



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ | ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ & ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Διπλωματική Εργασία

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΒΑΣΕΙ ΤΟΠΙΚΩΝ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ ΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ
ΔΙΕΘΝΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ
ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ
ΑΛΛΑΓΗ

Συγγραφέας

ΜΑΡΙΑ ΚΟΣΙΩΡΗ

ΑΜ: 19391010

Επιβλέπουσα:

ΕΛΙΣΣΑΒΕΤ ΦΕΛΩΝΗ

Αθήνα, Ιούλιος 2024



**UNIVERSITY OF WEST ATTICA | SCHOOL OF ENGINEERING
DEPARTMENT OF SURVEYING & GEOINFORMATICS ENGINEERING**

Diploma Thesis

**CLASSIFICATION OF URBAN
ENVIRONMENT BASED ON LOCAL
CLIMATE ZONES AND ANALYSIS OF
INTERNATIONAL PRACTICES FOR
CLIMATE CHANGE ADAPTATION**

Student

MARIA KOSIORI

Registration Number: 19391010

Supervisor:

Elissavet Feloni

Athens, July 2024



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ &
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ ΒΑΣΕΙ ΤΟΠΙΚΩΝ ΚΛΙΜΑΤΙΚΩΝ
ΖΩΝΩΝ ΚΑΙ ΑΝΑΛΥΣΗ ΔΙΕΘΝΩΝ ΠΡΑΚΤΙΚΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΣΤΗΝ
ΚΛΙΜΑΤΙΚΗ ΑΛΛΑΓΗ

Μέλη Εξεταστικής Επιτροπής συμπεριλαμβανομένου και του Εισηγητή

Η διπλωματική εργασία εξετάστηκε επιτυχώς από την κάτωθι Εξεταστική Επιτροπή:

A/A	ΟΝΟΜΑ ΕΠΩΝΥΜΟ	ΒΑΘΜΙΔΑ/ΙΔΙΟΤΗΤΑ	ΨΗΦΙΑΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ
1	Ε. ΦΕΛΩΝΗ	Επιβλέπουσα/ Διδάσκουσα ΠαΔΑ	
2	Κ. ΚΑΛΟΓΕΡΟΠΟΥΛΟΣ	Μέλος τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, Διδάσκων ΠαΔα	
3	Α. ΤΣΑΤΣΑΡΗΣ	Μέλος τριμελούς εξεταστικής επιτροπής, Καθηγητής ΠαΔα	

ΔΗΛΩΣΗ ΣΥΓΓΡΑΦΕΑ ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Η κάτωθι υπογεγραμμένη Κοσιώρη Μαρία του Χρήστου, με αριθμό μητρώου 19391010, φοιτήτρια του Πανεπιστημίου Δυτικής Αττικής της Σχολής Μηχανικών του Τμήματος Τοπογραφίας και Γεωπληροφορικής, δηλώνω υπεύθυνα ότι:

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

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

Η Δηλούσα
ΚΟΣΙΩΡΗ ΜΑΡΙΑ



Ελισσάβεντ Φελώνη, Διδάσκουσα ΠΑΔΑ

Ψηφιακή Υπογραφή Επιβλέποντα

Πίνακας περιεχομένων

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....	i
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	ii
ABSTRACT	iii
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	1
1.1 Τοποθέτηση του προβλήματος	1
1.2 Αντικείμενο εργασίας	3
1.3 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας.....	3
2 ΤΟΠΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ	5
2.1 Εκτίμηση Τοπικών Κλιματικών Ζωνών	5
2.1.1 Γενικά.....	5
2.1.2 Παράδειγμα από τη διεθνή βιβλιογραφία.....	9
2.1.3 Αξιολόγηση επιμέρους μεθόδων	30
2.2 Ειδικός ορισμός και ταξινόμηση των κλιματικών ζωνών	40
2.3 Χρησιμότητα Τοπικών Κλιματικών Ζωνών.....	57
2.4 Παράμετροι τοπικών κλιματικών ζωνών	63
3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ	66
3.1 Γενική περιγραφή περιοχών μελέτης.....	66
3.1.1 Καλλιθέα.....	66
3.1.2 Μαραθώνας.....	68
3.2 Μεθοδολογία: LCZ Generator	72
4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	74
4.1 Ταξινόμηση περιοχής μελέτης σε Τοπικές Κλιματικές Ζώνες	74
4.2 Τοπικές Κλιματικές Ζώνες Δ. Καλλιθέας.....	75
4.3 Τοπικές Κλιματικές Ζώνες Δ. Μαραθώνα.....	81
4.4 Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων.....	85
5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	90
5.1 Σύνοψη	90
5.2 Συμπεράσματα	91
5.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα.....	92
5.4 Διεθνείς πρακτικές για προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή	93

5.4.1 Γενική επισκόπηση	93
5.4.2 Παραδείγματα Διεθνών Πρακτικών για Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή.....	96
5.4.3 Τρόποι με τους οποίους οι χώρες μπορούν να προσαρμοστούν στην Κλιματική Αλλαγή.....	98
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ	104
Ξενόγλωσση βιβλιογραφία	104
Ελληνική βιβλιογραφία.....	105
Διαδικτυακοί τόποι	105

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Στο πλαίσιο της διπλωματικής μου εργασίας με τίτλο 'Ταξινόμηση του Αστικού Περιβάλλοντος βάσει Τοπικών Κλιματικών Ζωνών και Διεθνείς Πρακτικές για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή' θα ήθελα να ευχαριστήσω την επιβλέπουσά μου, κα Φελώνη Ελισσάβετ, για τις γνώσεις που μου μετέδωσε σε όλη την διάρκεια εκπόνησης της εργασίας καθώς και τον χρόνο που αφιέρωσε στην δύσκολη καθημερινότητά της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον καθηγητή του Τμήματος, κ. Τσάτσαρη Ανδρέα, και τον διδάσκοντα κ. Καλογερόπουλο Κλεομένη, για την υποστήριξη της εξεταστικής διαδικασίας της εν λόγω διπλωματικής εργασίας, ως μέλη της τριμελούς εξεταστικής επιτροπής.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τους ανθρώπους που ήταν δίπλα μου όλο αυτό το χρονικό διάστημα. Συγγενείς και φίλους για την υπομονή και την υποστήριξή τους.

Κοσιώρη Μαρία

Ιούλιος 2024

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα την ταξινόμηση του αστικού περιβάλλοντος σε τοπικές κλιματικές ζώνες και την ανάλυση διεθνών πρακτικών για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή. Λόγω της αστικοποίησης που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια, το τοπικό κλίμα μιας περιοχής έχει αλλάξει ριζικά. Οι διαφορές στην αστική δομή και λειτουργία ανάμεσα στις γειτονικές περιοχές συνέβαλαν στη δημιουργία διαφορετικών Τοπικών Κλιματικών Ζωνών (Local Climate Zones, LCZ) για κάθε πόλη. Η μέθοδος ταξινόμησης των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών (Stewart & Oke, 2012) κατηγοριοποιεί τις πόλεις σε διακριτές ζώνες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά αστικής μορφολογίας και λειτουργίας.

Στην παρούσα εργασία γίνεται μια προσπάθεια ταξινόμησης των περιοχών Καλλιθέας και Μαραθώνα του Νομού Αττικής, περιοχές με διαφορετικά χαρακτηριστικά, σε κατάλληλες Τοπικές Κλιματικές Ζώνες. Για τον σκοπό αυτό, συλλέχθηκαν τα απαραίτητα δεδομένα και δημιουργήθηκαν οι επιθυμητές Τοπικές Κλιματικές Ζώνες σε περιβάλλον Google Earth Pro. Τελικό αποτέλεσμα της προσπάθειας αυτής ήταν η δημιουργία του χάρτη Τοπικών Κλιματικών Ζωνών για κάθε περιοχή μελέτης μέσω της εφαρμογής του LCZ Generator.

