνει τη χωρική κατανομή της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης στον αστικό χώρο. Η ανάπτυξη του δείκτη ακολούθησε τη λογική της Χωρικής Πολυκριτηριακής Ανάλυσης (Spatial Multi-Criteria Decision Analysis – SMCDA), συνδυάζοντας τέσσερις περιβαλλοντικούς δείκτες που εκφράζουν διαφορετικές διαστάσεις της λειτουργίας του αστικού οικοσυστήματος: τη βλάστηση (NDVI), την πυκνότητα δενδροκάλυψης (TCD), τη θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους (LST) και την πυκνότητα αδιαπέραστων επιφανειών (IMD). Αρχικά, κάθε δείκτης υποβλήθηκε στις απαραίτητες διαδικασίες προεπεξεργασίας, ώστε όλα τα δεδομένα να αποκτήσουν κοινή χωρική αναφορά, ανάλυση και μορφή raster. Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε κανονικοποίηση των τιμών τους στην κλίμακα 0–1 με εφαρμογή της μεθόδου Min–Max

normalization, επιτρέποντας τη συγκρισιμότητα μεταξύ δεδομένων διαφορετικών μονάδων μέτρησης και εύρους τιμών.

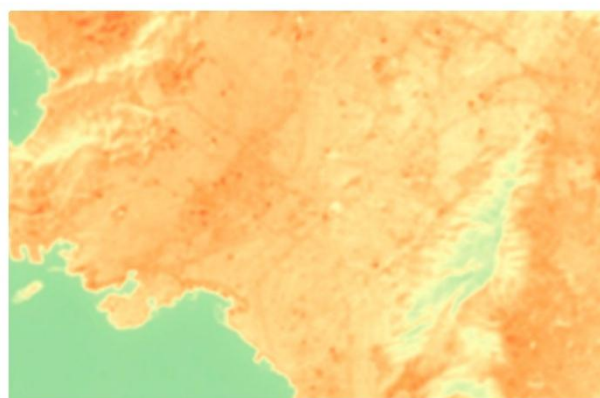
Καθώς οι επιμέρους δείκτες δεν εκφράζουν με τον ίδιο τρόπο την περιβαλλοντική ποιότητα, εφαρμόστηκε αντιστροφή των κανονικοποιημένων τιμών στους δείκτες NDVI και TCD. Με τον τρόπο αυτό, σε όλους τους δείκτες η υψηλή τιμή αντιστοιχεί σε μεγαλύτερη περιβαλλοντική ευπάθεια, εξασφαλίζοντας κοινή ερμηνεία κατά τη διαδικασία σύνθεσής τους. Συγκεκριμένα, υψηλές τιμές των δεικτών IMD και LST υποδηλώνουν αυξημένη περιβαλλοντική επιβάρυνση λόγω εκτεταμένης στεγανοποίησης και υψηλών θερμοκρασιών επιφάνειας, ενώ οι υψηλές τιμές των NDVI και TCD συνδέονται με αυξημένη παρουσία βλάστησης και δενδροκάλυψης και, συνεπώς, χαμηλότερη περιβαλλοντική ευπάθεια. Για τον λόγο αυτό, οι δύο τελευταίοι δείκτες αντιστράφηκαν πριν από τη σύνθεσή τους.



(a)



(b)



(c)



(d)

Εικόνα 1 Χωρική κατανομή των τεσσάρων περιβαλλοντικών δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάπτυξη του σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας: (a) NDVI, (b) Imperviousness Density (IMD), (c) Land Surface Temperature (LST) και (d) Tree Canopy Density (TCD).

Η τελική σύνθεση πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο του Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού (Weighted Linear Combination – WLC), η οποία αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες τεχνικές πολυκριτηριακής χωρικής ανάλυσης. Η μέθοδος επιτρέπει τον συνδυασμό πολλαπλών κριτηρίων μέσω της απόδοσης συντελεστών βαρύτητας, οι οποίοι εκφράζουν τη σχετική συμβολή κάθε δείκτη στη διαμόρφωση της συνολικής περιβαλλοντικής ευπάθειας. Οι συντελεστές βαρύτητας επιλέχθηκαν βάσει της σχετικής διεθνούς βιβλιογραφίας και της σημασίας κάθε δείκτη στην αποτύπωση των συνθηκών του αστικού μικροκλίματος. Στους δείκτες Land Surface Temperature (LST) και Imperviousness Density (IMD) αποδόθηκε βάρος **0,35**, καθώς αποτελούν τους βασικούς παράγοντες που εκφράζουν την ένταση της αστικοποίησης και του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Αντίστοιχα, στον δείκτη NDVI αποδόθηκε βάρος **0,20**, λόγω της άμεσης συσχέτισής του με τη φυτοκάλυψη και τη θερμική συμπεριφορά του αστικού χώρου, ενώ στον δείκτη Tree Canopy Density (TCD) αποδόθηκε βάρος **0,10**, λειτουργώντας συμπληρωματικά ως εξειδικευμένος δείκτης της δενδροκάλυψης. Ο τελικός Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας υπολογίστηκε σύμφωνα με τη σχέση:

$$EVI = 0.35 \times LST + 0.35 \times IMD + 0.20 \times NDVI_{inv} + 0.10 \times TCD_{inv}$$

όπου $NDVI_{inv}$ και TCD_{inv} αντιστοιχούν στις αντιστραμμένες κανονικοποιημένες τιμές των αντίστοιχων δεικτών.

Το παραγόμενο raster αποτυπώνει τη σχετική περιβαλλοντική ευπάθεια κάθε θέσης της περιοχής μελέτης, επιτρέποντας τον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας για την εφαρμογή παρεμβάσεων Πράσινων-Μπλε Υποδομών και υποστηρίζοντας τη διαδικασία λήψης αποφάσεων στον αστικό σχεδιασμό.

3. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

3.1 Χωρική Κατανομή των επιμέρους Δεικτών

Η χωρική ανάλυση των τεσσάρων περιβαλλοντικών δεικτών ανέδειξε σημαντικές διαφοροποιήσεις ως προς τα χαρακτηριστικά του αστικού περιβάλλοντος της Αθήνας (Εικόνα 1). Οι δείκτες NDVI και Tree Canopy Density (TCD) κατέγραψαν υψηλές τιμές κυρίως στις ορεινές περιοχές που περιβάλλουν το λεκανοπέδιο, καθώς και σε μεγάλους αστικούς χώρους πρασίνου, όπως ο Εθνικός Κήπος και τα μητροπολιτικά πάρκα. Αντίθετα, ο πυκνοδομημένος αστικός ιστός του κέντρου και των δυτικών συνοικιών παρουσίασε περιορισμένη φυτοκάλυψη και μικρή πυκνότητα δενδροκάλυψης.

Οι δείκτες Land Surface Temperature (LST) και Imperviousness Density (IMD) παρουσίασαν αντίστροφη χωρική συμπεριφορά, με τις υψηλότερες τιμές να εντοπίζονται στις περιοχές έντονης αστικοποίησης και υψηλής στεγανοποίησης του εδάφους. Η σύγκριση των επιμέρους χαρτών καταδεικνύει σαφή συσχέτιση μεταξύ υψηλών θερμοκρασιών επιφάνειας, αυξημένης στεγανοποίησης και περιορισμένης παρουσίας βλάστησης, επιβεβαιώνοντας τη σημαντική επίδραση των χαρακτηριστικών κάλυψης γης στη διαμόρφωση του αστικού μικροκλίματος. Η συνδυασμένη απεικόνιση των δεικτών μέσω διαφορετικών επιπέδων διαφάνειας (blending modes) διευκολύνει την οπτική διερεύνηση των χωρικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ τους και αναδεικνύει περιοχές όπου παρατηρείται ταυτόχρονη συγκέντρωση δυσμενών περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών.

3.2 Ανάπτυξη Σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας

Η εφαρμογή της μεθόδου Weighted Linear Combination (WLC) οδήγησε στην ανάπτυξη ενός σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας, ο οποίος συνδυάζει τα τέσσερα επιμέρους κριτήρια σε ένα ενιαίο χωρικό επίπεδο πληροφορίας (Εικόνα 2). Ο δείκτης αποτυπώνει τη σχετική περιβαλλοντική κατάσταση κάθε περιοχής, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τα χαρακτηριστικά της βλάστησης όσο και την ένταση της αστικοποίησης και της

θερμικής επιβάρυνσης. Οι υψηλότερες τιμές του δείκτη εντοπίζονται στον πυκνοδομημένο αστικό ιστό, όπου συνυπάρχουν αυξημένη στεγανοποίηση, υψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας και περιορισμένη φυτοκάλυψη. Αντίθετα, οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται στις περιαστικές δασικές εκτάσεις, στους ορεινούς όγκους και στους μεγάλους οργανωμένους χώρους πρασίνου, οι οποίοι λειτουργούν ως πυρήνες περιβαλλοντικής προστασίας και συμβάλλουν στη βελτίωση του μικροκλίματος. Η χωρική συνέχεια των περιοχών υψηλής περιβαλλοντικής ευπάθειας αναδεικνύει τη σημασία της ανάπτυξης συνεκτικών πράσινων-μπλε δικτύων, τα οποία μπορούν να λειτουργήσουν ως διάδρομοι αερισμού, μεταφοράς ψυχρότερων αέριων μαζών και οικολογικής συνδεσιμότητας μέσα στον αστικό ιστό.

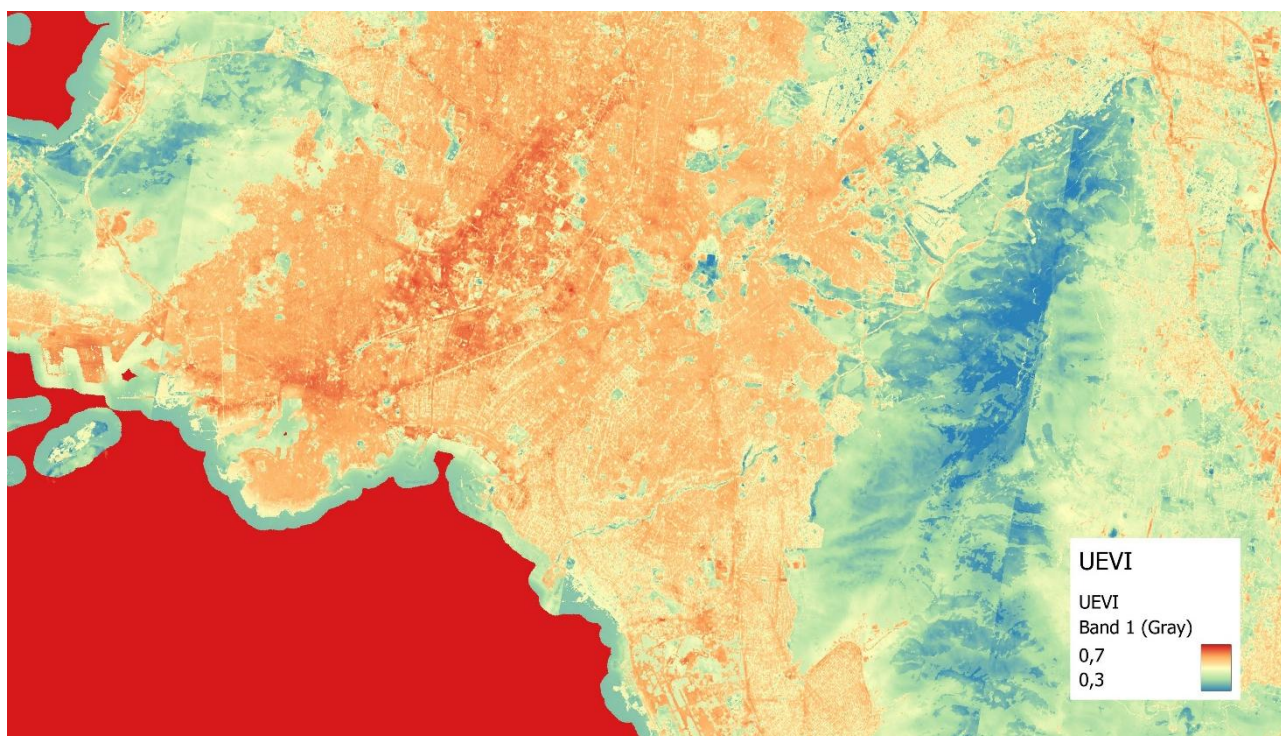
3.3 Περιοχή Παρέμβασης

Η ανάλυση του σύνθετου δείκτη ανέδειξε αρκετές περιοχές με αυξημένη περιβαλλοντική ευπάθεια, οι οποίες θα μπορούσαν να αποτελέσουν υποψήφιες ζώνες εφαρμογής πράσινων-μπλε υποδομών. Ωστόσο, η τελική επιλογή δεν βασίστηκε αποκλειστικά στις τιμές του δείκτη, αλλά και σε ποιοτικά χωρικά

κριτήρια, όπως η δυνατότητα δημιουργίας συνεχών διαδρόμων, η σύνδεση υφιστάμενων χώρων πρασίνου και η ύπαρξη διαθέσιμου δημόσιου χώρου για μελλοντικές παρεμβάσεις. Με βάση τα παραπάνω, **επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης το ανοικτό τμήμα του Ιλισού ποταμού στην περιοχή του Μοσχάτου**. Η συγκεκριμένη περιοχή συνδυάζει αυξημένη περιβαλλοντική επιβάρυνση με σημαντικές δυνατότητες χωρικής αναβάθμισης, καθώς αποτελεί έναν από τους ελάχιστους ανοικτούς υδάτινους άξονες που διατηρούνται στον αστικό ιστό της Αθήνας. Παράλληλα, η θέση της επιτρέπει τη λειτουργική σύνδεση του υδάτινου στοιχείου με υφιστάμενους και δυνητικούς χώρους πρασίνου, δημιουργώντας τις προϋποθέσεις ανάπτυξης ενός συνεχούς πράσινου-μπλε διαδρόμου που ενισχύει τόσο την περιβαλλοντική όσο και την κοινωνική λειτουργία της πόλης.

4. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία ανέπτυξε μία μεθοδολογία χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης για την εκτίμηση της περιβαλλοντικής ευπάθειας του αστικού χώρου, αξιοποιώντας ανοικτά γεωχωρικά δεδομένα και Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS). Μέσω της



Εικόνα 2 Σύνθετος Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας

συνδυαστικής αξιολόγησης τεσσάρων περιβαλλοντικών δεικτών (NDVI, TCD, IMD και LST) και της εφαρμογής της μεθόδου Weighted Linear Combination (WLC), δημιουργήθηκε ένας σύνθετος Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας, ο οποίος αποτυπώνει τη χωρική κατανομή των περιοχών που εμφανίζουν αυξημένη ανάγκη περιβαλλοντικής αναβάθμισης.

Τα αποτελέσματα επιβεβαίωσαν ότι η συνδυασμένη αξιολόγηση πολλαπλών περιβαλλοντικών παραμέτρων παρέχει σαφέστερη εικόνα των χωρικών προτύπων περιβαλλοντικής επιβάρυνσης σε σχέση με την εξέταση μεμονωμένων δεικτών. Η προτεινόμενη μεθοδολογία απέδειξε ότι μπορεί να λειτουργήσει ως αξιόπιστο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων, διευκολύνοντας τον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας για την εφαρμογή παρεμβάσεων Πράσινων-Μπλε Υποδομών και Λύσεων Βασισμένων στη Φύση. Η εφαρμογή της μεθοδολογίας στην Αθήνα ανέδειξε το ανοικτό τμήμα του Ιλισού ως χαρακτηριστική περιοχή με σημαντικές δυνατότητες περιβαλλοντικής και λειτουργικής αναβάθμισης, επιβεβαιώνοντας τη χρησιμότητα του αναπτυγμένου δείκτη στην υποστήριξη του αστικού σχεδιασμού. Παράλληλα, η αποκλειστική χρήση ανοικτών δεδομένων καθιστά τη μεθοδολογία εύκολα επαναλήψιμη και εφαρμόσιμη σε άλλες πόλεις, συμβάλλοντας στην ανάπτυξη τεκμηριωμένων στρατηγικών για την ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας απέναντι στις προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Abdelkarim, A., Abdelhafez, M. H. H., Elkhayat, K., Alshenaifi, M., Alfraid, S., Aldersoni, A., Albaqawy, G., Aldamaty, A., & Ragab, A. (2024a). Spatial Suitability Index for Sustainable Urban Development in Desert Hinterland Using a Geographical-Information-System-Based Multicriteria Decision-Making Approach. *Land*, 13(7), 986. <https://doi.org/10.3390/land13070986>
Abdelkarim, A., Abdelhafez, M. H. H., Elkhayat, K., Alshenaifi, M., Alfraid, S., Aldersoni, A.,

Albaqawy, G., Aldamaty, A., & Ragab, A. (2024b). Spatial Suitability Index for Sustainable Urban Development in Desert Hinterland Using a Geographical-Information-System-Based Multicriteria Decision-Making Approach. *Land*, 13(7), 986. <https://doi.org/10.3390/land13070986>

Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2014). Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. *Energy and Buildings*, 69, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.012>

Al-Mamary, Y. H., & Alshammari, A. F. (2025). A conceptual model and its implications: Identifying key factors influencing entrepreneurial activity and innovation capabilities for sustainable development and green innovation. *World Development Sustainability*, 7, 100259. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2025.100259>

Biasin, A., Toxopeus, H., Pettenella, D., Polzin, F., & Masiero, M. (2024). “Financing urban Nature-based Solutions (NBS): A literature review from the perspective of funders.” *Nature-Based Solutions*, 6, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2024.100195>

1. Εισαγωγή

Η ταχεία αστικοποίηση των τελευταίων δεκαετιών έχει μετασχηματίσει ριζικά το φυσικό και κοινωνικό περιβάλλον των πόλεων, δημιουργώντας σύνθετες προκλήσεις που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή, την περιβαλλοντική υποβάθμιση και τη μείωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Περισσότερο από το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού ζει πλέον σε αστικές περιοχές, οι οποίες χρησιμεύουν επίσης ως σημαντικοί κόμβοι για την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου. Η αυξημένη στεγανοποίηση των εδαφών, η υψηλή πυκνότητα δόμησης, η περιορισμένη παρουσία φυσικών στοιχείων και η έντονη ανθρωπογενής δραστηριότητα συμβάλλουν στη διαμόρφωση δυσμενών μικροκλιματικών συνθηκών, εντείνοντας φαινόμενα όπως η αστική θερμική νησίδα, η θερμική δυσφορία και η περιβαλλοντική ευπάθεια (Ritchie et al., 2024).

Δεδομένου αυτού, η ιδέα της αστικής ανθεκτικότητας καθίσταται βασικό στοιχείο του σύγχρονου περιβαλλοντικού και αστικού σχεδιασμού. Προκειμένου να παραμείνουν λειτουργικές, ανθεκτικές και κοινωνικά συνεκτικές, οι πόλεις πρέπει να προσαρμόζονται αποτελεσματικά στις περιβαλλοντικές πιέσεις και τα καταστροφικά καιρικά φαινόμενα. Η ενίσχυση της ανθεκτικότητας απαιτεί ολοκληρωμένες χωρικές παρεμβάσεις που αποκαθιστούν τη σύνδεση του αστικού ιστού με τις λειτουργίες του οικοσυστήματος και τις φυσικές διεργασίες, αντί να βασίζονται αποκλειστικά σε τεχνολογικές διορθώσεις (Polo-Martín, 2025).

Οι Μπλε-Πράσινες Υποδομές (BGI) και άλλες λύσεις που βασίζονται στη φύση (NbS) είναι κρίσιμες για αυτήν την αλλαγή (Purppim De Oliveira et al., 2022). Προκειμένου να βελτιωθεί το μικροκλίμα, να μειωθούν οι θερμοκρασίες στην επιφάνεια, να αυξηθεί η βιοποικιλότητα και να βελτιωθεί η γενική περιβαλλοντική ποιότητα των πόλεων, αυτές οι παρεμβάσεις αξιοποιούν φυσικά και ημιφυσικά στοιχεία, όπως η αστική βλάστηση, τα συστήματα ύδρευσης και οι οικολογικοί διάδρομοι. Οι πράσινοι-μπλε διάδρομοι, ειδικότερα, είναι χωρικοί σύνδεσμοι που βελτιώνουν τη λειτουργική συνέχεια των οικοσυστημάτων και συμβάλλουν στην οικοδόμηση πιο προσαρμοσμένων και βιώσιμων αστικών οικοτόπων (Veerkamp et al., 2021).

Το παράδειγμα της Αθήνας είναι ιδιαίτερα αξιοσημείωτο λόγω της υψηλής πυκνότητας δόμησης της πόλης, της αραιής αστικής πράσινης επιφάνειας και των ισχυρών φαινομένων της αστικής θερμικής νησίδας, τα οποία επιδεινώνονται από τις συνέπειες της κλιματικής

αλλαγής. Υπάρχει έλλειψη ολοκληρωμένων διαδικασιών που να προσδιορίζουν χωρικά περιοχές μεγαλύτερου περιβαλλοντικού κινδύνου και να συνδέουν ποσοτικά δεδομένα με έννοιες αστικού σχεδιασμού, παρά την ύπαρξη ερευνητικών προσεγγίσεων που εξετάζουν συγκεκριμένα περιβαλλοντικά χαρακτηριστικά (Konaxis et al., 2026).

Αξιοποιώντας μια τεχνική βασισμένη σε χωρικά δεδομένα για τον προσδιορισμό περιοχών προτεραιότητας για παρέμβαση και αξιολογώντας τον ρόλο των πράσινων-μπλε διαδρόμων στην ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας και του μικροκλίματος, η παρούσα διατριβή στοχεύει να καλύψει αυτό το κενό. Η έρευνα στοχεύει να παρέχει ένα εύκολα εφαρμόσιμο πλαίσιο υποστήριξης αποφάσεων για τη δημιουργία πιο ανθεκτικών και περιβαλλοντικά βιώσιμων ελληνικών πόλεων, συνδέοντας τη θεωρία της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης με εφαρμογές σχεδιασμού στον πραγματικό κόσμο μέσω της χρήσης γεωχωρικών δεδομένων και εργαλείων GIS (Tsatsaris et al., 2021).

1.1 Ερευνητικά Ερωτήματα

Στις σύγχρονες μητροπολιτικές περιοχές η αστικοποίηση έχει αυξηθεί σε βαθμό τέτοιο που έχουν προκληθεί σημαντικές αλλαγές στο αστικό περιβάλλον. Αυτές οι αλλαγές έχουν άμεσο αντίκτυπο στο τοπικό κλίμα, τη λειτουργία του οικοσυστήματος και την ποιότητα ζωής των κατοίκων. Η Αστική Θερμική Νησίδα (UHI), φαινόμενο κατά το οποίο οι θερμοκρασίες στις αστικές περιοχές εμφανίζονται αισθητά υψηλότερες από ό,τι στις προαστιακές ή αγροτικές περιοχές, είναι ένα από τα πιο χαρακτηριστικά και ερευνημένα φαινόμενα που προέρχονται από τη συγκέντρωση ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η χρήση δομικών υλικών με μη διαπερατές ιδιότητες, η μείωση της βλάστησης και οι θερμικές εκπομπές από την ταχεία ανάπτυξη των κατασκευών και των μεταφορών σχετίζονται άμεσα με αυτό το ζήτημα (Javed et al., 2025) (J. Liu et al., 2026).

Η πόλη της Αθήνας είναι ένα τυπικό παράδειγμα μεσογειακής πόλης που αντιμετωπίζει τις παραπάνω σοβαρές μικροκλιματικές προκλήσεις. Η **εκτεταμένη στεγανοποίηση των επιφανειών, η έλλειψη αστικού πρασίνου, η έντονη κυκλοφορία και η μορφολογία του λεκανοπεδίου συμβάλλουν στη συσσώρευση θερμότητας** και στην ανάπτυξη θερμοκρασιών δυσάρεστων για τον αστικό πληθυσμό, ιδιαιτέρως το καλοκαίρι. Απαιτούνται στρατηγικές για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, καθώς αυτές οι επιπτώσεις εκτείνονται πέρα από το περιβάλλον και έχουν αντίκτυπο στην ανθρώπινη υγεία, την κατανάλωση ενέργειας και τη συνολική αστική βιωσιμότητα (Yesuf et al., 2026).

Σύμφωνα με τα παραπάνω, γίνεται εμφανές ότι οι λύσεις βασισμένες στη φύση (NbS) οι οποίες ενσωματώνουν οικολογικές λειτουργίες στον αστικό ιστό, θα γίνουν ολοένα και πιο δημοφιλείς στον σύγχρονο αστικό σχεδιασμό. Ένα κρίσιμο στοιχείο των NbS είναι οι Μπλε-Πράσινες Υποδομές (Blue – Green Infrastructure - BGI) (Veerkamp et al., 2021) η οποίες **χρησιμοποιούν ως σύστημα δικτύων που συνδέουν χώρους πρασίνου και υδάτινα στοιχεία για τη βελτίωση της διαπερατότητας του τοπίου, της φυσικής κυκλοφορίας του αέρα και του ελέγχου της αστικής θερμότητας**. Αυτές οι δράσεις μπορούν να μειώσουν σημαντικά τις επιφανειακές θερμοκρασίες και να βελτιώσουν τις μικροκλιματικές συνθήκες μέσω σκίασης των περιοχών, μέσω της εξατμισοδιαπνοής και της ενισχυμένης οικολογικής σύνδεσης.

Παρόλο που η έρευνα σχετικά με τα πλεονεκτήματα των πράσινων και μπλε υποδομών επεκτείνεται παγκοσμίως, εξακολουθεί να υπάρχει έλλειψη συστηματικών, βασισμένων σε δεδομένα προσεγγίσεων για τον εντοπισμό των τοποθεσιών όπου αυτές οι παρεμβάσεις είναι περισσότερο απαραίτητες, ιδίως στις ελληνικές πόλεις. Η πλειονότητα των μελετών που διεξάγονται, επικεντρώνεται σε μεμονωμένες αναλύσεις ή θεωρητικές προσεγγίσεις αντί να συνδέεται πλήρως η αξιολόγηση της χωρικής περιβαλλοντικής τρωτότητας με συγκεκριμένες συστάσεις αστικού σχεδιασμού (Purpim De Oliveira et al., 2022).

Εξετάζοντας πώς η χρήση γεωγραφικών και χωρικών δεδομένων καθώς και η δημιουργία σύνθετων δεικτών μπορούν να βοηθήσουν στον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας και να τεκμηριώσουν την εφαρμογή των πράσινων-μπλε διαδρόμων ως εργαλείου για την ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας και τη βελτίωση του αστικού μικροκλίματος, η παρούσα εργασία στοχεύει στην μείωση αυτού του ερευνητικού κενού συνδυαστικά με πρακτικές συστάσεις για συγκεκριμένη περίπτωση εφαρμογής στην πόλη της Αθήνας.

1.2 Βιώσιμη Αστική Ανάπτυξη και Σύγχρονες Περιβαλλοντικές Προκλήσεις

Η βιώσιμη αστική ανάπτυξη μπορεί να οριστεί ως η διαδικασία σχεδιασμού, οργάνωσης και διαχείρισης των πόλεων με τρόπο που να ικανοποιεί τις ανάγκες του πληθυσμού χωρίς ωστόσο να υπονομεύει τη δυνατότητα των μελλοντικών γενεών να καλύψουν τις δικές τους

ανάγκες. Αποτελεί εξέλιξη της ευρύτερης έννοιας της βιώσιμης ανάπτυξης και εστιάζει στην ομαλή ενσωμάτωση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών παραμέτρων στον αστικό χώρο, με στόχο την αποδοτική χρήση των φυσικών πόρων, τη μείωση των περιβαλλοντικών πιέσεων, την κοινωνική συνοχή και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής. Στο πλαίσιο αυτό, η βιώσιμη αστική ανάπτυξη έχει ως στόχο τη δημιουργία ανθεκτικών, λειτουργικών και περιβαλλοντικά υπεύθυνων πόλεων, ικανών να ανταποκρίνονται στις σύγχρονες προκλήσεις της κλιματικής αλλαγής, της ταχείας αστικοποίησης και της περιβαλλοντικής υποβάθμισης. Η έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης αναδείχθηκε ως απάντηση στις επιπτώσεις της εκτεταμένης βιομηχανικής και οικονομικής μεγέθυνσης, καθώς και στα σοβαρά περιβαλλοντικά προβλήματα που αυτή προκάλεσε. Η ραγδαία τεχνολογική πρόοδος συνέβαλε στη σημαντική αύξηση της παγκόσμιας παραγωγής και της οικονομικής ευημερίας, ωστόσο ταυτόχρονα επιβάρυνε την ποιότητα του περιβάλλοντος και ενέτεινε τους οικολογικούς κινδύνους (Callender, 2012). Ως αποτέλεσμα, η περιβαλλοντική βιωσιμότητα αναδείχθηκε σε κεντρικό στόχο για τα κράτη και τους διεθνείς οργανισμούς. Η προσέγγιση της βιώσιμης ανάπτυξης, η οποία εξισορροπεί την οικονομική ανάπτυξη, την κοινωνική δικαιοσύνη και την προστασία του περιβάλλοντος, αποτέλεσε βασικό θεωρητικό και πολιτικό πλαίσιο, το οποίο ενισχύθηκε περαιτέρω με την υιοθέτηση των Στόχων Βιώσιμης Ανάπτυξης (Sustainable Development Goals – SDGs) από τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών το 2015 (Al-Mamary & Alshammari, 2025; Zhan et al., 2025).

Σημαντικό ρόλο στην προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης, σε αντιστοίχιση με τις λύσεις βασισμένες στη φύση, διαδραματίζει και ο ιδιωτικός τομέας, μέσω της ενσωμάτωσης περιβαλλοντικών ζητημάτων στα εταιρικά επιχειρηματικά σχέδια και στις στρατηγικές καινοτομίας. Η σχετική βιβλιογραφία αναφέρει έννοιες όπως πράσινη καινοτομία, καινοτομία πράσινης διαχείρισης και πράσινη τεχνολογική καινοτομία (United Nations Conference on Trade and Development, 2022). Η τελευταία περιλαμβάνει τόσο την καινοτομία στις πράσινες διαδικασίες παραγωγής όσο και την ανάπτυξη νέων ή βελτιωμένων προϊόντων και υπηρεσιών που στοχεύουν στη διατήρηση των φυσικών πόρων, στη μείωση των αποβλήτων και στον περιορισμό της ρύπανσης. Η υιοθέτηση πράσινων επιχειρηματικών πρακτικών θεωρείται κρίσιμη, καθώς οι περιβαλλοντικοί κίνδυνοι συνδέονται άμεσα με οικονομικές επιπτώσεις και ζητήματα μακροχρόνιας ανταγωνιστικότητας (Khan et al., 2025). Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εφαρμογή των αρχών της βιώσιμης ανάπτυξης σε τομείς με έντονη χωρική και περιβαλλοντική διάσταση, όπως ο τουρισμός. Η βιώσιμη τουριστική ανάπτυξη αναγνωρίζεται ως βασική προϋπόθεση

για τη διατήρηση της οικολογικής ισορροπίας και τη μακροχρόνια ευημερία των τουριστικών περιοχών, καθώς η υπερβολική εκμετάλλευση φυσικών και πολιτιστικών πόρων, καθώς και η ρύπανση, υπονομεύουν τη βιωσιμότητα σε αυτόν τον τομέα. Παράλληλα, η μεταβολή των καταναλωτικών προτιμήσεων προς πιο «πράσινες», ποιοτικές και εμπειρικές μορφές τουρισμού ενισχύει την ανάγκη για βιώσιμες αναπτυξιακές στρατηγικές (Z. Wang et al., 2026).

Είναι εμφανές ότι σύγχρονη βιβλιογραφία αναδεικνύει την ανάγκη ανάπτυξης πολυπαραγοντικών συστημάτων αξιολόγησης της βιωσιμότητας, τα οποία να λαμβάνουν υπόψη περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς, οικονομικούς και χωρικούς δείκτες. Χαρακτηριστικό αυτών των συστημάτων είναι η συμπληρωματικότητα και η συνεισφορά διαφορετικών εμπλεκόμενων φορέων, γεγονός που καθιστά αναγκαία τη σαφή αποτύπωση της υπάρχουσας έρευνας σε αυτό τον κλάδο, προκειμένου να καθοριστούν αποτελεσματικά οι μελλοντικές κατευθύνσεις, έρευνας και πολιτικής στον τομέα της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης.

Στο πλαίσιο της βιώσιμης αστικής ανάπτυξης, οι NbS και συγκεκριμένα οι πράσινοι-μπλε διάδρομοι (BGI), αναδεικνύονται ως βασικά εργαλεία ολοκληρωμένου αστικού σχεδιασμού, καθώς συνδυάζουν περιβαλλοντικά, κοινωνικά και οικονομικά οφέλη. Μέσω της ενσωμάτωσης φυσικών και στοιχείων στον αστικό ιστό, οι παρεμβάσεις αυτές συμβάλλουν στη βελτίωση του μικροκλίματος, στη μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, στη διαχείριση των όμβριων υδάτων και στην ενίσχυση της βιοποικιλότητας. Παράλληλα, οι πράσινοι-μπλε διάδρομοι λειτουργούν ως δομικά στοιχεία συνδεσιμότητας του αστικού χώρου και το φυσικού περιβάλλοντος, προάγοντας τη βιώσιμη κινητικότητα, την κοινωνική συνοχή και την αναβάθμιση του δημόσιου χώρου. Επιπλέον ως εφαρμογές των NbS, ενισχύουν την ανθεκτικότητα των πόλεων απέναντι στην κλιματική αλλαγή και τις περιβαλλοντικές πιέσεις, υποστηρίζοντας τη μετάβαση προς αστικά μοντέλα ανάπτυξης που βασίζονται στη μακροχρόνια βιωσιμότητα και την ποιότητα ζωής.

1.3 Σκοπός και Προσδοκώμενα αποτελέσματα

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η διερεύνηση του ρόλου των πράσινων-μπλε διαδρόμων (Blue-Green Infrastructure – BGI) στην ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας και στη βελτίωση των μικροκλιματικών συνθηκών στις πόλεις.

Η εργασία θα επικεντρωθεί στην ανάπλαση τοποθεσίας εντός του αστικού ιστού, μέσω παρεμβάσεων που συνδυάζουν πράσινες και υδάτινες υποδομές — όπως δενδροφυτεύσεις, διαπερατά υλικά, απορροφητικές επιφάνειες και συστήματα διαχείρισης όμβριων — με στόχο τη μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και τη βελτίωση της θερμικής άνεσης των κατοίκων.

Η εφαρμογή θα πραγματοποιηθεί στην πόλη της Αθήνας, επιτρέποντας την αξιολόγηση των μικροκλιματικών και περιβαλλοντικών επιπτώσεων τέτοιων παρεμβάσεων στο μεσογειακό κλίμα. Η επιλογή της τοποθεσίας θα γίνει βάσει προβλημάτων που έχουν παρατηρηθεί, όπως έντονα πλυμμηρικά φαινόμενα, υψηλότερη ατμοσφαιρική ρύπανση σε σχέση με άλλες περιοχές, πυκνότερη δόμηση, χωρική δυνατότητα παρεμβάσεων.

Προσδοκώμενα αποτελέσματα:

- Αξιολόγηση των μικροκλιματικών μεταβολών (θερμοκρασία, υγρασία, αλβεδό, ταχύτητα ανέμου) μετά την εφαρμογή των BGI παρεμβάσεων.
- Προσδιορισμός του δυναμικού μετριασμού της θερμικής νησίδας μέσω πράσινων-μπλε υποδομών.
- Ανάλυση της συμβολής των BGI στη βελτίωση της αστικής ανθεκτικότητας και στη βιώσιμη αναμόρφωση του δημόσιου χώρου.
- Διατύπωση προτάσεων σχεδιασμού που μπορούν να αξιοποιηθούν από δήμους και μελετητές για την ανάπτυξη ανθεκτικών και βιώσιμων αστικών υποδομών.

Σημείο που πρέπει να δοθεί σημασία αποτελεί η μεθοδολογία της εργασίας ή οποία θα βασιστεί στη συλλογή και επεξεργασία γεωχωρικών και κλιματικών δεδομένων. Τα δεδομένα θα αντληθούν από αξιόπιστες δημόσιες πηγές, όπως η ΕΛΣΤΑΤ, το Υπουργείο Περιβάλλοντος και Ενέργειας, το Κτηματολόγιο, το Copernicus Land Monitoring Service, το Urban Atlas, το OpenStreetMap και ο Εθνικός Μετεωρολογικός Φορέας.

Η αξιολόγηση των περιβαλλοντικών και μικροκλιματικών δεδομένων στον αστικό χώρο μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο με τη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών GIS και προσομοίωσης όσο και μέσω εναλλακτικών προσεγγίσεων βασισμένων σε δείκτες-κλειδί, εμπειρικά δεδομένα και βιβλιογραφικά τεκμηριωμένες παραδοχές.

Από τη μία πλευρά, η χρήση λογισμικού GIS προσφέρει πλεονεκτήματα όπως η χωρική ανάλυση, η οπτικοποίηση δεδομένων και η δυνατότητα σύγκρισης σεναρίων σε διαφορετικές κλίμακες, ωστόσο συνοδεύεται από απαιτήσεις σε τεχνική εξειδίκευση, χρόνο και διαθεσιμότητα αξιόπιστων δεδομένων. Αντίθετα, η μη χρήση εξειδικευμένων λογισμικών δεν συνεπάγεται κατ' ανάγκη επιστημονική υστέρηση, εφόσον η ανάλυση βασίζεται σε αναγνωρισμένους δείκτες (π.χ. θερμική άνεση, ποσοστό κάλυψης πρασίνου, ανακλαστικότητα υλικών), πραγματικές μετρήσεις ή έγκυρα δεδομένα από τη διεθνή βιβλιογραφία και σαφή συγκριτική αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων. Συνεπώς, η επιλογή μεταξύ χρήσης ή μη χρήσης λογισμικού θα πρέπει να εδράζεται στη φύση των ερευνητικών ερωτημάτων, στην κλίμακα ανάλυσης και στη διαθεσιμότητα δεδομένων, με έμφαση στην επιστημονική τεκμηρίωση και τη μεθοδολογική διαφάνεια.

Με τη χρήση GIS θα υπάρχει δυνατότητα χαρτογράφησης του οδικού δικτύου, της βλάστησης, των χρήσεων γης και των αδιαπέραστων επιφανειών, καθώς και αποτύπωσης της υφιστάμενης κατάστασης όσον αφορά τις μικροκλιματικές παραμέτρους. Στη συνέχεια, θα αναπτυχθεί σχεδιαστικό σενάριο ανάπτυξης αστικού τοπίου με ένταξη στοιχείων Blue-Green Infrastructure (BGI), όπως δενδροφυτεύσεις, διαπερατά υλικά και παρεμβάσεις διαχείρισης όμβριων. Η αξιολόγηση των αναμενόμενων επιπτώσεων των προτεινόμενων παρεμβάσεων θα πραγματοποιηθεί μέσω χωρικής ανάλυσης στο περιβάλλον GIS και ερμηνείας των αποτελεσμάτων βάσει της διεθνούς βιβλιογραφίας σχετικά με τις επιδράσεις των πράσινων-μπλε υποδομών στο αστικό μικροκλίμα. Η αξιολόγηση θα εστιάσει κυρίως στη δυνητική βελτίωση των συνθηκών θερμικής άνεσης, στη μείωση της επιφανειακής θερμοκρασίας, στην αύξηση της βλάστησης και στη βελτίωση της περιβαλλοντικής συνδεσιμότητας. Τέλος, θα πραγματοποιηθεί συγκριτική ανάλυση μεταξύ της υφιστάμενης κατάστασης και του προτεινόμενου σεναρίου, με στόχο τη διερεύνηση της συμβολής των πράσινων-μπλε υποδομών στον μετριασμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και στην ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας.

2. Θεωρητικό Πλαίσιο και Βιβλιογραφική Ανασκόπηση

Το παρόν κεφάλαιο παρουσιάζει το θεωρητικό υπόβαθρο και τη βιβλιογραφική επισκόπηση που στηρίζουν την ανάπτυξη της παρούσας διπλωματικής εργασίας, εστιάζοντας στις βασικές έννοιες και επιστημονικές προσεγγίσεις που σχετίζονται με τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη, την αστική ανθεκτικότητα και τον ρόλο των πράσινων–μπλε υποδομών στον σύγχρονο αστικό σχεδιασμό. Η αυξανόμενη ένταση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στις πόλεις έχει οδηγήσει τη διεθνή επιστημονική κοινότητα στην αναζήτηση ολοκληρωμένων στρατηγικών προσαρμογής, οι οποίες συνδυάζουν περιβαλλοντικές, κοινωνικές και χωρικές διαστάσεις του σχεδιασμού.

Αρχικά εξετάζεται η έννοια της αστικής ανθεκτικότητας, οι διαφορετικές θεωρητικές προσεγγίσεις που την πλαισιώνουν και τα βασικά χαρακτηριστικά των ανθεκτικών πόλεων. Στη συνέχεια αναλύεται το πλαίσιο των πράσινων και μπλε υποδομών και των λύσεων βασισμένων στη φύση (Nature-Based Solutions), με έμφαση στους πράσινους–μπλε διαδρόμους ως εργαλείο βελτίωσης του αστικού μικροκλίματος και ενίσχυσης της οικολογικής συνδεσιμότητας. Ακολουθεί η παρουσίαση της έννοιας του αστικού μικροκλίματος και των παραγόντων που επηρεάζουν φαινόμενα όπως η αστική θερμική νησίδα, καθώς και των επιπτώσεών τους στην ποιότητα ζωής και στον αστικό σχεδιασμό. Τέλος, το κεφάλαιο εστιάζει στην περίπτωση της Αθήνας, ανασκοπώντας υφιστάμενες μελέτες και αναδεικνύοντας τα ερευνητικά κενά που δικαιολογούν την ανάπτυξη της παρούσας μελέτης και τη μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθείται στα επόμενα κεφάλαια.