Η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή αποτελεί ένα σημαντικό μέρος της παγκόσμιας αντίδρασης στις αλλαγές που προκαλούνται από την αύξηση των θερμοκρασιών και τις συνακόλουθες επιπτώσεις στο φυσικό και ανθρώπινο περιβάλλον και περιλαμβάνει στρατηγικές και δράσεις που εστιάζουν στον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε φυσικά και ανθρώπινα συστήματα. Στο πλαίσιο της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή και της διαμόρφωσης καλύτερων κλιματολογικών συνθηκών στο αστικό περιβάλλον, σε αυτή την εργασία αναλύονται τέλος ορισμένα παραδείγματα καλών πρακτικών σύμφωνα με το διεθνές παράδειγμα.

Λέξεις Κλειδιά: Τοπικές Κλιματικές Ζώνες, Κλιματική Αλλαγή, Προσαρμογή, Ταξινόμηση, Μαραθώνας, Καλλιθέα

ABSTRACT

The objective of this undergraduate thesis is the classification of urban environment based on local climate zones and the analysis of international practices for climate change adaptation. Due to urbanization observed in recent years, the local climate of an area has undergone significant changes. Differences in urban structure and function between neighboring areas have contributed to the creation of distinct Local Climate Zones (LCZ) for each city. The method of classifying Local Climate Zones (Stewart & Oke, 2012) categorizes cities into discrete zones with specific characteristics of urban morphology and function.

This study attempts to classify the areas of Kallithea and Marathonas in Attica, regions with different characteristics, into appropriate Local Climate Zones. For this purpose, necessary data were collected, and the desired Local Climate Zones were created using Google Earth Pro. The outcome of this effort was the creation of Local Climate Zone maps for each study area using the LCZ Generator application.

Adapting to climate change is a crucial part of the global response to changes caused by rising temperatures and their subsequent impacts on natural and human environments. It involves strategies and actions focused on mitigating the negative effects of climate change on natural and human systems. In this frame, some examples of international best practices for climate change adaptation are also analyzed in this undergraduate thesis.

Key words: Climate Change, Local Climate Zones, Adaptation, Classification, Marathonas, Kallithea

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Τοποθέτηση του προβλήματος

Σύμφωνα με την Ευρωπαϊκή Ένωση (climate-pact.europa.eu) η ανθρώπινη δραστηριότητα επηρεάζει σταδιακά το κλίμα της γης, προσθέτοντας τεράστιες ποσότητες αερίων του θερμοκηπίου σε εκείνες που απαντώνται φυσιολογικά στην ατμόσφαιρα.

Αυτά τα επιπλέον αέρια του θερμοκηπίου προέρχονται κυρίως από την καύση ορυκτών καυσίμων για την παραγωγή ενέργειας, καθώς και από άλλες ανθρώπινες δραστηριότητες, όπως η αποψίλωση των τροπικών δασών, η γεωργία, η κτηνοτροφία και η παραγωγή χημικών ουσιών. Το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) είναι το κυριότερο αέριο του θερμοκηπίου που παράγεται από ανθρώπινες δραστηριότητες.

Αυτά τα επιπλέον αέρια ενισχύουν το «φαινόμενο του θερμοκηπίου» στην ατμόσφαιρα του πλανήτη μας, με αποτέλεσμα η θερμοκρασία της γης να αυξάνεται με πρωτοφανείς ρυθμούς και να επέρχονται σημαντικές αλλαγές στο κλίμα.

Έτσι, η κλιματική αλλαγή ορίζεται ως η μεταβολή του παγκοσμίου κλίματος και ειδικότερα οι μεταβολές των μετεωρολογικών συνθηκών που εκτείνονται σε μεγάλη χρονική κλίμακα. Για αυτό το λόγο, πρέπει να υπάρχει προσαρμογή σε αυτή. Η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή είναι σημαντικό κομμάτι στις αλλαγές που προκαλούνται από την αύξηση των θερμοκρασιών. Σε αυτή περιλαμβάνονται στρατηγικές και δράσεις που στοχεύουν στον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Αυτές οι ενέργειες

αποσκοπούν στην προστασία του περιβάλλοντος και της ανθρώπινης υγείας από τις αρνητικές συνέπειες της αλλαγής του κλίματος.

Όσον αφορά τις βιώσιμες ανθεκτικές πόλεις, αυτές είναι οι πόλεις που έχουν σχεδιαστεί και οργανωθεί με τρόπο ώστε να μπορούν να αντιμετωπίσουν και να ανταπεξέλθουν σε διάφορες προκλήσεις και κρίσεις, όπως οικονομικές δυσκολίες, φυσικές καταστροφές, κλιματικές αλλαγές και άλλα ανθρωπογενή ή φυσικά προβλήματα. Στόχος είναι να είναι οικολογικά βιώσιμες, να προστατεύουν το περιβάλλον, να ενισχύουν την κοινωνική συνοχή και να είναι οικονομικά βιώσιμες.

Αυτές οι πόλεις συνήθως εφαρμόζουν διάφορες στρατηγικές και πολιτικές, όπως η χρήση βιώσιμων τεχνολογιών για την ενέργεια και τα κτίρια, η προώθηση της βιώσιμης κινητικότητας, η ανάπτυξη υποδομών που αντιμετωπίζουν τις κλιματικές αλλαγές, και η ενίσχυση της συνεργασίας μεταξύ των κοινοτήτων και των τοπικών φορέων για τη διαχείριση κρίσεων.

Η μέθοδος ταξινόμησης των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών που περιγράφεται από τους Stewart & Oke (2012) αναπτύσσει μια διαίρεση των πόλεων σε διακριτές περιοχές με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά σε ό,τι αφορά τη μορφολογία και τη λειτουργία τους.

Οι τοπικές κλιματικές ζώνες ορίζονται ως περιοχές με ομοιόμορφη κάλυψη επιφάνειας, δομή, υλικά και ανθρώπινες δραστηριότητες, εκτείνονται οριζόντια από εκατοντάδες μέτρα έως αρκετά χιλιόμετρα. Οι 17 τοπικές κλιματικές ζώνες χωρίζονται σε δύο κύριες κατηγορίες: 10 από αυτές σχετίζονται με τα κτίρια και οι υπόλοιπες 7 αφορούν την κάλυψη της επιφάνειας του εδάφους. Αποτελούν ένα σημαντικό εργαλείο για την απόκτηση γνώσης της δομής των πόλεων σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης

και το πρώτο βήμα για την βέλτιστη ιεράρχηση προτεραιοτήτων στο πλαίσιο της αναβάθμισης του αστικού σχεδιασμού.

1.2 Αντικείμενο εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως αντικείμενο την ταξινόμηση του Αστικού Περιβάλλοντος στους Δήμους Καλλιθέας και Μαραθώνα, βάσει Τοπικών Κλιματικών Ζωνών, καθώς και την ανάλυση διεθνών πρακτικών για την προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή. Οι δυο αυτές περιοχές επιλέχθηκαν λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών τους. Η πρώτη είναι μια αμιγώς αστική περιοχή στο Λεκανοπέδιο της Αττικής, ενώ η δεύτερη είναι μια περιοχή, η οποία σε μεγάλο ποσοστό αποτελείται από φυσικές επιφάνειες.

Με χρήση του έτοιμου προτύπου της εφαρμογής LCZ Generator στο Google Earth Pro, δημιουργήθηκαν πολύγωνα για κάθε περιοχή, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια Τοπική Κλιματική Ζώνη.

Στην παρούσα διπλωματική αναλύονται τέλος οι τρόποι με τους οποίους οι χώρες μπορούν να προσαρμοστούν στην Κλιματική Αλλαγή, καθώς επίσης αναφέρονται και παραδείγματα καλών πρακτικών, τις οποίες έχουν εφαρμόσει διάφορες χώρες στον κόσμο.

1.3 Διάρθρωση διπλωματικής εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία αποτελείται από πέντε κεφάλαια:

- Στο πρώτο κεφάλαιο γίνεται η εισαγωγή στο θέμα με κάποιες θεωρητικές έννοιες για την κατανόηση του αντικειμένου.
- Στο δεύτερο κεφάλαιο αναλύονται οι Τοπικές Κλιματικές Ζώνες και πιο συγκεκριμένα η εκτίμηση τους, ο ορισμός και η ταξινόμησή τους, η χρησιμότητα καθώς και οι παράμετροί τους.

- Στο τρίτο κεφάλαιο παρουσιάζονται οι περιοχές μελέτης και η μεθοδολογία της ταξινόμησης μέσω του LCZ Generator.
- Στο τέταρτο κεφάλαιο, αναλύονται τα αποτελέσματα από την ταξινόμηση των περιοχών μελέτης σε Τοπικές Κλιματικές Ζώνες και γίνεται μια συζήτηση πάνω σε αυτά τα αποτελέσματα.
- Στο πέμπτο κεφάλαιο παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της εργασίας, καθώς και μια σύνοψη αυτής και προτάσεις για μελλοντική έρευνα. Τέλος, παρουσιάζονται οι διεθνείς πρακτικές για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή και κάποια ενδεικτικά παραδείγματα από διάφορες Χώρες.
- Στο τέλος αναφέρονται οι βιβλιογραφικές αναφορές από Ξενόγλωσση και Ελληνική Βιβλιογραφία.

2 ΤΟΠΙΚΕΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΕΣ ΖΩΝΕΣ

2.1 Εκτίμηση Τοπικών Κλιματικών Ζωνών

2.1.1 Γενικά

Οι Sigler et al. (2022) στο κείμενο τους, παρουσιάζουν τις μεθόδους για την Ανάπτυξη Τοπικών Κλιματικών Ζωνών με στόχο την υποστήριξη της Κλιματικής Έρευνας. Συγκεκριμένα αναφέρουν ότι οι ταχύτατοι ρυθμοί αστικοποίησης των τελευταίων δεκαετιών έχουν οδηγήσει στη συγκέντρωση ανθρώπινης δραστηριότητας σε μικρές περιοχές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση των αδιαπέραστων επιφανειών με χαμηλή ανακλαστικότητα, οι οποίες συμβάλλουν στο φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας. Η συσσώρευση θερμότητας από την αστικοποίηση, σε συνδυασμό με την παγκόσμια υπερθέρμανση και τα συχνότερα κύματα καύσωνα, καθιστούν τις πόλεις σημεία υψηλών θερμοκρασιών, με αρνητικές συνέπειες για μεγάλο μέρος του πληθυσμού.

Ακόμα επισημαίνουν ότι για τον σχεδιασμό αποτελεσματικών στρατηγικών μείωσης της θερμότητας στις αστικές περιοχές και την αντιμετώπιση των καυσώνων, είναι απαραίτητη η κατανόηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ του αστικού τοπίου, της γεωγραφίας και των τοπικών μετεωρολογικών και κλιματικών συνθηκών. Σήμερα, οι τεχνολογικές πρόοδοι έχουν βελτιώσει σημαντικά τις τεχνικές συλλογής δεδομένων, επιτρέποντας την λεπτομερή χαρτογράφηση των πόλεων, που είναι απαραίτητη για τέτοιες προσπάθειες. Χρησιμοποιούνται διάφορες μέθοδοι, όπως η αυτοματοποιημένη ταξινόμηση αστικών δομών με προηγμένους ταξινομητές και διάφορα σύνολα δεδομένων. Επιπλέον, τεχνικές όπως τα δεδομένα συνθετικής διαφάνειας ραντάρ (SAR), υπερφασματικά, θερμικά και πολύ υψηλής ανάλυσης (VHR)

οπτικά δεδομένα, έχουν αξιοποιηθεί για τη συλλογή λεπτομερών πληροφοριών σχετικά με τις αστικές επιφάνειες και δομές.

Ωστόσο, δεν υπάρχει ακόμα μια τυποποιημένη μεθοδολογία για τον χαρακτηρισμό μιας πόλης ή των επιμέρους τμημάτων της και την καταγραφή των ιδιοτήτων που επηρεάζουν τις θερμικές μεταβολές. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την έλλειψη μιας συνεπούς προσέγγισης για την εκτίμηση του προβλήματος. Η προσέγγιση οποιασδήποτε επιστημονικής έρευνας σχετικά με την αστική τοπολογία απαιτεί μια κοινή ονοματολογία για την ανταλλαγή δεδομένων και αποτελεσμάτων. Για να καλυφθεί αυτή η ανάγκη, αναπτύχθηκε η ταξινόμηση της Τοπικής Κλιματικής Ζώνης (LCZ). Η μεθοδολογία LCZ, η οποία χρησιμοποιήθηκε σε αυτή τη μελέτη, αναπτύχθηκε το 2012 από τους Stewart and Oke (2012) και διαχωρίζει τις πόλεις σε 17 κατηγορίες χρήσης γης με βάση μορφολογικά χαρακτηριστικά όπως η κάλυψη γης, τα μεγέθη των κτιρίων και η πληθυσμιακή πυκνότητα, καθώς και άλλες φυσικές πτυχές.

Αυτή η ταξινόμηση αποτελεί τη βάση για την οργάνωση του έργου WUDAPT, το οποίο στοχεύει στην ταξινόμηση των αστικών τοπολογιών. Σύμφωνα με τους διοργανωτές του έργου, οι στόχοι του WUDAPT είναι να αποκτήσουν και να διαθέσουν συνεκτικές και συνεπείς περιγραφές και πληροφορίες για τη μορφή και τη λειτουργία της αστικής μορφολογίας, οι οποίες είναι σχετικές με κλιματικές, μετεωρολογικές και περιβαλλοντικές μελέτες σε παγκόσμια κλίμακα. Επίσης, να παρέχουν μια πύλη με εργαλεία που εξάγουν σχετικές αστικές παραμέτρους και ιδιότητες για μοντέλα και εφαρμογές μοντέλων, κατάλληλα για διάφορους κλιματικούς, μετεωρολογικούς, περιβαλλοντικούς και πολεοδομικούς σκοπούς.

Αυτή η τυποποιημένη ταξινόμηση χρησιμοποιείται για τον χαρακτηρισμό

οποιασδήποτε πόλης και παρέχει γεωαναφερμένα δεδομένα χρήσης γης για μετεωρολογική και κλιματολογική μοντελοποίηση σε αστική κλίμακα. Μέχρι σήμερα, έχουν χαρτογραφηθεί περισσότερες από 370 πόλεις με το σχήμα LCZ, και τα δεδομένα τους είναι διαθέσιμα δημόσια (wudapt.org, lcz-generator.rub.de). Αν και η μέθοδος του WUDAPT είναι καλά τεκμηριωμένη, είναι χρονοβόρα και απαιτεί τουλάχιστον δύο, ιδανικά τρεις διαφορετικούς εξυπηρετητές ΣΓΠ (GIS clients) για να ολοκληρωθεί.

Η χρήση άλλων μεθόδων εκτός από το WUDAPT για τη χαρτογράφηση των LCZ έχει εξερευνηθεί εκτενώς από διάφορους ερευνητές:

- Οι Geletič and Lehnert (2015) βασίστηκαν σε ύψη και επιφανειακά κλάσματα για τη μεθοδολογία τους στην Τσεχία.
- Οι Wang et al. (2017) εξέτασαν τις μεθόδους χαρτογράφησης LCZ του WUDAPT και GIS, εντοπίζοντας την ακρίβεια των δεδομένων GIS λόγω της επικύρωσης και της προέλευσης από πραγματική αστική μορφολογία.
- Οι Zheng et al. (2018) πραγματοποίησαν μελέτη σε μεγάλη κλίμακα χρησιμοποιώντας τροποποιημένη μέθοδο WUDAPT στο Δέλτα του Μεγάλου Ποταμού των Μαργαριταριών.
- Οι Oliveira et al. (2020) ανέπτυξαν μια μέθοδο βασισμένη στο GIS, χρησιμοποιώντας δεδομένα Copernicus, για την ταξινόμηση πόλεων στη νότια Ευρώπη.