2.1 Αστική και Κλιματική Ανθεκτικότητα

2.1.1 Αστική Ανθεκτικότητα

Η **αστική ανθεκτικότητα** αποτελεί την ιδιότητα ενός αστικού συστήματος —ως σύνθετου κοινωνικού, οικολογικού, τεχνολογικού συμπλέγματος— **να απορροφά, να αντιστέκεται και να προσαρμόζεται** σε εξωτερικές διαταραχές και αβεβαιότητες, ενώ παράλληλα **διατηρεί ή επανακτά τις βασικές του λειτουργίες, δομές και ταυτότητα**. Η έννοια έχει τις ρίζες της στην οικολογική θεωρία της ανθεκτικότητας του Holling (1973), η οποία εξελίχθηκε σε πιο σύνθετες προσεγγίσεις όπως η **εξελικτική ανθεκτικότητα** (Y. Gao et al.,

2025; Y. Liu et al., 2025). Πιο σύγχρονες προσεγγίσεις υπογραμμίζουν ότι η αστική ανθεκτικότητα δεν περιορίζεται στη διατήρηση ισορροπίας, αλλά περιλαμβάνει την **ικανότητα μάθησης, αναδιοργάνωσης και μετασχηματισμού** του συστήματος σε νέα, βιώσιμα καθεστώτα λειτουργίας. Ενσωματώνει οικολογικές, κοινωνικές, οικονομικές και τεχνολογικές συνιστώσες, οι οποίες αλληλοεπιδρούν σε δυναμικές διαδικασίες ροών ενέργειας και υλικών, διακυβέρνησης, χωρικών δομών και κοινωνικών δικτύων. Η βιβλιογραφία αναδεικνύει την αστική ανθεκτικότητα ως την ικανότητα ενός αστικού συστήματος να αντέχει, να προσαρμόζεται και να μετασχηματίζεται, διατηρώντας τη λειτουργικότητα του απέναντι σε κλιματικούς κινδύνους, φυσικές ή ανθρωπογενείς καταστροφές και περιβαλλοντικές πιέσεις, όπως αυτές που προκαλούνται από τις ταχύτατες διαδικασίες αστικοποίησης (Luo et al., 2025). Στο πλαίσιο της **οικολογικής αστικής ανθεκτικότητας**, το σύστημα θεωρείται ένα πολυεπίπεδο οικοσύστημα όπου οι σχέσεις μεταξύ ανθρώπου και περιβάλλοντος, οι χωρικές μορφολογίες και οι μεταβολικές ροές καθορίζουν τη συνολική ικανότητα αντοχής και ανάκαμψης. Η πρόσφατη βιβλιογραφία προτείνει την ενσωμάτωση της αστικής μεταβολικής ανθεκτικότητας, η οποία εξετάζει τη σταθερότητα των εισροών, τη διαφοροποίηση πόρων, τη μείωση εξάρτησης και τη βελτίωση της κυκλικότητας ως βασικά στοιχεία της στοιχείας (Y. Gao et al., 2025).

Συνολικά, η αστική ανθεκτικότητα μπορεί να οριστεί ως:

Η δυναμική ικανότητα μιας πόλης να προβλέπει, να απορροφά, να προσαρμόζεται και να μετασχηματίζεται απέναντι σε φυσικές, περιβαλλοντικές, κοινωνικοοικονομικές ή τεχνολογικές διαταραχές, διασφαλίζοντας τη συνέχεια των βασικών λειτουργιών της και την ευημερία των κατοίκων της, μέσα από πολυεπίπεδες, συντονισμένες και βασισμένες στις διαδικασίες οικολογικές, κοινωνικές και μεταβολικές διεργασίες.

2.1.2 Κλιματική Ανθεκτικότητα

Η **κλιματική ανθεκτικότητα** αναφέρεται στην ικανότητα των αστικών συστημάτων – συμπεριλαμβανομένων της φυσικής υποδομής, των οικολογικών δικτύων, των κοινωνικών δομών και της λειτουργικής οργάνωσης– **να απορροφούν, να προσαρμόζονται και να ανακάμπτουν** από κλιματικές διαταραχές, όπως ακραία καιρικά φαινόμενα, πλημμύρες ή θερμικές πιέσεις. Βασίζεται σε μια προσέγγιση που συνδυάζει **οικολογική**

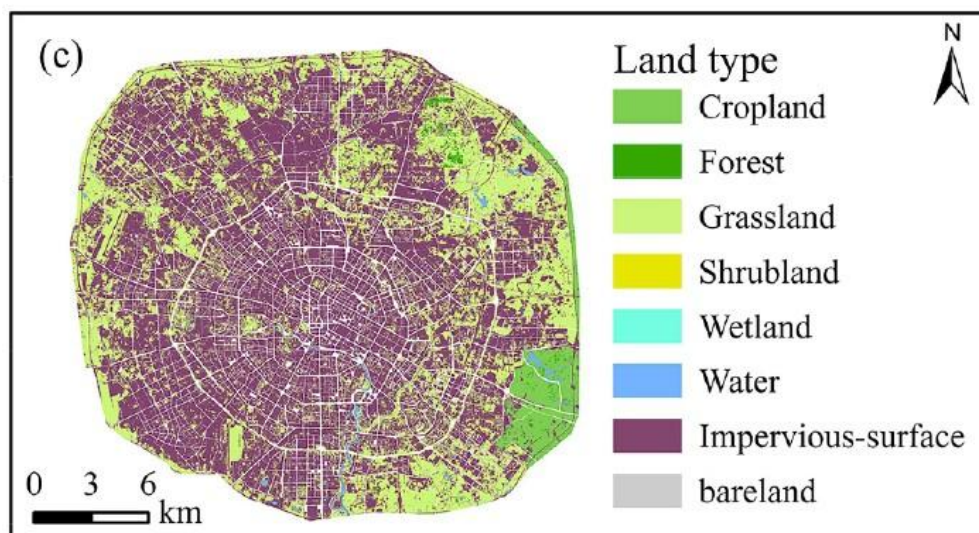
λειτουργικότητα, επάρκεια υποδομών, καθώς και κοινωνικοοικονομική προσαρμοστικότητα. Η κλιματική ανθεκτικότητα αποτυπώνεται μέσα από τη δυνατότητα των πόλεων να περιορίζουν τις επιπτώσεις από κλιματικούς κινδύνους (π.χ. πλημμύρες), να εντοπίζουν κρίσιμα σημεία (π.χ. κόμβοι BGI που επιφέρουν αλυσιδωτές συνέπειες), να αναγνωρίζουν χωρικές διαφοροποιήσεις κινδύνου και να κατανοούν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φυσικών, τεχνικών και κοινωνικών παραγόντων (X. Gao et al., 2025). Παράλληλα, περιλαμβάνει την ικανότητα σχεδιασμού και εφαρμογής στρατηγικών **πρόληψης, μετριασμού και ετοιμότητας**, οι οποίες ενισχύουν τη λειτουργική συνέχεια και περιορίζουν τις τρωτότητες (Hu et al., 2026). Ως εκ τούτου, η κλιματική ανθεκτικότητα συνιστά ένα δυναμικό χαρακτηριστικό που συνδυάζει **προληπτική δράση, προσαρμογή και μετασχηματισμό**, καθώς και προτεραιοποίηση διαφορετικών περιπτώσεων αναλόγως τις οικολογικές ανάγκες, εξασφαλίζοντας ότι τα αστικά περιβάλλοντα μπορούν να ανταπεξέλθουν σε ολοένα αυξανόμενες κλιματικές πιέσεις, και να βελτιώσουν τη μακροχρόνια βιωσιμότητά τους (Rodrigues Lopes et al., 2025).

2.2 Αστικό Μικροκλίμα και Αστική Θερμική Νησίδα

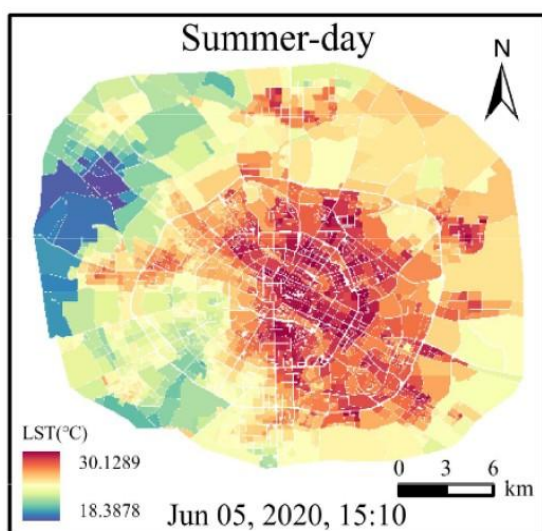
2.2.1 Υλικά και αδιαπέραστες επιφάνειες

Η ανάλυση της βιβλιογραφίας αναδεικνύει σαφή συσχέτιση μεταξύ του ποσοστού **αδιαπέραστων επιφανειών** (imperviousness) και των **τιμών της θερμοκρασίας επιφάνειας γης** (Land Surface Temperature – LST). Όπως επισημαίνεται στα ερευνητικά αποτελέσματα, οι περιοχές με υψηλό ποσοστό σφράγισης εδάφους —άσφαλτος, σκυρόδεμα, βιομηχανικές στέγες— εμφανίζουν σημαντικά αυξημένες τιμές LST, ιδίως κατά τις θερινές περιόδους (Ren et al., 2022). Η θετική συσχέτιση μεταξύ imperviousness και LST επιβεβαιώνεται και μέσω δορυφορικών δεδομένων (π.χ. Landsat) όπως στην Εικ. 1, στα οποία φαίνεται ότι οι πυκνοδομημένες ζώνες καταγράφονται ως **θερμικά σημεία ενδιαφέροντος** ή «hotspots» όπως φαίνεται στην Εικ. 2. Παράλληλα, η απουσία διαπερατών υλικών περιορίζει τη διήθηση και την εξατμισοδιαπνοή, μειώνοντας τη λανθάνουσα ροή θερμότητας και ενισχύοντας τη συσσώρευση θερμικής ενέργειας (Z. Wang et al., 2025).

Η βιβλιογραφία επίσης τονίζει ότι η αντικατάσταση συμβατικών επιστρώσεων με διαπερατά υλικά ή με ψυχρά υλικά υψηλής ανακλαστικότητας μπορεί να μειώσει τις τιμές LST σε τοπική κλίμακα. Επιπλέον, η ποσοτικοποίηση του imperviousness ως δείκτη χωρικής ανάλυσης επιτρέπει τη χαρτογράφηση ευάλωτων περιοχών και τη στοχευμένη εφαρμογή παρεμβάσεων. Συνεπώς, τα υλικά δεν επηρεάζουν μόνο τη θερμική άνεση, αλλά συνιστούν κρίσιμο παράγοντα στον ενεργειακό και υδρολογικό κύκλο της πόλης.



Εικόνα 3 Τύπου επιφανειών γης. Με τον μωβ χρωματισμό φαίνονται οι αδιαπέραστες επιφάνειες (Z. Wang et al., 2025)



Εικόνα 4 Οπτικοποίηση υψηλών θερμοκρασιών επιφάνειας γης (LST) (Z. Wang et al., 2025)

2.2.2 Αστική μορφολογία

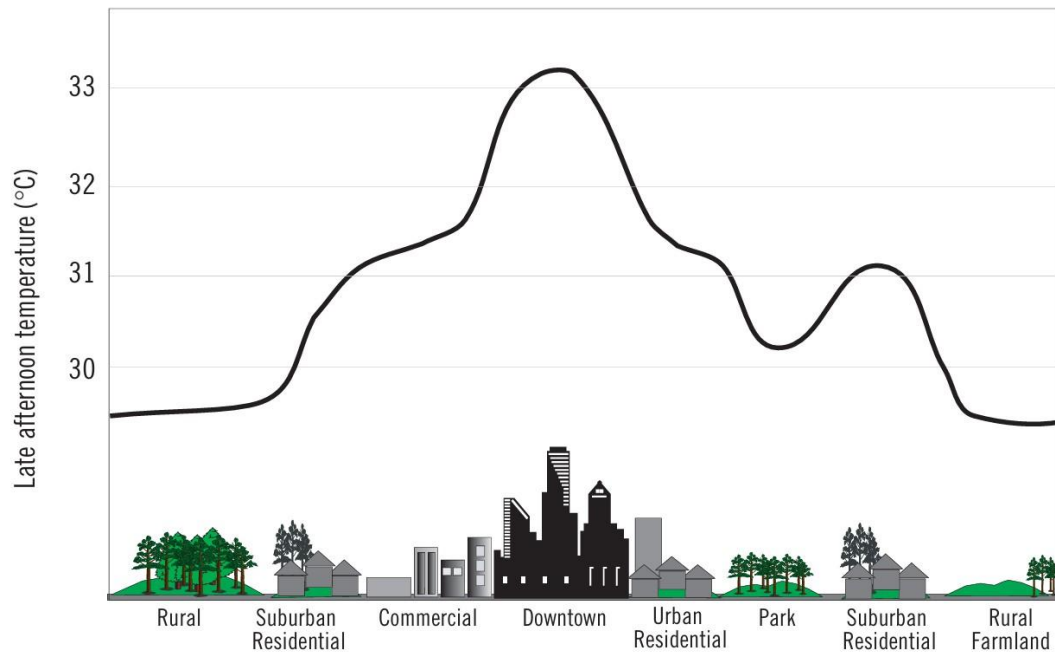
Η αστική μορφολογία —δηλαδή **η πυκνότητα δόμησης, το ύψος και η διάταξη των κτιρίων, το πλάτος των δρόμων και ο προσανατολισμός τους**— επηρεάζει ουσιαστικά τις συνθήκες αερισμού, σκιασμού και ηλιακής πρόσπτωσης. Η βιβλιογραφία καταδεικνύει πώς, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις όπου η αναλογία ύψους προς πλάτος είναι υψηλή, οι πυκνές διατάξεις με στενά "**αστικά φαράγγια**" μπορούν να περιορίσουν τον φυσικό αερισμό και να παγιδεύσουν τη θερμότητα (Z. Wang et al., 2025). Παρ' όλα αυτά, σε άλλες περιπτώσεις, το ίδιο σχήμα μπορεί να προσφέρει σκιά και να μειώσει το άμεσο ηλιακό φως στο επίπεδο του δρόμου. Επομένως, ο συνδυασμός γεωμετρίας, προσανατολισμού και υλικών επηρεάζει όχι μόνο την πυκνότητα στον αστικό ιστό αλλά και τη θερμική απόδοση των κτιρίων (Alchapar et al., 2014). Τα αποτελέσματα των μελετών αναδεικνύουν την αξία του ολοκληρωμένου σχεδιασμού σε κλίμακα γειτονιάς, όπου η διάταξη των όγκων προάγει τη διαφάνεια και επιτρέπει τη ροή του αέρα .

Ταυτόχρονα, η προσθήκη ανοιχτών χώρων και η διακύμανση του ύψους συμβάλλουν στη μείωση της θερμικής συσσώρευσης. Επομένως, η αστική μορφολογία λειτουργεί ως ρυθμιστής του μικροκλίματος, επηρεάζοντας άμεσα τη θερμική άνεση, την κατανάλωση ενέργειας και την ανθεκτικότητα της πόλης στην κλιματική αλλαγή (Yao et al., 2023).

2.2.3 Αστική Θερμική Νησίδα

Η Αστική Θερμική Νησίδα (Urban Heat Island – UHI) αποτελεί ένα από τα πλέον σημαντικά φαινόμενα που σχετίζονται με το αστικό κλίμα και χαρακτηρίζεται από την εμφάνιση υψηλότερων θερμοκρασιών στις αστικές περιοχές σε σύγκριση με τις γειτονικές αγροτικές ζώνες. Το φαινόμενο αυτό συνδέεται άμεσα με τις χωρικές, λειτουργικές και υλικές μεταβολές που επιφέρει η αστικοποίηση, καθώς και με την ένταση των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων στο δομημένο περιβάλλον. Η εμφάνιση και η ένταση του φαινομένου UHI προκύπτουν από τη σύνθετη αλληλεπίδραση πολλαπλών παραγόντων, οι οποίοι μεταβάλλουν τα ενεργειακά και θερμικά χαρακτηριστικά των πόλεων. Η ταχεία αστικοποίηση, σε συνδυασμό με την κλιματική αλλαγή και τη συνεχή συγκέντρωση του πληθυσμού σε αστικά κέντρα, καθιστούν επιτακτική την ανάγκη συστηματικής μελέτης του

φαινομένου, καθώς και τον σχεδιασμό στρατηγικών μετριασμού των επιπτώσεών του (Diamond & Martin, 2025).



Εικόνα 5 Απεικόνιση προφίλ του φαινομένου της Αστικής Θερμικής Νησίδας

Η ανάπτυξη των αστικών υποδομών οδηγεί στην εκτεταμένη χρήση αδιαπέραστων επιφανειών, όπως **το σκυρόδεμα και η άσφαλτος**, οι οποίες χαρακτηρίζονται από χαμηλό συντελεστή ανακλαστικότητας (albedo) και υψηλή θερμοχωρητικότητα. Τα υλικά αυτά απορροφούν σημαντικά ποσά ηλιακής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της ημέρας, και εκπέμπουν τη συσσωρευμένη θερμότητα κατά τις βραδινές ώρες, συμβάλλοντας στη διατήρηση αυξημένων θερμοκρασιών στο αστικό περιβάλλον (Flores-Larsen & Bre, 2026). Παράλληλα, **η αντικατάσταση της φυσικής βλάστησης** περιορίζει τους μηχανισμούς φυσικής ψύξης με αποτέλεσμα της περαιτέρω διατήρησης υψηλών θερμοκρασιών. Αξίζει να σημειωθεί επιπλέον ο καθοριστικός ρόλος που διαδραματίζει η αστική μορφολογία στην ενίσχυση του φαινομένου UHI. Η υψηλή πυκνότητα δόμησης, τα μεγάλα ύψη κτιρίων και η δημιουργία «αστικών φαραγγιών» περιορίζουν τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, μειώνουν τον αερισμό και παγιδεύουν τη θερμότητα εντός του αστικού ιστού (Khalvandi & Karimimoshaver, 2025). Ως αποτέλεσμα, σχηματίζονται τοπικοί θερμικοί θύλακες που επιτείνουν το θερμικό φορτίο και τη δυσφορία των κατοίκων (Rajagopal et al., 2025). Σημαντική συνιστώσα του φαινομένου αποτελεί επίσης η ανθρωπογενής θερμότητα, η οποία παράγεται από τις μεταφορές, τις βιομηχανικές δραστηριότητες, τη λειτουργία των κτιρίων και την αυξημένη κατανάλωση ενέργειας. Η πρόσθετη αυτή θερμική εκπομπή

ενισχύει περισσότερο το ενεργειακό ισοζύγιο των αστικών περιοχών, ιδιαίτερα σε ώρες αιχμής, συμβάλλοντας στην αύξηση της θερμοκρασίας του αέρα και της επιφάνειας (Lemmen & Kanada, 2004).

Οι επιπτώσεις του φαινομένου UHI είναι πολυδιάστατες και αφορούν τόσο το φυσικό περιβάλλον όσο και την ανθρώπινη υγεία και ευημερία. Η πιο άμεση συνέπεια είναι η αύξηση της θερμοκρασίας στις πόλεις, η οποία οδηγεί σε συνθήκες θερμικής δυσφορίας και αυξημένο κίνδυνο εμφάνισης θερμικού στρες. Οι ευάλωτες κοινωνικές ομάδες, όπως οι ηλικιωμένοι, τα παιδιά και τα άτομα με προϋπάρχουσες παθήσεις, επηρεάζονται δυσανάλογα, με αυξημένη πιθανότητα εμφάνισης ασθενειών που σχετίζονται με τη ζέστη. Παράλληλα, οι αυξημένες θερμοκρασίες ευνοούν τον σχηματισμό δευτερογενών ατμοσφαιρικών ρύπων, όπως το όζον στο επίπεδο του εδάφους, επιδεινώνοντας την ποιότητα του αέρα. Η μειωμένη ταχύτητα ανέμου στις πυκνοδομημένες περιοχές περιορίζει τη διασπορά των ρύπων, με αποτέλεσμα την αύξηση των αναπνευστικών και καρδιαγγειακών προβλημάτων στον αστικό πληθυσμό (Rajagopal et al., 2025).

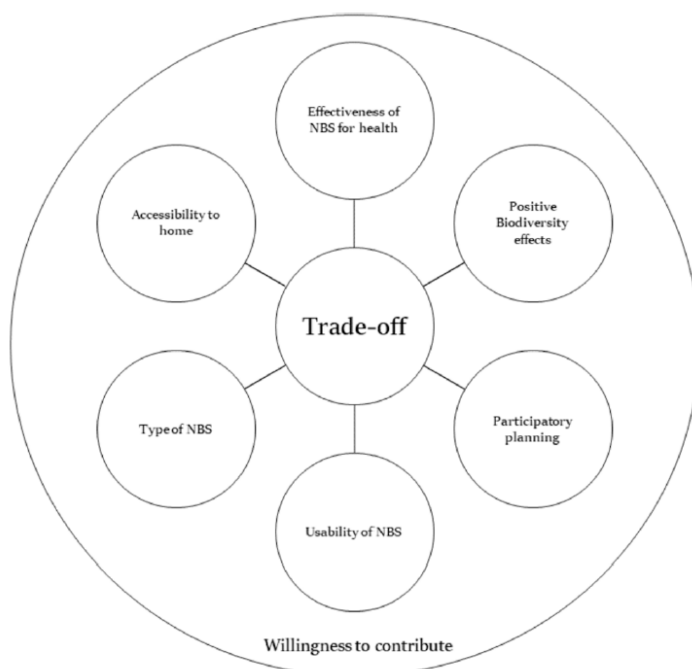
Το φαινόμενο UHI επηρεάζει επίσης τον υδρολογικό κύκλο, μεταβάλλοντας τα πρότυπα βροχόπτωσης και αυξάνοντας την επιφανειακή απορροή. Η εκτεταμένη σφράγιση του εδάφους μειώνει τη φυσική διήθηση του νερού, αυξάνοντας τον κίνδυνο πλημμυρικών φαινομένων, ενώ παράλληλα συμβάλλει στη ρύπανση των υδάτινων αποδεκτών και, σε ορισμένες περιπτώσεις, στη λειψυδρία. Ως έμμεση συνέπεια, η αύξηση της θερμοκρασίας στις πόλεις οδηγεί σε αυξημένη ενεργειακή ζήτηση, κυρίως για σκοπούς ψύξης κατά τους θερινούς μήνες. Η εντατική χρήση κλιματιστικών συστημάτων ενισχύει περαιτέρω την κατανάλωση ενέργειας και τις εκπομπές θερμότητας και αερίων του θερμοκηπίου, δημιουργώντας έναν φαύλο κύκλο που επιδεινώνει το φαινόμενο (Diamond & Martin, 2025).

Συνολικά, η Αστική Θερμική Νησίδα αναδύεται ως ένα σύνθετο και δυναμικό αποτέλεσμα της αστικοποίησης, των αλλαγών χρήσεων γης και της εντατικοποίησης των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων. Η κατανόηση των χωρικών και λειτουργικών παραμέτρων που τη διαμορφώνουν αποτελεί κρίσιμη προϋπόθεση για την ανάπτυξη αποτελεσματικών στρατηγικών μετριασμού. Τέτοιες στρατηγικές περιλαμβάνουν την ενίσχυση της αστικής βλάστησης, την ενσωμάτωση πράσινων και μπλε υποδομών, την εφαρμογή ψυχρών και ανακλαστικών υλικών στις αστικές επιφάνειες, καθώς και τον κλιματικά ευαίσθητο πολεοδομικό σχεδιασμό. Η αντιμετώπιση του φαινομένου UHI συνιστά αναπόσπαστο στοιχείο για τη μετάβαση προς βιώσιμες, ανθεκτικές και υγιείς πόλεις, με επίκεντρο την προστασία τόσο του περιβάλλοντος όσο και της ποιότητας ζωής των κατοίκων.

2.2.4 Ρόλος πρασίνου και ύδατος

Το πράσινο και τα υδάτινα στοιχεία αναγνωρίζονται ως βασικοί μηχανισμοί φυσικής ψύξης και βελτίωσης της περιβαλλοντικής ποιότητας. Η παρουσία δέντρων και φυτεμένων επιφανειών συμβάλλει στη μείωση της θερμοκρασίας μέσω σκιασμού και εξατμισοδιαπνοής, **διαδικασία που απορροφά θερμότητα από το περιβάλλον και ενισχύει τη λανθάνουσα ροή ενέργειας**. Οι μελέτες δείχνουν ότι ακόμη και μικρές κλίμακας παρεμβάσεις, όπως δεντροστοιχίες ή πράσινες στέγες, μπορούν να επιφέρουν μετρήσιμη μείωση της επιφανειακής και ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας. Αντίστοιχα, τα υδάτινα στοιχεία —τεχνητές λίμνες, ρέματα ή υδάτινες επιφάνειες— **συμβάλλουν στην τοπική ψύξη μέσω εξάτμισης και τροποποίησης της θερμικής ισορροπίας** (Z. Wang et al., 2025). Ο συνδυασμός πρασίνου και νερού ενισχύει την οικολογική λειτουργία της πόλης, βελτιώνει τη βιοποικιλότητα και συμβάλλει στη διαχείριση των όμβριων υδάτων. Επιπλέον, η χωρική κατανομή τους είναι κρίσιμη: η στρατηγική τοποθέτηση πράσινων και μπλε υποδομών σε πυκνοδομημένες περιοχές μπορεί να μειώσει θερμικά φορτία και να δημιουργήσει «νησίδες δροσιάς». Επομένως, το πράσινο και το νερό δεν αποτελούν απλώς αισθητικά στοιχεία, αλλά θεμελιώδη εργαλεία βιώσιμου και ανθεκτικού αστικού σχεδιασμού (Ren et al., 2022).

2.3 Λύσεις Βασισμένες στη Φύση



Εικόνα 6 Κατηγορίες Συμβιβασμών που απαιτούν οι Nbs (Guimarães et al., 2018).

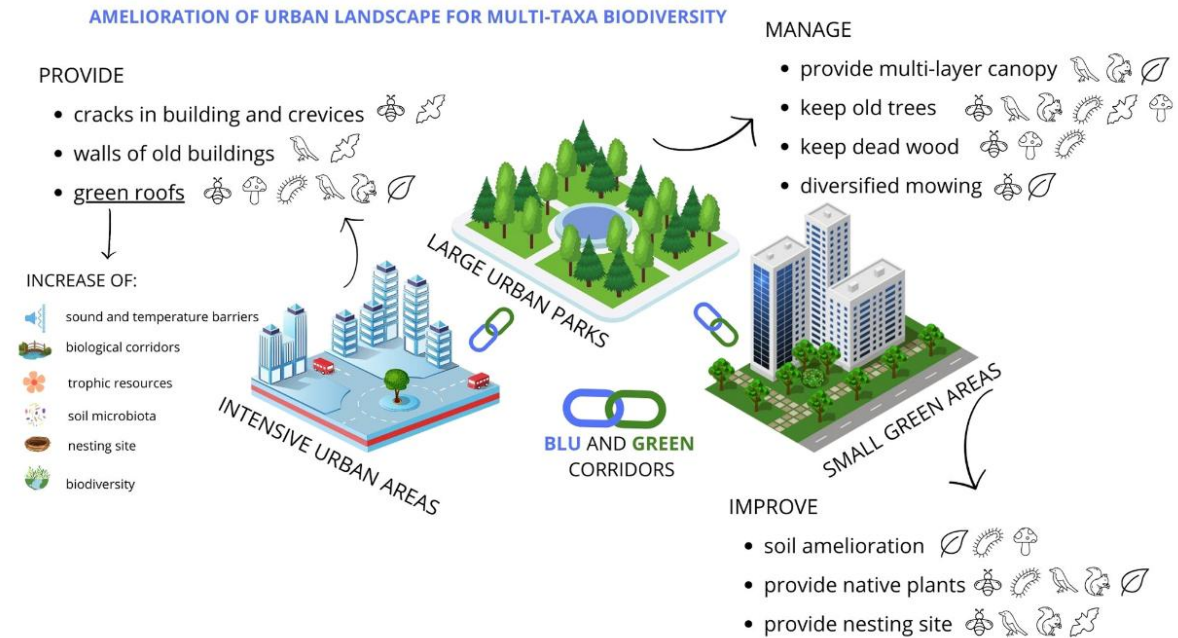
Οι Λύσεις Βασισμένες στη Φύση (Nature-Based Solutions - NbS) αναφέρονται σε παρεμβάσεις που αξιοποιούν φυσικές διεργασίες και οικοσυστήματα για την αντιμετώπιση κοινωνικών, περιβαλλοντικών και κλιματικών προκλήσεων, προσφέροντας ταυτόχρονα οφέλη για τη βιοποικιλότητα και την ανθρώπινη ευημερία. Στο αστικό περιβάλλον, οι NbS περιλαμβάνουν πρακτικές όπως οι Μπλε-Πράσινες Υποδομές - BGI, οι δενδροφυτεύσεις, τα συστήματα διαχείρισης όμβριων με φυσικό τρόπο και οι πράσινες εκτάσεις. Είναι οικονομικά αποδοτικές λύσεις εμπνευσμένες από τη φύση που βελτιώνουν ταυτόχρονα το περιβάλλον, την κοινωνία και την οικονομία και ενισχύουν την ανθεκτικότητα (Pröbstl-Haider et al., 2024). Αποτελούν βασικό εργαλείο βιώσιμου και ανθεκτικού αστικού σχεδιασμού, καθώς συμβάλλουν στη βελτίωση του μικροκλίματος, στη μείωση των κινδύνων από ακραία φαινόμενα και στην ενίσχυση της οικολογικής λειτουργικότητας των πόλεων (Biasin et al., 2024). Ωστόσο, η εφαρμογή τους σε αστικό περιβάλλον απαιτεί σημαντικούς συμβιβασμούς μεταξύ της οικονομικής αποδοτικότητας, της βιοποικιλότητας, του σχεδιασμού, των χρήσεων γης, και της βελτίωσης του τοπικού μικροκλίματος. Στην Εικ 3. παρουσιάζονται οι βασικές κατηγορίες των εν λόγω συμβιβασμών. Έτσι δημιουργούνται περιορισμοί στο πόσο αποδοτικές μπορεί να είναι οι λύσεις βασισμένες στη φύση. Δηλαδή συχνά είναι αναγκαίο να ληφθούν αποφάσεις σχετικές με το αν μία παρέμβαση είναι οικονομικά ορθή, αν εφαρμόζεται συμμετοχικός σχεδιασμός ή αν βελτιώνεται η βιοποικιλότητα (Pröbstl-Haider et al., 2024).

Οι εφαρμογές NbS συνιστούν παρεμβάσεις μεγάλης κλίμακας, οι οποίες συχνά υπερβαίνουν τις δυνατότητες υλοποίησης τοπικών πρωτοβουλιών ή μεμονωμένων δημοτικών αρχών. Πρόκειται για παρεμβάσεις που προϋποθέτουν τον συστηματικό εντοπισμό και την ανάλυση προβληματικών αστικών ή περιβαλλοντικών συνθηκών, την εκπόνηση εξειδικευμένων μελετών, τον ολοκληρωμένο σχεδιασμό και την οργανωμένη κατασκευαστική υλοποίηση. Επιπλέον, το αυξημένο οικονομικό κόστος που συνοδεύει τις NbS, τόσο στο στάδιο της κατασκευής όσο και στη μακροχρόνια συντήρησή τους, αποτελεί συχνά καθοριστικό παράγοντα για τη μη επιλογή ή την περιορισμένη εφαρμογή τους στον αστικό σχεδιασμό. Ως αποτέλεσμα, η υλοποίηση τέτοιων παρεμβάσεων εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη διαθεσιμότητα χρηματοδοτικών εργαλείων, τη θεσμική υποστήριξη και τη συνεργασία μεταξύ δημόσιου και ιδιωτικού τομέα. Έτσι, σημαντικό ρόλο στην προώθηση πρακτικών NbS διαδραματίζουν οι μεγάλοι ιδιωτικοί οργανισμοί, στους οποίους παρατηρείται αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη μείωση ή και την επίτευξη μηδενικού ανθρακικού αποτυπώματος. Στο πλαίσιο αυτό, επιχειρήσεις με ανεπτυγμένη περιβαλλοντική συνείδηση έχουν τη δυνατότητα να αναπτύξουν και να εφαρμόσουν λύσεις

βασισμένες στη φύση και άλλες παρεμβάσεις βιώσιμου σχεδιασμού, συμβάλλοντας στην αντιστάθμιση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου που προκύπτουν από τις δραστηριότητές τους. Η τάση αυτή αποτυπώνεται στον αυξανόμενο αριθμό εταιρειών που χρηματοδοτούν ή υλοποιούν πρωτοβουλίες όπως δενδροφυτεύσεις, αναδασώσεις και έργα αστικού πρασίνου, καθώς και στη συστηματική ενσωμάτωση τέτοιων δράσεων στις στρατηγικές εταιρικής κοινωνικής ευθύνης και βιωσιμότητας. Μέσω αυτών των πρακτικών, ο ιδιωτικός τομέας αναδεικνύεται ως δυνητικός εταίρος στην επίτευξη περιβαλλοντικών και κλιματικών στόχων, ενισχύοντας συμπληρωματικά τις δημόσιες πολιτικές για την κλιματική προσαρμογή και την αστική ανθεκτικότητα. (Biasin et al., 2024).

2.4 Μπλε και Πράσινες Υποδομές - Διάδρομοι

Η **Μπλε-Πράσινη Υποδομή (BGI)** αποτελεί ένα συνεκτικό σύστημα φυσικών και τεχνητά αποκατεστημένων οικολογικών στοιχείων, το οποίο συνδυάζει πράσινες δομές (όπως πάρκα, αστικές φυτεύσεις, πράσινους διαδρόμους, δασικές εκτάσεις) με υδάτινα στοιχεία (όπως ποτάμια, λίμνες, ρέματα, δεξαμενές, υγροτόπους και υποδομές διαχείρισης υδάτων). Κεντρικό ρόλο στο σύστημα αυτό διαδραματίζουν οι Μπλε και Πράσινοι Διάδρομοι, δηλαδή γραμμικά ή δικτυακά στοιχεία που διασφαλίζουν τη χωρική και λειτουργική σύνδεση μεταξύ επιμέρους οικοσυστημάτων. Οι Πράσινοι Διάδρομοι (green corridors) λειτουργούν ως οικολογικές αρτηρίες που επιτρέπουν τη μετακίνηση ειδών, τη γενετική ανταλλαγή και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας σε κατακερματισμένα αστικά περιβάλλοντα, ενώ οι Μπλε Διάδρομοι (blue corridors) —όπως ποτάμια και ρέματα— υποστηρίζουν υδρολογικές και οικολογικές διεργασίες, συμβάλλοντας ταυτόχρονα στη φυσική αποστράγγιση και στον έλεγχο πλημμυρών. Ο βασικός σκοπός της BGI είναι η ενίσχυση της οικολογικής συνδεσιμότητας και η υποστήριξη της βιωσιμότητας και ανθεκτικότητας των πόλεων απέναντι σε σύγχρονες περιβαλλοντικές και κοινωνικές προκλήσεις. Οι μπλε-πράσινοι αυτοί διάδρομοι αποτελούν κρίσιμες ζώνες σύνδεσης μεταξύ αστικών πράσινων περιοχών, υποστηρίζοντας τη μετακίνηση, αλληλεπίδραση και επιβίωση ειδών σε ένα κατακερματισμένο τοπίο (Biella et al., 2025).



Εικόνα 7 Με την παροχή, τη ρύθμιση και την αναβάθμιση των πόλεων, κάθε τύπος τοπίου στον αστικό πίνακα - από πυκνοκατοικημένες περιοχές έως εκτεταμένα αστικά πάρκα - μπορεί να συμβάλει στην αύξηση της αστικής βιοποικιλότητας. Αυτά τα στοιχεία πρέπει να ελέγχονται κατάλληλα και να συνδέονται χωρικά (Biella et al., 2025).

Η αποτελεσματική λειτουργία των Μπλε και Πράσινων Διαδρόμων προϋποθέτει τη διατήρηση συνεχούς ροής οικολογικών διεργασιών μέσα στην πόλη, κάτι που επιτυγχάνεται μέσω ολοκληρωμένου αστικού και πολεοδομικού σχεδιασμού. Η χωρική τους οργάνωση πρέπει να λαμβάνει υπόψη τη μορφολογία της πόλης, τις αδιαπέραστες επιφάνειες και τα υφιστάμενα δίκτυα μεταφορών, ώστε να αποφεύγονται φραγμοί που διακόπτουν την οικολογική συνέχεια. Στρατηγικές όπως το Low-Impact Development (LID), με χρήση διαπερατών δαπέδων, βιοκαναλιών (bioswales), πράσινων στεγών και τεχνητών υγροτόπων, ενισχύουν τη λειτουργικότητα των μπλε-πράσινων διαδρόμων, καθώς μιμούνται φυσικές διεργασίες, περιορίζουν τις πλημμύρες και βελτιώνουν την ποιότητα των υδάτων (Yao et al., 2025). Παράλληλα, οι διάδρομοι αυτοί μπορούν να λειτουργήσουν ως «κλιματικοί άξονες», διευκολύνοντας τη ροή ψυχρότερου αέρα προς πυκνοδομημένες περιοχές και συμβάλλοντας στη ρύθμιση της θερμοκρασίας. Έτσι, δεν αποτελούν μόνο στοιχεία οικολογικής προστασίας, αλλά και εργαλεία κλιματικής προσαρμογής και ανθεκτικότητας.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των Μπλε-Πράσινων Υποδομών και ειδικότερα των διαδρόμων τους περιλαμβάνουν:

- Ρύθμιση θερμοκρασίας μέσω σκιασμού και εξατμισοδιαπνοής
- Διαχείριση υδάτων και μείωση πλημμυρικού κινδύνου
- Υποστήριξη και διασύνδεση βιοποικιλότητας
- Φυσική αποκατάσταση και αναψυχή
- Βελτίωση ποιότητας αέρα
- Ενίσχυση κοινωνικής συνοχής και ποιότητας ζωής

Οι παρεμβάσεις για τη δημιουργία ή ενίσχυση BGI μπορούν να ταξινομηθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες: i) εισαγωγή νέων μπλε ή πράσινων διαδρόμων σε εγκαταλειμμένες ή υποβαθμισμένες αστικές εκτάσεις, ii) αναβάθμιση και επανασχεδιασμός υφιστάμενων υποδομών με στόχο την ενίσχυση της οικολογικής τους λειτουργίας και της συνδεσιμότητας, iii) κοινωνικο-πολιτιστικές παρεμβάσεις που προάγουν τη συμμετοχή των πολιτών και την ενεργή χρήση των διαδρόμων (Tate et al., 2024). Η ολοκληρωμένη προσέγγιση διασφαλίζει ότι οι Μπλε και Πράσινοι Διάδρομοι δεν λειτουργούν αποσπασματικά, αλλά ως ένα συνεκτικό δίκτυο που ενσωματώνεται στον αστικό ιστό, ενισχύοντας τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη.

2.5 Σημαντικοί Ορισμοί

2.5.1 Ευπάθεια

Η αιτία της ευπάθειας εξηγείται διαφορετικά στη βιβλιογραφία. Σύμφωνα με μια άποψη, η ευπάθεια προκύπτει από υποκείμενες κοινωνικές συνθήκες που συχνά δεν σχετίζονται με το συμβάν που την προκάλεσε. Σε αυτήν την περίπτωση, η έκθεση θεωρείται σταθερή και η μελέτη επικεντρώνεται στις ανισότητες στην ευπάθεια σε απώλεια ή άνιση πρόσβαση σε πόρους. Η ευπάθεια θεωρείται πρωτίστως ως συνάρτηση της εγγύτητας στις πηγές κινδύνου σε μια δεύτερη προοπτική που μοντελοποιεί την πιθανή έκθεση σε κινδύνους. Σύμφωνα με μια τρίτη προοπτική που ενσωματώνει κοινωνικές και βιοφυσικές πτυχές, η ευπάθεια προκύπτει από την αλληλεπίδραση μεταξύ κοινωνικής αντίδρασης και φυσικού κινδύνου. Σύμφωνα με αυτήν την ολοκληρωμένη προοπτική, η ευπάθεια είναι μια αντανάκλαση του πώς οι τοπικοί κοινωνικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες αλληλοεπιδρούν για να διαμορφώσουν το συνολικό επίπεδο κινδύνου μιας τοποθεσίας (Cutter et al., 2008)

2.5.2 Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS)

Με την υπόθεση ότι ο σχεδιασμός τηρεί την εργαλειακή ορθολογικότητα, η πλειονότητα των συστημάτων GIS δημιουργήθηκε με βάση θεωρίες χωρικής αναπαράστασης και υπολογισμού. Η καλύτερη γνώση βελτιώνει άμεσα τα αποτελέσματα του σχεδιασμού, σύμφωνα με αυτή τη θετικιστική προσέγγιση, η οποία επικεντρώνει τη λήψη αποφάσεων γύρω από την επιστημονική ανάλυση και τη χωρική σκέψη. Από την άλλη πλευρά, η επικοινωνιακή ορθολογικότητα ενθαρρύνει τις συμπεριληπτικές, συνεργατικές διαδικασίες που βασίζονται στη συζήτηση, την επίτευξη συμφωνιών και την επίλυση διαφορών. Αυτή η άποψη επηρέασε την έννοια του «συλλογικού σχεδιασμού» στην τεχνολογία πληροφοριών καθ' όλη τη δεκαετία του 1990, όπου οι τεχνολογίες διευκολύνουν την κοινωνική αλληλεπίδραση και τους κοινούς στόχους. Σε αυτήν την περίπτωση, τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, χρησιμοποιούνται για σχεδιασμό με το κοινό αντί απλά για το κοινό. Παρά το γεγονός ότι οι εργαλειακές και επικοινωνιακές απόψεις μερικές φορές θεωρούνται διαμετρικά αντίθετες, και οι δύο εξαρτώνται από την πληροφορία. Η διάκριση έγκειται στο είδος των δεδομένων που χρησιμοποιούνται και στον τρόπο με τον οποίο υποβάλλονται σε επεξεργασία για τη δημιουργία γνώσης για τις αποφάσεις σχεδιασμού (Malczewski, n.d.).

Ακόμα και με τη χρήση συμμετοχικών μεθοδολογιών, η ανάλυση καταλληλότητας χρήσης είναι κάτι περισσότερο από μια απλή διαδικασία που βασίζεται σε Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (ΓΣΠ). Ο σχεδιασμός απαιτεί τη χρήση χωρικών συνόλων δεδομένων και εργαλείων ΓΣΠ, αλλά οι πολεοδόμοι πρέπει επίσης να λαμβάνουν υπόψη τη δυναμική της εξουσίας, τις εκλογικές περιφέρειες και τα περίπλοκα αστικά και περιφερειακά ζητήματα. Για αυτό είναι απαραίτητη η κοινωνικοπολιτική κατανόηση των ΓΣΠ στην πράξη. Σύμφωνα με τους Harvey και Chrisman (1998), τα ΓΣΠ κατασκευάζονται κοινωνικά μέσω συμφωνιών μεταξύ κατασκευαστών, πολεοδόμων, υπευθύνων λήψης αποφάσεων, ομάδων συμφερόντων και πολιτών που ενδιαφέρονται για τη χάραξη πολιτικής, όπως ακριβώς και άλλες τεχνολογίες. Ως αποτέλεσμα, τα ΓΣΠ έχουν δεχθεί αυξανόμενη κριτική, ιδίως από κοινωνικούς επιστήμονες που εφιστούν την προσοχή στις διαφορετικές κοινωνικές τους επιπτώσεις. Τα ερωτήματα σχετικά με το πώς τα ΓΣΠ επηρεάζουν τα αποτελέσματα του σχεδιασμού και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων επικεντρώνονται σε ανησυχίες σχετικά με τη δικαιοσύνη, την ιδιωτικότητα, την ακρίβεια των δεδομένων, την προσβασιμότητα και τη γενική ποιότητα ζωής.

2.5.3 Data Driven Spatial Screening

Το **Data-Driven Spatial Screening** αποτελεί μεθοδολογική προσέγγιση χωρικής ανάλυσης που βασίζεται στη συστηματική αξιοποίηση ποσοτικών δεδομένων (π.χ. τηλεπισκοπικών δεικτών, κοινωνικοοικονομικών μεταβλητών, περιβαλλοντικών μετρήσεων) για τον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας προς παρέμβαση, μέσω αντικειμενικών και αναπαραγωγικών κριτηρίων. Για την εφαρμογή της μεθόδου αυτής συχνά χρησιμοποιούνται εργαλεία όπως συστήματα GIS και γλώσσες προγραμματισμού με τις οποίες τέτοιου τύπου λογισμικά αλληλεπιδρούν αποτελεσματικά, όπως Python ή HTML (B. Wang et al., 2026).