Αυτές οι μέθοδοι επιτρέπουν τη γρήγορη δημιουργία χαρτών LCZ με παρόμοια ποιότητα εξόδου όπως αυτή που προσφέρει το WUDAPT, και είναι επωφελείς για την κλιματολογική έρευνα σε διάφορες περιοχές και κλίματα.

Η προσέγγιση στοχεύει στη δημιουργία και σύγκριση των LCZs μιας πόλης

χρησιμοποιώντας τρεις διαφορετικές μεθόδους:

- **Μέθοδος WUDAPT:** Αυτή η μέθοδος βασίζεται στον ταξινομητή WUDAPT και έχει ευρέως χρησιμοποιηθεί για τη χαρτογράφηση LCZs παγκοσμίως. Απαιτεί αναλυτικά δεδομένα και εκπαιδευμένο προσωπικό για την εφαρμογή της.
- **Μέθοδος GIS:** Αυτή η μέθοδος επικεντρώνεται στην επαναταξινόμηση των δεδομένων του Ευρωπαϊκού Αστικού Άτλαντα μέσω ενός εξυπηρετητή ΣΓΠ (GIS Client). Απαιτεί λιγότερους πόρους σε σχέση με το WUDAPT, αλλά η ποιότητα της εξόδου μπορεί να διαφέρει.
- **Μέθοδος GEE:** Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιεί δεδομένα Landsat 8 και την πλατφόρμα Google Earth Engine για την ερμηνεία των δεδομένων και τη δημιουργία των LCZs. Προσφέρει γρήγορη επεξεργασία και είναι κατάλληλη για μεγάλες περιοχές, αλλά η ακρίβεια μπορεί να είναι περιορισμένη σε σχέση με άλλες μεθόδους.

Η διαδικασία περιλαμβάνει την εικονογράφηση των προσεγγίσεων μέσω της δημιουργίας LCZs για το Όσλο, Νορβηγία. Στη συνέχεια, επικυρώνονται δύο από αυτές τις μεθόδους: η μέθοδος WUDAPT μέσω της δικής της προσαρμοσμένης τεχνικής επικύρωσης και η μέθοδος GEE μέσω της ενσωματωμένης λειτουργικότητάς της. Τα δεδομένα έχουν ήδη επικυρωθεί από τους δημιουργούς τους, εξασφαλίζοντας την αξιοπιστία της σύγκρισης.

Αυτή η προσέγγιση θα βοηθήσει στην καλύτερη κατανόηση των πλεονεκτημάτων και των περιορισμών κάθε μεθόδου για τη χαρτογράφηση LCZs και την αποτελεσματική χρήση τους στον τομέα της κλιματικής αλλαγής και της αστικής προσαρμογής.

Η μεθοδολογία που περιγράφεται εξετάζει τη χρήση τριών διαφορετικών μεθόδων για τη δημιουργία των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών (LCZs) μιας πόλης και συγκρίνει τα αποτελέσματα τους μέσω της χαρτογράφησης της θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης (LST) σε συνάρτηση με τα LCZs. Οι τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιούνται είναι η μέθοδος WUDAPT, η μέθοδος GIS και η μέθοδος GEE (Google Earth Engine).

Συγκεκριμένα, στο παράδειγμα που παρουσιάζεται οι ερευνητές εξετάζουν τη συσχέτιση μεταξύ των LCZs και της LST από εικόνα Landsat 8 για την πόλη του Όσλο, Νορβηγία. Τα αποτελέσματα δείχνουν όχι μόνο μια σαφή συσχέτιση μεταξύ των LCZ και της LST, αλλά και ότι οι τρεις μέθοδοι παράγουν ακριβή και παρόμοια αποτελέσματα.

Αυτή η μελέτη επιβεβαιώνει ότι οι τρεις μέθοδοι είναι βιώσιμες και μπορούν να χρησιμοποιηθούν με επιτυχία για τη δημιουργία LCZs και την ανάλυση των κλιματικών συνθηκών σε αστικές περιοχές. Επίσης, αναδεικνύει την αξία των LCZs ως εργαλείο για την κατανόηση και την αντιμετώπιση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε αστικό επίπεδο.

2.1.2 Παράδειγμα από τη διεθνή βιβλιογραφία

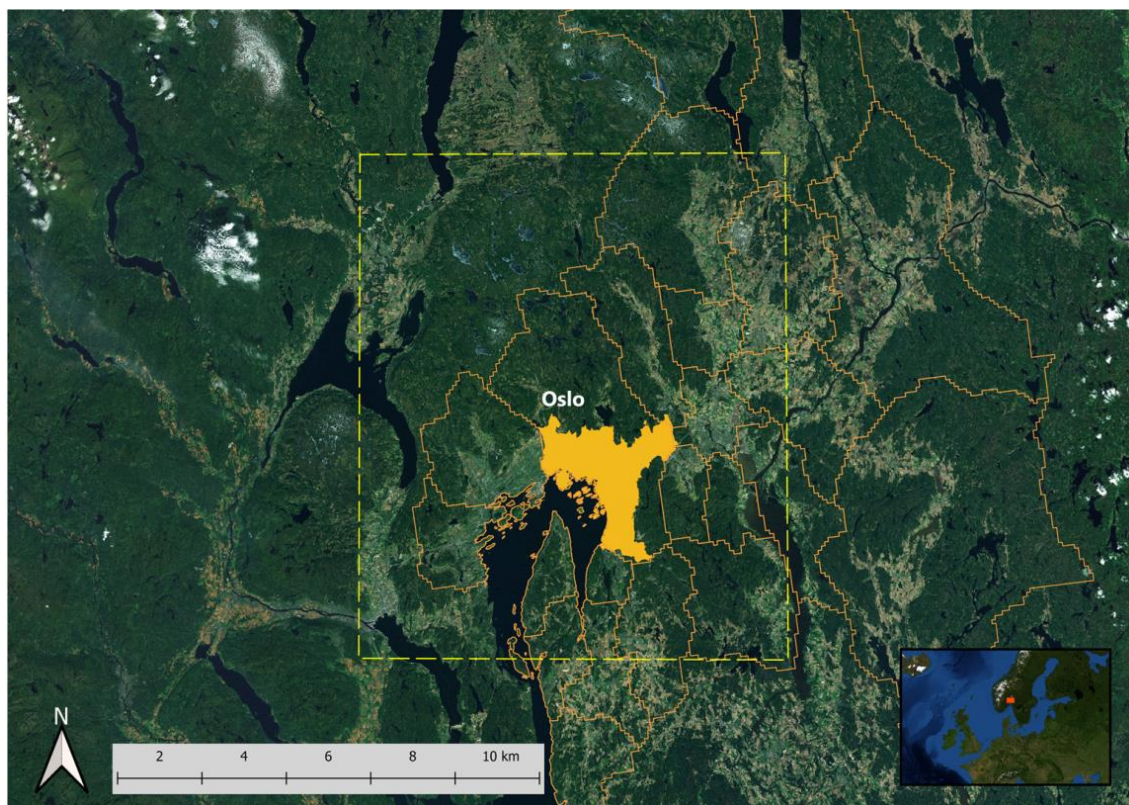
Η μελέτη περίπτωσης

Εδώ συνοψίζονται τα βασικά γεωγραφικά και αστικά χαρακτηριστικά της πόλης του Όσλο, Νορβηγία:

- **Γεωγραφική Τοποθεσία:** Η πόλη βρίσκεται στις συντεταγμένες 59°550 Β.Π. και 10°440 Α.Α., στο βόρειο άκρο του Oslofjord. Αυτή η τοποθεσία προσφέρει πρόσβαση στη Βόρεια Θάλασσα και αποτελεί μέρος της

Μεγάλης Περιοχής του Όσλο που αποτελείται από 46 δήμους.

- **Πυκνότητα Πληθυσμού:** Η πυκνότητα του πληθυσμού στο δήμο του Όσλο είναι 1580 κάτοικοι ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Αυτό αντιπροσωπεύει χαμηλότερη πυκνότητα συγκριτικά με άλλες ευρωπαϊκές πόλεις όπως η Βαρκελώνη και το Λονδίνο.
- **Χαρακτηριστικά της Πόλης:** Η πόλη δεν είναι ιδιαίτερα παλιά, με χαμηλό ύψος κατασκευών κυρίως στο κέντρο, που αποτελούνται από κτίρια 3 ή 4 ορόφων. Στα περίχωρα υπάρχουν μεμονωμένα και ημιαυτόνομα σπίτια, ενώ λίγα ψηλά κτίρια φτάνουν τους 10 ορόφους ή περισσότερο.



Εικόνα 1 Ο δήμος του Όσλο είναι η επισημασμένη περιοχή στο κέντρο (επίσης εμφανίζεται ως κόκκινη κουκκίδα στον μικρό ενσωματωμένο χάρτη της Ευρώπης στη δεξιά γωνία), με την ανοικοδομημένη περιοχή του σε στερεό κίτρινο, ενώ οι γειτονικοί δήμοι που αποτελούν την ευρύτερη περιοχή του Όσλο περιγράφονται με κίτρινο χρώμα. Η αδιάκοπη γραμμή

αντιπροσωπεύει την περιοχή μελέτης ενδιαφέροντος (ROI) (Sigler et al., 2022, p.3)

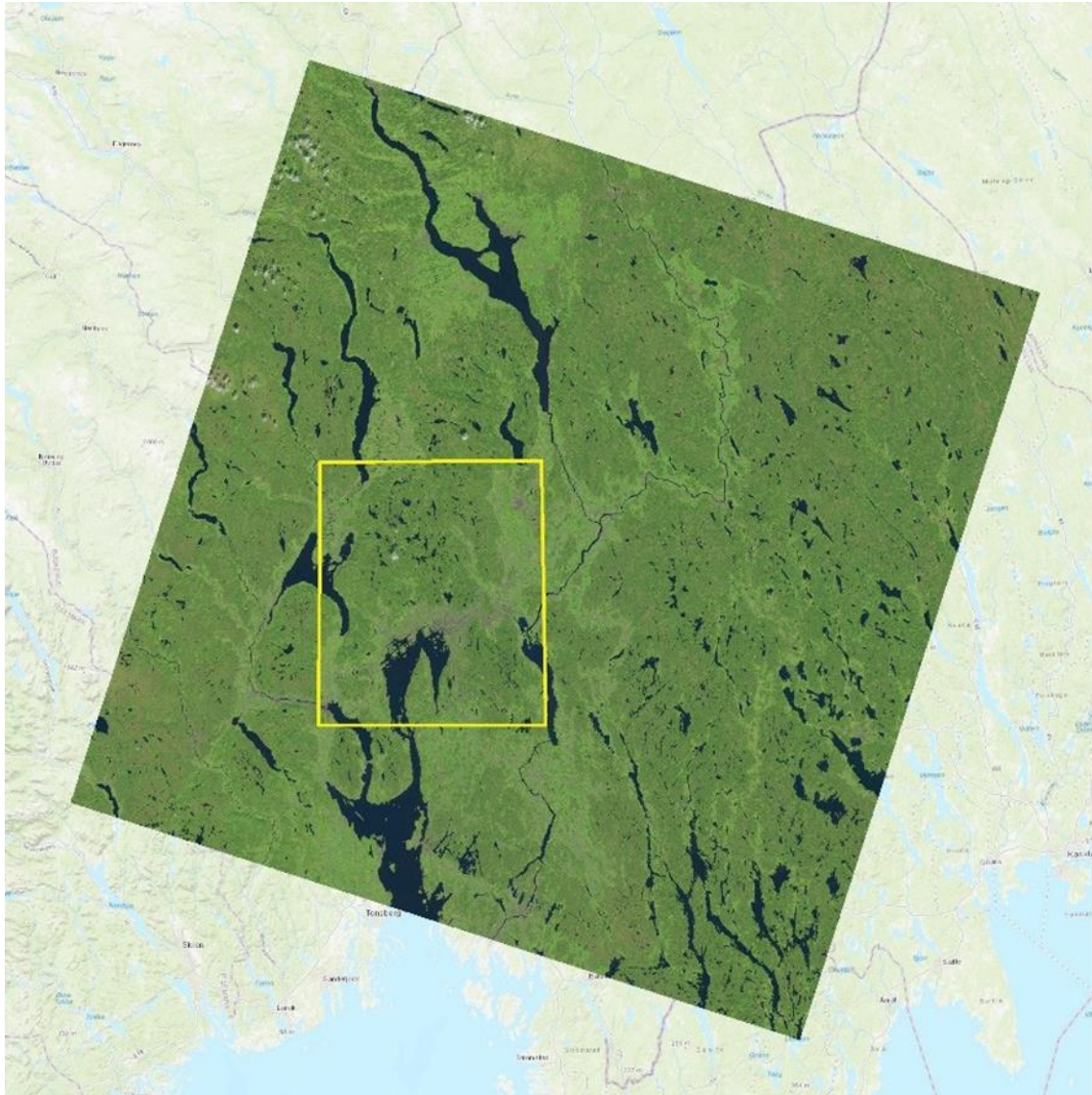
Το Όσλο παρουσιάζει ένα υγρό ηπειρωτικό κλίμα (Κατηγορία Köppen Dfb), επηρεασμένο από την κοντινή του θέση στο Oslofjord και τα γύρω βουνά. Οι χαρακτηριστικές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού συνήθως δεν υπερβαίνουν τους 20°C λόγω της καταπράσινης παράκτιας θέσης και των γύρω βουνών. Η βροχόπτωση κυμαίνεται μεταξύ 55 και 100 χιλιοστών το χρόνο, με την πλειονότητα να πέφτει κατά τους μήνες του καλοκαιριού και του φθινοπώρου, και μερικές φορές να φτάνει έως και 90 χιλιοστά τον μήνα. Οι χειμερινοί μήνες είναι κρύοι με θερμοκρασίες κάτω από το μηδέν, και ο χειμώνας είναι σχετικά μέτριος σε σύγκριση με άλλες περιοχές που βρίσκονται πιο εσωτερικά.

Όσον αφορά στην οικονομική δυναμική, το Όσλο θεωρείται μια πλούσια πόλη με ένα Ακαθάριστο Εγχώριο Προϊόν ανά κάτοικο (ΑΕΠ) που φτάνει τα 59.000 € (2016), το υψηλότερο στη Νορβηγία. Το ΑΕΠ του αντιπροσωπεύει το 20% της οικονομίας της Νορβηγίας συνολικά, αναδεικνύοντας την οικονομική σημασία της πόλης στο εθνικό επίπεδο.

Η περιοχή του ενδιαφέροντος που μελετάται είναι σχεδιασμένη για να περιλαμβάνει την αστικοποιημένη περιοχή και ένα μεγάλο μέρος των γύρω περιοχών, προσφέροντας μια ολοκληρωμένη εικόνα του αστικού περιβάλλοντος του Όσλο.

Μέθοδοι

Οι μέθοδοι WUDAPT και GEE απαιτούν μια εικόνα από δορυφόρο για να ξεκινήσει η διαδικασία. Γι' αυτόν τον λόγο, χρησιμοποιήθηκε η ίδια εικόνα Landsat 8 (Εικόνα 2), η οποία τραβήχτηκε στις 3 Ιουλίου 2018. Μια καθαρή εικόνα χωρίς νέφη είναι ουσιώδης για τις ασκήσεις LCZ.



Εικόνα 2 Εικόνα Landsat 8 από τη διάβαση της 3ης Ιουλίου 2018, με την περιοχή ενδιαφέροντος (ROI - Region of Interest) σε κίτρινο επικαλυμμένη σε πολιτικό χάρτη νότιας Νορβηγίας και Σουηδίας (Sigler et al., 2022, p.4)

Το πρώτο βήμα στην αναγνώριση των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών (LCZs), ανεξαρτήτως της μεθόδου που χρησιμοποιείται, είναι η οριοθέτηση της περιοχής ενδιαφέροντος (Region of Interest - ROI). Η ROI σχεδιάζεται έτσι ώστε να περιλαμβάνει το μεγαλύτερο δυνατό μέρος της αστικής περιοχής και συνήθως συμπεριλαμβάνει ένα buffer γύρω από την αστική περιοχή για να εξασφαλίσει ότι όλες οι πιθανές LCZs είναι καλυμμένες.