2.5.4 Environmental Vulnerability Index

Ένας σύνθετος δείκτης που ονομάζεται Δείκτης Περιβαλλοντικής Τρωτότητας (EVI) χρησιμοποιείται για να μετρήσει πόσο ευάλωτη είναι μια περιοχή σε περιβαλλοντικές πιέσεις και κινδύνους. Βασίζεται στη συνδυασμένη αξιολόγηση διαφόρων παραγόντων που υποδεικνύουν το επίπεδο έκθεσης ενός συστήματος στις περιβαλλοντικές αλλαγές, την ευαισθησία του στις επιπτώσεις τους και την ικανότητά του για προσαρμογή ή ανάκαμψη. Η δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη καθιστά δυνατή τη μετατροπή μιας σημαντικής ποσότητας ποικίλων χωρικών δεδομένων σε μία ενιαία, σαφώς κατανοητή πληροφορία, διευκολύνοντας τη σύγκριση διαφόρων περιοχών και την ιεράρχηση των αναγκών για δράση (Greene et al., 2011; Wu & Huang, 2023).

Ο EVI χρησιμοποιείται ως εργαλείο για τη διευκόλυνση της λήψης αποφάσεων στον αστικό σχεδιασμό, καθώς βοηθά στον εντοπισμό περιοχών που έχουν υψηλότερο περιβαλλοντικό φορτίο και χρειάζονται συγκεκριμένες θεραπείες. Η χρήση του είναι ιδιαίτερα κρίσιμη σε πόλεις που αντιμετωπίζουν ζητήματα όπως η αστική θερμική νησίδα, η εκτεταμένη σφράγιση του εδάφους, η έλλειψη πρασίνου και οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Τέσσερις βασικοί δείκτες που καταγράφουν διάφορες πτυχές του αστικού περιβάλλοντος συνδυάστηκαν για να δημιουργήσουν τον δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας σε αυτή την εργασία χρησιμοποιώντας ανάλυση πολλαπλών κριτηρίων σε περιβάλλον GIS: ο δείκτης βλάστησης (NDVI), ο δείκτης πυκνότητας κόμης δέντρων (Πυκνότητα Κόμης Δέντρων), ο

βαθμός στεγανοποίησης του εδάφους (Βαθμός Αδιαπερατότητας) και η θερμοκρασία επιφάνειας (Θερμοκρασία Επιφάνειας Γης). Ένας ενιαίος χωρικός δείκτης που καταγράφει την περιβαλλοντική ευπάθεια της περιοχής μελέτης δημιουργήθηκε με τη σύνθεση των δεικτών χρησιμοποιώντας τη μέθοδο Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού (WLC). Αυτός ο δείκτης χρησιμεύει ως βάση για τον προσδιορισμό περιοχών προτεραιότητας και την ανάπτυξη σχεδίων αστικής αναγέννησης που αξιοποιούν πράσινες και μπλε υποδομές (Pratt, n.d.; Skondras et al., 2011).

2.5.5 Multi-Criteria Spatial Analysis

Η **Multi-Criteria Spatial Analysis (MCSA)** συνιστά αναλυτικό πλαίσιο λήψης αποφάσεων που ενσωματώνει πολλαπλά και συχνά ετερογενή χωρικά κριτήρια, σταθμίζοντάς τα βάσει σχετικής σημασίας, με στόχο την αξιολόγηση εναλλακτικών σεναρίων ή την ιεράρχηση περιοχών (Greene et al., 2011).

2.5.6 Κανόνας 3 – 30 – 300

Ο κανόνας 3-30-300 έχει γίνει μια από τις πιο σημαντικές μεθόδους για την αξιολόγηση και τον σχεδιασμό αστικών χώρων πρασίνου τα τελευταία χρόνια. Ο Cecil Konijnendijk, αστικός δασολόγος, πρότεινε τον κανόνα, ο οποίος στοχεύει στη μετατροπή της επιστημονικής έρευνας σχετικά με τα πλεονεκτήματα των αστικών χώρων πρασίνου σε σαφείς, ποσοτικοποιήσιμους στόχους για τους πολυεστούς και τους υπεύθυνους λήψης αποφάσεων. Κάθε κοινότητα πρέπει να έχει τουλάχιστον 30% κάλυψη δέντρων, κάθε κάτοικος πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση 300 μέτρων από έναν προσβάσιμο και κατάλληλου μεγέθους χώρο πρασίνου και κάθε πολίτης πρέπει να έχει οπτική επαφή με τουλάχιστον τρία ώριμα δέντρα από το σπίτι, τον τόπο εργασίας ή το σχολείο του (Torrentí et al., 2026). Η φιλοσοφία του κανόνα βασίζεται στην ιδέα ότι τα πλεονεκτήματα των αστικών πράσινων υποδομών εξαρτώνται τόσο από το συνολικό μέγεθος των χώρων πρασίνου όσο και από τον χρόνο που οι κάτοικοι περνούν σε αυτούς. Πολυάριθμες μελέτες έχουν δείξει ότι οι χώροι πρασίνου βελτιώνουν την ψυχική υγεία, μειώνουν τα επίπεδα στρες, ενισχύουν την κοινωνική συνοχή, μειώνουν την ατμοσφαιρική ρύπανση και περιορίζουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Επιπλέον, η έκθεση σε φυσικά

περιβάλλοντα έχει συνδεθεί με βελτιωμένη ανοσοποιητική λειτουργία και μειωμένα ποσοστά θνησιμότητας (Giannico et al., 2025).

Ο κανόνας 3-30-300 μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε αυτήν τη μελέτη ως μέθοδος για την υποβοήθηση της πολυκριτηριακής ανάλυσης για τον προσδιορισμό των σημαντικότερων τοποθεσιών για την ανάπτυξη της Γαλαξοπράσινης Υποδομής στην Αθήνα. Συγκεκριμένα, ο στόχος μιας ελάχιστης δενδροκάλυψης 30% μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας τον δείκτη Πυκνότητας Δέντρων (TCD) και η απαίτηση των 300 m μπορεί να αξιολογηθεί χρησιμοποιώντας την ανάλυση buffer από τις υπάρχουσες περιοχές πρασίνου. Οι περιοχές υψηλής προτεραιότητας για πρωτοβουλίες BGI είναι εκείνες με μικρή δενδροκάλυψη, υψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας, περιορισμένη πρόσβαση σε χώρους πρασίνου και πυκνούς πληθυσμούς. Ο κανόνας 3-30-300 μετατρέπεται επομένως από μια ευρεία κατευθυντήρια αρχή σε ένα χρήσιμο εργαλείο λήψης χωρικών αποφάσεων που μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία μιας Αθήνας που είναι πιο ανθεκτική, βιώσιμη και οικολογικά δίκαιη. Αυτό μετατρέπει τον κανόνα 3-30-300 από μια ευρεία κατευθυντήρια έννοια σε ένα χρήσιμο εργαλείο λήψης χωρικών αποφάσεων που μπορεί να βοηθήσει στη δημιουργία μιας Αθήνας που είναι πιο ανθεκτική, βιώσιμη και οικολογικά δίκαιη.

3. Μεθοδολογική Προσέγγιση

Το κεφάλαιο αυτό παρουσιάζει τη μεθοδολογική προσέγγιση της έρευνας, η οποία βασίζεται σε χωρική ανάλυση με χρήση GIS και μεθόδων αξιολόγησης βασισμένων σε δεδομένα. Περιγράφονται τα στάδια συλλογής και επεξεργασίας δεδομένων, ο ορισμός κριτηρίων, η ανάπτυξη σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας και η διαδικασία επιλογής περιοχής παρέμβασης μέσω spatial screening.

3.1 Ερευνητική Προσέγγιση και Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Στην παρούσα εργασία, θα εφαρμοστεί ποσοτική, χωρική μεθοδολογική προσέγγιση, η οποία αξιοποιεί Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) για την ανάλυση και αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ευπάθειας στο αστικό περιβάλλον. Η χρήση λογισμικού GIS αποτελεί καθιερωμένο εργαλείο στον αστικό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό, καθώς επιτρέπει την ενοποίηση και επεξεργασία πολλαπλών γεωγραφικών και χωρικών δεδομένων, οδηγώντας στη λήψη τεκμηριωμένων αποφάσεων και την ανάλυση σύνθετων χωρικών φαινομένων. Κατά την ανάλυση, ο στόχος είναι να επιλεγούν τα κατάλληλα κριτήρια και να ενσωματωθούν με τα διαθέσιμα γεωγραφικά δεδομένα (Abdelkarim et al., 2024b). Η διαδικασία αυτή θα έχει ως αποτέλεσμα την αποτίμηση της ευπάθειας των περιοχών που θα εξεταστούν καθώς επίσης και της καταλληλότητάς τους για BGI-τύπου σχεδιαστικές παρεμβάσεις. Προκειμένου να γίνει αποτελεσματικά το παραπάνω, η ερευνητική αυτή προσέγγιση βασίζεται στη λογική της αξιολόγησης πολλαπλών κριτηρίων (Multi-Criteria Spatial Analysis – MCSA), η οποία επιτρέπει την ταυτόχρονη αξιολόγηση πολλαπλών και ετερογενών παραμέτρων, μέσω της απόδοσης κατάλληλων συντελεστών βαρύτητας και της σύνθεσής τους σε έναν ενιαίο δείκτη. Πρόκειται για μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιείται ευρέως σε εφαρμογές αστικού σχεδιασμού και περιβαλλοντικής αξιολόγησης, καθώς επιτρέπει τη διαφανή και συστηματική σύγκριση εναλλακτικών χωρικών συνθηκών και την υποστήριξη στρατηγικών αποφάσεων (Massarelli & Binetti, 2025b).

Ο σκοπός της διαδικασίας που αναφέρεται στην προηγούμενη παράγραφο είναι η δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας, ο οποίος προκύπτει από την

ενσωμάτωση των επιμέρους χωρικών δεικτών που σχετίζονται με τη δομή του αστικού ιστού και τις συνθήκες μικροκλίματος που δημιουργούνται σε αυτό. Η χρήση σύνθετων δεικτών αποτελεί τυπική μεθοδολογία για την ποσοτικοποίηση της περιβαλλοντικής και θερμικής ευπάθειας των πόλεων, επιτρέποντας τη χαρτογράφηση των χωρικών διαφοροποιήσεων και τον εντοπισμό περιοχών υψηλού κινδύνου ή αυξημένης περιβαλλοντικής επιβάρυνσης (Eminoğlu & Çelik, 2026b).

Κατά τη μέθοδο αυτή η επιλογή της περιοχής παρέμβασης γίνεται με τρόπο αντικειμενικό βασισμένη σε χωρικά δεδομένα (data-driven spatial screening) και όχι σε αυθαίρετη επιλογή. Μέσω της αξιοποίησης γεωχωρικών δεδομένων και της ανάπτυξης ενός σύνθετου δείκτη, καθίσταται δυνατός ο εντοπισμός περιοχών με αυξημένη θερμική και περιβαλλοντική επιβάρυνση, οι οποίες χαρακτηρίζονται από υψηλή πυκνότητα δόμησης, περιορισμένη παρουσία αστικής βλάστησης και αυξημένες θερμοκρασίες επιφάνειας. Αντίστοιχες προσεγγίσεις που κάνουν χρήση λογισμικού GIS έχουν εφαρμοστεί επιτυχώς για τον εντοπισμό αστικών θερμικών νησίδων και την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ευπάθειας σε αστικά περιβάλλοντα, επιβεβαιώνοντας τη συμβολή των γεωχωρικών αναλύσεων στον εντοπισμό κρίσιμων περιοχών και στην υποστήριξη παρεμβάσεων αστικής ανθεκτικότητας. Έτσι, η υιοθέτηση της προσέγγισης αυτής, εφόσον δημιουργηθεί η βάση του σύνθετου δείκτη, επιτρέπει και την αναπαραγωγή της αξιολόγησης του αστικού χώρου, ενισχύοντας την επιστημονική τεκμηρίωση της επιλογής της περιοχών μελέτης και υποστηρίζοντας τον σχεδιασμό στοχευμένων παρεμβάσεων, μπλε-πράσινων υποδομών με στόχο τη βελτίωση του μικροκλίματος και την ενίσχυση της αστικής ανθεκτικότητας (Massarelli & Binetti, 2025b).

3.2 Χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS)

Το λογισμικό GIS, θα αποτελέσει βασικό εργαλείο της εργασίας, καθιστώντας εφικτή την **χωρική ανάλυση** και κατ' επέκταση την **περιβαλλοντική αξιολόγηση του αστικού χώρου**. Τα GIS αποτελούν μεθοδολογική προσέγγιση που ξεκίνησε να εφαρμόζεται από τα μέσα του 20ού αιώνα και έχει εξελιχθεί στο βασικότερο μέσο για τη σύγχρονη πολεοδομική και περιβαλλοντική έρευνα, καθώς επιτρέπει την ενσωμάτωση, ανάλυση και οπτικοποίηση πολλαπλών γεωχωρικών μεταβλητών σε ένα ενιαίο αναλυτικό πλαίσιο. Η ικανότητά τους να διαχειρίζονται **ετερογενή δεδομένα** (αρχεία vector ή raster), να εφαρμόζουν χωρικές

συναρτήσεις και να υποστηρίζουν διαδικασίες πολλαπλών κριτηρίων αξιολόγησης, τα καθιστά ιδιαίτερος κατάλληλα για την ανάλυση σύνθετων αστικών φαινομένων, όπως η περιβαλλοντική επιβάρυνση και η θερμική ευπάθεια.

Για την υλοποίηση της εν λόγω ανάλυσης χρησιμοποιείται το λογισμικό **QGIS Bratislava, version 3.40.15**, το οποίο αποτελεί πλατφόρμα ανοικτού κώδικα γεωχωρικής επεξεργασίας με ευρεία αποδοχή στην ακαδημαϊκή και επαγγελματική κοινότητα. Η επιλογή του βασίζεται στην άμεση και εύκολη πρόσβαση σε αυτό, καθώς και στη δυνατότητά του να υποστηρίζει προηγμένες χωρικές αναλύσεις, επεξεργασία raster και vector δεδομένων, υπολογισμό δεικτών μέσω raster calculator, και εφαρμογή μεθόδων πολυκριτηριακής αξιολόγησης (weighted overlay analysis). Τέλος, η χρήση ανοικτού λογισμικού ενισχύει τη διαφάνεια και την αναπαραγωγικότητα της μεθοδολογίας.

Η διαδικασία επεξεργασίας των δεδομένων περιλαμβάνει αρχικά τη συλλογή γεωχωρικών στρωμάτων που αφορούν την κάλυψη και χρήση γης, τη γεωμετρία κτιρίων, το οδικό δίκτυο και δορυφορικά δεδομένα για την εκτίμηση της αστικής βλάστησης. Τα δεδομένα ενοποιούνται σε κοινό σύστημα αναφοράς και υφίστανται χωρική περικοπή εντός των διοικητικών ορίων της περιοχής μελέτης, διασφαλίζοντας τη χωρική συνέπεια και συγκρισιμότητα των επιμέρους μεταβλητών.

Στη συνέχεια, πραγματοποιείται προεπεξεργασία των δεδομένων, η οποία περιλαμβάνει καθαρισμό γεωμετρικών σφαλμάτων, μετατροπή διανυσματικών δεδομένων σε raster μορφή όπου απαιτείται, καθώς και υπολογισμό παραγώγων χωρικών μεταβλητών, όπως το ποσοστό αδιαπέρατων επιφανειών και η πυκνότητα δόμησης. Παράλληλα, μέσω επεξεργασίας δορυφορικών εικόνων υπολογίζεται ο δείκτης βλάστησης (NDVI), ο οποίος χρησιμοποιείται ως ποσοτικός δείκτης της αστικής φυτοκάλυψης.

Η αξιοποίηση των GIS επιτρέπει την ποσοτικοποίηση των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών του αστικού ιστού και τη μετατροπή τους σε συγκρίσιμους χωρικούς δείκτες. Μέσω της χωρικής ανάλυσης και της επεξεργασίας raster δεδομένων καθίσταται δυνατή η παραγωγή θεματικών χαρτών, οι οποίοι αποτυπώνουν τη χωρική διαφοροποίηση της περιβαλλοντικής επιβάρυνσης εντός της πόλης. Η διαδικασία αυτή αποτελεί κρίσιμο στάδιο για την εφαρμογή της επόμενης φάσης της μεθοδολογίας, δηλαδή της πολυκριτηριακής αξιολόγησης και της σύνθεσης του δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας

3.3 Συλλογή και Επεξεργασία Γεωχωρικών Δεδομένων

Η προσέγγιση της Χωρικής Ανάλυσης Πολλαπλών Κριτηρίων (MCSA), η οποία χρησιμοποιείται συχνά σε μελέτες αστικής τρωτότητας, χωροταξικού σχεδιασμού και περιβαλλοντικής αξιολόγησης με χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS), αποτελεί θεμέλιο αυτής της εργασίας. Σε αυτό το πλαίσιο, καθορίζεται ένα σύνολο κριτηρίων που σχετίζονται άμεσα με το μικροκλίμα και την αστική ανθεκτικότητα και αποτυπώνουν τις περιβαλλοντικές και μορφολογικές πτυχές του αστικού χώρου. Η διεθνής βιβλιογραφία σχετικά με την αξιολόγηση της χωρικής καταλληλότητας και της τρωτότητας, η οποία συνδυάζει συστηματικά διάφορα περιβαλλοντικά και χωρικά κριτήρια για τον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας για δράσεις σχεδιασμού, χρησιμεύει ως βάση για την επιλογή δεικτών.

Παρακάτω αναγράφονται κάποιου από τους πιο συνήθεις δείκτες που αξιολογούνται σε τέτοιου τύπου μοντέλα:

- Πυκνότητα και κατανομή του αστικού πρασίνου χρησιμοποιώντας δείκτες βλάστησης (**NDVI**)
- Θερμοκρασία επιφάνειας γης (**LST**)
- Χωρική πυκνότητα αδιαπέραστων επιφανειών (**Imperviousness Density**)
- Σκίαση από δενδρώδεις ή δασικές περιοχές (**TCD**)

Αυτές οι μεταβλητές επιλέχθηκαν επειδή έχει αποδειχθεί ότι έχουν άμεσο αντίκτυπο στη θερμική άνεση, την ένταση της αστικής θερμικής νησίδας και τη γενική περιβαλλοντική ευαισθησία των μητροπολιτικών περιοχών. Η χρήση πολλαπλών δεικτών επιτρέπει την ολοκληρωμένη αποτύπωση της αστικής πραγματικότητας, καθώς η ανθεκτικότητα δεν αποτελεί μονοδιάστατη έννοια αλλά προκύπτει από την αλληλεπίδραση περιβαλλοντικών, χωρικών και κοινωνικών παραγόντων. Αντίστοιχες μεθοδολογίες έχουν εφαρμοστεί σε μελέτες GIS-based αστικής ευπάθειας, όπου γεωχωρικά δεδομένα συνδυάζονται σε σύνθετους δείκτες για την υποστήριξη λήψης αποφάσεων και τον εντοπισμό περιοχών υψηλής προτεραιότητας για αστικές παρεμβάσεις.

Τα επιλεγμένα κριτήρια αποτελούν τη βάση για τη μετέπειτα ποσοτικοποίηση και στάθμιση των δεδομένων, οδηγώντας στη δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας, ο οποίος θα χρησιμοποιηθεί για το data-driven spatial screening και την επιλογή της περιοχής παρέμβασης.

3.4 Ορισμός Κριτηρίων Περιβαλλοντικής Αξιολόγησης

Μετά τον καθορισμό των κριτηρίων αξιολόγησης, τα γεωχωρικά δεδομένα μετατρέπονται σε ποσοτικοποιημένους χωρικούς δείκτες μέσω διαδικασιών χωρικής ανάλυσης σε περιβάλλον GIS. Η ποσοτικοποίηση αποτελεί κρίσιμο στάδιο της πολυκριτηριακής αξιολόγησης, καθώς επιτρέπει τη μετατροπή ποιοτικών χωρικών χαρακτηριστικών σε μετρήσιμες μεταβλητές που μπορούν να συγκριθούν και να συνδυαστούν σε ενιαίο αναλυτικό πλαίσιο. Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, η διαδικασία αυτή εφαρμόζεται σε μελέτες αστικής ευπάθειας και περιβαλλοντικής καταλληλότητας, όπου δεδομένα διαφορετικής φύσης μετασχηματίζονται σε αριθμητικούς δείκτες μέσω χωρικών συναρτήσεων και στατιστικών εργαλείων GIS.

Οι επιμέρους δείκτες υπολογίζονται μέσω raster ή vector αναλύσεων, όπως υπολογισμός του δείκτη βλάστησης (NDVI) από δορυφορικά δεδομένα (Εικ. 1), εκτίμηση ποσοστού αδιαπέρατων επιφανειών από δεδομένα κάλυψης γης και υπολογισμός πυκνότητας δόμησης μέσω χωρικής συσχέτισης κτιριακών γεωμετριών. Καθώς οι δείκτες εκφράζονται σε διαφορετικές μονάδες μέτρησης, εφαρμόζεται διαδικασία κανονικοποίησης (normalization), συνήθως μέσω της μεθόδου min-max scaling, ώστε όλες οι μεταβλητές να μετατραπούν σε κοινή κλίμακα τιμών μεταξύ 0 και 1. Η κανονικοποίηση αυτή εξασφαλίζει συγκρισιμότητα μεταξύ των δεικτών και αποτελεί κοινή πρακτική σε GIS-based Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA) εφαρμογές (Malczewski, 1999; Eastman, 2012). Η διαδικασία αυτή οδηγεί στη δημιουργία θεματικών raster επιφανειών, οι οποίες αποτυπώνουν τη χωρική ένταση κάθε περιβαλλοντικού παράγοντα και αποτελούν τη βάση για τη σύνθεση του τελικού δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας.

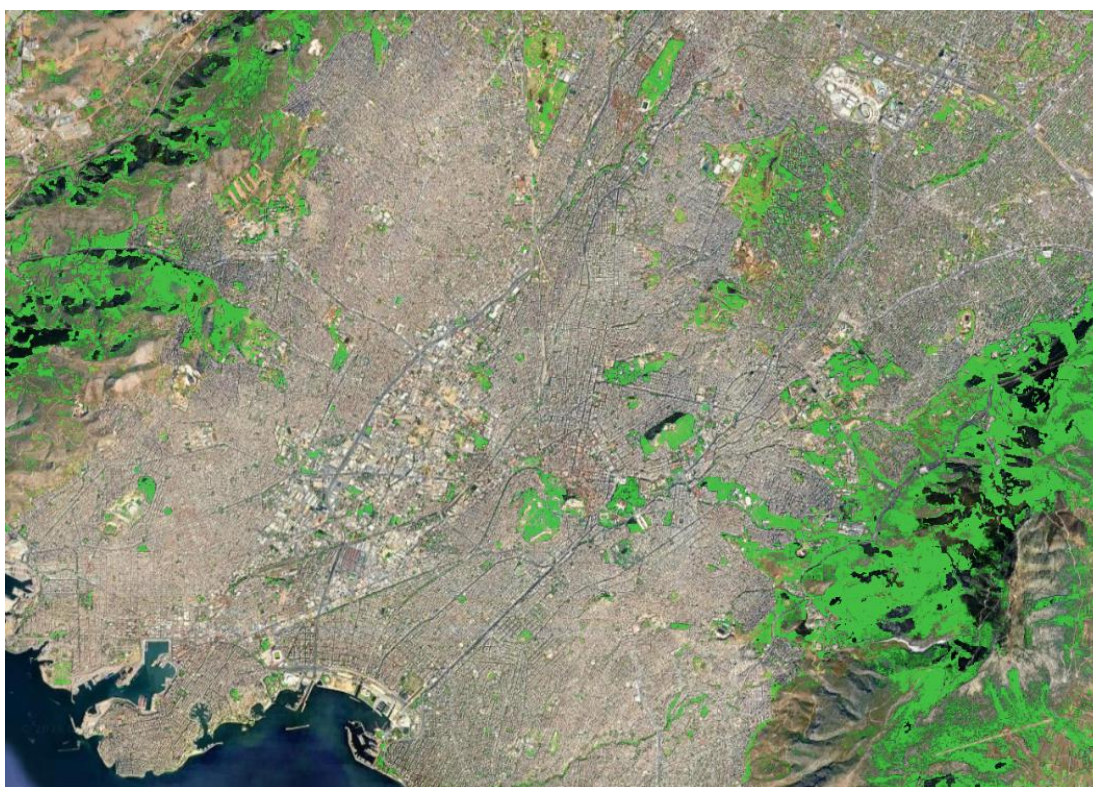
3.5 Ποσοτικοποίηση και Χωρική Ανάλυση των Περιβαλλοντικών Δεικτών

Η περιβαλλοντική κατάσταση των αστικών περιοχών αξιολογείται στην παρούσα εργασία μέσω της εφαρμογής της **Χωρικής Πολυκριτηριακής Ανάλυσης Αποφάσεων (MCSA)**, μιας μεθοδολογικής προσέγγισης που επιτρέπει τη συνδυαστική ανάλυση πολλαπλών περιβαλλοντικών, μορφολογικών και χωρικών παραμέτρων σε ενιαίο αναλυτικό πλαίσιο. Η MCSA χρησιμοποιείται ευρέως στον χωρικό σχεδιασμό και στην περιβαλλοντική αξιολόγηση, καθώς καθιστά δυνατή την ταυτόχρονη συνεκτίμηση ετερογενών δεδομένων,

τα οποία επηρεάζουν τη λειτουργία και τη βιωσιμότητα του αστικού περιβάλλοντος. Στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας εφαρμόζεται ειδικότερα η μέθοδος του **σταθμισμένου γραμμικού συνδυασμού (Weighted Linear Combination – WLC)**, σύμφωνα με την οποία κάθε επιμέρους δείκτης λαμβάνει συγκεκριμένο συντελεστή βαρύτητας που αντανακλά τη σχετική συμβολή του στην περιβαλλοντική επιβάρυνση και στη διαμόρφωση του αστικού μικροκλίματος.

Η διαδικασία στάθμισης βασίζεται σε βιβλιογραφικά τεκμηριωμένες συσχετίσεις μεταξύ αστικής μορφολογίας, ποσοστού φυτοκάλυψης, στεγανοποίησης επιφανειών και θερμικής συμπεριφοράς των πόλεων, καθώς και σε μεθοδολογικές πρακτικές που έχουν εφαρμοστεί σε μελέτες αξιολόγησης της αστικής θερμικής νησίδας και της αστικής ανθεκτικότητας. Μέσω της στάθμισης, η πολυπαραγοντική πληροφορία μετασχηματίζεται σε συγκρίσιμη μορφή, επιτρέποντας τη σύνθεση διαφορετικών τύπων δεδομένων σε έναν ενιαίο σύνθετο δείκτη, χωρίς να χάνεται η σχετική σημασία των επιμέρους περιβαλλοντικών παραγόντων. Η προσέγγιση αυτή εντάσσεται στο ευρύτερο πεδίο των συστημάτων υποστήριξης χωρικών αποφάσεων (Spatial Decision Support Systems), όπου η ανάλυση δεν αποσκοπεί μόνο στην παραγωγή χαρτογραφικών αποτελεσμάτων αλλά και στη συστηματική υποστήριξη της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, οι υπεύθυνοι σχεδιασμού συχνά καλούνται να διαμορφώσουν ιεραρχίες προτεραιοτήτων μεταξύ ανταγωνιστικών στόχων, γεγονός που καθιστά αναγκαία την ανάπτυξη μεθόδων που οργανώνουν και ποσοτικοποιούν τις προτιμήσεις και τα κριτήρια αξιολόγησης. Τέτοιου τύπου προσεγγίσεις στη λήψη αποφάσεων υποστηρίζουν ότι οι προτιμήσεις δεν είναι προκαθορισμένες, αλλά διαμορφώνονται μέσω της αλληλεπίδρασης μεταξύ αναλυτή, δεδομένων και πλαισίου σχεδιασμού.

Έτσι, η MCSA λειτουργεί ως εργαλείο γεφύρωσης μεταξύ επιστημονικής ανάλυσης και σχεδιαστικής πρακτικής, διευκολύνοντας τη δημιουργία ενός διαφανούς και αναπαραγωγίμου μοντέλου αξιολόγησης για σύνθετα αστικά προβλήματα. Παράλληλα, η προσέγγιση συνδέεται με τις αρχές του συμμετοχικού και κοινοτικού σχεδιασμού, καθώς η χρήση γεωπληροφοριακών τεχνολογιών μπορεί να ενισχύσει τον διάλογο μεταξύ εμπλεκόμενων φορέων και να υποστηρίξει συλλογικές διαδικασίες σχεδιασμού, συμβάλλοντας στην επίτευξη κοινών στόχων βιώσιμης και ανθεκτικής αστικής ανάπτυξης.



Εικόνα 8 Αρχική οπτικοποίηση δορυφορικών δεδομένων δείκτη ποσοστού πρασίνου στην πόλη της Αθήνας

3.6 Data-Driven Spatial Screening –Περιοχές Περιβαλλοντικής Ευπάθειας

Η μεθοδολογία της παρούσας έρευνας υιοθετεί προσέγγιση **data-driven spatial screening**, σύμφωνα με την οποία ο εντοπισμός περιοχών ενδιαφέροντος προκύπτει κυρίως μέσω ανάλυσης χωρικών δεδομένων και ποσοτικών κριτηρίων, χωρίς προκαθορισμένη επιλογή περιοχής μελέτης. Η προσέγγιση αυτή εφαρμόζεται σε μεγάλο βαθμό στον σύγχρονο αστικό σχεδιασμό, καθώς επιτρέπει την αντικειμενική αναγνώριση χωρικών ανισοτήτων, περιβαλλοντικών πιέσεων και αστικών ευπαθειών, μειώνοντας την υποκειμενικότητα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων και ενισχύοντας τη διαφάνεια της χωρικής αξιολόγησης. Μέσω της αξιοποίησης γεωχωρικών δεδομένων και της ανάλυσης πολλαπλών δεικτών, η μεθοδολογία συμβάλλει στη συστηματική κατανόηση των χωρικών προτύπων που διαμορφώνουν το αστικό μικροκλίμα και επηρεάζουν την περιβαλλοντική ποιότητα του αστικού χώρου.

Στο πλαίσιο αυτό, οι επιλεγμένοι δείκτες κανονικοποιούνται και συνδυάζονται, οδηγώντας στην παραγωγή θεματικών χαρτών περιβαλλοντικής επιβάρυνσης, οι οποίοι αποτυπώνουν τη χωρική διαφοροποίηση των μικροκλιματικών συνθηκών στον αστικό ιστό. Οι χάρτες αυτοί επιτρέπουν τον εντοπισμό περιοχών αυξημένης περιβαλλοντικής ευπάθειας, δηλαδή αστικών ενοτήτων που χαρακτηρίζονται από περιορισμένη παρουσία πρασίνου, υψηλή πυκνότητα δόμησης, έντονη στεγανοποίηση επιφανειών και αυξημένη θερμική επιβάρυνση. Αντίστοιχες μεθοδολογικές προσεγγίσεις έχουν εφαρμοστεί ευρέως στη διεθνή βιβλιογραφία για την αξιολόγηση της αστικής ανθεκτικότητας και τη χαρτογράφηση θερμικών κινδύνων, όπου η χωρική σύνθεση πολλαπλών κριτηρίων οδηγεί στη δημιουργία συνθετικών χαρτών αξιολόγησης βασισμένων σε επιμέρους περιβαλλοντικούς και χωρικούς δείκτες (Malczewski & Rinner, 2015a).

Σύμφωνα με τη σχετική βιβλιογραφία, οι χάρτες που προκύπτουν από τέτοιες διαδικασίες αναφέρονται ως χάρτες καταλληλότητας (suitability maps). Ένας χάρτης καταλληλότητας απεικονίζει τη χωρική διάταξη των απαιτήσεων, των προτιμήσεων ή των προβλέψεων που σχετίζονται με μια συγκεκριμένη δραστηριότητα ή παρέμβαση — στην προκειμένη περίπτωση, την εφαρμογή παρεμβάσεων πράσινων-μπλε υποδομών (Blue-Green Infrastructure, BGI). Παρότι ο όρος «καταλληλότητα» χρησιμοποιείται συχνά σε μελέτες χωροθέτησης αναπτυξιακών έργων, οι αναλυτικές αρχές που τον διέπουν έχουν ευρύτερη εφαρμογή στη διαχείριση φυσικών κινδύνων και στην αξιολόγηση περιβαλλοντικής ευπάθειας (Hopkins, 1977).

Σε ευρύτερη έννοια, ένας χάρτης καταλληλότητας για φυσικούς κινδύνους αποτυπώνει τα χωρικά χαρακτηριστικά και τα πρότυπα εμφάνισης συγκεκριμένων περιβαλλοντικών φαινομένων ή καταστροφών, αναδεικνύοντας περιοχές με διαφορετικά επίπεδα έκθεσης ή πιθανότητας βλάβης. Αντίστοιχα, ένας χάρτης καταλληλότητας ευπάθειας παρουσιάζει τα χωρικά πρότυπα που συνδέονται με αυξημένη ευαισθησία ενός συστήματος σε περιβαλλοντικές πιέσεις. Για παράδειγμα, περιοχές χαμηλού υψομέτρου κοντά σε πλημμυρικές ζώνες ενδέχεται να εμφανίζουν αυξημένο κίνδυνο πλημμύρας όταν συνδυάζονται με υψηλή δόμηση ή ανεπαρκείς υποδομές απορροής. Με ανάλογο τρόπο, στην παρούσα έρευνα οι χάρτες καταλληλότητας αξιοποιούνται για την ανάδειξη αστικών περιοχών όπου οι μικροκλιματικές συνθήκες και τα χωρικά χαρακτηριστικά υποδεικνύουν αυξημένη ανάγκη εφαρμογής παρεμβάσεων NbS και BGI.

Η εφαρμογή της data-driven προσέγγισης επιτρέπει, συνεπώς, τη μετάβαση από μια εμπειρική ή διαισθητική επιλογή περιοχής μελέτης σε μία τεκμηριωμένη διαδικασία

χωρικής ιεράρχησης, υποστηρίζοντας τον στρατηγικό σχεδιασμό παρεμβάσεων αστικής ανθεκτικότητας μέσω αντικειμενικών και αναπαραγωγικών αναλυτικών βημάτων.

3.7 Σύνθεση του Σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας

Η σύνθεση του τελικού δείκτη πραγματοποιείται μέσω ενσωμάτωσης των κανονικοποιημένων δεικτών σε ενιαίο μοντέλο αξιολόγησης. Ο σύνθετος δείκτης περιβαλλοντικής ευπάθειας υπολογίζεται με τη μέθοδο Weighted Linear Combination, σύμφωνα με την οποία κάθε δείκτης πολλαπλασιάζεται με τον αντίστοιχο συντελεστή βαρύτητας και τα αποτελέσματα αθροίζονται σε μία ενιαία raster επιφάνεια.

Η χρήση σύνθετων δεικτών αποτελεί ευρέως αποδεκτή μεθοδολογία για την ποσοτική αποτίμηση σύνθετων αστικών φαινομένων, καθώς επιτρέπει τη σύνθεση διαφορετικών διαστάσεων της αστικής πραγματικότητας σε ένα συγκρίσιμο μέγεθος. Στη διεθνή βιβλιογραφία, παρόμοιοι δείκτες χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση αστικής ευπάθειας, κλιματικής ανθεκτικότητας και περιβαλλοντικής ποιότητας.

Ο παραγόμενος δείκτης λαμβάνει τιμές συνεχούς κλίμακας και επαναταξινομείται σε κατηγορίες επιπέδων ευπάθειας, επιτρέποντας τη σαφή χωρική ερμηνεία των αποτελεσμάτων.

3.8 Επιλογή Περιοχής Παρέμβασης

Η τελική επιλογή της περιοχής μελέτης βασίζεται στα αποτελέσματα του σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας. Οι περιοχές που εμφανίζουν υψηλές τιμές δείκτη θεωρούνται ζώνες αυξημένης ανάγκης παρέμβασης, καθώς συνδυάζουν δυσμενή μικροκλιματικά χαρακτηριστικά και περιορισμένες οικολογικές υποδομές.

Η επιλογή πραγματοποιείται βάσει αντικειμενικών χωρικών κριτηρίων, όπως η χωρική συνέχεια των περιοχών υψηλής ευπάθειας, η ύπαρξη αστικών οδικών αξόνων κατάλληλων για εφαρμογή πράσινων-μπλε παρεμβάσεων και η δυνατότητα σχεδιαστικής υλοποίησης. Η διαδικασία αυτή διασφαλίζει ότι η περιοχή παρέμβασης δεν επιλέγεται αυθαίρετα αλλά προκύπτει ως αποτέλεσμα συστηματικής χωρικής ανάλυσης, ενισχύοντας τη μεθοδολογική εγκυρότητα της έρευνας και τη σύνδεση των αποτελεσμάτων με πρακτικές εφαρμογές αστικού σχεδιασμού.

4. Εφαρμογή στην πόλη της Αθήνας

Η παρούσα ενότητα επικεντρώνεται στην εφαρμογή του προτεινόμενου μοντέλου χωρικής ανάλυσης στην πόλη των Αθηνών, με στόχο την αξιολόγηση της καταλληλότητας περιοχών για την ανάπτυξη παρεμβάσεων Μπλε-Πράσινων Υποδομών (Blue-Green Infrastructure – BGI). Η Αθήνα αποτελεί μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα περίπτωση μελέτης, καθώς χαρακτηρίζεται από υψηλή πληθυσμιακή πυκνότητα, εκτεταμένες αδιαπέραστες επιφάνειες και περιορισμένη αναλογία αστικού πρασίνου ανά κάτοικο. Παράλληλα, η πόλη εμφανίζει έντονα φαινόμενα αστικής θερμικής νησίδας, τα οποία επιδεινώνονται από τις κλιματικές αλλαγές και την αυξανόμενη συχνότητα ακραίων θερμικών επεισοδίων.

Στο πλαίσιο αυτό, η ενσωμάτωση λύσεων BGI αναδεικνύεται ως κρίσιμη στρατηγική για τη βελτίωση της περιβαλλοντικής απόδοσης και της ανθεκτικότητας του αστικού ιστού. Οι παρεμβάσεις αυτές περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, τη δημιουργία νέων χώρων πρασίνου, την ενίσχυση της αστικής δενδροκάλυψης, την αποκατάσταση υδρολογικών στοιχείων και την εφαρμογή συστημάτων διαχείρισης όμβριων υδάτων. Η επιλογή των κατάλληλων περιοχών για την υλοποίηση τέτοιων παρεμβάσεων απαιτεί μια συστηματική προσέγγιση πολλαπλών κριτηρίων, η οποία λαμβάνει υπόψη τόσο περιβαλλοντικούς όσο και κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες.

Η μεθοδολογία που ακολουθείται, όπως περιεγράφηκε και στην προηγούμενη ενότητα, βασίζεται σε εργαλεία Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), τα οποία επιτρέπουν τη συλλογή, ανάλυση και σύνθεση χωρικών δεδομένων διαφορετικής φύσης και κλίμακας. Μέσω της χρήσης δορυφορικών δεδομένων και ανοικτών γεωχωρικών βάσεων, παράγονται θεματικά επίπεδα πληροφορίας που αποτυπώνουν βασικές παραμέτρους, όπως η κάλυψη βλάστησης, η θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους, η έκταση αδιαπέραστων επιφανειών, η πυκνότητα δόμησης και πληθυσμού, καθώς και η προσβασιμότητα σε υφιστάμενους χώρους πρασίνου. Τα δεδομένα αυτά αποτελούν τη βάση για την ανάπτυξη ενός μοντέλου πολυκριτηριακής ανάλυσης (Multi-Criteria Analysis – MCA), μέσω του οποίου εκτιμάται η σχετική καταλληλότητα διαφορετικών περιοχών για την εφαρμογή BGI. Η επιλογή της περιοχής μελέτης εντός του αστικού ιστού της Αθήνας έγινε με βάση τον συνδυασμό υψηλής περιβαλλοντικής επιβάρυνσης και ταυτόχρονα ύπαρξης χωρικών δυνατοτήτων για παρέμβαση. Συγκεκριμένα, δίνεται έμφαση σε ζώνες **με έντονη παρουσία αδιαπέραστων επιφανειών** και περιορισμένη βλάστηση, αλλά και σε περιοχές με μεταβατικό χαρακτήρα, όπου εντοπίζονται ανεκμετάλλευτοι ή υποβαθμισμένοι χώροι. Η ανάλυση αποσκοπεί όχι μόνο στον εντοπισμό των περιοχών με τη μεγαλύτερη ανάγκη για

παρέμβαση, αλλά και στην ανάδειξη εκείνων όπου οι παρεμβάσεις μπορούν να υλοποιηθούν με μεγαλύτερη αποτελεσματικότητα.

Συνεπώς η εφαρμογή του μοντέλου στην Αθήνα φιλοδοξεί να συμβάλει στην κατανόηση των χωρικών προτύπων περιβαλλοντικής ευπάθειας και να υποστηρίζει τον σχεδιασμό στοχευμένων και βιώσιμων παρεμβάσεων. Παράλληλα, αναδεικνύει τον ρόλο των GIS ως βασικού εργαλείου για την υποστήριξη της λήψης αποφάσεων στον αστικό σχεδιασμό, συνδυάζοντας επιστημονική ανάλυση με πρακτικές ανάγκες σχεδιασμού και διαχείρισης του αστικού περιβάλλοντος.