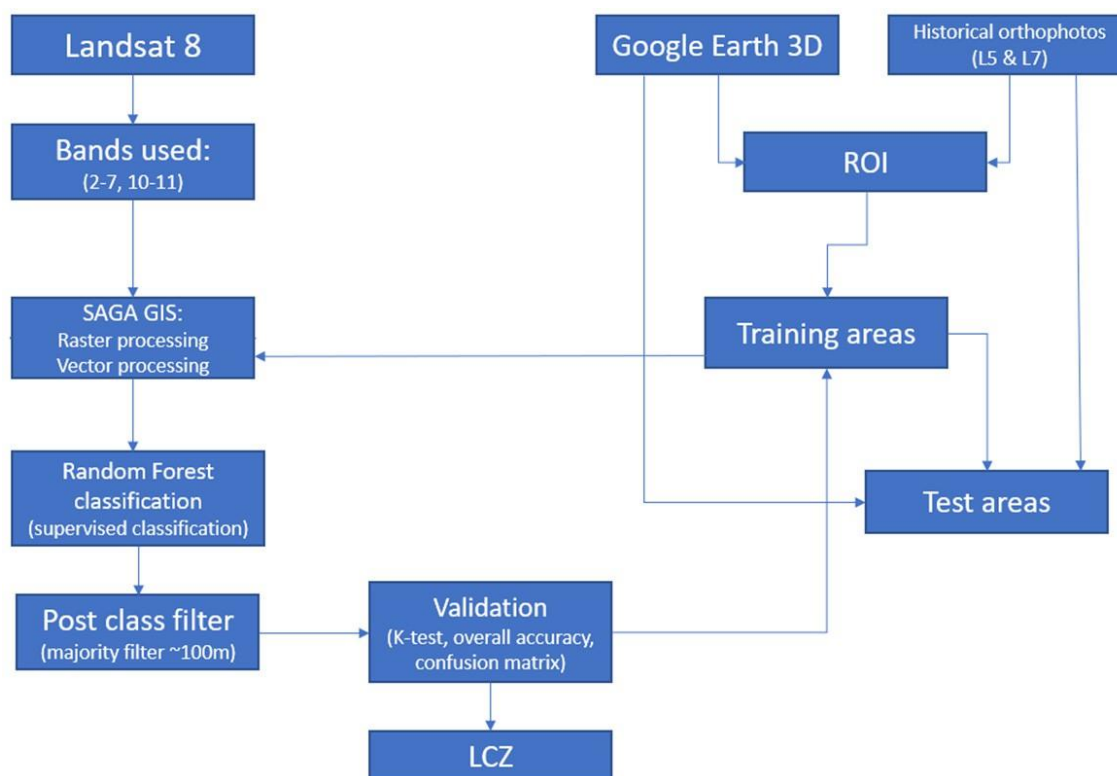
Στην περίπτωση του Όσλο, χρησιμοποιήθηκε μια ROI με πλάτος 10 χιλιομέτρων. Αυτό είναι αρκετό για να καλύψει την αστική περιοχή του Όσλο και ένα μέρος των γύρω περιοχών. Η περιοχή αυτή συνήθως περιλαμβάνει το κέντρο της πόλης και τις γύρω αστικές περιοχές, καθώς και το buffer που εξασφαλίζει ότι θα καλυφθούν όλες οι πιθανές LCZs. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι στην περίπτωση του Όσλο, οι δήμοι της Νορβηγίας είναι μεγάλοι σε έκταση, αλλά οι αστικές περιοχές τους είναι συγκεντρωμένες κοντά στις κοιλάδες και τις εισόδους, και όχι σε έναν ομοιόμορφο ακτινωτό μοτίβο.

Η ROI δημιουργήθηκε ως αρχείο KML χρησιμοποιώντας το Google Earth Pro desktop, καθώς αυτό παρέχει εύκολο και γρήγορο τρόπο για να οριστεί μια περιοχή ενδιαφέροντος με παγκόσμια κάλυψη και ακρίβεια.

Δημιουργία LCZ μέσω της μεθόδου WUDAPT

Το πρώτο βήμα, όπως και με όλες τις άλλες μεθόδους, είναι η δημιουργία της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI). Στη συνέχεια, δημιουργούνται περιοχές εκπαίδευσης (TAs) με τη χειροκίνητη σχεδίαση στο Google Earth Pro, χρησιμοποιώντας οπτική παρατήρηση της εικόνας από δορυφόρο. Οι περιοχές εκπαίδευσης είναι αντιπροσωπευτικές περιοχές για κάθε τύπο LCZ στην ROI, τοποθετημένες με απόσταση μη γειτονική, απλά πολύγωνα, τουλάχιστον 200 μέτρων πλάτος. Δημιουργούνται περίπου 20 πρωταρχικές περιοχές εκπαίδευσης και 10 περιοχές ελέγχου εκπαίδευσης αντίστοιχα. Σημειώνεται ότι ο όρος TA σε αυτήν τη μελέτη αναφέρεται στις περιοχές εκπαίδευσης συνολικά (πρωταρχικές και ελέγχου). Οι πρωταρχικές περιοχές για την κεντρική περιοχή της ROI φαίνονται στην Εικόνα 4. Αυτές οι πρωταρχικές περιοχές είναι οι TAs που θα χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία της απεικόνισης των LCZ μέσω της ταξινόμησης με random forest

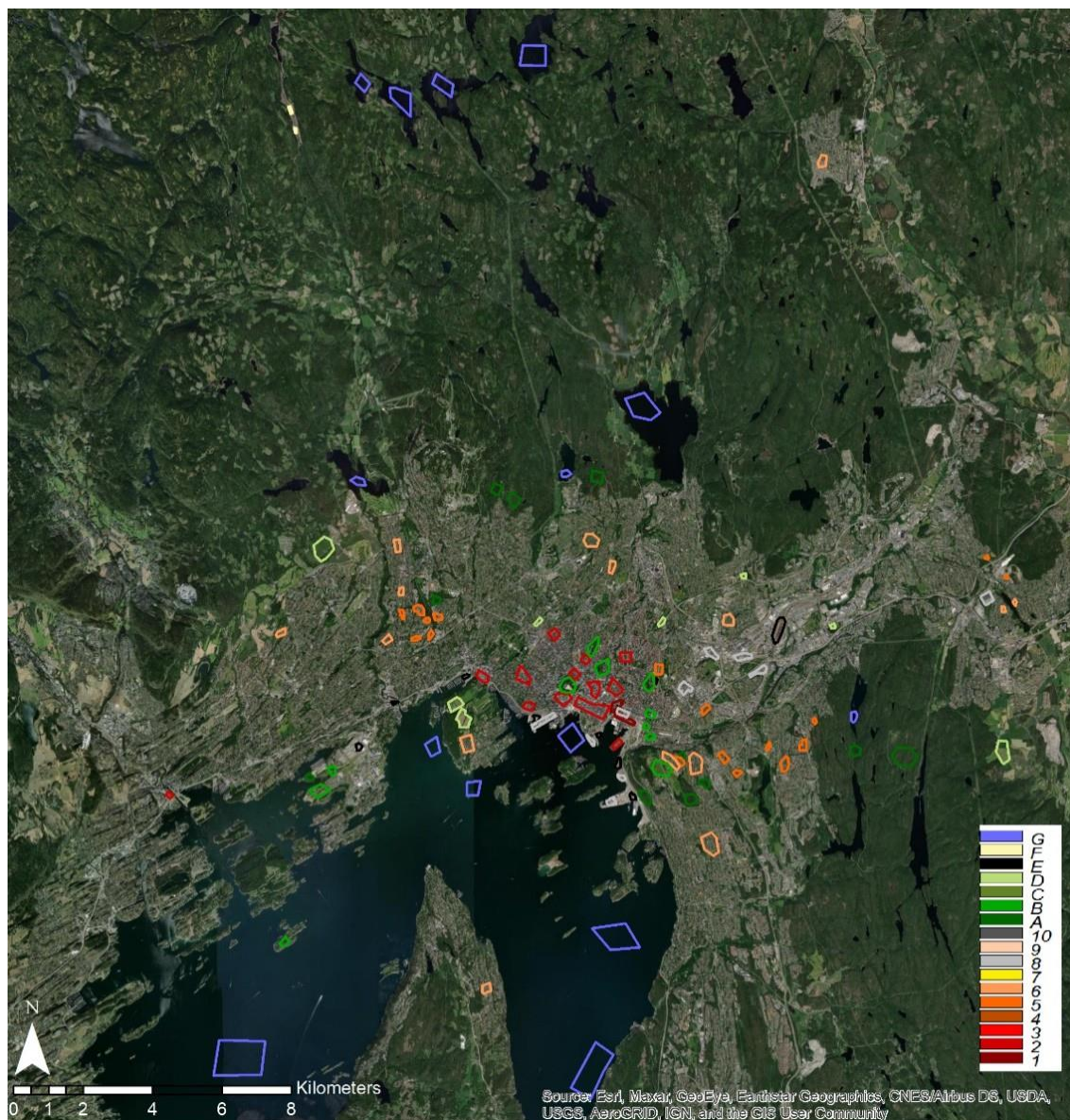
και για την αργότερη επικύρωσή της. Οι περιοχές ελέγχου χρησιμοποιούνται ως ξεχωριστό σύνολο για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Οι περιοχές εκπαίδευσης αρχικά δημιουργούνται ως αρχεία KML, τα οποία μετατρέπονται στη συνέχεια σε αρχεία Shapefile.