4.1 Χωρικοί Δείκτες και Θεματικά Επίπεδα Ανάλυσης

4.1.1 NDVI – Δείκτης Βλάστησης

Ο Δείκτης Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) αποτελεί έναν από τους πλέον διαδεδομένους δείκτες για την αποτίμηση της παρουσίας και της πυκνότητας της βλάστησης σε μία περιοχή. Ο δείκτης βασίζεται στη διαφορά της ανακλαστικότητας της επιφάνειας στο εγγύς υπέρυθρο και στο ερυθρό φάσμα και υπολογίζεται μέσω της σχέσης:

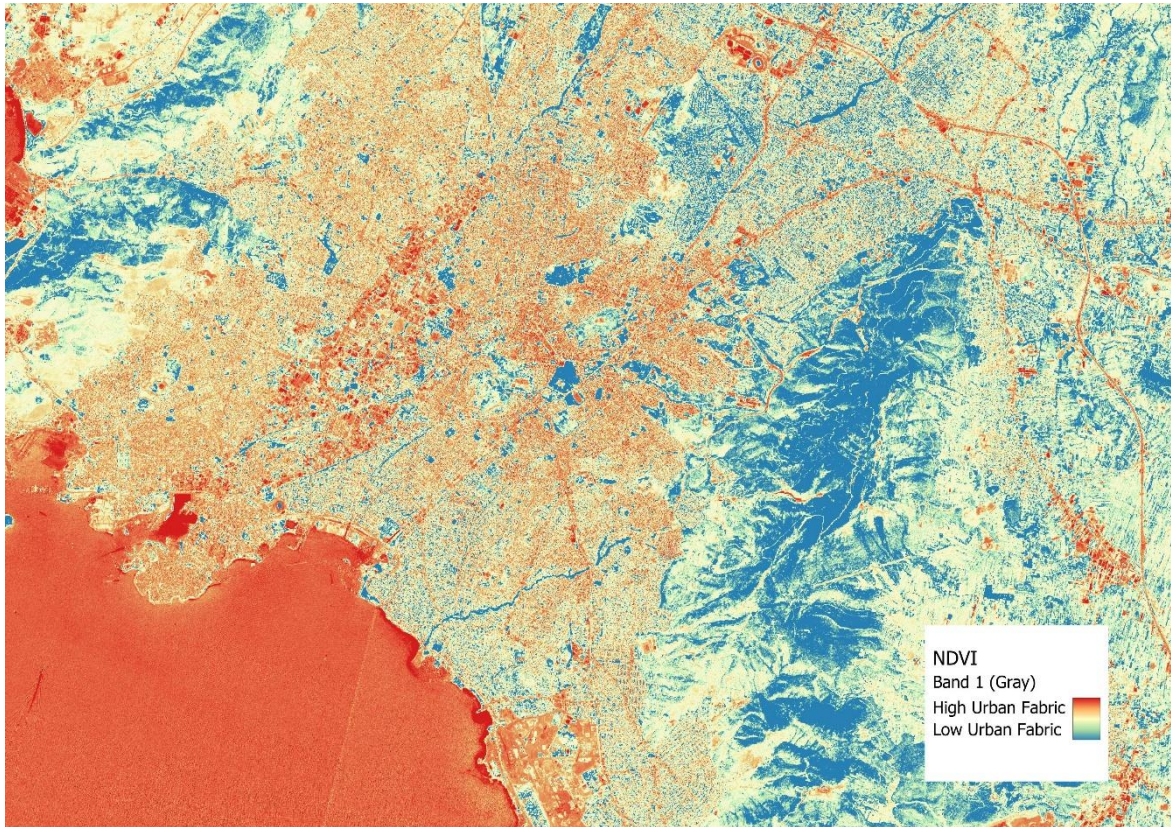
$$NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$$

Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται από -1 έως +1, όπου οι υψηλότερες τιμές υποδηλώνουν πυκνή και υγιή βλάστηση, ενώ οι χαμηλές ή αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε αδιαπέραστες επιφάνειες, γυμνό έδαφος ή υδάτινες επιφάνειες.

Για την παρούσα ανάλυση χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τον δορυφόρο **Sentinel-2**, τα οποία παρέχουν υψηλής ανάλυσης πολυφασματικές εικόνες. Συγκεκριμένα, αξιοποιήθηκαν τα φασματικά κανάλια του ερυθρού (Band 4) και του εγγύς υπέρυθρου (Band 8), ενώ ο υπολογισμός του δείκτη πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του QGIS μέσω του εργαλείου **Raster Calculator**.

Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα του NDVI ταξινομήθηκαν σε κατηγορίες, προκειμένου να καταστεί δυνατή η ευκολότερη ερμηνεία της χωρικής κατανομής της βλάστησης στην

περιοχή μελέτης. Η τελική απεικόνιση παρουσιάζεται στην Εικόνα 6, όπου αποτυπώνονται με θερμά χρώματα (κόκκινο–πορτοκαλί) οι περιοχές με χαμηλή ή μηδενική βλάστηση, ενώ με ψυχρά χρώματα (μπλε–πράσινο) οι περιοχές με υψηλότερη συγκέντρωση βλάστησης.



Εικόνα 9 Χάρτης κατανομής του δείκτη βλάστησης (NDVI) στην ευρύτερη περιοχή της Αθήνας

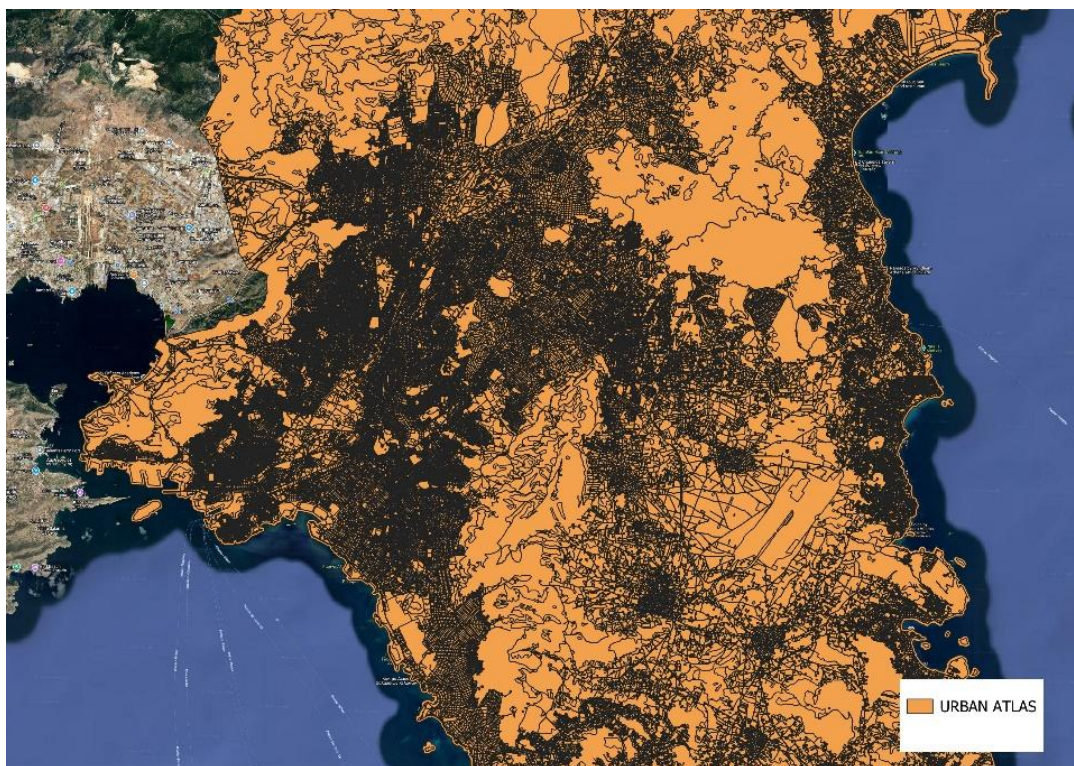
Η ανάλυση του χάρτη αναδεικνύει έντονη έλλειψη αστικού πρασίνου στο μεγαλύτερο τμήμα του πολεοδομικού συγκροτήματος της Αθήνα, όπου κυριαρχούν οι χαμηλές τιμές NDVI, γεγονός που συνδέεται άμεσα με την υψηλή πυκνότητα δόμησης και την εκτεταμένη παρουσία αδιαπέραστων επιφανειών. Αντιθέτως, υψηλότερες τιμές παρατηρούνται κυρίως σε περιαστικές και ορεινές περιοχές, καθώς και σε οργανωμένους χώρους πρασίνου, όπως μεγάλα πάρκα και δασικές εκτάσεις.

Τα ευρήματα αυτά επιβεβαιώνουν την ανάγκη ενίσχυσης των Μπλε-Πράσινων Υποδομών στην περιοχή μελέτης, καθώς οι ζώνες με χαμηλό NDVI ταυτίζονται με περιοχές αυξημένης περιβαλλοντικής πίεσης και θερμικής επιβάρυνσης. Συνεπώς, ο δείκτης NDVI αποτελεί βασικό εργαλείο για τον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας για παρεμβάσεις αστικού πρασίνου και ενσωματώνεται ως κρίσιμο κριτήριο στην πολυκριτηριακή ανάλυση που ακολουθεί.

4.1.2 Imperviousness – Δείκτης Διαπερατότητας

Οι αδιαπέραστες επιφάνειες αποτελούν έναν κρίσιμο δείκτη για την κατανόηση της περιβαλλοντικής κατάστασης του αστικού χώρου, καθώς σχετίζονται άμεσα με τη στεγανοποίηση του εδάφους, τη μείωση της φυσικής απορρόφησης των όμβριων υδάτων και την ενίσχυση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Επιφάνειες όπως το σκυρόδεμα, η άσφαλτος και οι δομημένες περιοχές εμποδίζουν τη διήθηση του νερού και συμβάλλουν στην αύξηση της επιφανειακής απορροής και της θερμοκρασίας.

Για την αποτύπωση των αδιαπέραστων επιφανειών στην περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν αρχικά δεδομένα κάλυψης γης από το πρόγραμμα Copernicus Land Monitoring Service μέσω του **Urban Atlas**, τα οποία παρέχουν κατηγοριοποίηση των επιφανειών σε διαφορετικούς τύπους χρήσεων γης. Τα δεδομένα εισήχθησαν στο περιβάλλον του QGIS και αρχικά απεικονίστηκαν με τη μορφή που παρέχονται από την πηγή (Εικόνα 7), όπου διακρίνονται οι περιοχές για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα.



Εικόνα 10 Χάρτης κάλυψης γης όπως εισάγεται στο QGIS από τα δεδομένα του Copernicus Urban Atlas

Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε επεξεργασία των δεδομένων με στόχο **την απομόνωση των αδιαπέραστων επιφανειών**. Συγκεκριμένα, οι κατηγορίες που αντιστοιχούν σε

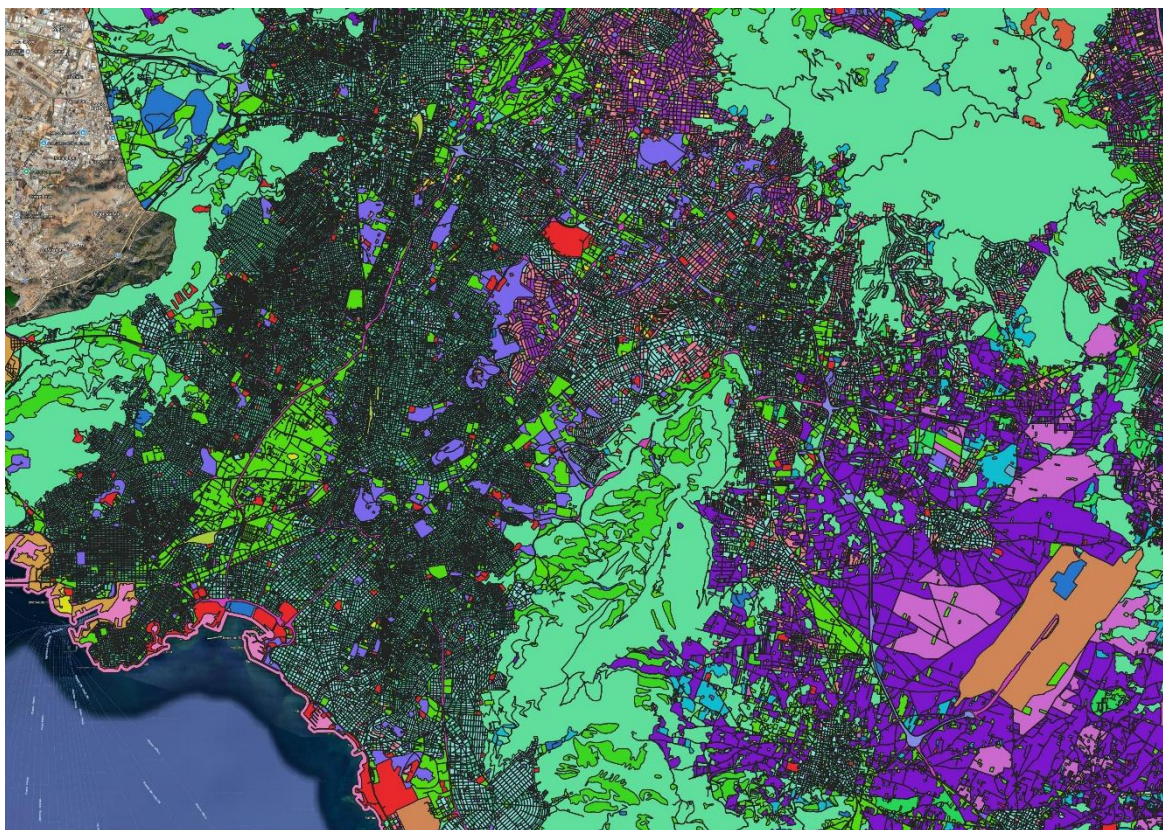
τεχνητές ή δομημένες επιφάνειες (όπως αστικές περιοχές και υποδομές) φαίνονται αναλυτικά στον παρακάτω πίνακα:

Πίνακας 3 Κατηγορίες Χρήσεων Γης από το dataset του Urban Atlas

URBAN ATLAS

	Airports
	Arable land (annual crops)
	Complex and mixed cultivation patterns
	Construction sites
	Continuous urban fabric (S.L. : > 80%)
	Discontinuous dense urban fabric (S.L. : 50% - 80%)
	Discontinuous low density urban fabric (S.L. : 10% - 30%)
	Discontinuous medium density urban fabric (S.L. : 30% - 50%)
	Discontinuous very low density urban fabric (S.L. : < 10%)
	Fast transit roads and associated land
	Forests
	Green urban areas (Private access)
	Green urban areas (Public access)
	Green urban areas (Unknown access conditions)
	Herbaceous vegetation associations (natural grassland, moors...)
	Industrial, commercial, public, military and private units
	Isolated structures
	Land without current use
	Mineral extraction and dump sites
	Open spaces with little or no vegetation (beaches, dunes, bare rocks, glaciers)
	Other roads and associated land
	Pastures
	Permanent crops (vineyards, fruit trees, olive groves)
	Port areas
	Railways and associated land
	Sports and leisure facilities
	Water

Ενώ στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται ο ίδιος χάρτης ύστερα από επεξεργασία σύμφωνα με τον παραπάνω πίνακα:

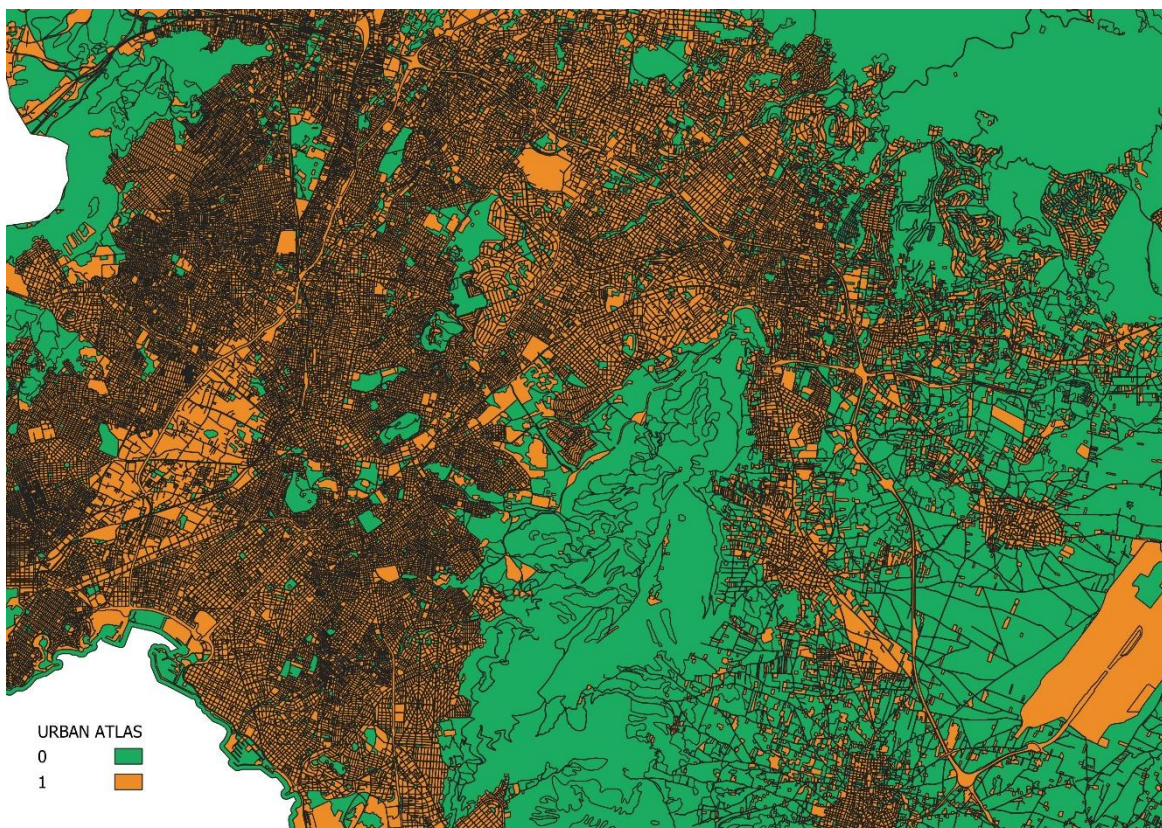


Εικόνα 11 Χάρτης κάλυψης γης όπως εισάγεται στο QGIS από τα δεδομένα του Copernicus Urban Atlas ανα κατηγορία χρήσης γης

Το τελικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται στην Εικόνα 9, όπου οι αδιαπέραστες επιφάνειες αποδίδονται με διακριτό χρωματισμό (πορτοκαλί), ενώ οι διαπερατές επιφάνειες με διαφορετικό (πράσινο). Η απεικόνιση πραγματοποιήθηκε κατά την επεξεργασία των δεδομένων **με στόχο την απομόνωση των αδιαπέραστων επιφανειών** μέσω αναταξινόμησης των κατηγοριών κάλυψης γης.

Πιο αναλυτικά, στο περιβάλλον του QGIS, στον πίνακα ιδιοτήτων (Attribute Table) του θεματικού επιπέδου **δημιουργήθηκε ένα νέο πεδίο για την αποθήκευση της δυαδικής πληροφορίας**. Στη συνέχεια, χρησιμοποιήθηκε η λειτουργία υπολογισμού Field Calculator, όπου εφαρμόστηκε μία απλή λογική έκφραση (script) βασισμένη στη στήλη «class 2021». Μέσω αυτής, οι κατηγορίες που αντιστοιχούν σε αδιαπέραστες επιφάνειες (όπως αστικές και τεχνητές χρήσεις γης) έλαβαν την τιμή 1, ενώ όλες οι υπόλοιπες κατηγορίες έλαβαν την τιμή 0. Με τον τρόπο αυτό προέκυψε ένα δυαδικό θεματικό επίπεδο, κατάλληλο για περαιτέρω χωρική ανάλυση και με στόχο την ενσωμάτωση στην πολυκριτηριακή ανάλυση. Έτσι επιτρέπεται η άμεση κατανόηση της χωρικής κατανομής της στεγανοποίησης του εδάφους.

Στην ανάλυση είναι εμφανές ότι το μεγαλύτερο μέρος του αστικού ιστού της Αθήνα χαρακτηρίζεται από υψηλό ποσοστό αδιαπέραστων επιφανειών, γεγονός που επιβεβαιώνει τον έντονα αστικοποιημένο χαρακτήρα της περιοχής. Αντίθετα, χαμηλές τιμές παρατηρούνται κυρίως σε περιαστικές και φυσικές περιοχές, όπου διατηρείται μεγαλύτερος βαθμός φυσικής κάλυψης.



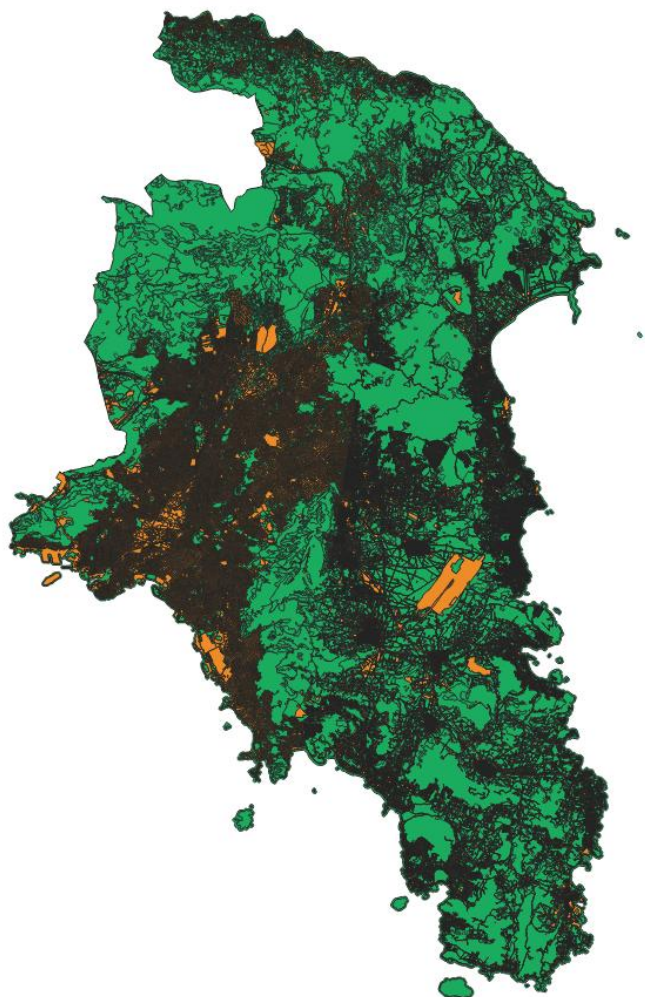
Εικόνα 12 Απεικόνιση διαπερατών (πράσινος χρωματισμός) και αδιαπέραστων (πορτοκαλί χρωματισμός) επιφανειών ύστερα από επεξεργασία των δεδομένων Urban Atlas

Η σημασία του δείκτη αυτού είναι ιδιαίτερα αυξημένη στο πλαίσιο του σχεδιασμού Μπλε-Πράσινων Υποδομών, καθώς οι περιοχές με υψηλή συγκέντρωση αδιαπέραστων επιφανειών αποτελούν προτεραιότητα για παρεμβάσεις όπως η αποσφράγιση εδαφών, η δημιουργία διαπερατών επιφανειών και η ενσωμάτωση συστημάτων διαχείρισης όμβριων υδάτων. Ως εκ τούτου, ο δείκτης είναι απαραίτητο να ενσωματωθεί ως βασικό κριτήριο στην πολυκριτηριακή ανάλυση που ακολουθεί.

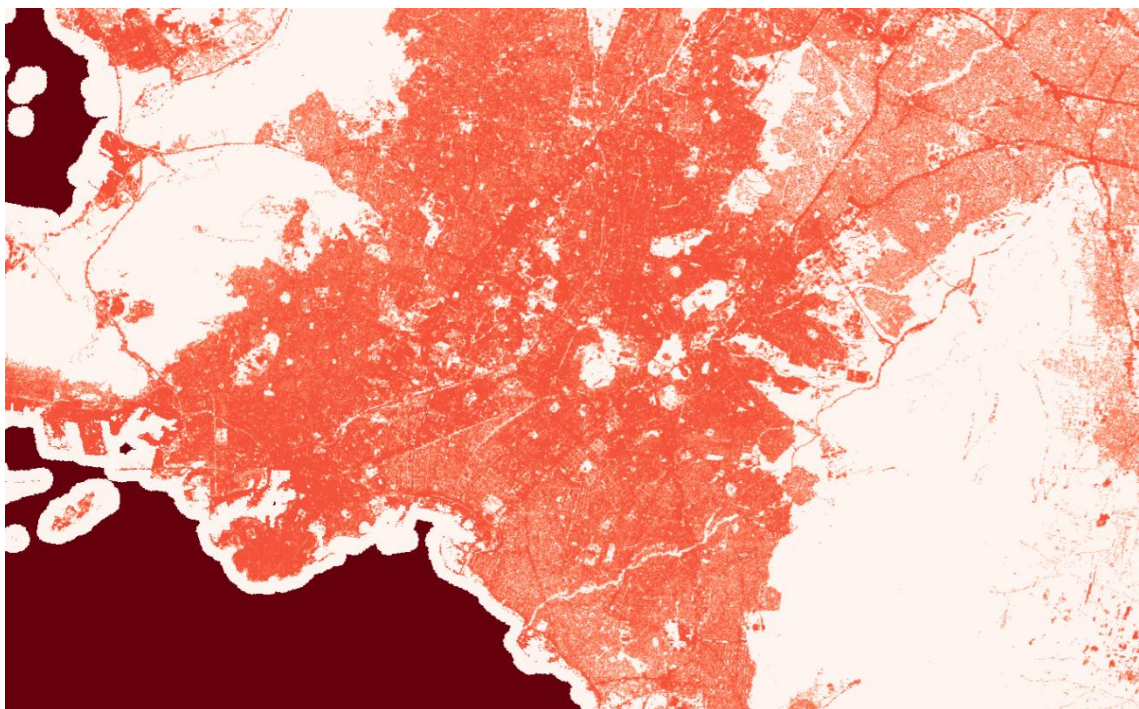
Η ανάλυση των χρήσεων γης με βάση τα δεδομένα του Copernicus Land Monitoring Service και ειδικότερα του Urban Atlas επέτρεψε την ποσοτική εκτίμηση της κατανομής

στεγανών και μη στεγανών επιφανειών στην περιοχή μελέτης. Μέσω της διαδικασίας χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης και υπολογισμού του εμβαδού ανά κατηγορία, προέκυψε ότι περίπου το 31,4% της συνολικής έκτασης αντιστοιχεί σε δομημένες επιφάνειες (impervious), ενώ το υπόλοιπο 68,6% καλύπτεται από μη δομημένες επιφάνειες, όπως φυσικές εκτάσεις, γεωργική γη και περιοχές πρασίνου. Το αποτέλεσμα αυτό αποτυπώνει τη γενική χωρική δομή της ευρύτερης περιοχής, η οποία περιλαμβάνει εκτεταμένες περιαστικές και φυσικές ζώνες. Ωστόσο, σε τοπική κλίμακα, και ιδιαίτερα στον πυκνοδομημένο αστικό πυρήνα, το ποσοστό στεγανότητας αναμένεται να είναι σημαντικά υψηλότερο, γεγονός που συνδέεται άμεσα με την ενίσχυση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και τη συνολική περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Εικόνα 13 Συνολική περιοχή για την οποία υπάρχουν δεδομένα μέσω του Urban Atlas



Ωστόσο για την ανάπτυξη του πολυκριτηριακού δείκτη το παραπάνω dataset, αν και η δυαδική πληροφορία από τον διανυσματικό δείκτη είναι χρήσιμη, δεν εναρμονίζεται αποτελεσματικά με τις τιμές των δεδομένων άλλων δεικτών. Επειδή ο τελικός στόχος είναι να αναπτυχθεί μοναδικό dataset περιβαλλοντικής ευπάθειας, είναι σημαντικό να μπορούν τα δεδομένα να αξιολογηθούν συγκριτικά. Η δυαδική αυτή αναπαράσταση (impervious/non-impervious με αντίστοιχες τιμές 0 και 1) **δεν αποτυπώνει τον βαθμό στεγανοποίησης κάθε περιοχής**, γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα συγκριτικής αξιολόγησης με τους υπόλοιπους συνεχείς περιβαλλοντικούς δείκτες. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε η αξιοποίηση των δεδομένων για τον δείκτη **Imperviousness Density (IMD)** του Copernicus Land Monitoring Service, το οποίο αποτελεί raster dataset υψηλής χωρικής ανάλυσης (10 m) και αποδίδει την κάλυψη από αδιαπέραστες επιφάνειες σε ποσοστιαία κλίμακα. Η επιλογή ενός συνεχή raster δείκτη σε σχέση με έναν δυαδικό διανυσματικό δείκτη, επιτρέπει την ακριβέστερη ποσοτική αποτύπωση του ποσοστού αστικής στεγανοποίησης, αναδεικνύοντας τις διαφοροποιήσεις μεταξύ περιοχών με διαφορετικό βαθμό δομημένης κάλυψης. Επιπλέον, η επιλογή αυτή εξασφαλίζει τη μεθοδολογική ομοιογένεια μεταξύ όλων των περιβαλλοντικών δεικτών που χρησιμοποιούνται στην παρούσα εργασία, καθώς πλέον οι δείκτες NDVI, Land Surface Temperature (LST), Tree Canopy Density (TCD) και Imperviousness Density (IMD) αποτελούν συνεχή raster δεδομένα κοινής επεξεργασίας. Η κοινή αυτή δομή καθιστά δυνατή την εφαρμογή ενιαίας διαδικασίας κανονικοποίησης και τη σύνθεση των δεικτών μέσω της μεθόδου Weighted Linear Combination (WLC), μειώνοντας τις μεθοδολογικές ασυμβατότητες που θα προκύπταν από τον συνδυασμό δεδομένων διαφορετικού τύπου και ενισχύοντας την αξιοπιστία του τελικού σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας. Στην παρακάτω Εικόνα 12. φαίνεται η απεικόνιση των αδιαπέραστων επιφανειών σύμφωνα με τα εν λόγω δεδομένα για τον δείκτη IMD.



Εικόνα 14 Αρχική απεικόνιση του δείκτη IMD. Με κόκκινο χρωματισμό εμφανίζονται οι αδιαπέραστες επιφάνειες εντός του αστικού ιστού. Οι θαλάσσιοι όγκοι δεν αποτελούν τμήμα των εν λόγω δεδομένων και η αποτύπωση τους δεν λαμβάνεται υπόψη για τον συγκεκριμένο δείκτη.

4.1.3 LST – Θερμοκρασία Επιφάνειας Εδάφους

Η Θερμοκρασία Επιφάνειας Εδάφους (Land Surface Temperature – LST) αποτελεί βασικό δείκτη για την ανάλυση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας (Urban Heat Island – UHI), καθώς αποτυπώνει τη θερμική συμπεριφορά της επιφάνειας του εδάφους και επιτρέπει τον εντοπισμό περιοχών αυξημένης θερμικής επιβάρυνσης.

Για τον υπολογισμό του δείκτη χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα από το USGS και συγκεκριμένα από τον δορυφόρο Landsat 8. Συλλέχθηκαν τα φασματικά κανάλια Band 4 (Red), Band 5 (Near Infrared) και Band 10 (Thermal Infrared), καθώς και τα μεταδεδομένα της εικόνας, από τα οποία εξήχθησαν οι απαραίτητες σταθερές (ML, AL, K1, K2).

Η επεξεργασία πραγματοποιήθηκε στο περιβάλλον του QGIS μέσω του εργαλείου Raster Calculator και περιλάμβανε τα εξής διαδοχικά στάδια:

Αρχικά υπολογίστηκε η φασματική ακτινοβολία (Top of Atmosphere Radiance) από το θερμικό κανάλι (Band 10), σύμφωνα με τη σχέση:

$$\text{Radiance} = \text{ML} * \text{Band10} + \text{AL}$$

Στη συνέχεια, η ακτινοβολία μετατράπηκε σε θερμοκρασία λαμπρότητας (Brightness Temperature) με βάση την εξίσωση:

$$\text{BT} = (\text{K2} / \ln((\text{K1} / \text{Radiance}) + 1)) - 273.15$$

όπου η θερμοκρασία μετατρέπεται σε βαθμούς Κελσίου.

Παράλληλα, υπολογίστηκε ο δείκτης βλάστησης NDVI από τα κανάλια Band 4 και 5:

$$\text{NDVI} = (\text{Band5} - \text{Band4}) / (\text{Band5} + \text{Band4})$$

Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση των επιφανειακών εκπομπών (emissivity), μέσω της σχέσης:

$$\text{Pv} = ((\text{NDVI} - \text{NDVImin}) / (\text{NDVImax} - \text{NDVImin}))^2$$

και στη συνέχεια:

$$\text{Emissivity}(\epsilon) = 0.004 * \text{Pv} + 0.986$$

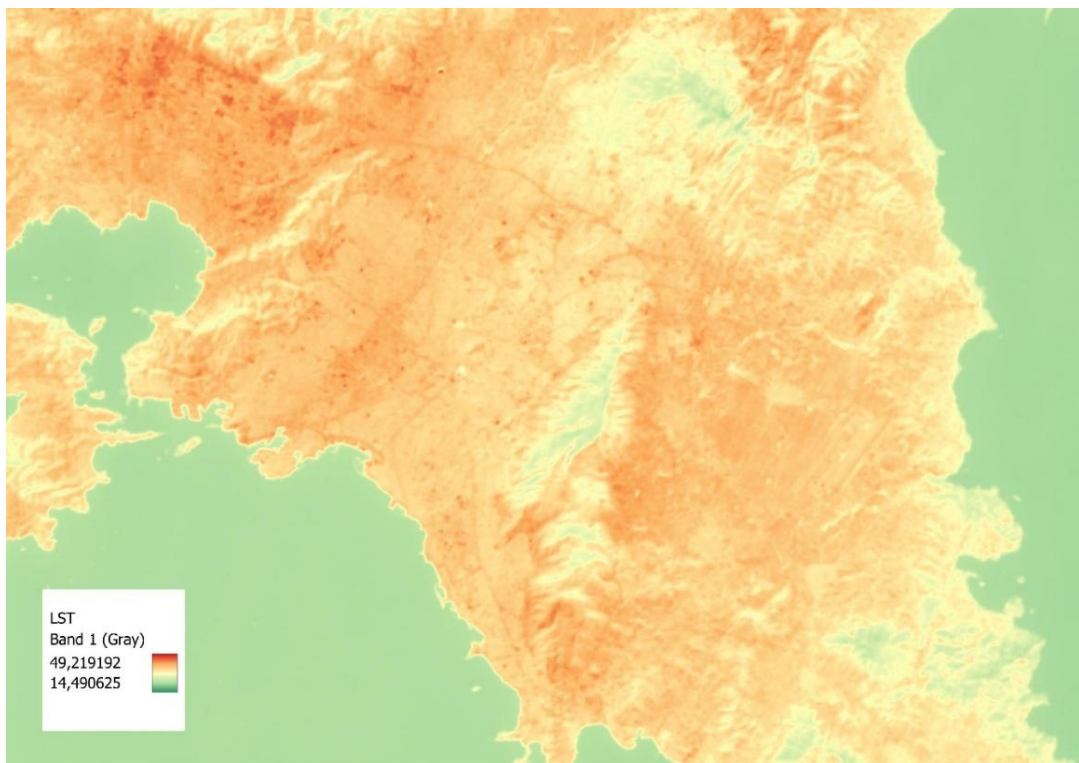
Τέλος, η Θερμοκρασία Επιφάνειας Εδάφους (LST) υπολογίστηκε με τη χρήση της ακόλουθης εξίσωσης:

$$\text{LST} = \text{BT} / (1 + (\lambda * \text{BT} / \rho) * \ln(\text{Emissivity})) \text{ όπου:}$$

- $\lambda = 10.895 \times 10^{-6} \text{ m}$ (μήκος κύματος για Band 10)
- $\rho = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m} \cdot \text{K}$ (σταθερά Planck)

Ο τελικός χάρτης (Εικόνα 11) παρουσιάζει τη χωρική κατανομή της θερμοκρασίας στην περιοχή μελέτης, με θερμές αποχρώσεις (κόκκινο–πορτοκαλί) να αντιστοιχούν σε υψηλές θερμοκρασίες και ψυχρές (μπλε–πράσινο) σε χαμηλότερες. Από την ανάλυση προκύπτει ότι οι υψηλότερες τιμές συγκεντρώνονται στον πυκνοδομημένο αστικό ιστό της Αθήνα, καθώς και σε περιοχές με εκτεταμένες αδιαπέραστες επιφάνειες, όπως βιομηχανικές ζώνες και βασικοί οδικοί άξονες.

Οι περιοχές αυτές ταυτίζονται με ζώνες εμφάνισης αστικής θερμικής νησίδας (UHI), οι οποίες επισημαίνονται στον χάρτη μέσω κατάλληλης θεματικής απεικόνισης. Αντίθετα, χαμηλότερες θερμοκρασίες παρατηρούνται σε περιοχές με έντονη βλάστηση και φυσικά χαρακτηριστικά, γεγονός που επιβεβαιώνει τον ρόλο των Μπλε-Πράσινων Υποδομών στη ρύθμιση του μικροκλίματος.



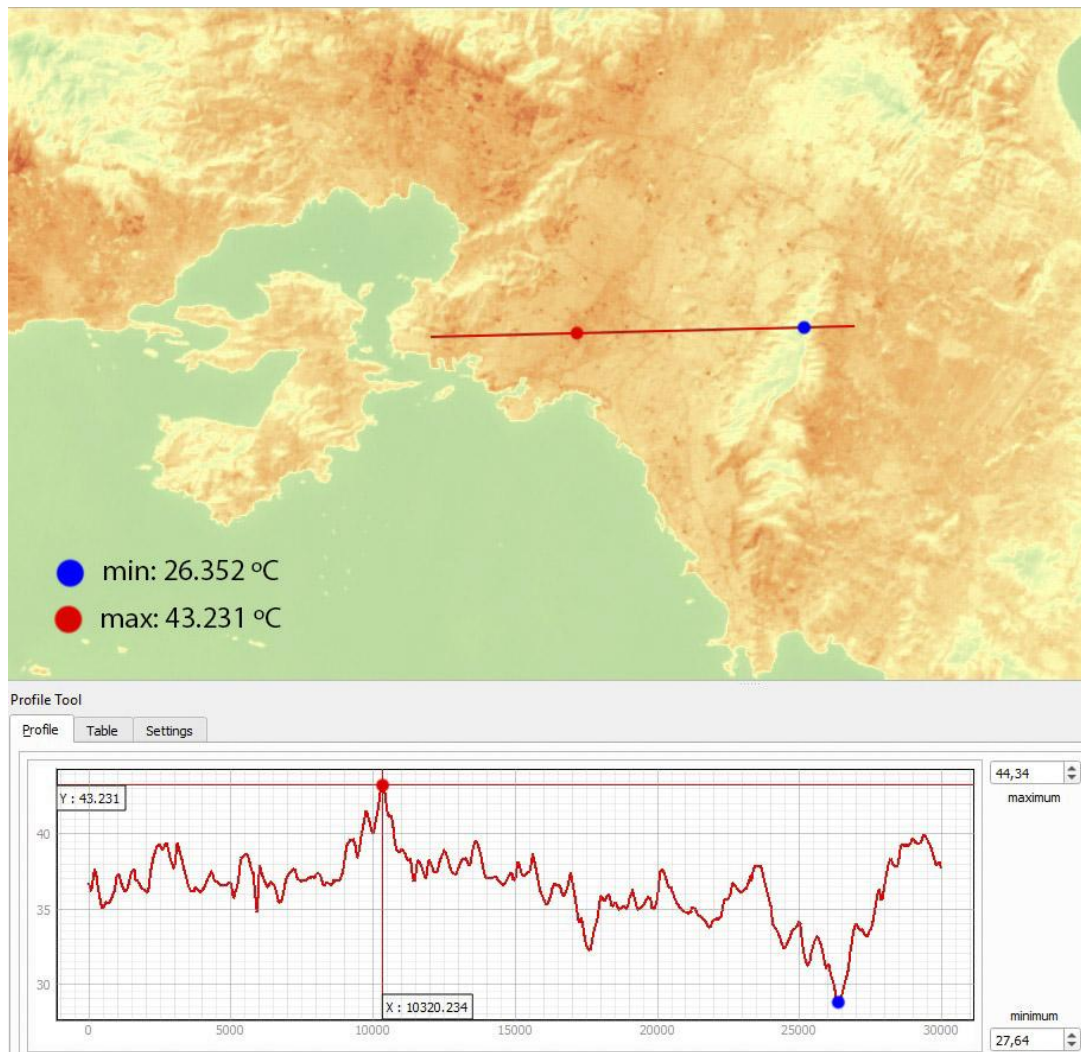
Εικόνα 15 Χάρτης κατανομής της θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους (LST) και εντοπισμός ζωνών αστικής θερμικής νησίδας (UHI)

Ο δείκτης LST ενσωματώνεται ως βασικό κριτήριο στην πολυκριτηριακή ανάλυση, καθώς αποτυπώνει άμεσα τις θερμικές συνθήκες και την περιβαλλοντική επιβάρυνση του αστικού χώρου.

Στο πλαίσιο της διερεύνησης της χωρικής μεταβολής της θερμοκρασίας επιφάνειας, δημιουργήθηκε θερμικό προφίλ κατά μήκος άξονα Ανατολής–Δύσης, με χρήση του εργαλείου Profile Tool στο QGIS. Ο άξονας επιλέχθηκε ώστε να διασχίζει περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά κάλυψης γης, συμπεριλαμβανομένων αστικών, περιαστικών και φυσικών ζωνών.

Το παραγόμενο διάγραμμα (Εικόνα 12) αποτυπώνει τη μεταβολή της θερμοκρασίας κατά μήκος της τομής, με τιμές που κυμαίνονται περίπου από 27,6°C έως 44,3°C. Παρατηρείται έντονη διακύμανση, η οποία σχετίζεται άμεσα με τη διαφοροποίηση των επιφανειακών χαρακτηριστικών.

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει η εμφάνιση θερμοκρασιακής κορυφής στο κεντρικό τμήμα της τομής (περίπου στο σημείο $X \approx 10.300$ m), όπου καταγράφονται τιμές άνω των 43°C. Η περιοχή αυτή αντιστοιχεί σε ζώνη έντονης αστικοποίησης και υψηλής συγκέντρωσης αδιαπέραστων επιφανειών, γεγονός που επιβεβαιώνει την παρουσία φαινομένων αστικής θερμικής νησίδας (UHI).



Εικόνα 16 Τα σημεία μέγιστης και ελάχιστης θερμοκρασίας εντοπίστηκαν από το θερμικό προφίλ και αποτυπώθηκαν στον χάρτη, προκειμένου να καταδειχθεί η χωρική αντιστοίχιση των θερμικών ακροτάτων με συγκεκριμένες χρήσεις γης.