Εικόνα 3 Ποή εργασιών WUDAPT (Sigler et al., 2022, p.5)

Παράλληλα με τη δημιουργία των περιοχών εκπαίδευσης, αποκτήθηκε μια εικόνα Landsat 8 που κάλυπτε την ROI την 3η Ιουλίου 2018, από το σύστημα US Geological Survey Explorer (<https://earthexplorer.usgs.gov/> - πρόσβαση στις 12 Απριλίου 2020). Αυτή η εικόνα από δορυφόρο συνδυάστηκε με τις περιοχές εκπαίδευσης για επεξεργασία και ταξινόμηση χρησιμοποιώντας το SAGA, ένας εξυπηρετητής ΣΓΠ (GIS Client) ανοικτού κώδικα που ειδικεύεται στην επεξεργασία εικόνων raster. Ωστόσο, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και άλλα λογισμικά GIS όπως το QGIS ή το ArcMap, αν απαιτηθεί. Μετά τη συγχώνευση των περιοχών εκπαίδευσης και της εικόνας από δορυφόρο και την επέκταση της εικόνας στην ROI με τον σωστό τρόπο, ακολούθησε η

ανάγκη για επαναδειγματοληψία όλων των δεδομένων σε χωρική ανάλυση 100 τετραγωνικών μέτρων. Αυτό ήταν απαραίτητο διότι οι αναλύσεις των σκηνών Landsat 8 διαφέρουν ανάλογα με τον αισθητήρα που χρησιμοποιείται: οι ζώνες 11 και 12 (TIRS) έχουν ανάλυση 100 μέτρα, η ζώνη 8 (παγχρωματική) έχει ανάλυση 15 μέτρα και όλες οι άλλες ζώνες έχουν ανάλυση 30 μέτρα. Χρησιμοποιήθηκε η ανάλυση 100 τετραγωνικών μέτρων ως βάση για την εκτέλεση της επεξεργασίας. Επιλέχθηκαν οι ζώνες 2-7, 10 και 11, ενώ αγνοήθηκε η ζώνη 9 λόγω της χρήσης της για τη διάκριση των νεφών και η ζώνη 8 λόγω της διαφορετικής της ανάλυσης.



Εικόνα 4 Οι περιοχές εκπαίδευσης WUDAPT (TA), Όσλο (αστικός πυρήνας). Οι TA χρωματίζονται σύμφωνα με τον τύπο LCZ, χρησιμοποιώντας την επίσημη παλέτα WUDAPT (legend) (Sigler et al., 2022, p.6)

Σε αυτό το σημείο, όλα ήταν έτοιμα για να ξεκινήσει η διαδικασία ταξινόμησης και εκπαίδευσης χρησιμοποιώντας τη μέθοδο μηχανικής μάθησης random forest, η οποία ενσωματώνεται στο SAGA. Αυτό επιτεύχθηκε συνδυάζοντας την εικόνα από δορυφόρο με τις περιοχές εκπαίδευσης στο GIS και εκτελώντας τον αλγόριθμο random forest, όπως αναλύεται στη διαδικασία της WUDAPT. Αυτό οδήγησε στην ταξινόμηση της εικόνας εντός της ROI σε 17 κατηγορίες LCZ, οι οποίες βασίστηκαν στα δείγματα των περιοχών εκπαίδευσης. Τα αποτελέσματα αξιολογήθηκαν με τη χρήση του k-test.

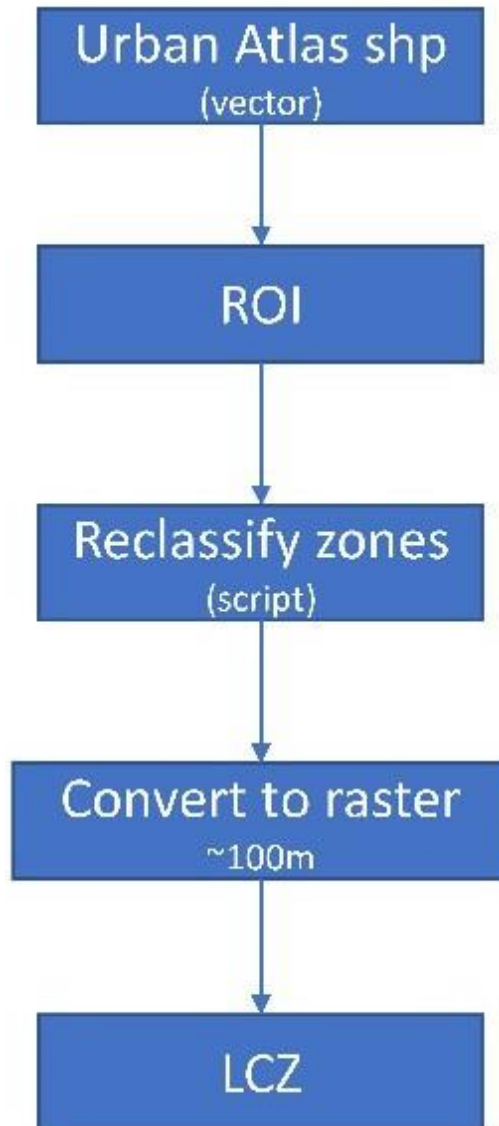
Προστέθηκαν επιπλέον περιοχές εκπαίδευσης μέχρι να επιτευχθούν τα κριτήρια αξιολόγησης και η ταξινόμηση εκτελέστηκε ξανά με σκοπό την αύξηση της ακρίβειας στον προσδιορισμό όλων των ζωνών με τη μεγαλύτερη δυνατή ακρίβεια.

Δημιουργία LCZ μέσω της μεθόδου Urban Atlas (Πρόγραμμα GIS)

Το έργο ESA Copernicus Urban Atlas (UA) παρέχει δεδομένα χρήσης γης και κάλυψης εδάφους για Λειτουργικές Αστικές Περιοχές σε ολόκληρη την Ευρώπη, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη δημιουργία ζωνών LCZ. Αυτό το έργο περιλαμβάνει 17 αστικές κλάσεις με ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης (MMU) 0,25 εκτάρια και 10 αγροτικές κλάσεις με MMU 1 εκτάριο.