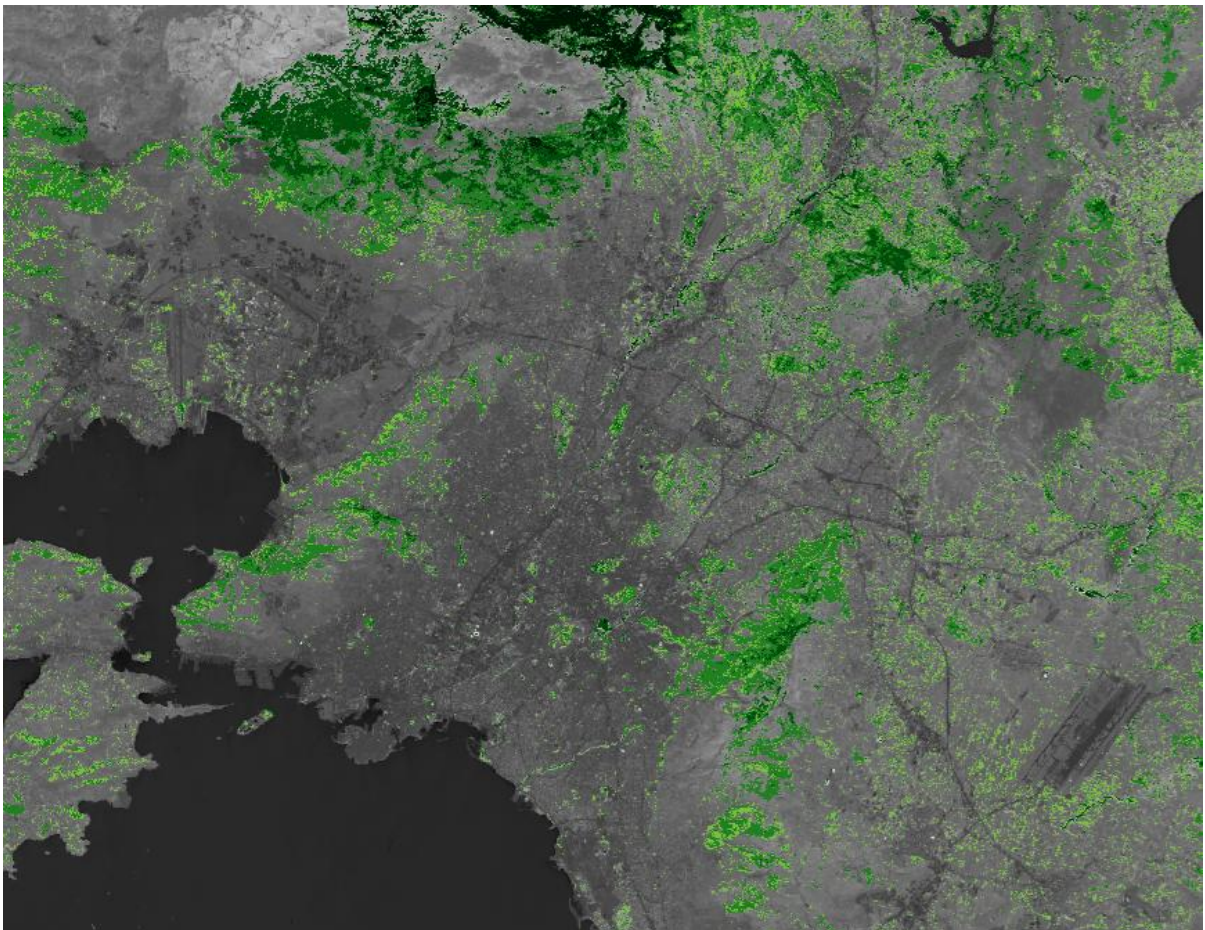
Αντίθετα, σε άλλα τμήματα της τομής παρατηρούνται σημαντικές μειώσεις της θερμοκρασίας (έως και $\sim 28^{\circ}\text{C}$), οι οποίες σχετίζονται με την παρουσία φυσικών ή ημι-φυσικών επιφανειών, όπως περιοχές με βλάστηση ή ορεινούς όγκους. Η διαφοροποίηση αυτή αναδεικνύει τον καθοριστικό ρόλο της κάλυψης γης στη ρύθμιση της θερμοκρασίας επιφάνειας.

Συνολικά, το θερμικό προφίλ επιβεβαιώνει τα ευρήματα του χάρτη LST και παρέχει μία πιο λεπτομερή εικόνα της χωρικής κατανομής της θερμικής επιβάρυνσης, συμβάλλοντας στον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας για την εφαρμογή παρεμβάσεων Μπλε-Πράσινων Υποδομών.

4.1.4 Tree Canopy Density (TCD) – Δείκτης δενδροκάλυψη

Το ποσοστό της επιφάνειας μιας δεδομένης περιοχής που καλύπτεται από δέντρα εκφράζεται με τον δείκτη Πυκνότητας Κήπου Δέντρων (TCD). Σε αντίθεση με άλλους δείκτες βλάστησης, ο TCD παρέχει μια πιο λεπτομερή εικόνα της αστικής κάλυψης δέντρων, εστιάζοντας μόνο στην πυκνότητα και την ύπαρξη **δασικής ή δενδρώδους βλάστησης**.

Ο δείκτης χρησιμοποιήθηκε για τον εντοπισμό περιοχών με χαμηλή κάλυψη δέντρων και για την καταγραφή της χωρικής κατανομής των δέντρων στην περιοχή έρευνας, όπως φαίνεται στην Εικόνα 13. Ο χάρτης δείχνει ότι οι λοφώδεις περιοχές που περιβάλλουν το λεκανοπέδιο της Αθήνας και μερικές περιοχές πρασίνου έχουν τις υψηλότερες τιμές TCD (σκούρο πράσινο). Η πλειονότητα του συνεχούς αστικού ιστού, από την άλλη πλευρά, έχει χαμηλές τιμές, γεγονός που υποδηλώνει ότι υπάρχουν λιγότερα δέντρα και συνεπώς την αυξημένη περιβαλλοντική ευπάθεια.



Εικόνα 17 Δείκτης TCD - Με πράσινο χρωματισμό εμφανίζεται η κάλυψη επιφανειών από δασικές ή δενδρώδεις περιοχές στην περιοχή μελέτης

Δεδομένου ότι η κάλυψη δέντρων βοηθά στη μείωση των θερμοκρασιών του αέρα και της επιφάνειας, στη βελτίωση της ποιότητας του αέρα, στην αποθήκευση διοξειδίου του άνθρακα και στη διαχείριση των όμβριων υδάτων, ο δείκτης είναι ιδιαίτερα σημαντικός στο πλαίσιο της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Εξαιτίας αυτού, ο TCD είναι ένας κρίσιμος παράγοντας για τον προσδιορισμό των περιοχών που χρειάζονται δράσεις για τη βελτίωση της βιωσιμότητας και της αστικής ανθεκτικότητας.

Παρά τη σύνδεσή τους με τη βλάστηση, οι δύο δείκτες έχουν ξεχωριστές λειτουργίες και προσφέρουν συμπληρωματικά δεδομένα. Ανεξάρτητα από τον τύπο, η συνολική παρουσία και υγεία των φυτών καταγράφεται από τον δείκτη NDVI. Ως αποτέλεσμα, τόσο τα δέντρα όσο και η χαμηλή βλάστηση, όπως οι χλοοτάπητες, οι θάμνοι ή οι γεωργικές καλλιέργειες, μπορούν να παράγουν υψηλές τιμές NDVI. Ο δείκτης TCD, από την άλλη πλευρά, λαμβάνει υπόψη μόνο την κάλυψη των δέντρων και δεν επηρεάζεται από άλλους τύπους βλάστησης. Ως αποτέλεσμα, μπορεί να ανιχνεύσει περιοχές με βλάστηση αλλά ελάχιστη έως καθόλου κάλυψη δέντρων (Czarnecka et al., 2026).

Οι δύο δείκτες χρησιμοποιούνται με συμπληρωματικούς τρόπους σε αυτή τη μελέτη. Ενώ ο TCD επιτρέπει την αξιολόγηση της πραγματικής παρουσίας δέντρων, η οποία σχετίζεται άμεσα με το δυναμικό σκίασης και τον μετριάσμό του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας, ο NDVI προσφέρει μια επισκόπηση της κάλυψης των φυτών.

Στον παρακάτω πίνακα συγκεντρώνονται τα στοιχεία των datasets που χρησιμοποιήθηκαν για το σχεδιασμό του συνδυαστικού δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας UEVI.

Πίνακας 4 Συγκεντρωτικός πίνακας δεδομένων που μελετήθηκαν για την ανάπτυξη σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας UEVI

Δείκτης	Dataset	Φορέας	Χωρική Ανάλυση	Έτος
NDVI	Sentinel-2 Level-2A	Copernicus Programme	10 m	2025
Χρήσεις Γης	Urban Atlas Athens	Copernicus Land Monitoring Service	10 m	2021
Imperviousness Density (IMD)	CLMS Imperviousness Density 2024	Copernicus Land Monitoring Service	10 m	2024
LST	Landsat 9 OLI/TIRS Collection 2 Level 1	United States Geological Survey / NASA	30 m (100 m θερμική)	2025
Tree Canopy Density (TCD)	High Resolution Layer Tree Canopy Density	Copernicus Land Monitoring Service	10 m	2021

4.2 Ενοποίηση Χωρικών Δεικτών και Ανάπτυξη Πολυκριτηριακού Δείκτη

Οι τέσσερις επιμέρους δείκτες δηλαδή: οι δύο δείκτες που αφορούν τη βλάστηση, NDVI και TCD καθώς και οι δύο δείκτες που αφορούν αστική περιβαλλοντική ευπάθεια, IMD και LST, προέρχονται από διάφορες πηγές δεδομένων και εκφράζονται σε διαφορετικές κλίμακες τιμών και μονάδες μέτρησης. Οι δείκτες υποβλήθηκαν σε συγκεκριμένες διαδικασίες προεπεξεργασίας, κανονικοποίησης και ευθυγράμμισης, προκειμένου να συνδυαστούν σε έναν ενιαίο δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας πολλαπλών κριτηρίων χρησιμοποιώντας την προσέγγιση του Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού (WLC). Για την επεξεργασία τους, όπως και σε προηγούμενο στάδιο ανάπτυξης των επιμέρους δεικτών, θα χρησιμοποιηθεί το εργαλείο Raster Calculator του QGIS το οποίο επιτρέπει την επεξεργασία των τιμών των datasets στο σύνολό τους και έχει ως αποτέλεσμα έναν εκ νέου δείκτη με τις επιθυμητές ιδιότητες.

4.2.1 Κανονικοποίηση

Όλοι οι δείκτες πέρασαν από μέθοδο κανονικοποίησης ώστε οι τιμές τους να εντάσσονται στο διάστημα $[0,1]$ με τη μέθοδο Min-Max, ώστε να καταστούν συγκρίσιμοι και να αποδοθεί ισότιμα η συνεισφορά τους στο τελικό αποτέλεσμα. Για τη διαδικασία αυτή έγγινε χρήση του παρακάτω τύπου:

$$X_{norm} = \frac{X - X_{min}}{X_{max} - X_{min}}$$

όπου X η αρχική τιμή του δείκτη και X_{min} , X_{max} οι ελάχιστες και μέγιστες τιμές αντίστοιχα του εκάστοτε δείκτη στην περιοχή μελέτης.

4.2.2 Εναρμόνιση της κατεύθυνσης των δεικτών

Για τη σύνθεση ενός σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας, είναι απαραίτητο όλοι οι δείκτες να ερμηνεύονται με την ίδια κατεύθυνση, δηλαδή οι υψηλές τιμές να αντιστοιχούν σε μεγαλύτερη περιβαλλοντική επιβάρυνση/ευπάθεια. Οι δείκτες βλάστησης (NDVI και Tree Canopy Density) εκφράζουν θετικές περιβαλλοντικές συνθήκες, δηλαδή όσο

υψηλότερες οι τιμές τους, τόσο καλύτερη η κατάσταση. Συνεπώς, προκειμένου να εναρμονίζονται με τις τιμές των άλλων επιμέρους δεικτών είναι αναγκαίο να εφαρμοστεί αλλαγή της κατεύθυνσης των τιμών με τον εξής τύπο:

$$X_{inv} = 1 - X_{norm}$$

Σε συνέχεια της εν λόγω επεξεργασίας, οι υψηλές τιμές των δεικτών βλάστησης, δείχνουν αυξημένη περιβαλλοντική ευπάθεια, δηλαδή μειωμένη βλάστηση ή σκίαση από δενδρώδεις περιοχές αντίστοιχα.

4.2.3 Επιλογή Βάρους Επιμέρους Δεικτών

Η διαδικασία καθορισμού των βαρών σε μία πολυκριτηριακή ανάλυση αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα αλλά και πιο σύνθετα στάδια της μεθοδολογίας, εφόσον **επηρεάζει άμεσα το τελικό αποτέλεσμα και την ερμηνεία του**. Παρότι στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι υπολογισμού βαρών, όπως η Analytic Hierarchy Process (AHP), η Entropy Method και άλλες τεχνικές πολυκριτηριακής αξιολόγησης, η επιλογή των βαρών παραμένει σε σημαντικό βαθμό **εξαρτώμενη από τον σκοπό της μελέτης**, τα διαθέσιμα δεδομένα και τη θεματική διάσταση του προβλήματος που εξετάζεται. Πλήθος ερευνητών επισημαίνει ότι δεν υφίσταται ένα καθολικά αποδεκτό σύνολο βαρών, καθώς η σχετική σημασία κάθε δείκτη μεταβάλλεται ανάλογα με το ερευνητικό ερώτημα και τις τοπικές συνθήκες της περιοχής μελέτης (Abdelkarim et al., 2024a; Greene et al., 2011).

Στην περίπτωση των αστικών περιβαλλόντων, η επιλογή των κριτηρίων και των βαρών διαφοροποιείται σημαντικά μεταξύ μελετών που εξετάζουν κοινωνικές, οικονομικές ή περιβαλλοντικές διαστάσεις της αστικής ευπάθειας. Για παράδειγμα, σε μελέτες κοινωνικής ευαλωτότητας συχνά δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα σε δημογραφικούς δείκτες, εισοδηματικά χαρακτηριστικά ή στην προσβασιμότητα σε υπηρεσίες. Αντίθετα, η παρούσα εργασία εστιάζει αποκλειστικά στην **περιβαλλοντική διάσταση** της αστικής ευπάθειας και ειδικότερα στις συνθήκες εκείνες του αστικού περιβάλλοντος που συμβάλλουν στην εμφάνιση και ενίσχυση φαινομένων όπως η αστική θερμική νησίδα, η υποβάθμιση του μικροκλίματος και η έλλειψη πράσινων υποδομών (Abdelkarim et al., 2024a).

Επειδή καταγράφει τις συνδυασμένες επιδράσεις της ηλιακής ακτινοβολίας, των ιδιοτήτων των υλικών, της πυκνότητας των κτιρίων και της παρουσίας ή απουσίας βλάστησης, η θερμοκρασία επιφάνειας γης (LST) θεωρείται ένας από τους πιο αντιπροσωπευτικούς δείκτες περιβαλλοντικής καταπόνησης. Σχετίζεται στενά τόσο με την ποιότητα του αστικού μικροκλίματος όσο και με το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, σύμφωνα με αρκετές έρευνες. Ως αποτέλεσμα, της δόθηκε το μεγαλύτερο βάρος (35%) (Malczewski & Rinner, 2015b).

Στη συνέχεια, ο Βαθμός Αδιαπερατότητας (IMD) υποδεικνύει το ποσοστό της επιφάνειας που καλύπτεται από αδιαπέραστα υλικά όπως το σκυρόδεμα και η ασφάλτος, τα οποία περιορίζουν τη διείσδυση νερού, μειώνουν την εξατμισοδιαπνοή και αυξάνουν την αποθήκευση θερμότητας. Μία από τις κύριες αιτίες της υποβάθμισης του αστικού περιβάλλοντος είναι η σφράγιση, η οποία σχετίζεται στενά με τον έλεγχο των βροχοπτώσεων, την ένταση της θερμικής νησίδας και την απώλεια λειτουργίας του οικοσυστήματος. Ως αποτέλεσμα, δόθηκε επίσης βάρος 35% (Weng, 2009).

Αντίθετα, οι δείκτες NDVI και Tree Canopy Density (TCD) λειτουργούν κυρίως ως **παράγοντες μετριασμού των περιβαλλοντικών πιέσεων** μέσω της σκίασης, της εξατμισοδιαπνοής και της παροχής οικοσυστημικών διαδικασιών. Παρότι η συμβολή τους στη βελτίωση του αστικού περιβάλλοντος είναι καθοριστική, θεωρείται ότι εκφράζουν περισσότερο την ικανότητα αντιμετώπισης των επιπτώσεων παρά την ανάπτυξή τους, με αποτέλεσμα να τους αποδίδονται χαμηλότερα βάρη (0,20 και 0,10 αντίστοιχα). Η τελική κατανομή των βαρών επιδιώκει να αποτυπώσει με ισορροπημένο τρόπο τις κυριότερες περιβαλλοντικές διεργασίες που διαμορφώνουν την ευπάθεια του αστικού χώρου της πόλης της Αθήνας, λαμβάνοντας υπόψη τόσο τους παράγοντες πίεσης όσο και τους μηχανισμούς περιβαλλοντικής ανθεκτικότητας (Gill et al., 2007).

Αναγνωρίζεται ότι διαφορετικές επιλογές βαρών θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε ελαφρώς διαφοροποιημένη χωρική κατανομή του τελικού δείκτη. Ωστόσο, η παρούσα στάθμιση κρίθηκε ως η πλέον κατάλληλη για την ανάδειξη της περιβαλλοντικής ευπάθειας στο πλαίσιο της εφαρμογής παρεμβάσεων Μπλε-Πράσινων Υποδομών στο αστικό τοπίο της Αθήνας.

Με βάση τα παραπάνω, ο συνολικός δείκτης περιβαλλοντικής ευπάθειας προκύπτει από τον τύπο:

$$\mathbf{UEVI = 0.20 * NDVI_{(norm_inv)} + 0.10 * TCD_{(norm_inv)} + 0.35 * IMD_{(norm)} + 0.35 * LST_{(norm)}}$$

(όπου όλοι οι δείκτες είναι κανονικοποιημένοι στο εύρος [0,1] και, όπου απαιτείται, αντεστραμμένοι).

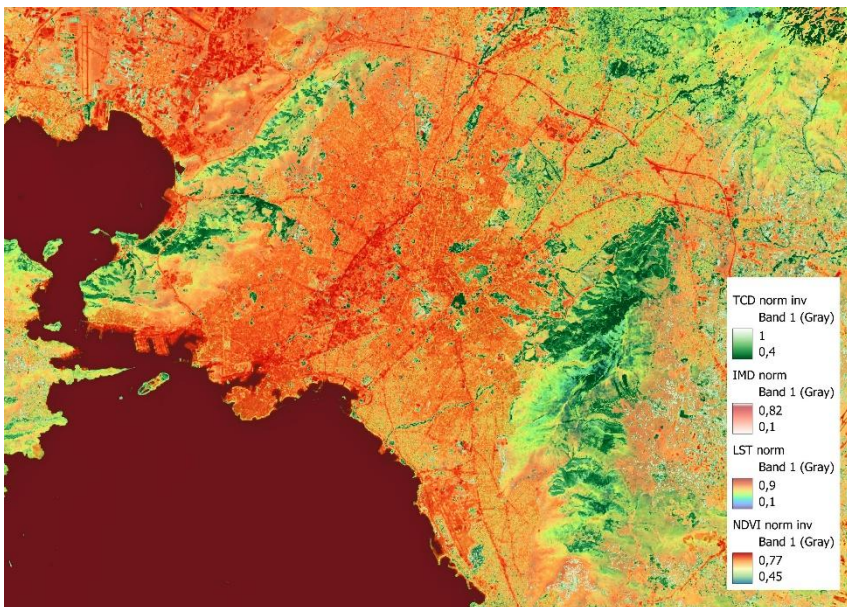
Πίνακας 5 Λεπτομέρειες επεξεργασίας Δεικτών που συμμετέχουν στην ανάπτυξη του σύνθετου Δείκτη Περιβαλλοντικής Ευπάθειας UEVI

Δείκτης	Περιγραφή	Μονάδες	Αρχικό εύρος τιμών (περιοχή μελέτης)	Κανονικοποίηση στο [0,1]	Αντιστροφή κατεύθυνσης	Βάρος στο WLC	Ερμηνεία υψηλών τιμών μετά την επεξεργασία
Land Surface Temperature (LST)	Θερμοκρασία επιφάνειας ξηράς (2024)	°C	14.2 – 48.9	Min-Max	Όχι	0.35	Μεγαλύτερη θερμική επιβάρυνση
Imperviousness Density (IMD)	Πυκνότητα στεγανοποιημένων επιφανειών (2024, 10 m)	Density	0 – 175	Min-Max (0–255)	Όχι	0.35	Μεγαλύτερη στεγανοποίηση
Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Βλάστηση (2024)	-	-0.17 – 0.83	Min-Max	Ναι	0.20	Μειωμένη βλάστηση
Tree Canopy Density (TCD)	Δενδροκάλυψη (2021/2022, 10 m)	%	0 – 100	Min-Max	Ναι	0.10	Μειωμένη δενδροκάλυψη

4.3 Αποτελέσματα

Σε αυτή την ενότητα θα γίνει αναφορά στην απεικόνιση των αποτελεσμάτων της διαδικασίας που περιεγράφηκε παραπάνω. Η εφαρμογή της μεθόδου Weighted Linear Combination (WLC) οδήγησε στη δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας (**Urban Environmental Vulnerability Index – UEVI**), ο οποίος αποτελεί τη συνιστώσα των τεσσάρων βασικών παραγόντων του αστικού περιβάλλοντος που μελετήθηκαν σε αυτή την εργασία και καταγράφονται αναλυτικά στον Πίνακα 1: της πυκνότητας βλάστησης (NDVI), της δενδροκάλυψης (TCD), της πυκνότητας αδιαπέραστων επιφανειών (IMD) και της θερμοκρασίας επιφάνειας (LST). Η διαδικασία αυτή επέτρεψε τη μετατροπή της ανάλυσης μεμονωμένων περιβαλλοντικών μεταβλητών σε μία ολοκληρωμένη συγκριτική αξιολόγηση της χωρικής περιβαλλοντικής ευπάθειας για το αστικό περιβάλλον της πόλης της Αθήνας.

Στην Εικόνα 15. παρουσιάζεται η συνδυαστική απεικόνιση των τεσσάρων κανονικοποιημένων δεικτών μέσω διαφορετικών επιπέδων διαφάνειας και χρωματικής απόδοσης. Η εικόνα αυτή επιτρέπει την οπτική διερεύνηση των χωρικών συσχετισμών μεταξύ των επιμέρους παραγόντων και αναδεικνύει περιοχές όπου συνυπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας, εκτεταμένες αδιαπέραστες επιφάνειες και χαμηλή παρουσία πρασίνου. Ιδιαίτερα εμφανής είναι **η αντίθεση μεταξύ του πυκνοδομημένου αστικού ιστού του κεντρικού λεκανοπεδίου και των περιμετρικών ορεινών όγκων**, όπου η αυξημένη βλάστηση και η χαμηλότερη θερμοκρασία επιφάνειας δημιουργούν σαφώς ευνοϊκότερες περιβαλλοντικές συνθήκες.

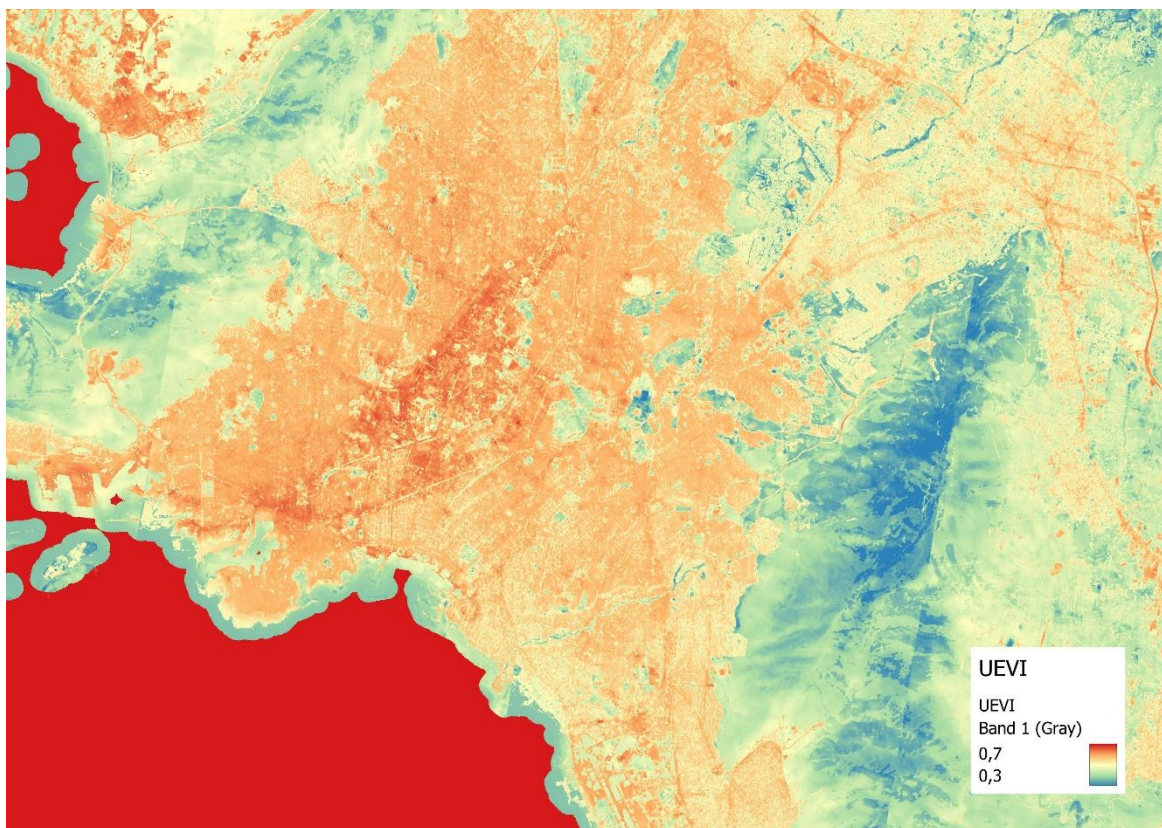


Εικόνα 18 Σύνθεση των επιμέρους δεικτών (NDVI, TCD, IMD, LST) στον χώρο με διαφορετικά blending modes και επίπεδα διαφάνειας (opacities), για οπτική διερεύνηση των χωρικών προτύπων και των μεταξύ τους σχέσεων.

Παρότι η πληροφορία που παράγεται από τη σύνθετη απεικόνιση των επιμέρους δεικτών, είναι πολύ χρήσιμη για την κατανόηση των σχέσεων μεταξύ των μεταβλητών, η ερμηνεία της παραμένει αρκετά πολύπλοκη. Ο αναγνώστης καλείται να αξιολογήσει ταυτόχρονα πολλαπλά επίπεδα πληροφορίας, γεγονός που δυσκολεύει τον άμεσο εντοπισμό των περιοχών με τη μεγαλύτερη ανάγκη παρέμβασης. Για τον λόγο αυτό, η παραγωγή ενός ενιαίου σύνθετου δείκτη κρίνεται ιδιαίτερα σημαντική.

Η Εικόνα 16. παρουσιάζει τον χάρτη απεικόνισης του τελικού δείκτη **UEVI**, ο οποίος συγκεντρώνει την πληροφορία όλων των επιμέρους δεικτών σε μία ενιαία γεωχωρικό dataset. Οι υψηλές τιμές του δείκτη (θερμές αποχρώσεις) αντιστοιχούν σε περιοχές αυξημένης περιβαλλοντικής ευπάθειας, ενώ οι χαμηλές τιμές (ψυχρές αποχρώσεις) αντιστοιχούν σε περιοχές με ευνοϊκότερες περιβαλλοντικές συνθήκες. Παρατηρείται ότι οι υψηλότερες τιμές συγκεντρώνονται κυρίως **στον κεντρικό και δυτικό αστικό ιστό της Αθήνας**, όπου συνδυάζονται υψηλή στεγανοποίηση εδάφους, περιορισμένη βλάστηση και αυξημένες θερμοκρασίες επιφάνειας. Αντίθετα, οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται **στους ορεινούς όγκους της Πάρνηθας, της Πεντέλης και του Ύμηττου**, καθώς και σε μεγάλους χώρους πρασίνου, όπου η παρουσία βλάστησης και δενδροκάλυψης λειτουργεί ως παράγοντας περιβαλλοντικής προστασίας. Η περιοχή με θαλάσσιο όγκο δεν αποτελεί μέρος του dataset και συνεπώς δεν λαμβάνεται υπόψη στο τελικό αποτέλεσμα.

Η σημαντικότερη συνεισφορά του σύνθετου δείκτη είναι η δυνατότητα μετατροπής ενός πολύπλοκου συνόλου περιβαλλοντικών δεδομένων σε ένα **εύχρηστο εργαλείο υποστήριξης αποφάσεων**, το οποίο έχει ευέλικτη εφαρμογή ανάλογα με την εκάστοτε ανάγκη. Αντί της ξεχωριστής αξιολόγησης τεσσάρων διαφορετικών χαρτών, ο UEVI παρέχει μία συνολική εικόνα των περιοχών που εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ανάγκη για παρεμβάσεις Μπλε-Πράσινων Υποδομών. Με τον τρόπο αυτό διευκολύνεται η ιεράρχηση προτεραιοτήτων και η στοχευμένη κατανομή πόρων σε περιοχές όπου αναμένονται τα μεγαλύτερα περιβαλλοντικά οφέλη. Επιπλέον, η μεθοδολογία μπορεί να επαναληφθεί σε διαφορετικές χρονικές περιόδους ή γεωγραφικές περιοχές, επιτρέποντας τη συστηματική παρακολούθηση της περιβαλλοντικής κατάστασης και την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας μελλοντικών παρεμβάσεων αστικής αναβάθμισης.



Εικόνα 19 Τελικός σύνθετος δείκτης περιβαλλοντικής ευπάθειας (UEVI) που προκύπτει από τη μέθοδο Weighted Linear Combination. Οι υψηλές τιμές (θερμές αποχρώσεις) δηλώνουν μεγαλύτερη περιβαλλοντική ευπάθεια, ενώ οι χαμηλές (ψυχρές αποχρώσεις) υποδηλώνουν καλύτερη περιβαλλοντική κατάσταση.

Συνολικά, τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν ότι η συνδυασμένη αξιοποίηση δεικτών τηλεπισκόπησης και πολυκριτηριακών μεθόδων GIS μπορεί να αποτελέσει ένα ισχυρό εργαλείο για την αναγνώριση περιοχών περιβαλλοντικής ευπάθειας και τη στήριξη στρατηγικών σχεδιασμού που στοχεύουν στη βελτίωση της ανθεκτικότητας και της βιωσιμότητας του αστικού περιβάλλοντος της Αθήνας.

5. Πρόταση Παρέμβασης

Ο σύνθετος δείκτης περιβαλλοντικής ευπάθειας (UEVI) που προέκυψε ως αποτέλεσμα της μεθόδου που εφαρμόστηκε στις προηγούμενες ενότητες, **αντιπροσωπεύει τη χωρική κατανομή του περιβαλλοντικού φορτίου** στον αστικό ιστό της Αθήνας. Η συνδυασμένη αξιολόγηση της βλάστησης, της δενδροκάλυψης, της σφράγισης του εδάφους και των δεικτών θερμοκρασίας επιφάνειας κατέστησε εφικτό **τον εντοπισμό περιοχών** όπου οι επιπτώσεις της έντονης αστικοποίησης και της αστικής θερμικής νησίδας είναι πιο έντονες. Ωστόσο, η χρησιμότητα αυτής της χωρικής ανάλυσης υπερβαίνει την απλή χαρτογράφηση των περιβαλλοντικών ανησυχιών. Βοηθά επίσης στη λήψη αποφάσεων για βιώσιμο αστικό σχεδιασμό.

Τα ευρήματα της πολυκριτηριακής ανάλυσης χρησιμοποιούνται σε αυτό το κεφάλαιο για την ανάπτυξη ενός πρωταρχικού σχεδίου παρέμβασης που βασίζεται στις έννοιες των NbS και των Πράσινων-Μπλε Υποδομών ή GBI. Οι περιοχές της Αθήνας που προσδιορίζονται ως περιοχές προτεραιότητας με βάση τον σύνθετο δείκτη περιβαλλοντικής τρωτότητας παρουσιάζονται και αξιολογούνται πρώτα με βάση τα μοναδικά χαρακτηριστικά τους, τις τρέχουσες περιβαλλοντικές προκλήσεις και τη δυνατότητα βελτίωσης του δημόσιου χώρου. Η επιλογή της περιοχής μελέτης καταγράφεται στη συνέχεια, λαμβάνοντας υπόψη όχι μόνο τα ευρήματα της χωρικής ανάλυσης αλλά και τις ανησυχίες σκοπιμότητας, τον τρέχοντα πολεοδομικό σχεδιασμό και τις απόψεις για την εφαρμογή των παρεμβάσεων στην πράξη.

Μετατρέποντας τα ευρήματα της ανάλυσης σε συγκεκριμένες προσεγγίσεις πολεοδομικού σχεδιασμού, η τελική πρόταση στοχεύει να καταδείξει πώς τα γεωχωρικά δεδομένα και τα εργαλεία GIS μπορούν να υποστηρίξουν την οικοδόμηση πόλεων με υψηλή ανθεκτικότητα. Εκτός από τη βελτίωση των τοπικών μικροκλιματικών συνθηκών, η προτεινόμενη παρέμβαση αποσκοπεί στην αύξηση της ποιότητας του δημόσιου χώρου, της οικολογικής σύνδεσης και της συνολικής περιβαλλοντικής ανθεκτικότητας της πόλης έναντι των ζητημάτων της κλιματικής αλλαγής.

5.1 Εντοπισμός Περιοχών Περιβαλλοντικής Ευπάθειας

Η εφαρμογή της μεθόδου Σταθμισμένου Γραμμικού Συνδυασμού (WLC), σε συνδυασμό με την ομαλοποίηση και την εναρμόνιση της κατεύθυνσης των επιμέρους δεικτών, επέτρεψε την κατασκευή ενός συστήματος όπου οι υψηλότερες τιμές συνδέονται με περιοχές αυξημένης περιβαλλοντικής ευπάθειας. Έτσι, σύνθετες πληροφορίες που προέρχονται από διαφορετικές πηγές δεδομένων μετατρέπονται σε ένα εργαλείο λήψης αποφάσεων και υποστήριξης του πολεοδομικού σχεδιασμού, το οποίο μπορεί να εντοπίσει περιοχές όπου οι επιπτώσεις της αστικής θερμικής νησίδας, της έλλειψης βλάστησης και της έντονης αστικοποίησης συμπίπτουν.

Η χωρική κατανομή του UEVI δείχνει έντονες διαφορές μεταξύ του πυκνά δομημένου αστικού ιστού και των περιοχών με πιο σημαντικά φυσικά ή ημιφυσικά στοιχεία. Όπως φαίνεται και στην Εικόνα 17, οι χαμηλότερες τιμές του δείκτη, που απεικονίζονται με πράσινο χρωματισμό, εντοπίζονται κυρίως σε μεγάλους αστικούς χώρους πρασίνου, όπως ο Εθνικός Κήπος, ο Λυκαβηττός, το Πάρκο «Αντώνης Τρίτσης», ο Υμηττός και άλλες μεγάλες περιοχές πρασίνου που συμβάλλουν στη ρύθμιση του μικροκλίματος μέσω σκίασης και εξατμισοδιαπνοής. Αντίθετα, οι υψηλότερες τιμές ανιχνεύονται σε πυκνοδομημένες περιοχές με ισχυρή στεγανοποίηση εδάφους, περιορισμένη φυτική κάλυψη και υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες.



Εικόνα 20 Περιοχές ενδιαφέροντος που προκύπτουν από την οπτικοποίηση του UEVI

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι οι περιοχές υψηλής περιβαλλοντικής ευπάθειας δεν κατανέμονται τυχαία στον αστικό χώρο, αλλά τείνουν να συγκεντρώνονται κατά μήκος εκτεταμένων αξόνων έντονης αστικοποίησης. Αυτές οι περιοχές χαρακτηρίζονται από συγκέντρωση αδιαπέραστων επιφανειών, υψηλό επίπεδο βιομηχανικών ή εμπορικών χρήσεων, περιορισμένο ανοιχτό χώρο και χαμηλή συχνότητα ώριμης δενδρώδους βλάστησης. Τα χαρακτηριστικά αυτά ενισχύουν την απορρόφηση και αποθήκευση θερμότητας και έτσι δημιουργούν τοπικούς θερμικούς θύλακες με αυξημένη περιβαλλοντική επιβάρυνση.

Με βάση τα αποτελέσματα του δείκτη, περιοχές αυξημένου ενδιαφέροντος περιλαμβάνουν τον Βοτανικό και τον Ελαιώνα, τον άξονα Κηφισού, την περιοχή του Ρέντη και του Μοσχάτου, καθώς και τμήματα του κεντρικού αστικού ιστού όπου συνδυάζεται υψηλή επιφανειακή θερμοκρασία και περιορισμένη βλάστηση. Αυτές οι περιοχές έχουν κοινά χαρακτηριστικά όσον αφορά τη μορφολογία και τις χρήσεις γης, καθώς κυριαρχούνται από εκτεταμένες σκληρές επιφάνειες, περιορισμένη οικολογική συνδεσιμότητα και έλλειψη δημόσιων χώρων πρασίνου.

Η παραπάνω εικόνα συμφωνεί με τα αποτελέσματα της διεθνούς βιβλιογραφίας, σύμφωνα με τα οποία η περιβαλλοντική ευπάθεια στις μεγάλες πόλεις συνδέεται στενά με τη σφράγιση του εδάφους, την απώλεια αστικού πρασίνου και κατά συνέπεια την εμφάνιση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Ταυτόχρονα, επιβεβαιώνει ότι η συνδυασμένη αξιολόγηση πολλαπλών περιβαλλοντικών δεικτών παρέχει μια σαφέστερη εικόνα των χωρικών προτεραιοτήτων από την αξιολόγηση κάθε μεταβλητής ξεχωριστά.

Παρόλο που ο δείκτης προσδιορίζει πολλαπλές περιοχές υψηλής προτεραιότητας, η αριθμητική τιμή του UEVI από μόνη της **δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί ποια περιοχή θα αποτελέσει το επίκεντρο της πρότασης σχεδιασμού**. Άλλοι παράγοντες που πρέπει να λαμβάνονται υπόψη κατά τη λήψη αποφάσεων στον πολεοδομικό σχεδιασμό περιλαμβάνουν **τη βιωσιμότητα των παρεμβάσεων, τη διαθεσιμότητα δημόσιου χώρου, την παρουσία υδάτινων χαρακτηριστικών, τη δυνατότητα δημιουργίας πράσινου-μπλε διαδρόμων και τη συμβατότητα με τα τρέχοντα ή μελλοντικά σχέδια αστικής ανάπτυξης**. Επομένως, αντί να λειτουργεί ως αυτόματη διαδικασία για την επιλογή της τελικής περιοχής παρέμβασης, ο σύνθετος δείκτης χρησιμεύει ως εργαλείο για τον εντοπισμό περιοχών προτεραιότητας.

Αυτή η μέθοδος αποτελεί θεμελιώδη αρχή της χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης, η οποία υποστηρίζει ότι τα αποτελέσματα των γεωχωρικών μελετών **συμπληρώνουν αντί να αντικαθιστούν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων**. Προκειμένου η προτεινόμενη παρέμβαση να είναι τεχνικά εφικτή, περιβαλλοντικά επωφελής και σύμφωνη με τον συνολικό σχεδιασμό της πόλης, η τελική επιλογή πρέπει να λαμβάνει υπόψη τόσο τα ποσοτικά αποτελέσματα όσο και τις μοναδικές χωρικές, κοινωνικές και λειτουργικές πτυχές κάθε περιοχής.

Πίνακας 6 Πίνακας με πιθανές περιοχές παρέμβασης

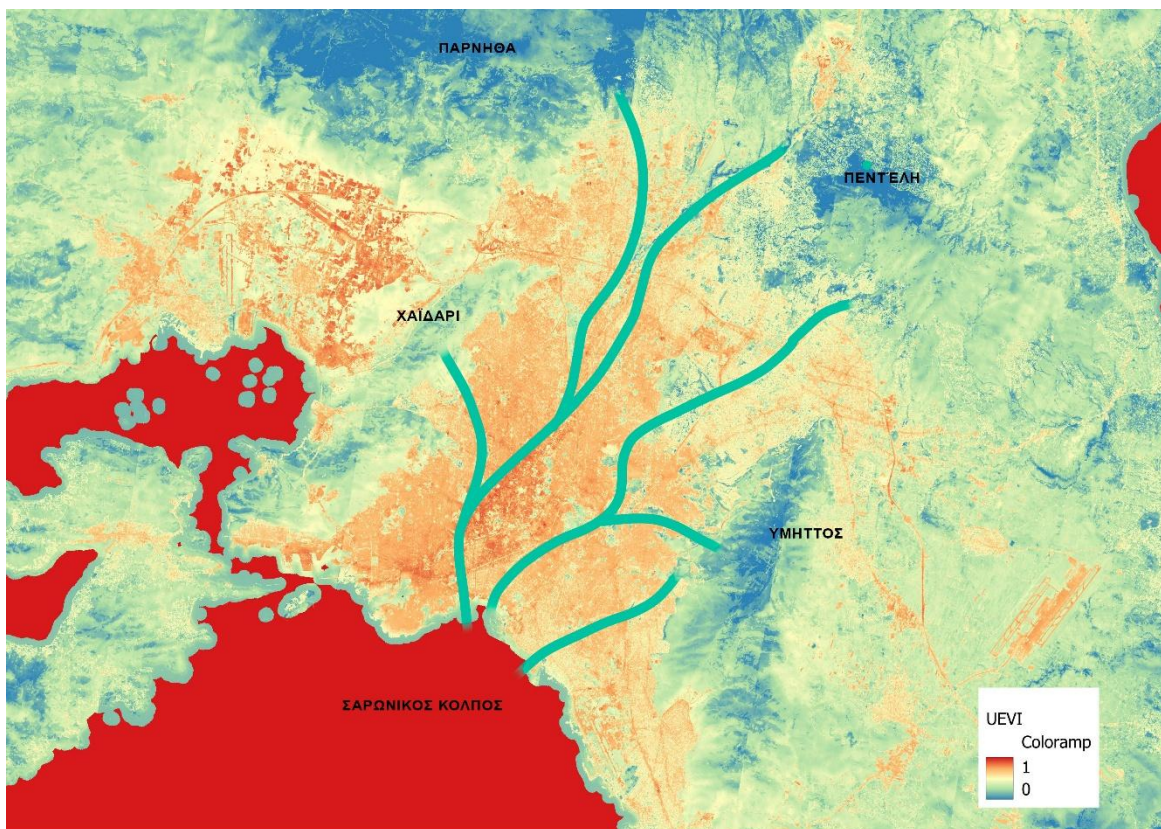
Περιοχή	Περιβαλλοντική ευπάθεια (UEVI)	Δυνατότητα παρέμβασης	Υφιστάμενος σχεδιασμός
Βοτανικός	Πολύ υψηλή	Υψηλή	Εκτεταμένη ανάπτυξη σε εξέλιξη
Ελαιώνας	Πολύ υψηλή	Μέτρια	Σημαντικές μελλοντικές παρεμβάσεις
Κηφισός	Υψηλή	Χαμηλή	Περιορισμένες δυνατότητες
Ιλισός – Μοσχάτο	Υψηλή	Πολύ υψηλή	Μεγάλες δυνατότητες GBI

5.2 Επιλογή περιοχής παρέμβασης

Από την ανάλυση περιβαλλοντικής ευπάθειας η οποία περιεγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα εντοπίστηκαν ορισμένες περιβαλλοντικά ιδιαίτερες επιβαρυνμένες περιοχές και συνεπώς που παρουσιάζουν μεγαλύτερη ανάγκη για υλοποίηση δράσεων προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή. Αυτές περιλαμβάνουν μεγάλα τμήματα του **κεντρικού αστικού ιστού της Αθήνας, τον Βοτανικό, τον Ελαιώνα, τη γειτονιά Ρέντη-Μοσχάτου και τμήματα του άξονα του Κηφισού**. Ωστόσο, **η συνδυασμένη αξιολόγηση χωρικών, περιβαλλοντικών και λειτουργικών κριτηρίων οδήγησε στην τελική επιλογή της περιοχής παρέμβασης**, η οποία δεν βασίστηκε μόνο στις τιμές του σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής τρωτότητας (UEVI).

Σύμφωνα με τη διεθνή βιβλιογραφία, οι θεμελιώδεις ιδέες της χωρικής πολυκριτηριακής ανάλυσης αναφέρουν ότι τα ευρήματα της γεωχωρικής αξιολόγησης χρησιμεύουν ως **βοήθημα σχεδιασμού και όχι ως αυτοματοποιημένη διαδικασία λήψης αποφάσεων**. Επομένως, εκτός από την περιβαλλοντική τρωτότητα, διερευνήθηκαν παράγοντες όπως η **δυνατότητα εφαρμογής παρεμβάσεων Πράσινων-Μπλε Υποδομών (BGI), η διαθεσιμότητα δημόσιου χώρου, η σύνδεση με τα υπάρχοντα φυσικά στοιχεία της πόλης και η δυνατότητα επέκτασης του δικτύου οικολογικών διαδρόμων**.

Η χωρική σύνδεση μεταξύ του πρωτεύοντος φυσικού άξονα της Αττικής και των περιοχών υψηλής περιβαλλοντικής ευαισθησίας είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα. Σημαντικοί πράσινοι πυρήνες όπως η Πεντέλη, ο Ύμηττος, ο Λυκαβηττός, το Πεδίον του Άρεως, ο Εθνικός Κήπος και άλλες αστικές περιοχές πρασίνου εξακολουθούν να είναι ως επί το πλείστον απομονωμένοι μεταξύ τους, σύμφωνα με τους χάρτες. Ταυτόχρονα, η αστική επέκταση κατά τον 20^ο και 21^ο αιώνα, έχει προκαλέσει την απώλεια μεγάλου μέρους του φυσικού και βιολογικού τους χαρακτήρα από τις αρχικές υδρολογικές πτυχές της πόλης κατά την αρχαιότητα, συμπεριλαμβανομένων του Ιλισού και του Κηφισού. Στην παρακάτω Εικόνα 18. γίνεται απεικόνιση των φυσικών διαδρόμων που παρατηρούνται από τη χωρική ανάλυση της πόλης της Αθήνας:

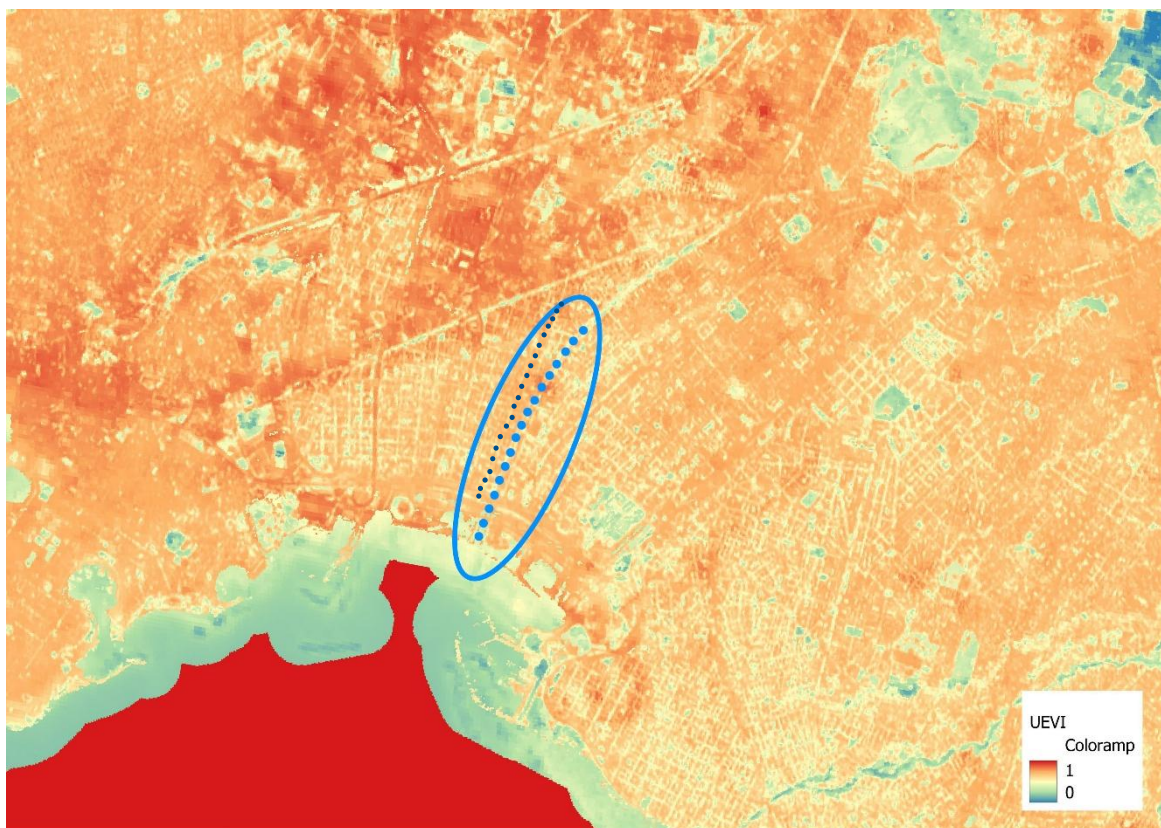


Εικόνα 21 Φυσικοί Μπλε και Πράσινοι διάδρομοι που διασχίζουν τον αστικό ιστό της πόλης της Αθήνας

Η βασική αρχή αυτής της εργασίας είναι ότι **η ενίσχυση της σύνδεσης μεταξύ των υφιστάμενων πράσινων και μπλε υποδομών μπορεί να αυξήσει σημαντικά την περιβαλλοντική ανθεκτικότητα της Αθήνας**. Από αυτή την οπτική γωνία, ο Ιλισός μπορεί να θεωρηθεί ως μέρος ενός μεγαλύτερου φυσικού διαδρόμου που συνδέει τις ορεινές και ημιορεινές περιοχές της Πεντέλης και του Υμηττού με τον Σαρωνικό Κόλπο και όχι ως αυτόνομη περιοχή παρέμβασης.

Σύμφωνα με τα ευρήματα της ανάλυσης, αυτή η διαδρομή διασχίζει περιοχές που παρουσιάζουν αρκετά υψηλή ένδειξη περιβαλλοντικού κινδύνου, ενώ παράλληλα τηρεί ως επί το πλείστον τα ιστορικά, υδρολογικά και φυσικά χαρακτηριστικά της πόλης. Έτσι, η αποκατάσταση και η οχύρωση του άξονα του Ιλισού **μπορεί να χρησιμεύσει ως υποδομή διαχείρισης όμβριων υδάτων, ως οικολογικός διάδρομος σύνδεσης και ως μηχανισμός βελτίωσης του μικροκλίματος ταυτόχρονα**. Επιπλέον, το ανοιχτό τμήμα του Ιλισού στην περιοχή του Μοσχάτου προσφέρει τη δυνατότητα ανάπτυξης μιας πιο στοχευμένης και πιλοτικής παρέμβασης Πράσινων-Μπλε Υποδομών, σε αντίθεση με άλλες περιοχές υψηλής

περιβαλλοντικής ευπάθειας όπως ο Βοτανικός και ο Ελαιώνας, όπου βρίσκονται ήδη σε εξέλιξη εκτεταμένες αστικές αναπλάσεις. Εκτός από την άμεση σύνδεση με το υδάτινο στοιχείο και την εγγύτητα σε πυκνοκατοικημένες περιοχές που παρουσιάζουν υψηλότερη περιβαλλοντική ευπάθεια, η περιοχή χρησιμεύει επίσης ως το τελευταίο τμήμα ενός μελλοντικού αστικού πράσινου-μπλε άξονα που συνδέει το κέντρο της πόλης με την παραλιακή περιοχή του Μοσχάτου όπως φαίνεται στην Εικόνα 22:



Εικόνα 22 Επιλογή του ανοικτού τμήματος του Ιλισού ποταμού ως περιοχή παρέμβασης

Ως εκ των παραπάνω το ανοιχτό τμήμα του Ιλισού στην περιοχή Μοσχάτου-Ταύρου επιλέγεται ως περιοχή εφαρμογής της πρότασης σχεδιασμού με βάση τα προαναφερθέντα. Ως πρώτη τεχνική γεωγραφικής αξιολόγησης, χρησιμοποιήθηκε ο σύνθετος Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας (EVI) για τον εντοπισμό περιοχών με χαμηλή βλάστηση, υψηλές επιφανειακές θερμοκρασίες, αυξημένη σφράγιση εδάφους και, ως αποτέλεσμα, αυξημένο περιβαλλοντικό φορτίο. **Ωστόσο, η τελική επιλογή της περιοχής παρέμβασης έγινε αφού ελήφθησαν υπόψη πολεοδομικά και λειτουργικά κριτήρια, εκτός από τα αποτελέσματα του δείκτη.** Συγκεκριμένα, το ανοιχτό τμήμα του Ιλισού έχει ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως ο υφιστάμενος υδάτινος άξονας, η δυνατότητα δημιουργίας ενός συνεχούς πράσινου-μπλε διαδρόμου, η εγγύτητά του σε σημαντικούς χώρους πρασίνου και

αστικές περιοχές, καθώς και η δυνατότητα υλοποίησης εκτεταμένων παρεμβάσεων που μπορούν να βελτιώσουν τη μικροκλιματική λειτουργία της Αθήνας και τη συνολική περιβαλλοντική ανθεκτικότητα. Αυτοί οι παράγοντες καθιστούν τον Ιλισό τη βέλτιστη τοποθεσία για την ανάπτυξη της προτεινόμενης παρέμβασης, η οποία εξετάζεται στα επόμενα κεφάλαια.

5.3 Διεθνής Καλές Πρακτικές

Στη διεθνή βιβλιογραφία είναι εύκολο να εντοπιστούν σημαντικές καλές πρακτικές και προτάσεις παρεμβάσεων, οι οποίες περιγράφουν τρόπους αντιμετώπισης για το ίδιο ή και πιο δύσκολες περιπτώσεις από αυτή της Αθήνας.

5.3.1 Κανάλι Cheonggyecheon στη Σεούλ, Νότια Κορέα

Η αποκατάσταση του υδάτινου διαδρόμου **Cheonggyecheon** στη Σεούλ αποτελεί μία από τις πιο γνωστές διεθνώς παρεμβάσεις πράσινων-μπλε υποδομών και ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα μετασχηματισμού ενός έντονα αστικοποιημένου περιβάλλοντος σε έναν πολυλειτουργικό οικολογικό διάδρομο. Μέχρι τις αρχές της δεκαετίας του 2000, το φυσικό ρέμα είχε καλυφθεί πλήρως από οδικές υποδομές, ενώ πάνω από αυτό λειτουργούσε ένας υπερυψωμένος αυτοκινητόδρομος που εξυπηρετούσε περίπου 170.000 οχήματα ημερησίως. Η γήρανση της κατασκευής, η ατμοσφαιρική ρύπανση, η κυκλοφοριακή συμφόρηση και η υποβάθμιση του αστικού περιβάλλοντος οδήγησαν τη δημοτική αρχή στην απόφαση απομάκρυνσης του αυτοκινητοδρόμου και επαναφοράς του υδάτινου στοιχείου στο κέντρο της πόλης (Chung et al., 2012).



Εικόνα 23 Κανάλι Cheonggyecheon στη Σεούλ, Νότια Κορέα, μετά την αποκατάστασή του

Η υλοποίηση του έργου συνοδεύτηκε από σημαντικές προκλήσεις. Οι κυριότερες αφορούσαν τον φόβο πρόκλησης κυκλοφοριακού χάους μετά την κατάργηση ενός βασικού οδικού άξονα, τις αντιδράσεις επιχειρηματιών της περιοχής, καθώς και το γεγονός ότι το φυσικό ρέμα δεν διέθετε πλέον επαρκή φυσική παροχή νερού καθ' όλη τη διάρκεια του έτους. Παράλληλα, έπρεπε να εξασφαλιστεί η αντιπλημμυρική προστασία του κέντρου της πόλης και η σύνδεση των δύο πλευρών του διαδρόμου. Για την αντιμετώπιση των προβλημάτων αυτών κατασκευάστηκαν γέφυρες πεζών και οχημάτων, αναβαθμίστηκαν οι δημόσιες συγκοινωνίες, ενώ εφαρμόστηκε σύστημα τροφοδότησης του καναλιού με νερό και σχεδιάστηκαν έργα που μπορούν να ανταποκριθούν ακόμη και σε ακραία πλημμυρικά φαινόμενα (Khirfan, 2025).



Εικόνα 24 Κανάλι Cheonggyecheon στη Σεούλ, Νότια Κορέα, μετά την αποκατάστασή του. Τα αποτελέσματα της παρέμβασης υπήρξαν ιδιαίτερα θετικά. Η περιοχή μετατράπηκε σε έναν συνεχή πράσινο–μπλε διάδρομο μήκους περίπου 5,8 km, βελτιώνοντας σημαντικά την ποιότητα του αστικού περιβάλλοντος. Μελέτες κατέγραψαν μείωση της θερμοκρασίας κατά

3–6°C σε σύγκριση με γειτονικές περιοχές, αισθητή βελτίωση της ποιότητας του αέρα και εντυπωσιακή αύξηση της βιοποικιλότητας. Παράλληλα, δημιουργήθηκαν νέοι δημόσιοι χώροι αναψυχής, ενισχύθηκε η ελκυστικότητα του κέντρου της Σεούλ και αναβαθμίστηκε η εικόνα της πόλης διεθνώς. Η περίπτωση του Cheonggyecheon θεωρείται σήμερα πρότυπο εφαρμογής πράσινων–μπλε υποδομών, καθώς αποδεικνύει ότι η αποκατάσταση φυσικών στοιχείων μπορεί να λειτουργήσει ταυτόχρονα και ως εργαλείο περιβαλλοντικής προστασίας, αστικής αναγέννησης και προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή.

5.3.2 Ποταμός Rio Comprido στο Ρίο ντε Τζανέιρο, Βραζιλία

Μία ακόμα περίπτωση που παρουσιάζει υψηλό ενδιαφέρον η οποία ωστόσο δεν έχει εφαρμοστεί είναι αυτή της παρέμβασης στον ποταμό Rio Comprido στην πόλη του Ρίο Ντε Τζανέιρο της Βραζιλίας. Η μελέτη της εν λόγω περίπτωσης έχει γίνει γύρω από την αντιμετώπιση του ποταμού ως δομικού στοιχείου του αστικού τοπίου το οποίο αποτελεί και το θεμελιακό στοιχείο της πρότασης. Η παρέμβαση αυτή προβλέπει την κατασκευή ενός συνεχούς πράσινου–μπλε διαδρόμου κατά μήκος της κοίτης του ποταμού, τη σύνδεση νέων και υφιστάμενων χώρων πρασίνου, τη φύτευση δέντρων, τη δημιουργία κοινοτικών κήπων, διαπερατών επιφανειών, ποδηλατοδρόμων και διαδρομών για πεζούς, καθώς και την αλλαγή χρήσης δημόσιων χώρων που μπορούν να μετατραπούν σε προσωρινές δεξαμενές συγκράτησης όμβριων υδάτων κατά τη διάρκεια περιόδων έντονων βροχοπτώσεων. Αυτή η στρατηγική οδηγεί σε μία γενική λύση και εκείνη με τη σειρά της στην αύξηση της αστικής ανθεκτικότητας, στην κοινωνική αναβάθμιση και στον έλεγχο κινδύνων από πλημμύρες σε μία περιοχή του πλανήτη με έντονες περιόδους βροχοπτώσεων (Guimarães et al., 2018).

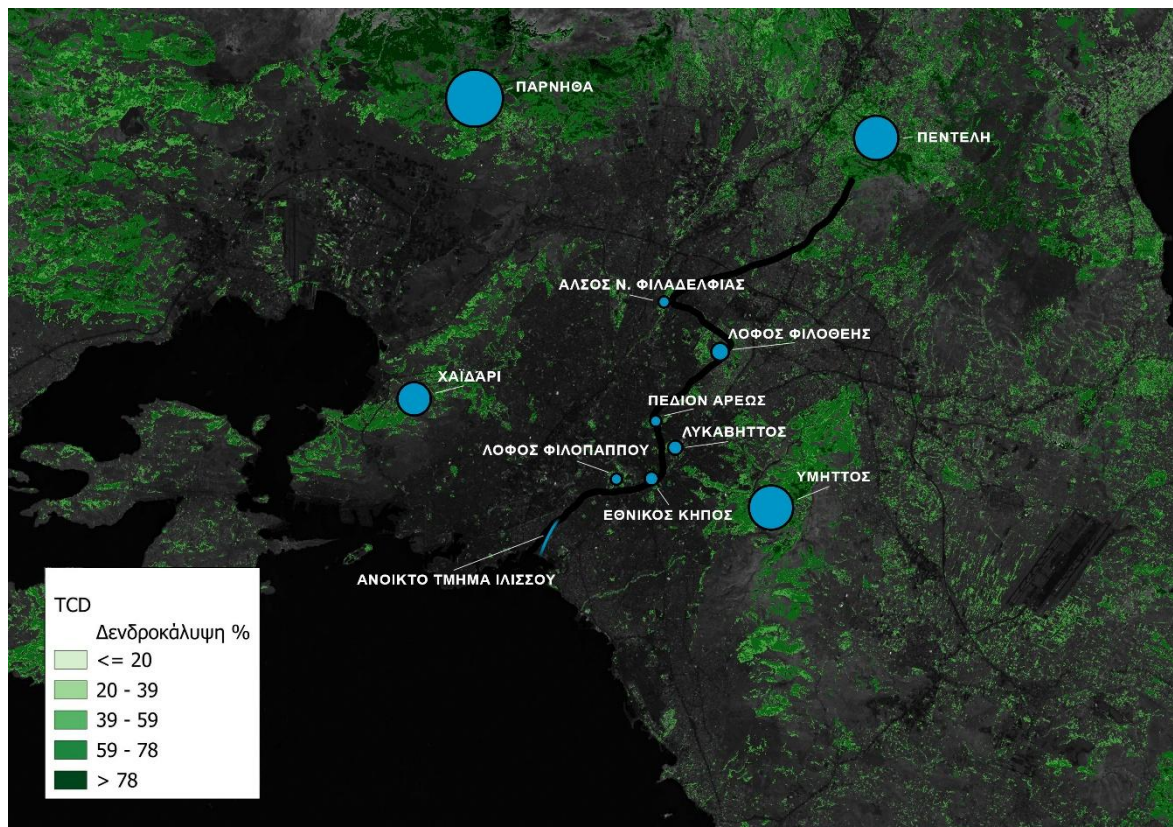


Εικόνα 25 Απεικόνιση της παρέμβασης στον ποταμό Rio Comprido στο Ρίο ντε Τζανέιρο

Τα αναμενόμενα πλεονεκτήματα της παρέμβασης υπερβαίνουν τη μείωση του κινδύνου πλημμυρών. Η βιοποικιλότητα και η οικολογική συνοχή της περιοχής ενισχύονται από την ανάπτυξη βλάστησης και δενδροκάλυψης, η οποία συμβάλλει επίσης στη μείωση των θερμοκρασιών και στη μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας. Επιπλέον, η ανάπτυξη νέων δημόσιων χώρων αναψυχής και άνετων μεταφορών αυξάνει την ποιότητα ζωής των κατοίκων και ενισχύει την κοινωνική συνοχή. Ενσωματώνοντας υδρολογικές, οικολογικές και κοινωνικές λειτουργίες σε ένα ενιαίο χωρικό σύστημα, το παράδειγμα του Rio Comprido καταδεικνύει πώς ένας υποβαθμισμένος αστικός ποταμός μπορεί να μετατραπεί σε ένα σημαντικό στοιχείο περιβαλλοντικής ανθεκτικότητας και βιώσιμης αστικής ανάπτυξης.

Όταν αναλύονται οι προαναφερθείσες περιπτώσεις, γίνονται εμφανείς ορισμένες ομοιότητες που θα μπορούσαν να θεωρηθούν ως παγκόσμιες βέλτιστες πρακτικές. Πρώτον, **ένα κρίσιμο στοιχείο της οργάνωσης της αστικής περιοχής είναι ο άξονας του νερού** (ποταμός, κανάλι ή παράκτια ζώνη). Δεύτερον, **οι παρεμβάσεις ενσωματώνουν οικολογικά, υδρολογικά, κοινωνικά και αναπτυξιακά πλεονεκτήματα με σύνθετο τρόπο**. Τρίτον, **δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη συνδεσιμότητα μεταξύ πράσινων και μπλε στοιχείων μέσω δικτύων διαδρόμων και όχι μεμονωμένων παρεμβάσεων**. Τέλος, η λογική της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και της ανθεκτικότητας περιλαμβάνεται σε όλες τις επιτυχημένες εφαρμογές, μετατρέποντας τα χαρακτηριστικά του φυσικού τοπίου σε χρήσιμα εργαλεία για τον αστικό σχεδιασμό. Αυτά τα ευρήματα χρησιμεύουν ως κρίσιμη βάση για την ανάπτυξη της προτεινόμενης παρέμβασης στην Αθήνα, η οποία συζητείται στην επόμενη ενότητα.

5.4 Σχεδιαστική πρόταση ανάπλασης του ανοικτού τμήματος του Ιλισού με βάση τις αρχές των BGI



Εικόνα 26 Εννοιολογική απεικόνιση του προτεινόμενου αστικού δικτύου BGI της Αθήνας. Τα σημεία με γαλάζιο χρωματισμό αποτυπώνουν τους κύριους πυρήνες πρασίνου ενώ η γραμμή με μαύρο χρωματισμό απεικονίζει τη διασύνδεση που στοχεύει να περιγράψει αυτή η εργασία. Ο άξονας του Ιλισού προτείνεται ως βασικός κορμός του δικτύου, συνδέοντας το εσωτερικό της πόλης με τον Σαρωνικό Κόλπο και λειτουργώντας ως πιλοτική εφαρμογή μιας ευρύτερης στρατηγικής ανάπτυξης πράσινων-μπλε υποδομών.

5.4.1 Ο Ιλισός ως τμήμα ενός συνολικού αστικού δικτύου Μπλε και Πράσινων Υποδομών

Η αντιμετώπιση των σύγχρονων περιβαλλοντικών προκλήσεων των μεγάλων αστικών κέντρων δεν μπορεί να βασίζεται σε μεμονωμένες παρεμβάσεις μικρής κλίμακας, αλλά απαιτεί την ανάπτυξη ολοκληρωμένων δικτύων πράσινων και μπλε υποδομών που λειτουργούν πλέον σε επίπεδο πόλης. Η διεθνής βιβλιογραφία αναγνωρίζει ότι η αποτελεσματικότητα των Green-Blue Infrastructure (GBI) εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τη χωρική τους συνδεσιμότητα, καθώς η δημιουργία συνεχών οικολογικών διαδρόμων

ενισχύει τη λειτουργία των φυσικών οικοσυστημάτων, διευκολύνει τη διακίνηση του αέρα, συμβάλλει στη διαχείριση των υδάτων και δημιουργεί ένα συνεκτικό δίκτυο δημόσιων χώρων υψηλής περιβαλλοντικής ποιότητας.

Η Αθήνα διαθέτει σημαντικά φυσικά στοιχεία τα οποία μπορούν να αποτελέσουν τους βασικούς πυρήνες ενός τέτοιου δικτύου. Οι ορεινοί όγκοι της Πεντέλης, του Υμηττού και της Πάρνηθας, οι μεγάλοι αστικοί χώροι πρασίνου, όπως το Πεδίον του Άρεως, ο Λυκαβηττός, ο Εθνικός Κήπος και το Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος, καθώς και οι αρχαίοι υδάτινοι άξονες του Ιλισού και του Κηφισού, αποτελούν σημαντικά περιβαλλοντικά αποθέματα. Ωστόσο, η συνεχής αστική ανάπτυξη του περασμένου και του τρέχοντος αιώνα **έχει ως αποτέλεσμα την αποσπασματική λειτουργία των στοιχείων αυτών**, με περιορισμένη οικολογική συνδεσιμότητα και χωρίς δυνατότητες μετακίνησης ανθρώπων, αέρα και φυσικών διεργασιών μεταξύ τους. Η χωρική ανάλυση που πραγματοποιήθηκε στο πλαίσιο αυτής της εργασίας επιβεβαιώνει την παραπάνω εικόνα. Οι περιοχές με υψηλές τιμές περιβαλλοντικής ευπάθειας που **εμφανίζονται μεταξύ των υφιστάμενων πυρήνων πρασίνου**, δημιουργούν ένα έντονα κατακερματισμένο περιβαλλοντικό τοπίο. Παράλληλα, οι χάρτες των επιμέρους δεικτών (NDVI, TCD, IMD και LST) αναδεικνύουν ότι η έλλειψη συνεχούς βλάστησης και η κυριαρχία αδιαπέραστων επιφανειών δυσχεραίνουν τη φυσική κυκλοφορία του αέρα, ενισχύουν το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας και περιορίζουν την οικολογική λειτουργία του αστικού χώρου.

Με βάση τα παραπάνω, προτείνεται η αντιμετώπιση του Ιλισού όχι ως μιας μεμονωμένης περιοχής ανάπτυξης αλλά ως του βασικού άξονα ενός αστικού πράσινου—μπλε διαδρόμου, ο οποίος μπορεί να συνδέσει σημαντικές φυσικές και αστικές περιοχές της Αθήνας. Ο προτεινόμενος διάδρομος ξεκινά από τους ορεινούς όγκους της Πεντέλης και του Υμηττού, διασχίζει περιοχές όπως το Χαλάνδρι, ο Παπάγου, το Ψυχικό, το Πεδίον του Άρεως, ο Λυκαβηττός, το ιστορικό κέντρο, ο Ταύρος και το Μοσχάτο, για να καταλήξει τελικά στον Σαρωνικό Κόλπο. Παράλληλα, μέσω εγκάρσιων συνδέσεων μπορεί να επικοινωνεί με άλλους σημαντικούς πυρήνες πρασίνου και δημόσιους χώρους, δημιουργώντας ένα συνεκτικό δίκτυο οικολογικών και κοινωνικών διαδρομών σε μητροπολιτική κλίμακα.

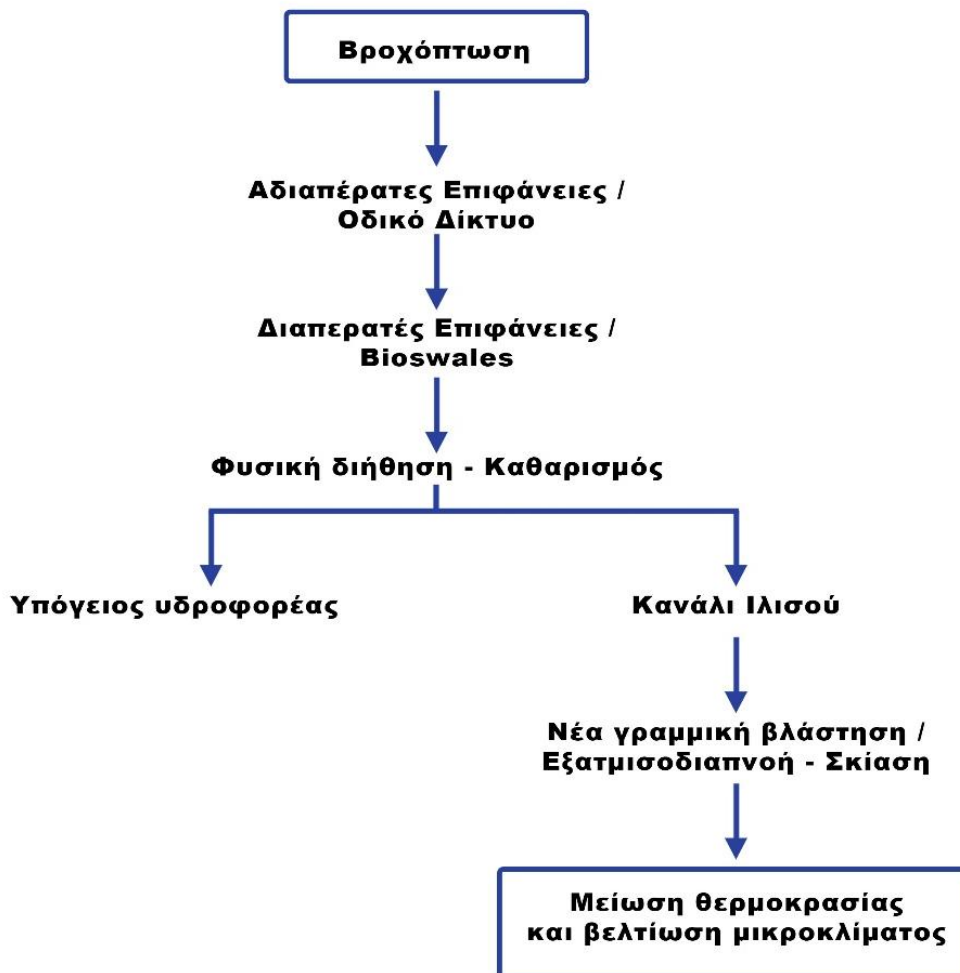
Η επιλογή του Ιλισού ως βασικού άξονα του δικτύου δεν είναι τυχαία. Αφενός, αποτελεί έναν ιστορικό υδρολογικό σχηματισμό της Αθήνας, ο οποίος στο μεγαλύτερο μέρος του έχει εγκιβωτιστεί ή καλυφθεί από την αστική ανάπτυξη. Αφετέρου, το ανοιχτό τμήμα του

στην περιοχή Μοσχάτου–Ταύρου διατηρεί σημαντικές δυνατότητες περιβαλλοντικής αναβάθμισης και μπορεί να λειτουργήσει ως πιλοτική εφαρμογή μιας ευρύτερης στρατηγικής αποκατάστασης των πράσινων–μπλε υποδομών της πόλης. Η αξιοποίηση του συγκεκριμένου τμήματος δεν αποσκοπεί μόνο στη βελτίωση των τοπικών μικροκλιματικών συνθηκών, αλλά κυρίως στη δημιουργία ενός λειτουργικού συνδετικού κρίκου μεταξύ του εσωτερικού της πόλης και του παραλιακού μετώπου. Στο πλαίσιο αυτό, η προτεινόμενη παρέμβαση αντιμετωπίζεται ως το πρώτο βήμα για τη σταδιακή ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου μητροπολιτικού δικτύου Green–Blue Infrastructure, το οποίο θα μπορεί μελλοντικά να επεκταθεί και σε άλλους φυσικούς άξονες της Αθήνας, όπως ο Κηφισός και ο Ποδονίφτης. Με τον τρόπο αυτό, η σχεδιαστική πρόταση υπερβαίνει τα όρια μιας τοπικής ανάπλασης και αποκτά στρατηγικό χαρακτήρα, συμβάλλοντας στη μετάβαση της Αθήνας προς ένα περισσότερο ανθεκτικό, οικολογικά συνδεδεμένο και βιώσιμο αστικό περιβάλλον.

5.4.2 Διαχείριση υδάτων και περιβαλλοντική αναβάθμιση

Η **αποκατάσταση της σχέσης της πόλης με το υδάτινο στοιχείο** και η μετάβαση από το τρέχον μοντέλο ταχείας απορροής των όμβριων υδάτων σε ένα σύστημα φυσικής διαχείρισης των υδάτων είναι δύο από τους βασικούς στόχους της προτεινόμενης παρέμβασης. Η εκτεταμένη σφράγιση του εδάφους, η οποία μειώνει σημαντικά τη φυσική διείσδυση των όμβριων υδάτων, αυξάνει την επιφανειακή απορροή και επιβαρύνει το σύστημα αποχέτευσης κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής βροχόπτωσης, αποτελεί καθοριστικό χαρακτηριστικό της σύγχρονης αστικής επέκτασης της Αθήνας. Η ικανότητα της πόλης να χρησιμοποιεί το νερό ως συστατικό του ελέγχου του μικροκλίματος και της περιβαλλοντικής βελτίωσης έχει επίσης μειωθεί λόγω της απώλειας φυσικών υδάτινων ρευμάτων.

Σύμφωνα με τη βιβλιογραφία, οι NBS, στις οποίες εντάσσεται η παρέμβαση που προτείνεται, χρησιμοποιούν το νερό της βροχής ως πολύτιμο φυσικό πόρο που αξιοποιείται για τη ρύθμιση του μικροκλίματος. Υπό το πρίσμα αυτό, **προτείνεται η κατασκευή ενός αποκεντρωμένου συστήματος διαχείρισης όμβριων υδάτων κατά μήκος του άξονα του Ιλισσού**. Αυτό το σύστημα θα συλλέγει μέρος της απορροής από κοντινούς δρόμους και δημόσιους χώρους και θα την κατευθύνει προσεκτικά στην κοίτη του ποταμού.



Εικόνα 27 Σχηματική απεικόνιση του Υδάτινου Κύκλου και του πώς μπορεί να αξιοποιηθεί σύμφωνα με την προτεινόμενη παρέμβαση.

Μια ποικιλία παρεμβάσεων, όπως κήποι βροχής, διαπερατά δάπεδα, φυτεμένες ζώνες διήθησης, γραμμικές τάφροι βιοδιήθησης (bioswales) και μικρές προσωρινές λεκάνες συγκράτησης όμβριων υδάτων, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εφαρμογή της παρέμβασης. Στην Εικόνα 24. περιγράφεται η διαδρομή των υδάτινων όγκων που δημιουργούνται από βροχοπτώσεις. Εκτός από τη μείωση των αιχμών ροής κατά τη διάρκεια περιόδων έντονων βροχοπτώσεων, αυτές οι υποδομές **επιτρέπουν την αργή διείσδυση και την αναβολή της απορροής, η οποία βοηθά στην αναπλήρωση του υπόγειου υδροφορέα**. Επιπλέον, η παρουσία βλάστησης βελτιώνει τη συνολική περιβαλλοντική ποιότητα της μητροπολιτικής περιοχής ενισχύοντας τη φυσική διήθηση του νερού μέσω βιολογικών διεργασιών.

Η σύνδεση μεταξύ των προαναφερθέντων υποδομών και του τρέχοντος καναλιού του Ιλισού είναι πολύ σημαντική. Προτείνεται το κανάλι να χρησιμεύσει ως το κεντρικό σημείο ενός φυσικού συστήματος διαχείρισης όμβριων υδάτων, όπου το νερό θα συλλέγεται, θα καθυστερεί, θα φιλτράρεται και, εάν είναι εφικτό, θα επαναχρησιμοποιείται για την άρδευση νέων φυτεύσεων και χώρων πρασίνου, αντί να χρησιμεύει μόνο ως τεχνικό έργο αποστράγγισης. Ως αποτέλεσμα, ο Ιλισός ανακτά έναν ενεργό υδρολογικό και οικολογικό ρόλο στον αστικό ιστό.

Αυξάνοντας την εξατμισοδιαπνοή και μειώνοντας την επιφανειακή θερμοκρασία, αυτές οι παρεμβάσεις αναμένεται να βελτιώσουν το μικροκλίμα της περιοχής, να βελτιώσουν τη βιοποικιλότητα και να δημιουργήσουν έναν πιο αισθητικά ευχάριστο και χρήσιμο δημόσιο χώρο, εκτός από το να βοηθήσουν στη διαχείριση των κινδύνων πλημμύρας. Σε αυτήν την προσέγγιση, το στοιχείο του νερού καθίσταται ένα κρίσιμο συνθετικό συστατικό της περιβαλλοντικής και κοινωνικής αναβάθμισης της περιοχής και όχι ένα μεμονωμένο τεχνικό χαρακτηριστικό του αστικού τοπίου.

5.4.3 Ανασχεδιασμός του δημόσιου χώρου και βιώσιμη κινητικότητα

Προκειμένου να μετατραπεί το προτεινόμενο σημείο σε μια σύγχρονη αστική περιοχή με σημαντική περιβαλλοντική και κοινωνική αξία, η αναγέννηση του άξονα Ιλισού στοχεύει στην πλήρη αναζωογόνηση του δημόσιου χώρου, εκτός από την αποκατάσταση του υδάτινου στοιχείου. Προκειμένου να δημιουργηθεί **ένα συνεχές, ασφαλές και ελκυστικό δίκτυο ήπιας κινητικότητας που θα λειτουργεί συνδυαστικά με τη διαχείριση των υδάτινων όγκων**, η βασική αρχή της πρότασης είναι ότι θα πρέπει να δοθεί προτεραιότητα στους πεζούς και τους ποδηλάτες .

Σε αυτό το πλαίσιο, προτείνεται η κατασκευή ενός ενιαίου ποδηλατικού άξονα κατά μήκος του καναλιού, η επέκταση του ήδη υφιστάμενου άξονα που ξεκινάει από το Γκάζι, καθώς και η σύνδεσή αυτών με τις κοντινές κοινότητες Μοσχάτου, Καλλιθέας, Τζιτζιφιών, Ταύρου, Θησείου, Φαλήρου και Νέας Σμύρνης, όπου αυτό είναι δυνατό. Έτσι θα αυξηθούν οι ευκαιρίες για καθημερινές μετακινήσεις με τις ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ευκαιρίες αναψυχής. Ταυτόχρονα, οι κάτοικοι θα έχουν ασφαλή πρόσβαση στην περιοχή του ποταμού και η χρήση της θα ενθαρρύνεται καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας χάρη στη

δημιουργία ενός συνεχούς δικτύου μονοπατιών πεζοπορίας και πεζών (Polo-Martín, 2025; Ruppim De Oliveira et al., 2022).

Θα δοθεί ιδιαίτερη προσοχή στη επέκταση της αστικής βλάστησης με τη φύτευση δέντρων εκατέρωθεν του καναλιού. Είναι σημαντικό να επιλεγθούν κατάλληλα μεσογειακά είδη που είναι πολύ ανθεκτικά στο τοπικό κλίμα και έχουν περιορισμένες ανάγκες αρδευσης. Οι συνεχείς σειρές δέντρων μειώνουν το θερμικό φορτίο στους πεζούς, βελτιώνουν το μικροκλίμα, αυξάνουν τη σκιά και βελτιώνουν την οικολογική συνέχεια της προτεινόμενης διαδρομής.

Ταυτόχρονα, στην εν λόγω παρέμβαση προβλέπονται θέσεις στάθμευσης, θέσεις καθισμάτων, πλατείες, σημεία θέασης, υπαίθριοι χώροι αθλητισμού και αναψυχής, καθώς και χώροι για περιβαλλοντική εκπαίδευση και ενημέρωση. Στόχος αυτών των παρεμβάσεων είναι να μετατραπεί ο Ιλισός σε έναν πολυχρηστικό, δημόσιο χώρο που εξυπηρετεί περισσότερο από απλές μεταφορές και προωθεί τις καθημερινές αλληλεπιδράσεις των ανθρώπων με τον φυσικό κόσμο, την κοινωνική αλληλεπίδραση και την αναψυχή.

Το σχέδιο τηρεί τον **ανθρωποκεντρικό σχεδιασμό και τις έννοιες της βιώσιμης κινητικότητας**, οι οποίες θεωρούν τον δημόσιο χώρο ως ουσιαστικό συστατικό της ποιότητας ζωής της πόλης. Η σύγχρονη βιβλιογραφία, επιβεβαιώνει την τάση των παρεμβάσεων BGI να ακολουθούν τόσο τις αρχές βιώσιμης ανάπτυξης όσο και τις αρχές της κοινωνικής και αστικής ανθεκτικότητας. Υπό αυτό το πρίσμα, ο Ιλισός μπορεί να εξελιχθεί σε έναν νέο γραμμικό αστικό πυρήνα που χρησιμεύει ως οικολογικός διάδρομος, κόμβος μεταφορών και χώρος για καθημερινή κοινωνική αλληλεπίδραση, εκσυγχρονίζοντας τις υποδομές για τη μεταφορά ποδηλάτων και πεζών και ενσωματώνοντας φυσικά στοιχεία στο αστικό τοπίο (X. Wang et al., 2025).

5.4.4 Αναμενόμενα περιβαλλοντικά, οικολογικά και κοινωνικά οφέλη της παρέμβασης

Η σχεδίαση της παρέμβασης του ανοικτού τμήματος του Ιλισσού στοχεύει στη δημιουργία μιας πολυχρηστικής BGI που μπορεί να προσφέρει σημαντικά οικολογικά, κοινωνικά και περιβαλλοντικά πλεονεκτήματα. Αυτή η προσέγγιση βασίζεται στις NBS, οι οποίες, όπως έχει αναφερθεί και στη σχετική ενότητα της εισαγωγής, στοχεύουν στη ενσωμάτωση των

φυσικών συστημάτων εντός του αστικού ιστού ώστε να βελτιωθεί η ποιότητα ζωής των κατοίκων και ταυτόχρονα να αντιμετωπιστούν περιβαλλοντικά ζητήματα.

Η βελτίωση του αστικού μικροκλίματος είναι η σημαντικότερη αναμενόμενη περιβαλλοντική συνέπεια. Εκτεταμένες ζώνες σκιάς δημιουργούνται από την αυξημένη κάλυψη από δενδρώδεις περιοχές, κατά μήκος του καναλιού και στις γύρω εκτάσεις, **η οποία μειώνει την ποσότητα ηλιακής ακτινοβολίας που απορροφάται από τις αδιαπέραστες επιφάνειες**. Ταυτόχρονα, η αύξηση της βλάστησης βελτιώνει την εξατμισοδιαπνοή, μια διαδικασία που απορροφά θερμική ενέργεια από το περιβάλλον και μειώνει τοπικά τις θερμοκρασίες επιφάνειας και αέρα. Αυτή η διαδικασία είναι ιδιαίτερα σημαντική σε περιοχές που παρουσιάζουν υψηλά επίπεδα στεγανοποίησης και αυξημένες επιφανειακές θερμοκρασίες σύμφωνα με τον δείκτη LST. **Ένας συνεχής γραμμικός πράσινος διάδρομος διευκολύνει επίσης την κυκλοφορία ψυχρότερων αέριων μαζών**, βελτιώνοντας τον φυσικό αερισμό της πόλης και συμβάλλοντας στη μείωση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας.

Επιπλέον, η συμβολή της παρέμβασης στη διαχείριση των όμβριων υδάτων είναι ζωτικής σημασίας. Το νερό της βροχής μπορεί να αποθηκευτεί προσωρινά και να απορροφηθεί σταδιακά στο έδαφος αντικαθιστώντας ορισμένες από τις αδιαπέραστες επιφάνειες με διαπερατά υλικά, κατασκευάζοντας φυτεμένες ζώνες συγκράτησης και φυσικές θέσεις διήθησης. **Αυτό μειώνει την ποσότητα και τον ρυθμό της επιφανειακής απορροής, μειώνει την καταπόνηση του αποχετευτικού συστήματος κατά τη διάρκεια περιόδων υψηλής βροχόπτωσης και βελτιώνει την επαναφόρτιση του υπόγειου υδροφορέα**. Το φυσικό φιλτράρισμα μέσω του εδάφους βοηθά επίσης στη βελτίωση της ποιότητας του νερού πριν από την είσοδο του στον Σαρωνικό Κόλπο.

Η προτεινόμενη παρέμβαση βελτιώνει τη χωρική συνέχεια της τρέχουσας πράσινης υποδομής της Αθήνας από οικολογική άποψη. Η ανάπτυξη ενός συνεχούς πράσινου-μπλε διαδρόμου χρησιμεύει ως οικολογικός σύνδεσμος μεταξύ σημαντικών χώρων πρασίνου, προωθώντας τη μετανάστευση των ειδών και προστατεύοντας την αστική βιοποικιλότητα. **Η αυξημένη φυτική κάλυψη βοηθά επίσης στη συγκράτηση αιωρούμενων σωματιδίων, προωθεί τη δέσμευση διοξειδίου του άνθρακα** και γενικά βελτιώνει τις οικοσυστημικές υπηρεσίες που προσφέρονται στις μητροπολιτικές περιοχές.

Πίνακας 7 Στοιχεία Παρέμβασης και τα Κοινωνικά και Περιβαλλοντικά τους οφέλη

Στοιχείο παρέμβασης	Περιβαλλοντικό όφελος	Κοινωνικό όφελος
Νέες δενδροφυτεύσεις	Σκίαση, εξατμισοδιαπνοή, μείωση LST	Θερμική άνεση, αισθητική αναβάθμιση
Bioswales & διαπερατά υλικά	Διήθηση, μείωση απορροής	Ανθεκτικότητα σε πλημμύρες
Γραμμική βλάστηση	Οικολογική συνδεσιμότητα, βιοποικιλότητα	Ευχάριστο περιβάλλον περιπάτου
Ποδηλατόδρομος	Μείωση εκπομπών από μετακινήσεις	Ενεργή κινητικότητα
Πεζόδρομοι & χώροι στάσης	-	Κοινωνική αλληλεπίδραση, αναψυχή

Τα κοινωνικά οφέλη της πρότασης είναι εξίσου σημαντικά. Τα νοικοκυριά των γύρω περιοχών έχουν πλέον πρόσβαση σε έναν δημόσιο χώρο πρώτης κατηγορίας που προωθεί το περπάτημα, την ποδηλασία, την αναψυχή και την τακτική αλληλεπίδραση με τον φυσικό κόσμο χάρη στον ανασχεδιασμό του ανοιχτού χώρου του Ιλισού. Το συνεχές μονοπάτι για πεζούς και ποδηλάτες βελτιώνει τις ευκαιρίες για ομαλή μετακίνηση και μειώνει την εξάρτηση από ιδιωτικά οχήματα, συνδέοντας γειτονιές που λειτουργούν σήμερα με αποσπασματικό τρόπο. Οι χώροι για ξεκούραση, στάση και κοινωνικοποίηση παρέχουν επίσης το ιδανικό περιβάλλον για την εμφάνιση αυτοσχέδιων κοινωνικών δραστηριοτήτων, κάτι που αποτελεί θεμελιώδη αρχή της σύγχρονης φιλοσοφίας αστικού σχεδιασμού. Οι επιτυχημένοι δημόσιοι χώροι, παρέχουν ένα ευέλικτο και ελκυστικό πλαίσιο εντός του οποίου τα άτομα σχεδιάζουν ενεργά τις καθημερινές τους δραστηριότητες αντί να επιβάλλουν συγκεκριμένη χρήση (Schmitt & Hartmann, 2016).

Συνολικά, η προτεινόμενη δράση τονίζει τον Ιλισό ως κρίσιμο στοιχείο της περιβαλλοντικής αποκατάστασης της Αθήνας. Εκτός από τη βελτίωση των τοπικών μικροκλιματικών συνθηκών, η χρήση του υπάρχοντος καναλιού ως γραμμικής πράσινης-μπλε υποδομής ενισχύει την ανθεκτικότητα της πόλης στην κλιματική αλλαγή, θεσπίζει έναν στρατηγικό άξονα που συνδέει το φυσικό περιβάλλον με τον αστικό ιστό και παρέχει

ένα παράδειγμα βιώσιμης αστικής αναγέννησης που θα μπορούσε να εφαρμοστεί σε άλλα μέρη της Αθήνας.

5.4.5 Συνολική αξιολόγηση της προτεινόμενης παρέμβασης

Η πρόταση ανακατασκευής του ανοιχτού χώρου του Ιλισού αποτελεί μια ολοκληρωμένη στρατηγική πολεοδομικού και αστικού σχεδιασμού που αντιμετωπίζει καίρια περιβαλλοντικά ζητήματα αξιοποιώντας τις μεθόδους των BGI και των NBS. Ο άξονας του Ιλισού βρίσκεται σε μια ζώνη αυξημένης περιβαλλοντικής ευπάθειας, και ταυτόχρονα χαρακτηρίζεται από υψηλό δυναμικό για λειτουργική και οικολογική αναβάθμιση. **Βάσει των αποτελεσμάτων της χωρικής μελέτης και της εφαρμογής του σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας UEVI, αποτέλεσε τη βέλτιστη επιλογή περιοχής παρέμβασης.**

Εκτός από τη βελτίωση της αισθητικής σε μία υποβαθμισμένη αστική περιοχή, το σχέδιο στοχεύει στην κατασκευή ενός γραμμικού οικολογικού διαδρόμου που θα βελτιώσει το μικροκλίμα, θα συνδέσει τις υπάρχουσες πράσινες και μπλε υποδομές της Αθήνας, θα βοηθήσει στη βιώσιμη διαχείριση των όμβριων υδάτων και θα βελτιώσει την ποιότητα των δημόσιων χώρων. Ταυτόχρονα, **το ανοικτό τμήμα του Ιλισού μετατρέπεται από ένα τεχνικό έργο αποστράγγισης σε έναν ενεργό δημόσιο χώρο με ισχυρό περιβαλλοντικό και κοινωνικό χαρακτήρα** μέσω της ενσωμάτωσης υποδομών ήπιας κινητικότητας και περιοχών κοινωνικής αλληλεπίδρασης.

Η εν λόγω πρόταση έχει βασιστεί στις σχετικές αναφορές της διεθνούς βιβλιογραφίας, στην ανάλυση γεωχωρικών δεδομένων και στις έννοιες του βιώσιμου αστικού σχεδιασμού και της αστικής ανθεκτικότητας. Έτσι, η προτεινόμενη προσέγγιση μπορεί να χρησιμεύσει ως ένα χρήσιμο εργαλείο για επερχόμενες παρεμβάσεις στον Ιλισό και σε άλλους αστικούς διαδρόμους της Αθήνας, βοηθώντας την πόλη να μεταμορφωθεί σταδιακά σε ένα πιο ανθεκτικό, βιώσιμο και φιλικό προς τον άνθρωπο αστικό περιβάλλον.

6. Συμπεράσματα και προοπτικές περαιτέρω έρευνας

6.1 Συμπεράσματα της έρευνας

Στην εργασία αυτή εφαρμόστηκε μέθοδος πολυκριτηριακής χωρικής ανάλυσης, με χρήση Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS) για να εξετάσει πώς οι BGI θα μπορούσαν να βελτιώσουν την αστική ανθεκτικότητα και συγκεκριμένα για την περίπτωση της πόλης της Αθήνας.

Δημιουργήθηκε ένας σύνθετος δείκτης περιβαλλοντικής ευπάθειας με την επεξεργασία των επιμέρους δεικτών NDVI, TCD, IMD και LST. Αυτό επέτρεψε τον εντοπισμό περιοχών στην Αθήνα που χρήζουν περαιτέρω περιβαλλοντικής αναβάθμισης. Μια σχεδιαστική ιδέα βασισμένη στις αρχές των NBS αναπτύχθηκε ως αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθοδολογίας, η οποία προσδιόρισε το ανοιχτό τμήμα του Ιλισού ως τόπο με σημαντικό δυναμικό παρέμβασης. Η μελέτη δείχνει ότι ένα αξιόπιστο εργαλείο για την υποβοήθηση του αστικού σχεδιασμού μπορεί να δημιουργηθεί συνδυάζοντας την ανάλυση διαφόρων περιβαλλοντικών δεικτών με τη χρήση ανοιχτών γεωχωρικών δεδομένων.

Ταυτόχρονα, τονίζεται η σημαντικότητα της μετάβασης από τις επιμέρους αστικές περιβαλλοντικές παρεμβάσεις μικρής κλίμακας και περιορισμένης εμβέλειας, στην ανάπτυξη ολοκληρωμένων πράσινων-μπλε δικτύων που θα μπορούσαν να βελτιώσουν την κοινωνική και περιβαλλοντική ανθεκτικότητα των ελληνικών πόλεων.

6.2 Συμβολή της εργασίας

Η παραπάνω εργασία συμβάλλει στην ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας για την αξιολόγηση της περιβαλλοντικής ευπάθειας του αστικού χώρου, αξιοποιώντας τεχνολογίες Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (GIS), datasets, καθώς και πολυκριτηριακή ανάλυση. Μέσω της σύνθεσης τεσσάρων βασικών περιβαλλοντικών δεικτών – του Δείκτη Κανονικοποιημένης Διαφοράς Βλάστησης (NDVI), της Πυκνότητας Δενδροκάλυψης (Tree Canopy Density – TCD), του Βαθμού Στεγανοποίησης του Εδάφους (Imperviousness Degree – IMD) και της Θερμοκρασίας Επιφάνειας (Land Surface Temperature – LST) – αναπτύχθηκε ένας σύνθετος Δείκτης Περιβαλλοντικής Ευπάθειας

(Environmental Vulnerability Index – EVI), ο οποίος επιτρέπει την αναγνώριση περιοχών με αυξημένες ανάγκες περιβαλλοντικής αναβάθμισης.

Ιδιαίτερη συμβολή της εργασίας αποτελεί η αξιοποίηση ανοικτών γεωχωρικών δεδομένων του προγράμματος Copernicus και του δορυφόρου Landsat, σε συνδυασμό με λογισμικό ανοικτού κώδικα, αποδεικνύοντας ότι είναι δυνατή η ανάπτυξη αξιόπιστων εργαλείων χωρικής ανάλυσης χωρίς την ανάγκη εξειδικευμένων εμπορικών εφαρμογών. Παράλληλα, η εφαρμογή της μεθοδολογίας στην Αθήνα ανέδειξε τον άξονα του Ιλισού ως περιοχή υψηλής στρατηγικής σημασίας για την ανάπτυξη ενός συνεχούς πράσινου-μπλε διαδρόμου, αναδεικνύοντας τη δυνατότητα αξιοποίησης του δείκτη ως εργαλείου υποστήριξης του αστικού σχεδιασμού και της λήψης αποφάσεων. Η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να εφαρμοστεί και σε άλλες πόλεις, προσαρμοζόμενη στα ιδιαίτερα περιβαλλοντικά και πολεοδομικά χαρακτηριστικά κάθε περιοχής.

6.3 Αναπάντητα Ερωτήματα

Παρότι η μεθοδολογία παρείχε αξιόπιστα αποτελέσματα για τον εντοπισμό περιοχών περιβαλλοντικής ευπάθειας, αναδείχθηκαν ορισμένοι περιορισμοί που μπορούν να αποτελέσουν αντικείμενο μελλοντικής έρευνας. Η στάθμιση των επιμέρους δεικτών πραγματοποιήθηκε βάσει βιβλιογραφικών τεκμηρίων, ώστε να περιοριστεί η υποκειμενικότητα, χωρίς όμως να διερευνηθεί η ευαισθησία του τελικού δείκτη σε εναλλακτικά σενάρια βαρών ή μεθόδους όπως η Αναλυτική Ιεραρχική Διαδικασία (Analytic Hierarchy Process – AHP). Επιπλέον, η ανάλυση βασίστηκε σε δεδομένα μίας συγκεκριμένης χρονικής περιόδου και δεν εξετάστηκε η εποχική μεταβολή των περιβαλλοντικών δεικτών, η οποία θα μπορούσε να επηρεάσει τη χωρική κατανομή της περιβαλλοντικής ευπάθειας.

Ένα ακόμη σημαντικό αναπάντητο ερώτημα αφορά την **ποσοτική αξιολόγηση της προτεινόμενης παρέμβασης**. Η πρόταση ανάπλασης του άξονα του Ιλισού διαμορφώθηκε βάσει των αρχών των Nature-based Solutions και της διεθνούς εμπειρίας από αντίστοιχες εφαρμογές, χωρίς όμως να είναι δυνατή η ποσοτική εκτίμηση της αναμενόμενης βελτίωσης των περιβαλλοντικών δεικτών μετά την υλοποίησή της. Η χρήση δυναμικών προσομοιώσεων μικροκλίματος ή ο εκ νέου υπολογισμός του δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας μετά την εφαρμογή ενός λεπτομερούς σεναρίου παρέμβασης θα επέτρεπαν την ποσοτική σύγκριση της υφιστάμενης και της προτεινόμενης κατάστασης. Μία τέτοια

προσέγγιση θα ενίσχυε σημαντικά την τεκμηρίωση της αποτελεσματικότητας των πράσινων-μπλε υποδομών και θα αποτελούσε το επόμενο βήμα για την εξέλιξη της παρούσας μεθοδολογίας.

6.4 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η μεθοδολογία αυτής της εργασίας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως βάση για μελλοντικές μελέτες σχετικά με την αστική ανθεκτικότητα και τον περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Για να καταστεί η αξιολόγηση πιο ολοκληρωμένη, μια προσέγγιση είναι η ενσωμάτωση άλλων περιβαλλοντικών και κοινωνικών παραγόντων, όπως η ποιότητα του αέρα, η πυκνότητα πληθυσμού, η προσβασιμότητα σε χώρους πρασίνου ή οι δείκτες κοινωνικής ευπάθειας. Ταυτόχρονα, η χρήση διαφορετικών τεχνικών αξιολόγησης, συμπεριλαμβανομένης της Αναλυτικής Ιεραρχικής Διαδικασίας (AHP), μπορεί να βοηθήσει στην περαιτέρω καταγραφή της στάθμισης που αποδίδεται στους εκάστοτε δείκτες.

Επιπλέον, προκειμένου να προσδιοριστούν με μεγαλύτερη ακρίβεια οι επιπτώσεις των προτεινόμενων παρεμβάσεων στη θερμοκρασία, τη σκίαση και τη θερμική άνεση των χρηστών, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει μια ποσοτική αξιολόγηση της προτεινόμενης παρέμβασης χρησιμοποιώντας εξειδικευμένο λογισμικό προσομοίωσης μικροκλίματος, όπως το ENVI-met ή παρόμοια εργαλεία. Τέλος, η χρήση της ίδιας μεθοδολογίας σε άλλες ελληνικές πόλεις θα καθιστούσε δυνατή τη σύγκριση διαφόρων αστικών περιοχών και θα βοηθούσε στη δημιουργία ενός πιο ολοκληρωμένου πλαισίου για την εθνική ανάπτυξη πράσινων-μπλε υποδομών.

6.4 Τελικές παρατηρήσεις

Οι συνθήκες λειτουργίας των σύγχρονων πόλεων μεταβάλλονται δραστικά από την κλιματική αλλαγή και τη συνεχιζόμενη αστικοποίηση, καθιστώντας απαραίτητη την υιοθέτηση νέων μεθόδων για τον αστικό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Η αύξηση της αστικής ανθεκτικότητας απαιτεί την αξιοποίηση των φυσικών διεργασιών και την επανένταξη του φυσικού περιβάλλοντος στον αστικό ιστό, αντί να βασίζεται

αποκλειστικά σε παραδοσιακές τεχνικές υποδομές. Συνεπώς, οι BGI μπορούν να αποτελέσουν ένα ολοκληρωμένο σύστημα που συνδυάζει περιβαλλοντικούς, κοινωνικούς και λειτουργικούς στόχους μέσω παρεμβάσεων που βελτιώνουν τις οικολογικές και ανθρώπινες πτυχές της πόλης.

Αυτή η εργασία ανέδειξε πώς η δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ευπάθειας και η αξιοποίηση γεωγραφικών δεδομένων μπορούν να βοηθήσουν σημαντικά στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, εντοπίζοντας περιοχές που χρήσουν παρέμβασης. Έδειξε επίσης ότι αυτή η μέθοδος ανάλυσης δεν είναι αυτοσκοπός και μπορεί να χρησιμεύσει ως βάση για την ανάπτυξη συστάσεων πολεοδομικού σχεδιασμού βασισμένων σε στοιχεία που αντιμετωπίζουν τις πραγματικές ανάγκες της πόλης.

Το ανοιχτό τμήμα του Ιλισού επιλέχθηκε ως περιοχή μελέτης για να καταδειχθεί το υψηλό δυναμικό που εξακολουθεί να υπάρχει στις πυκνοκατοικημένες περιοχές της Αθήνας. Η εργασία υποστηρίζει ότι ο Ιλισός μπορεί να αποτελέσει έναν στρατηγικό πράσινο-μπλε διάδρομο που θα συνδέει διάφορα μέρη της πόλης, βελτιώνει το μικροκλίμα και βοηθά στη διαχείριση των όμβριων υδάτων δημιουργώντας παράλληλα δημόσιους χώρους υψηλής περιβαλλοντικής ποιότητας. Αυτή η συγκεκριμένη στρατηγική μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί ως πρότυπο για πρόσθετες λειτουργίες αστικών αξόνων στην Αθήνα και σε άλλες ελληνικές πόλεις που αντιμετωπίζουν παρόμοια ζητήματα.

Οι πρωτοβουλίες μεγάλης κλίμακας και η δημιουργία νέας τεχνολογίας δεν είναι οι μόνοι παράγοντες που επηρεάζουν τη μετάβαση σε πιο ανθεκτικές και βιώσιμες πόλεις. Απαιτεί πρωτίστως μια ξεχωριστή προοπτική για τον αστικό χώρο, όπου το φυσικό περιβάλλον θεωρείται ως θεμελιώδης αστική υποδομή και όχι ως υποπροϊόν της αστικοποίησης. Η οικοδόμηση πόλεων που είναι πιο ανθεκτικές, λειτουργικές και φιλικές προς τον άνθρωπο απαιτεί την ανάπτυξη συνεχών δικτύων, την αξιοποίηση των ποταμών και τη βελτίωση των σχέσεων των πολιτών με τον φυσικό κόσμο. Σε αυτό το πλαίσιο, **η παρούσα μελέτη στοχεύει να τονίσει τις δυνατότητες των πράσινου-μπλε υποδομών ως εργαλείο σχεδιασμού για τις επόμενες δεκαετίες και να συμβάλει ελάχιστα στη συζήτηση για τη βιώσιμη ανάπτυξη των ελληνικών πόλεων.**

Βιβλιογραφία

- Abdelkarim, A., Abdelhafez, M. H. H., Elkhayat, K., Alshenaifi, M., Alfraidi, S., Aldersoni, A., Albaqawy, G., Aldamaty, A., & Ragab, A. (2024a). Spatial Suitability Index for Sustainable Urban Development in Desert Hinterland Using a Geographical-Information-System-Based Multicriteria Decision-Making Approach. *Land*, 13(7), 986. <https://doi.org/10.3390/land13070986>
- Abdelkarim, A., Abdelhafez, M. H. H., Elkhayat, K., Alshenaifi, M., Alfraidi, S., Aldersoni, A., Albaqawy, G., Aldamaty, A., & Ragab, A. (2024b). Spatial Suitability Index for Sustainable Urban Development in Desert Hinterland Using a Geographical-Information-System-Based Multicriteria Decision-Making Approach. *Land*, 13(7), 986. <https://doi.org/10.3390/land13070986>
- Alchapar, N. L., Correa, E. N., & Cantón, M. A. (2014). Classification of building materials used in the urban envelopes according to their capacity for mitigation of the urban heat island in semiarid zones. *Energy and Buildings*, 69, 22–32. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.10.012>
- Al-Mamary, Y. H., & Alshammari, A. F. (2025). A conceptual model and its implications: Identifying key factors influencing entrepreneurial activity and innovation capabilities for sustainable development and green innovation. *World Development Sustainability*, 7, 100259. <https://doi.org/10.1016/j.wds.2025.100259>
- Biasin, A., Toxopeus, H., Pettenella, D., Polzin, F., & Masiero, M. (2024). “Financing urban Nature-based Solutions (NBS): A literature review from the perspective of funders.” *Nature-Based Solutions*, 6, 100195. <https://doi.org/10.1016/j.nbsj.2024.100195>
- Callender, J. (2012). Sustainable Urban Development. In *International Encyclopedia of Housing and Home* (pp. 129–133). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-047163-1.00601-9>
- Chung, J.-H., Yeon Hwang, K., & Kyung Bae, Y. (2012). The loss of road capacity and self-compliance: Lessons from the Cheonggyecheon stream restoration. *Transport Policy*, 21, 165–178. <https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2012.01.009>
- Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18(4), 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2008.07.013>
- Czarnecka, K., Kuchcik, M., Derwicz, K., Jarocińska, A., Kowalska, A., Lindner-Cendrowska, K., & Rabczenko, D. (2026). Assessing the role of environmental factors in shaping human thermal stress within urban parks during the growing season. *Building and Environment*, 296, 114506. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2026.114506>
- Diamond, S. E., & Martin, R. A. (2025). Expanding horizons of ecological and evolutionary research in urban heat islands. *Current Opinion in Insect Science*, 101477. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2025.101477>

- Eminoğlu, Y., & Çelik, H. M. (2026a). Diagnosing urban heat vulnerability through multiscale spatial modelling: Evidence from Istanbul for climate-resilient cities. *Sustainable Cities and Society*, 138, 107190. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2026.107190>
- Eminoğlu, Y., & Çelik, H. M. (2026b). Diagnosing urban heat vulnerability through multiscale spatial modelling: Evidence from Istanbul for climate-resilient cities. *Sustainable Cities and Society*, 138, 107190. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2026.107190>
- Flores-Larsen, S., & Bre, F. (2026). Night-time urban heat exposure: Overheating and thermal resilience of South American bedrooms. *Building and Environment*, 287, 113757. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.113757>
- Gao, X., Yuan, Z., Liu, X., Liu, F., & Kou, C. (2025). Achieving urban ecosystem resilience: Static and dynamic attack simulation and cascading failure analysis of urban blue-green infrastructure networks. *Ecological Indicators*, 179, 114205. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.114205>
- Gao, Y., Zhang, Y., & Xu, D. (2025). A systematic review of urban ecological resilience: Emerging frontiers in process-oriented metabolic research. *Ecological Modelling*, 510, 111319. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2025.111319>
- Giannico, O. V., Addabbo, F., Catino, F., Bisceglia, L., Minerba, S., Mincuzzi, A., & Sardone, R. (2025). The mortality impacts of implementing the 3-30-300 greenness rule in Taranto, Southern Italy. *Ecological Indicators*, 178, 113895. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2025.113895>
- Gill, S. E., Handley, J. F., Ennos, A. R., & Pauleit, S. (2007). Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. *Built Environment*, 33(1), 115–133. <https://doi.org/10.2148/benv.33.1.115>
- Greene, R., Devillers, R., Luther, J. E., & Eddy, B. G. (2011). GIS-Based Multiple-Criteria Decision Analysis. *Geography Compass*, 5(6), 412–432. <https://doi.org/10.1111/j.1749-8198.2011.00431.x>
- Guimarães, L. F., Oliveira, A. K. B. D., Veríssimo, L. D. F., Merlo, M. L., & Vérol, A. P. (2018). O uso de infraestruturas verde e azul na revitalização urbana e na melhoria do manejo das águas pluviais. *Paisagem e Ambiente*, (42), 75–95. <https://doi.org/10.11606/issn.2359-5361.v0i42p75-95>
- Hopkins, L. D. (1977). Methods for Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation. *Journal of the American Institute of Planners*, 43(4), 386–400. <https://doi.org/10.1080/01944367708977903>
- Hu, B., Sun, M., Hou, X., Dong, K., Chen, Y., & Yu, Y. (2026). Assessment of urban disaster resilience under the perspective of rainstorm waterlogging: A case study of the central urban area in Tianjin, China. *Ocean & Coastal Management*, 272, 108005. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2025.108005>

Javed, M. H., Ahmad, A., Rehan, M., Farooq, M., Farhan, M., Raza, M. A., & Nizami, A.-S. (2025). Advancing Circular Economy Through Optimized Construction and Demolition Waste Management Under Life Cycle Approach. *Sustainability*, 17(11), 4882. <https://doi.org/10.3390/su17114882>

Khalvandi, R., & Karimimoshaver, M. (2025). Urban street canyons and heat islands: A systematic review on morphological solutions. *Results in Engineering*, 27, 106542. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.106542>

Khan, Z., Ali, S., & Zhu, X. (2025). Environmental sustainability via sustainable development: The role of green innovation, clean energy and financial inclusion. *Journal of Environmental Management*, 393, 127175. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.127175>

Khirfan, L. (2025). Urban stream daylighting as a nature-based solution: Transformative or incremental? A scaffolded review of Seoul's Cheonggyecheon and Zürich's *Bächkonzept*. *Journal of Environmental Planning and Management*, 1–34. <https://doi.org/10.1080/09640568.2025.2526614>

Konaxis, I., Maialetti, M., Muolo, A., & Salvati, L. (2026). Monitoring long-term building activity as a multi-temporal indicator of urbanization in Mediterranean Europe. *Cities*, 174, 107072. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2026.107072>

Lemmen, D. S. & Kanada (Eds.). (2004). *Climate change impacts and adaptation: A Canadian perspective*. Climate Change Impacts and Adaption Directorate, Natural Resources Canada.

Liu, J., Tian, Y., Yang, Y., Zhang, T., Deng, Y., Chen, W., Yin, L., & Zhang, B. (2026). Constructing an urban cooling network based on multidimensional influencing factors of urban heat island and local climate zones. *Building and Environment*, 289, 114090. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.114090>

Liu, Y., Jiang, Y., & Deng, Y. (2025). A framework for urban flood resilience assessment: Integrating multidimensional indicators and dynamic adaptation strategies. *Journal of Environmental Management*, 392, 126841. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.126841>

Luo, Y., Yang, B., Fang, S., & Wu, H. (2025). Exploring the spatial effects of the coordinated development of population urbanization and land urbanization on urban resilience: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 537, 147242. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2025.147242>

Malczewski, J. (n.d.). *GIS-based land-use suitability analysis: A critical overview*.
Malczewski, J., & Rinner, C. (2015a). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>

Malczewski, J., & Rinner, C. (2015b). *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-74757-4>

- Massarelli, C., & Binetti, M. S. (2025a). Improving Urban Resilience Through a Scalable Multi-Criteria Planning Approach. *Urban Science*, 9(8), 309. <https://doi.org/10.3390/urbansci9080309>
- Massarelli, C., & Binetti, M. S. (2025b). Improving Urban Resilience Through a Scalable Multi-Criteria Planning Approach. *Urban Science*, 9(8), 309. <https://doi.org/10.3390/urbansci9080309>
- Polo-Martín, B. (2025). The Potential of Blue–Green Infrastructures (BGIs) to Boost Urban Resilience: Examples from Spain. *Urban Science*, 9(4), 102. <https://doi.org/10.3390/urbansci9040102>
- Pratt, C. (n.d.). *Environmental Vulnerability Index (EVI) to summarise national*.
- Pröbstl-Haider, U., Wanner, A., Feilhammer, M., Mostegl, N., & Dabrowska, K. (2024). The right fit: Acceptance of nature-based solutions across European cities. *Landscape and Urban Planning*, 252, 105189. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2024.105189>
- Puppim De Oliveira, J. A., Bellezoni, R. A., Shih, W., & Bayulken, B. (2022). Innovations in Urban Green and Blue Infrastructure: Tackling local and global challenges in cities. *Journal of Cleaner Production*, 362, 132355. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.132355>
- Rajagopal, P., Shanthi Priya, R., & Sudha, G. (2025). Spatial characteristics of urban heat Islands: Land use-based assessment using Chennai's second master plan. *Environmental and Sustainability Indicators*, 28, 100900. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100900>
- Ren, W., Zhao, J., & Ma, X. (2022). Analysis of the spatial characteristics of inhalable particulate matter concentrations under the influence of a three-dimensional landscape pattern in Xi'an, China. *Sustainable Cities and Society*, 81, 103841. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103841>
- Ritchie, H., Samborska, V., & Roser, M. (2024). Urbanization. *Our World in Data*.
- Rodrigues Lopes, A. C., Rezende, O. M., & Miguez, M. G. (2025). Urban flood resilience indexes to assess the pre-disaster stage of the disaster risk management cycle. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 105859. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2025.105859>
- Schmitt, S. M., & Hartmann, T. (2016). Clumsy City by Design—A Theory for Jane Jacobs' Imperfect Cities? *Urban Planning*, 1(4), 42–50. <https://doi.org/10.17645/up.v1i4.732>
- Skondras, N. A., Karavitis, C. A., Gkotsis, I. I., Scott, P. J. B., Kaly, U. L., & Alexandris, S. G. (2011). Application and assessment of the Environmental Vulnerability Index in Greece. *Ecological Indicators*, 11(6), 1699–1706. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.04.010>
- Torrentí, F., Sicard, P., Alonso, L., & Calatayud, V. (2026). The rule 3-30-300 for a healthier and greener compact Mediterranean city. *Journal of Environmental Management*, 404, 129541. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2026.129541>

Tsatsaris, A., Kalogeropoulos, K., Stathopoulos, N., Louka, P., Tsanakas, K., Tsesmelis, D. E., Krassanakis, V., Petropoulos, G. P., Pappas, V., & Chalkias, C. (2021). Geoinformation Technologies in Support of Environmental Hazards Monitoring under Climate Change: An Extensive Review. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10(2), 94. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020094>

United Nations Conference on Trade and Development. (2022). *Science, Technology and Innovation for Sustainable Urban Development in a Post-pandemic World*. United Nations. <https://doi.org/10.18356/9789210018920>

Veerkamp, C. J., Schipper, A. M., Hedlund, K., Lazarova, T., Nordin, A., & Hanson, H. I. (2021). A review of studies assessing ecosystem services provided by urban green and blue infrastructure. *Ecosystem Services*, 52, 101367. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2021.101367>

Wang, B., Cai, K., Jin, J., Zhou, W., Wu, L., Cai, C., & He, K. (2026). A data-driven visual screening strategy for urban tree structural health: Predicting internal decay using Random Forest. *Urban Forestry & Urban Greening*, 124, 129592. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2026.129592>

Wang, X., Hu, Q., Zhang, R., Sun, C., & Wang, M. (2025). Ecosystem Services in Urban Blue-Green Infrastructure: A Bibliometric Review. *Water*, 17(15), 2273. <https://doi.org/10.3390/w17152273>

Wang, Z., Zhang, J., & Gao, Y. (2026). Green finance, cultural and tourism consumption, and sustainable development of tourism economy: A quasi-natural experiment based on the “dual pilot” policies. *International Review of Financial Analysis*, 110, 104855. <https://doi.org/10.1016/j.irfa.2025.104855>

Wang, Z., Zhou, R., & Yu, Y. (2025). The impact of urban morphology on land surface temperature under seasonal and diurnal variations: Marginal and interaction effects. *Building and Environment*, 272, 112673. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2025.112673>

Weng, Q. (2009). Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), 335–344. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.03.007>

Wu, X., & Huang, X. (2023). Screening of urban environmental vulnerability indicators based on coefficient of variation and anti-image correlation matrix method. *Ecological Indicators*, 150, 110196. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.110196>

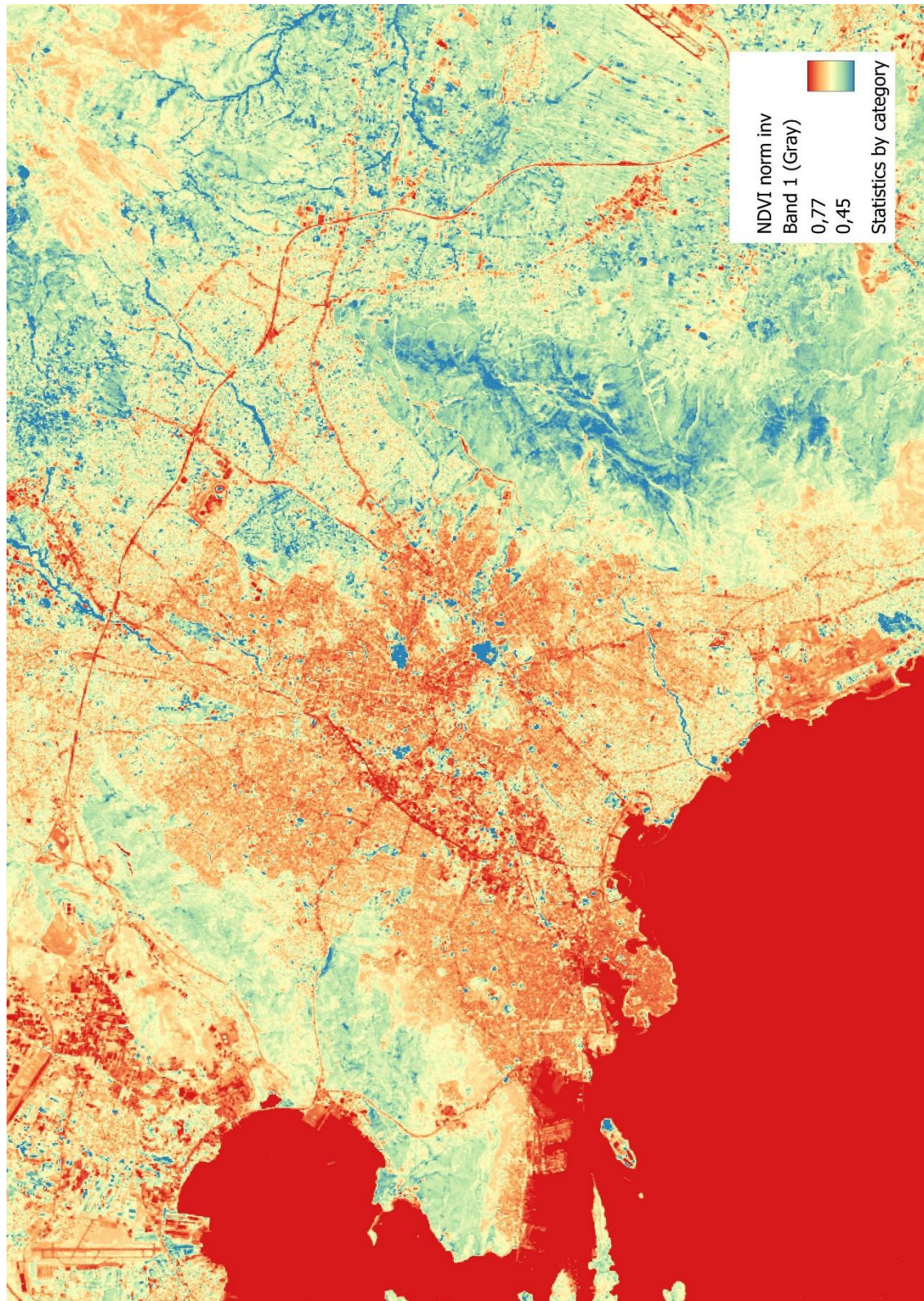
Yao, X., Zeng, X., Zhu, Z., Lan, Y., Shen, Y., Liu, Q., & Yang, F. (2023). Exploring the diurnal variations of the driving factors affecting block-based LST in a “Furnace city” using ECOSTRESS thermal imaging. *Sustainable Cities and Society*, 98, 104841. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2023.104841>

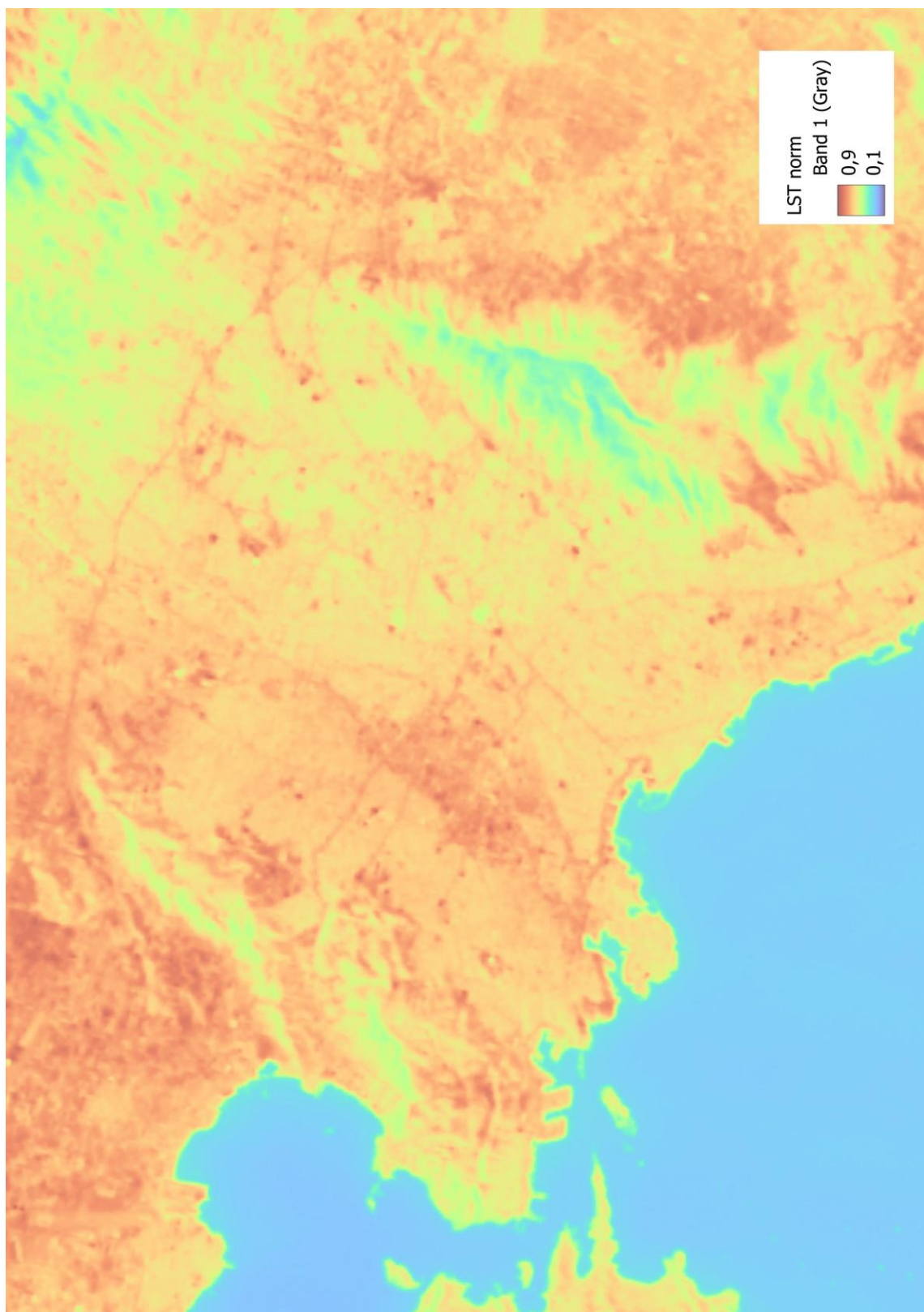
Yesuf, A. Y., Abebe, J. T., Megenta, M. M., Seid, C. M., Engda, E. M., & Jothimani, M. (2026). Land use/land cover change and its influence on land surface temperature in

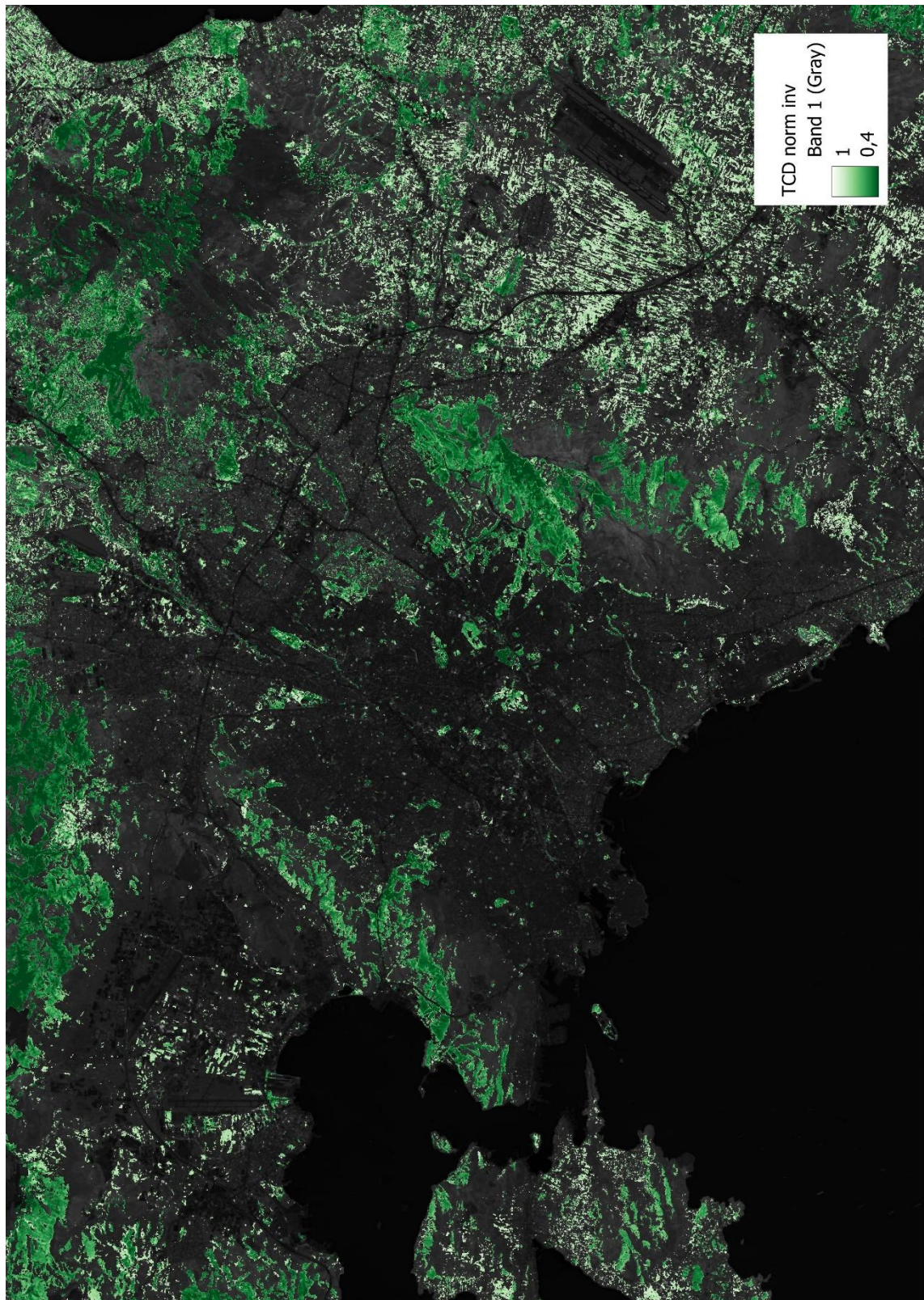
Hawassa, Ethiopia. *Discover Environment*, 4(1), 182. <https://doi.org/10.1007/s44274-026-00684-6>

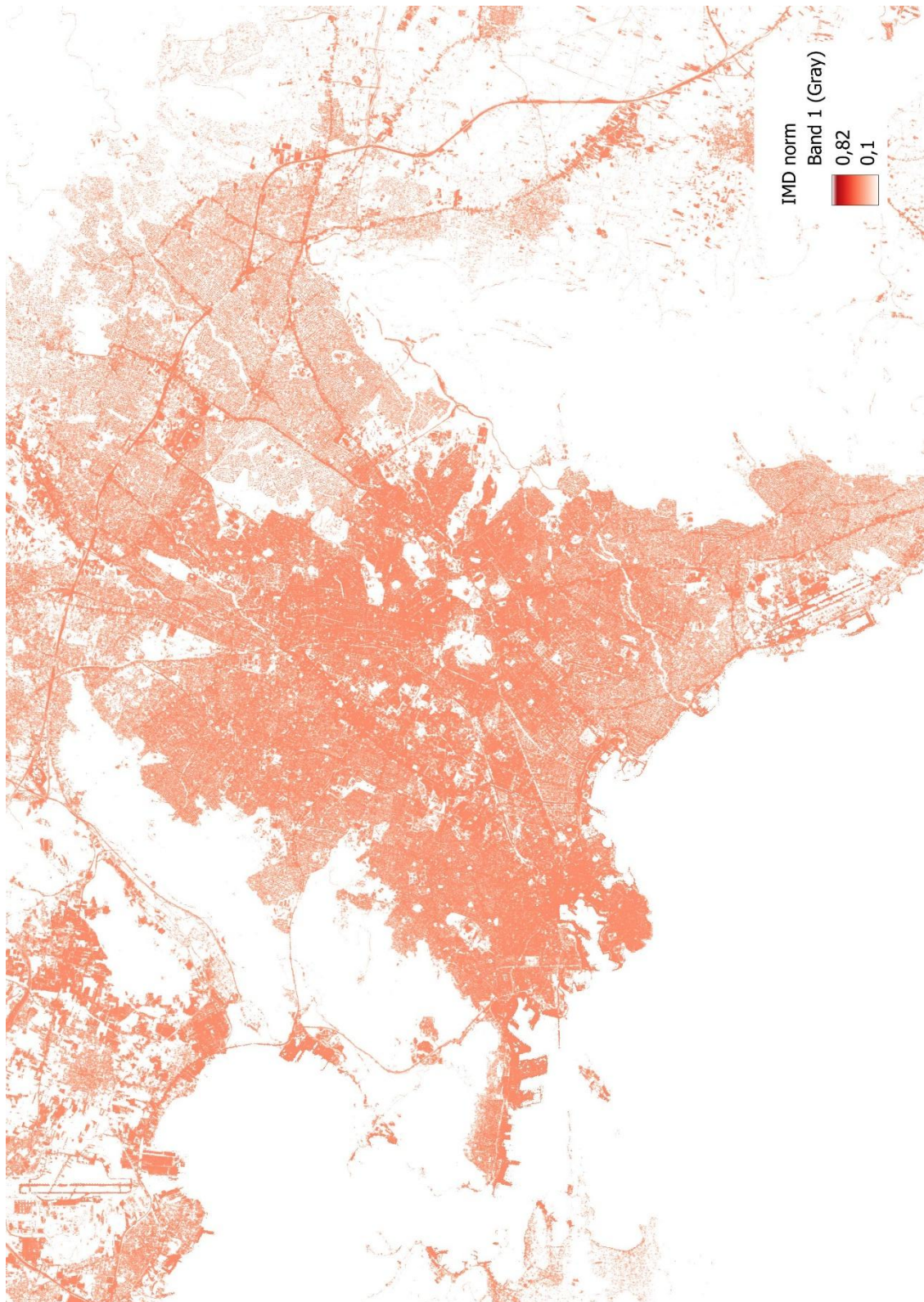
Zhan, X., Zhang, H., Wang, Y., Chen, S., Long, Y., & Shao, C. (2025). Urban Sustainable Development Assessment and Early Warning Oriented to Support-Constraint Dynamic Evolution: An Empirical Analysis Based on SDG11. *Sustainable Cities and Society*, 135, 107030. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2025.107030>

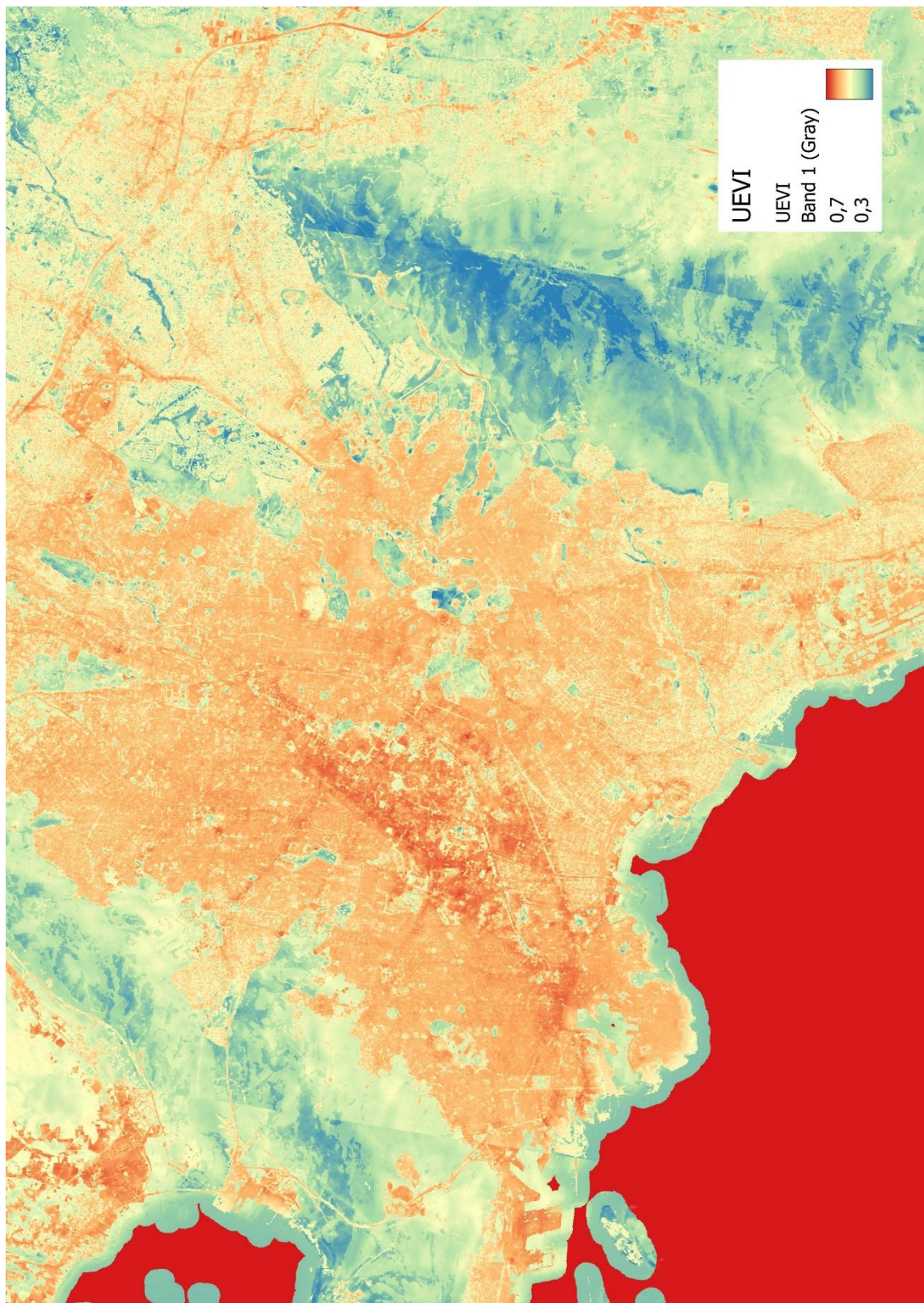
Παράρτημα Α: Χάρτες Επιμέρους Δεικτών και Σύνθετου Δείκτη



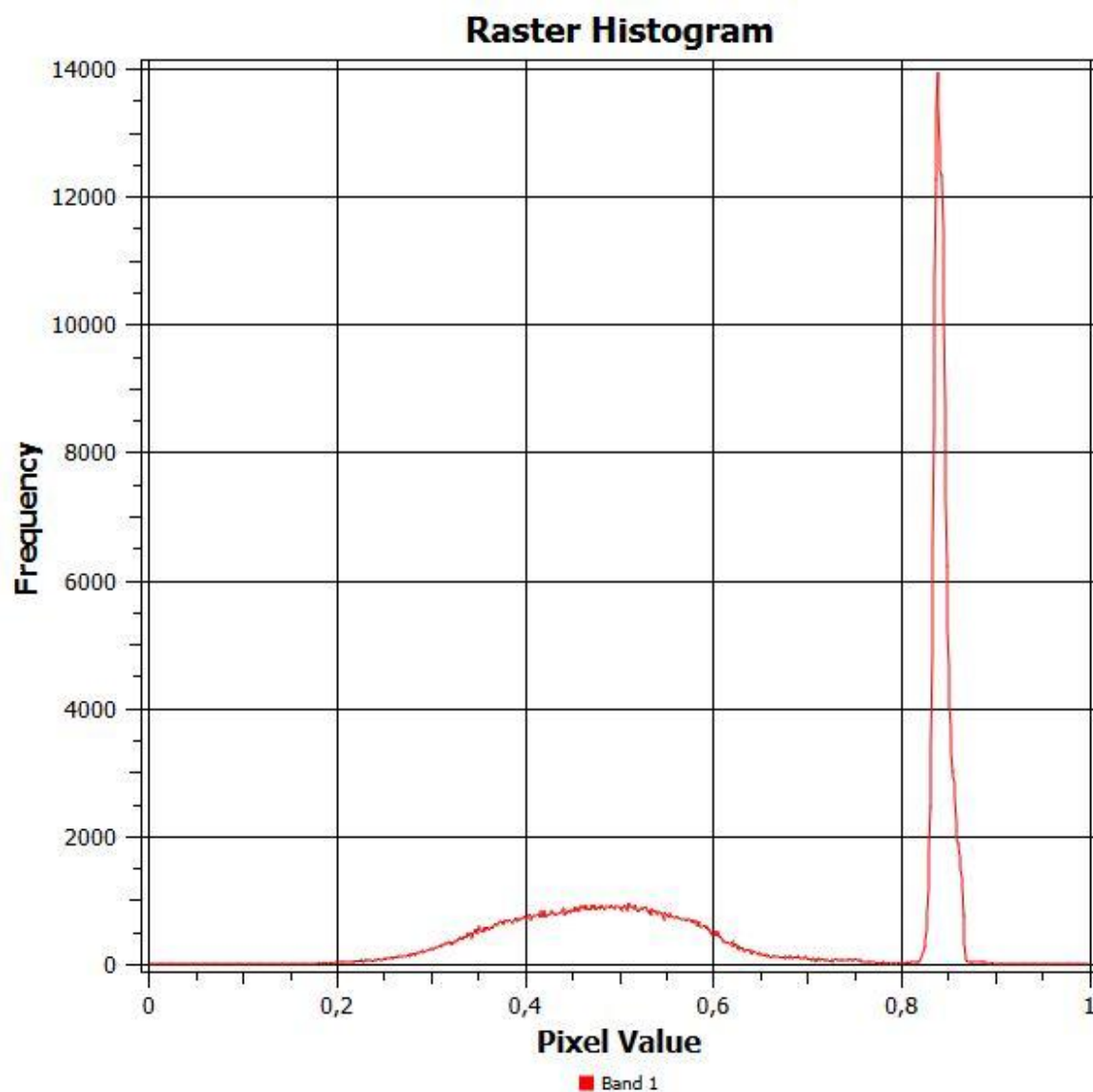




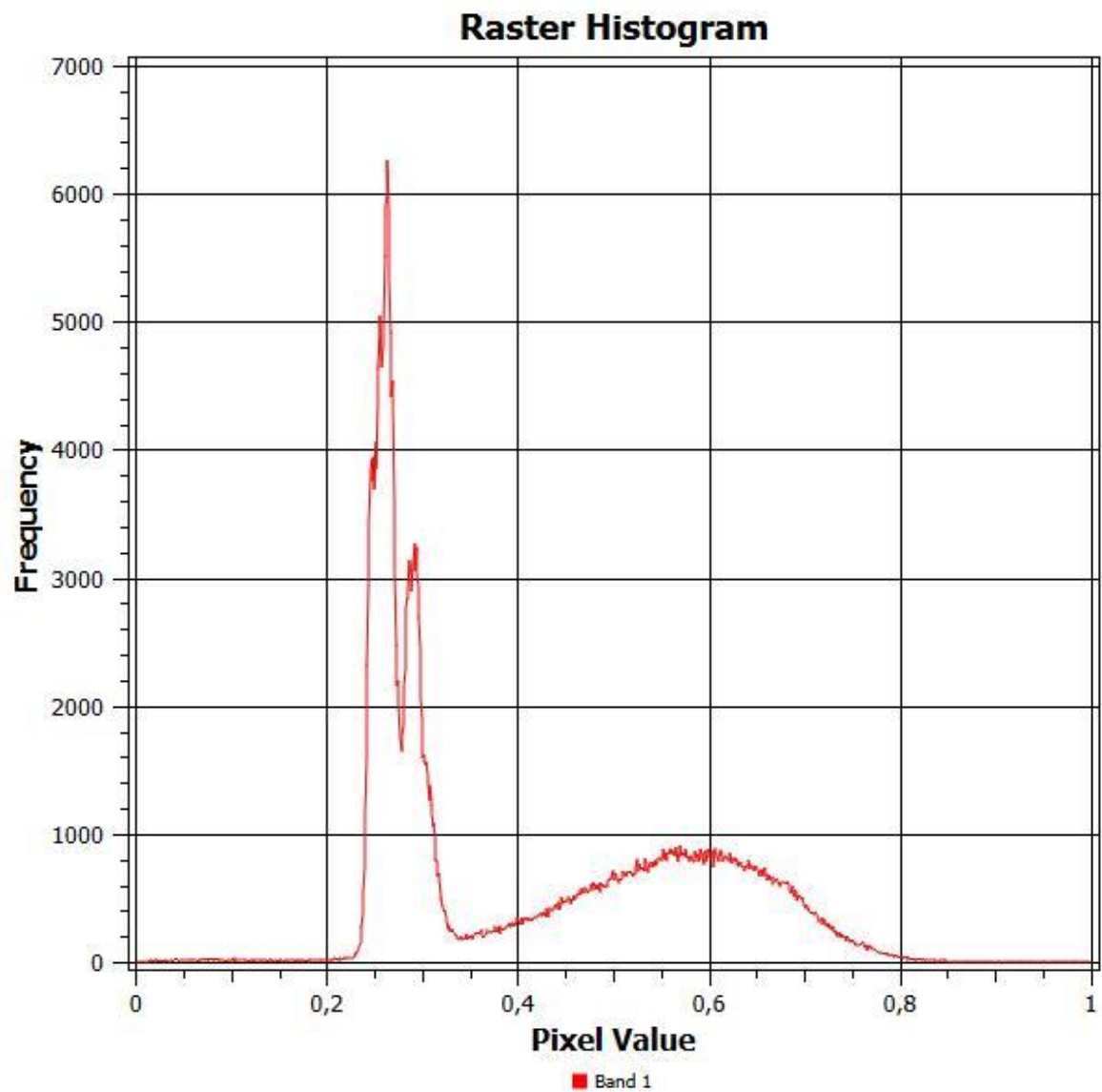




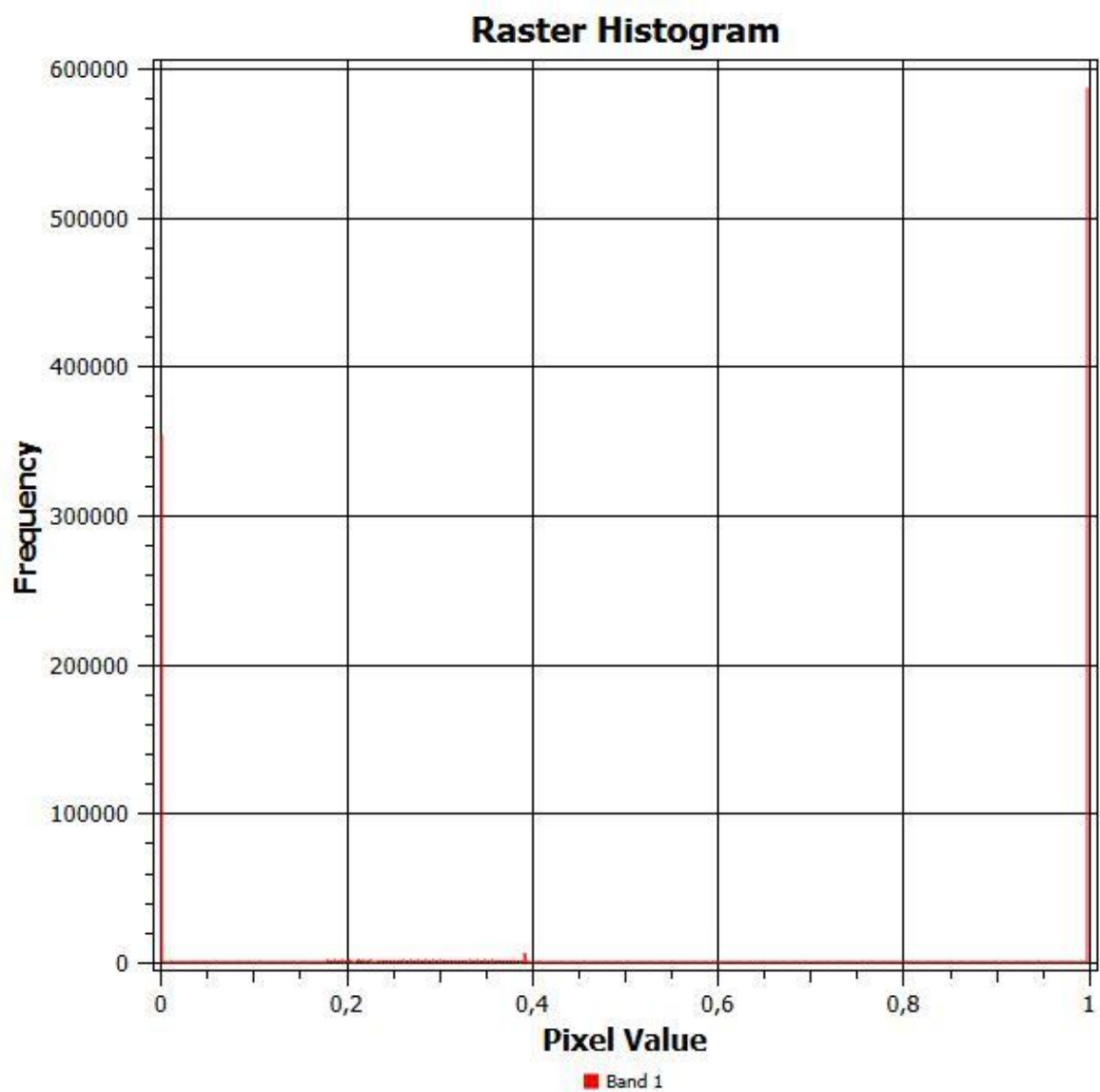
Παράρτημα Β: Ιστογράμματα Δεικτών



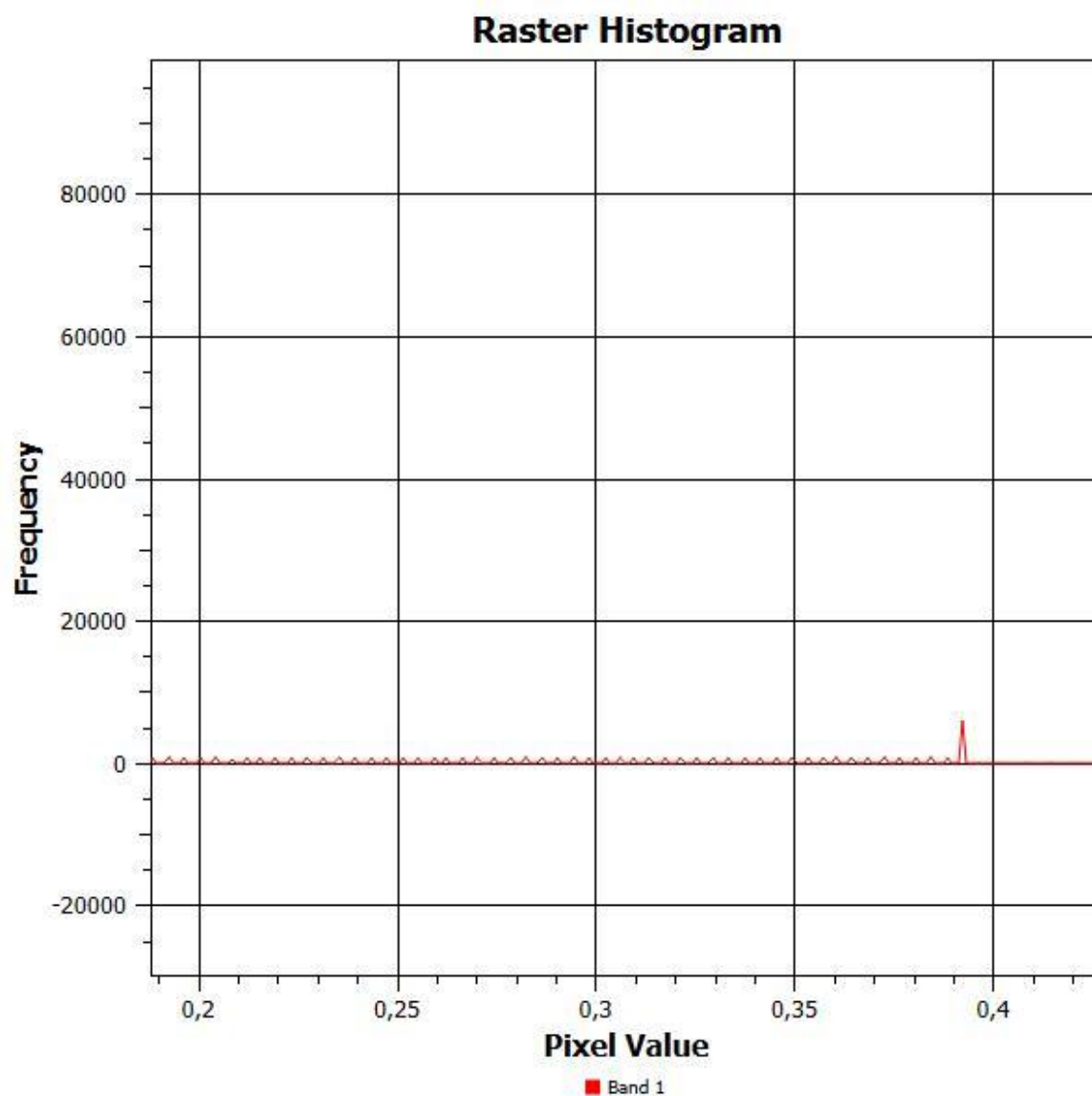
Εικόνα 28 Ιστόγραμμα Δείκτη NDVI (κανονικοποιημένος και αντεσταμμένος)



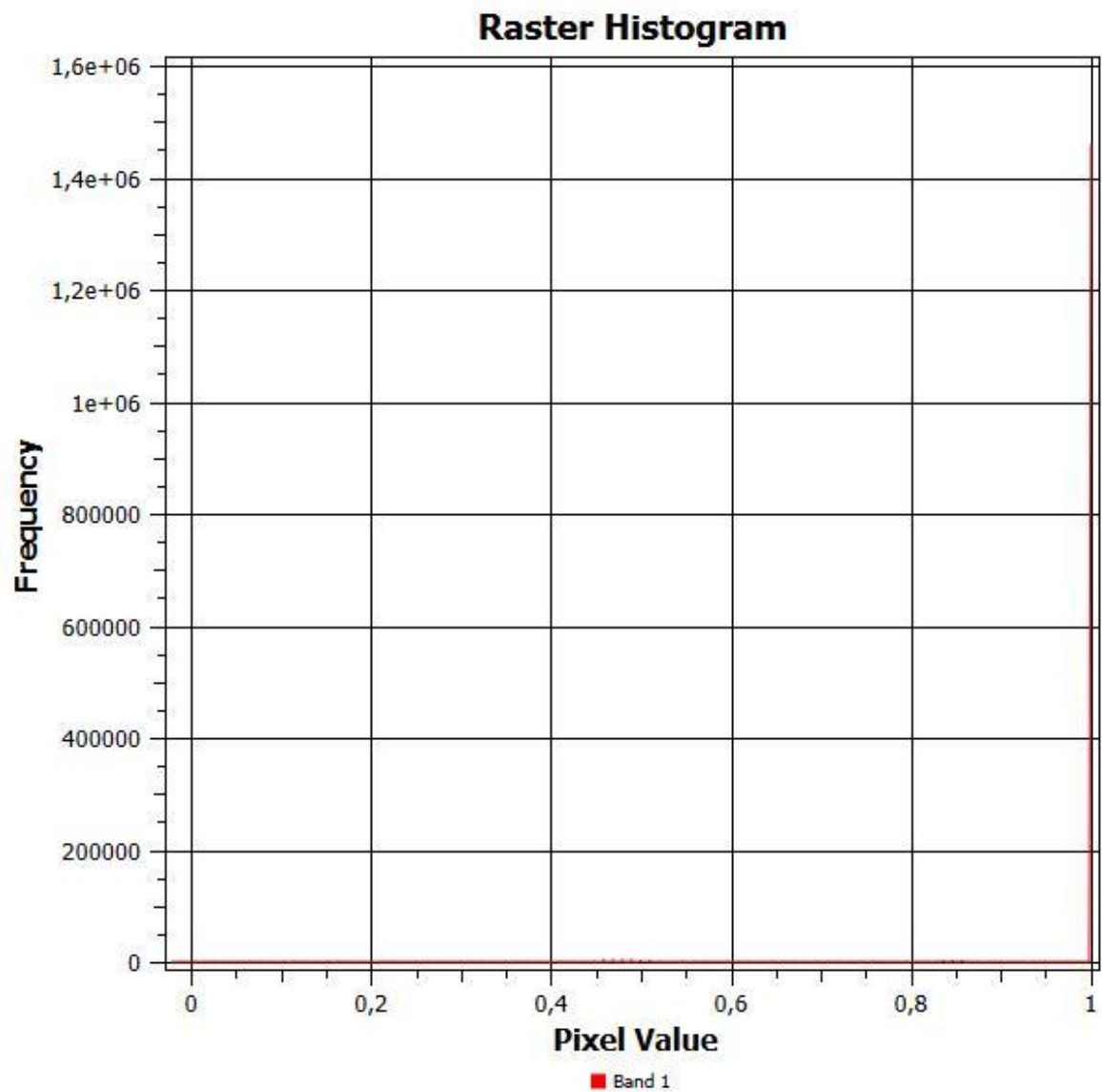
Εικόνα 29 Ιστόγραμμα Δείκτη LST (κανονικοποιημένος)



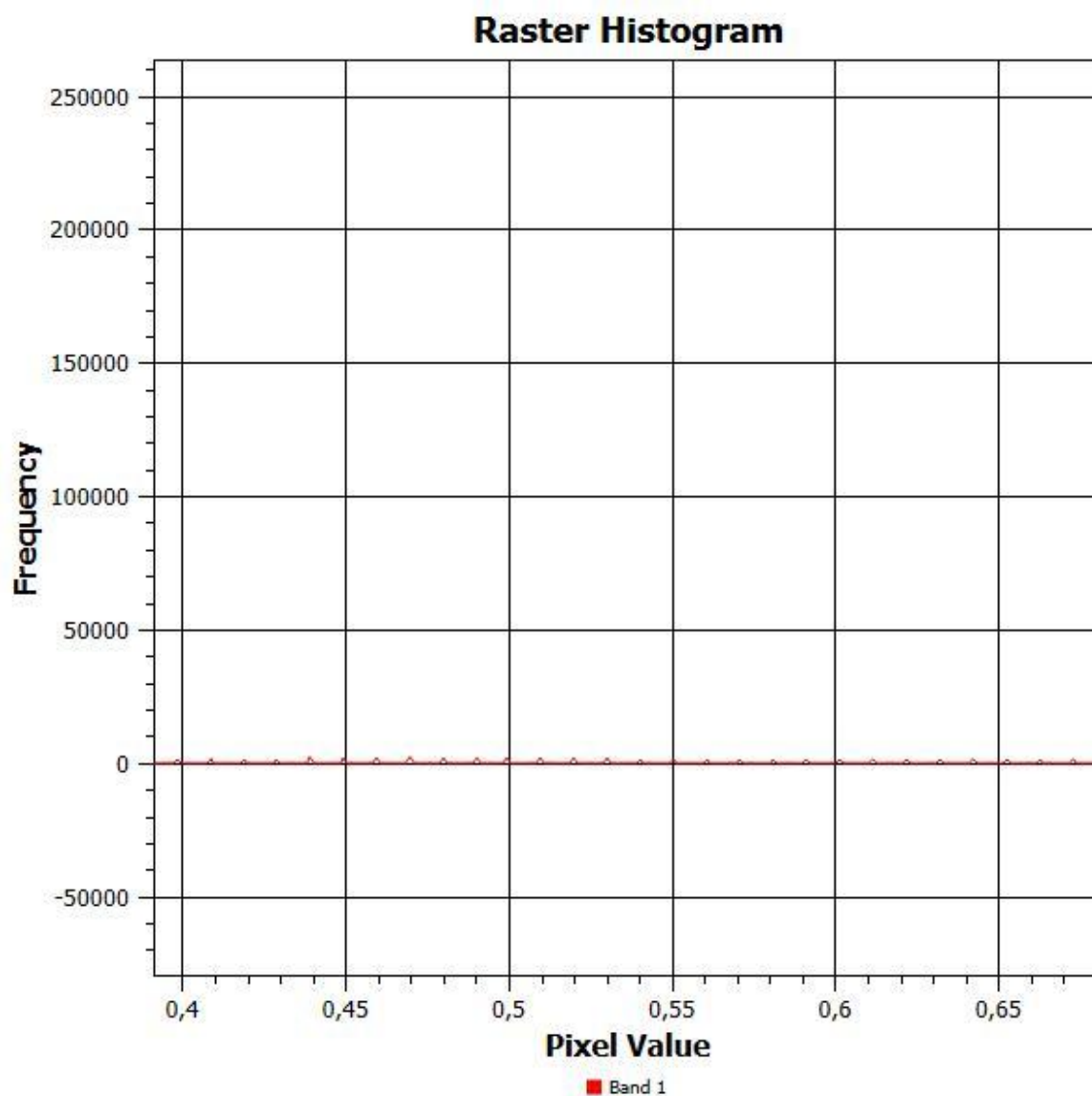
Εικόνα 30 Ιστόγραμμα Δείκτη IMD (κανονικοποιημένος)



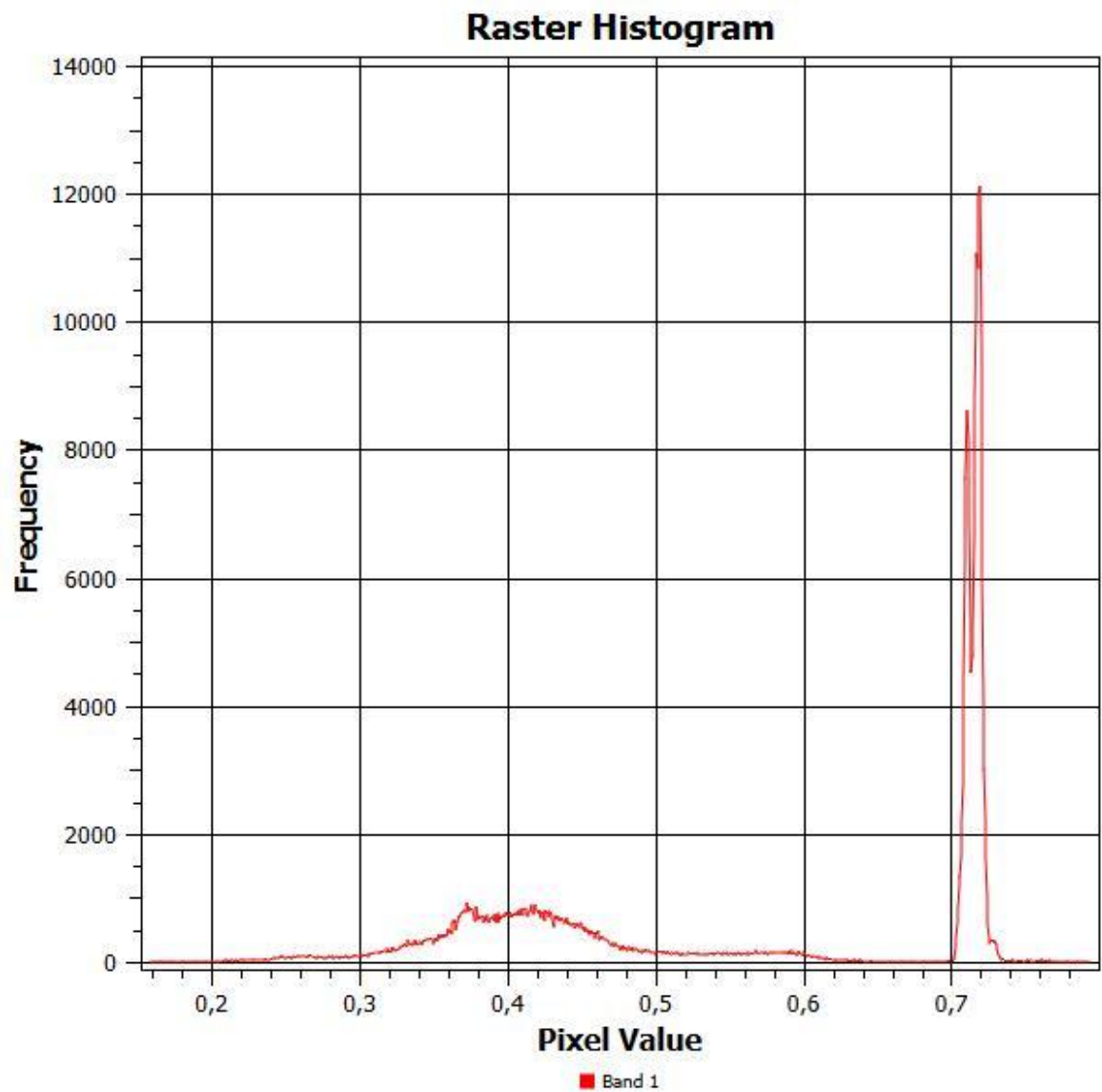
Εικόνα 31 Ιστόγραμμα Δείκτη IMD (κανονικοποιημένος - λεπτομέρεια)



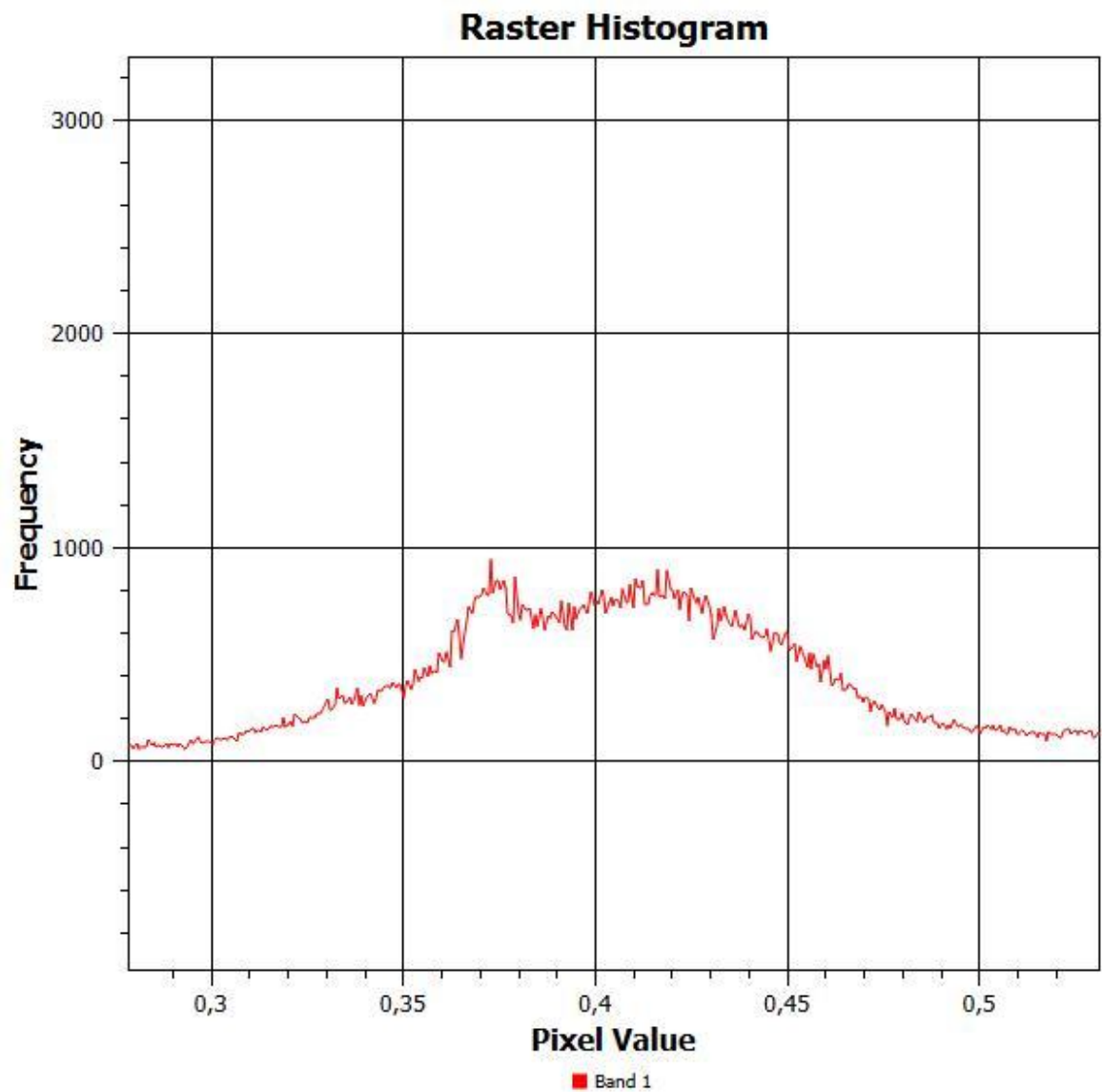
Εικόνα 32 Ιστόγραμμα Δείκτη TCD (κανονικοποιημένος - αντεστραμμένος)



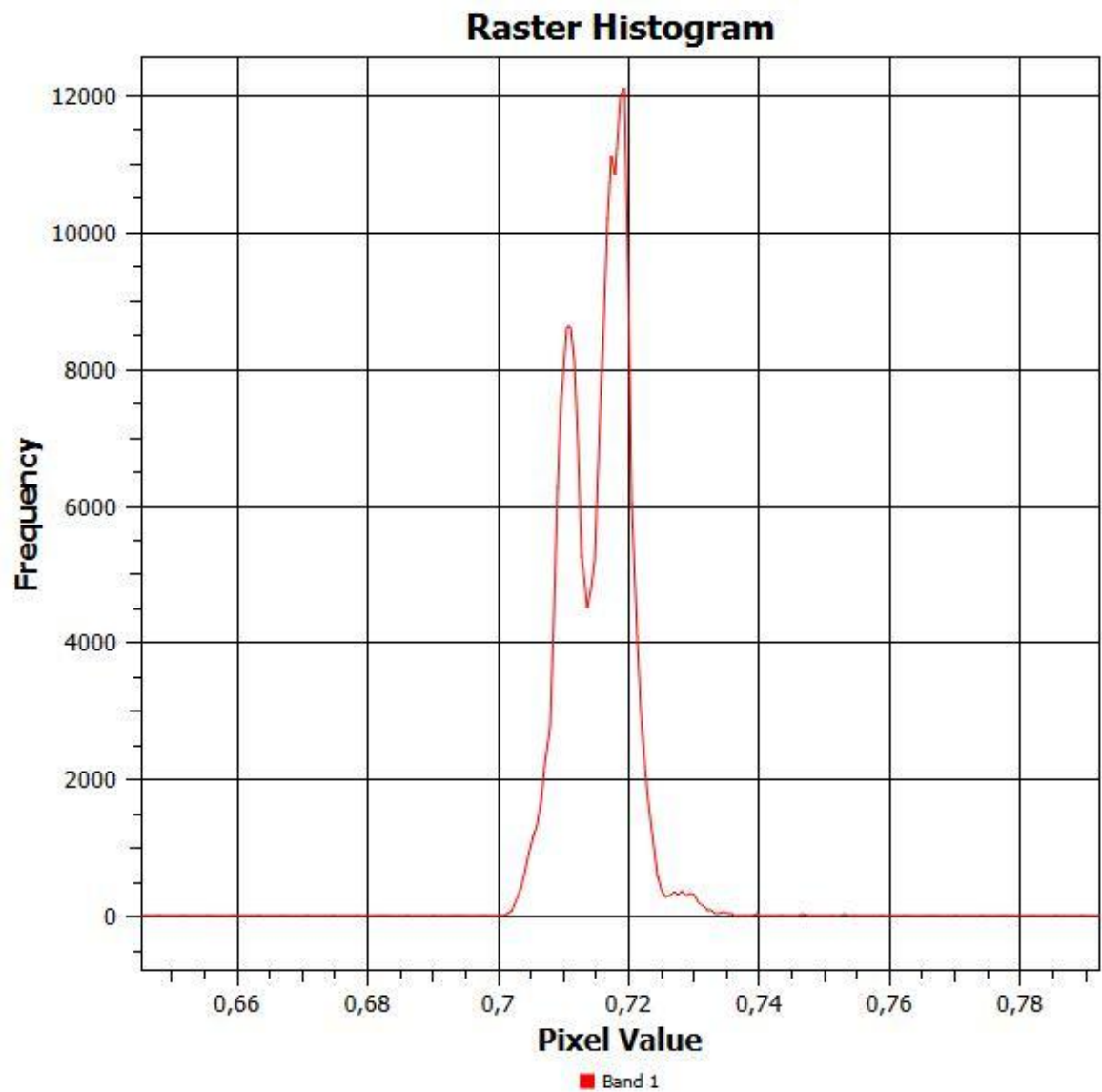
Εικόνα 33 Ιστόγραμμα Δείκτη TCD (κανονικοποιημένος - αντεστραμμένος - λεπτομέρεια)



Εικόνα 34 Ιστόγραμμα Σύνθετου Δείκτη EVI



Εικόνα 35 Ιστόγραμμα Σύνθετου Δείκτη EVI (λεπτομέρεια 1)



Εικόνα 36 Ιστόγραμμα Σύνθετου Δείκτη EVI (λεπτομέρεια 2)

Υπεύθυνη Δήλωση Συγγραφέα:

Δηλώνω ρητά ότι, σύμφωνα με το άρθρο 8 του Ν.1599/1986, η παρούσα εργασία αποτελεί αποκλειστικά προϊόν προσωπικής μου εργασίας, δεν προσβάλλει κάθε μορφής δικαιώματα διανοητικής ιδιοκτησίας, προσωπικότητας και προσωπικών δεδομένων τρίτων, δεν περιέχει έργα/εισφορές τρίτων για τα οποία απαιτείται άδεια των δημιουργών/δικαιούχων και δεν είναι προϊόν μερικής ή ολικής αντιγραφής, οι πηγές δε που χρησιμοποιήθηκαν περιορίζονται στις βιβλιογραφικές αναφορές και μόνον και πληρούν τους κανόνες της επιστημονικής παράθεσης.