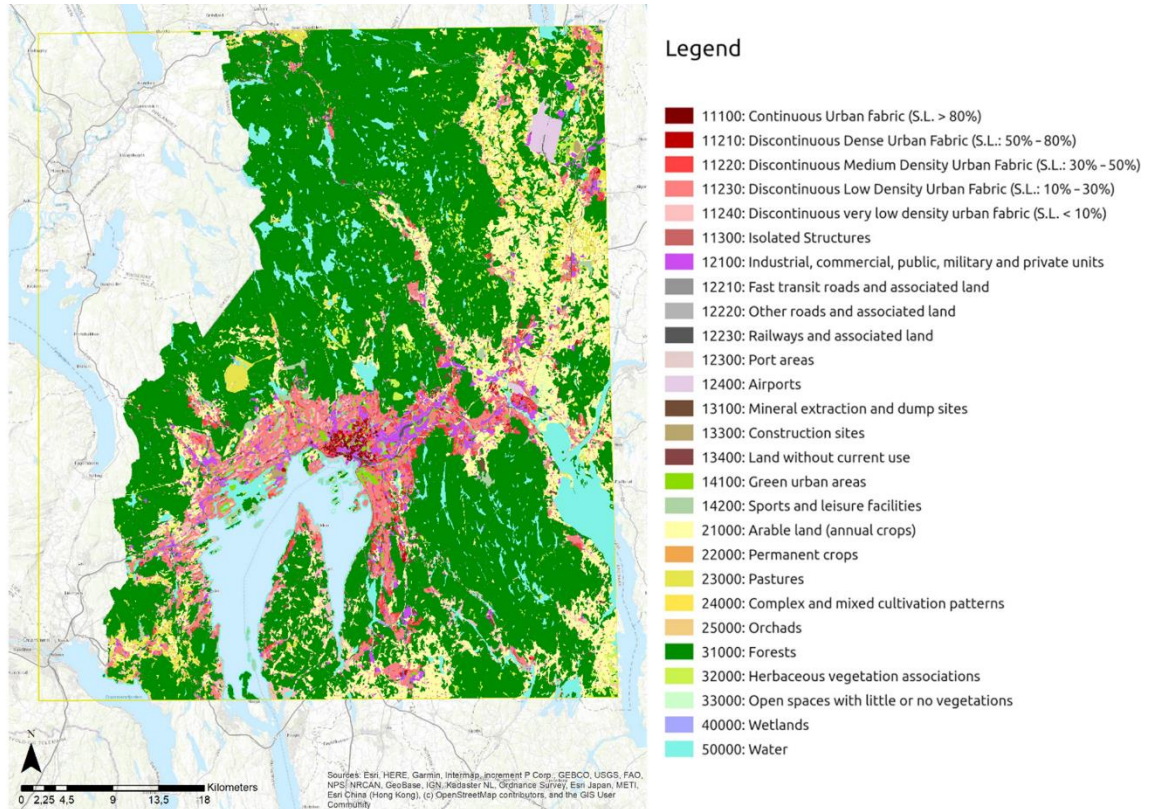
Η διαδικασία ξεκινά με το κατέβασμα ενός αρχείου vector από το Copernicus Urban Atlas, το οποίο ανοίγεται σε εξυπηρετητή ΣΓΠ (GIS Client) και αποκόπτεται στην ίδια ROI που δημιουργήθηκε με τη μέθοδο WUDAPT στην προηγούμενη ενότητα. Οι κατηγορίες χρήσης γης του UA αντιστοιχούν σε κατηγορίες LCZ. Αυτό γίνεται χρησιμοποιώντας το πρόγραμμα Esri ArcMap και οδηγεί στη δημιουργία ενός νέου αρχείου vector με τις καθορισμένες ζώνες LCZ.

Ωστόσο, τα δεδομένα του UA δεν περιλαμβάνουν πληροφορίες ύψους κτιρίων. Για την ακριβή ανάθεση κάθε LCZ, απαιτούνται οπτικές παρατηρήσεις ή η χρήση δεδομένων LIDAR, καθώς οι τύποι LCZ εξαρτώνται από το ύψος των κτιρίων. Στη συγκεκριμένη μελέτη, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα ύψους κτιρίων από το Google Earth, επειδή το Όσλο έχει ένα πολύ ομογενές τοπίο με κτίρια με μεσαία ύψη.

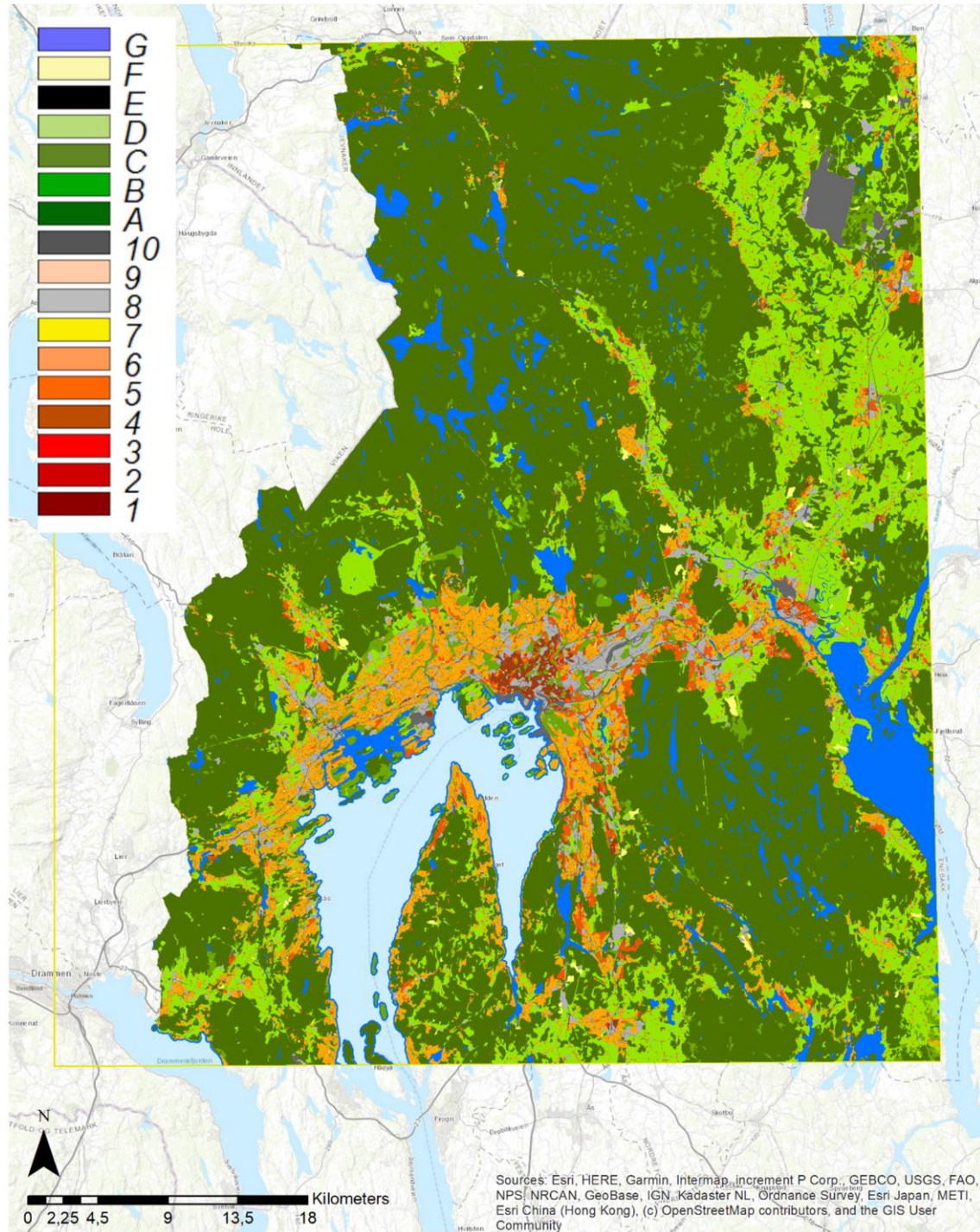


*Εικόνα 5 Ροή
εργασιών μεθόδου
UA/GIS (Sigler et al.,
2022, p.7)*

Το αρχείο vector με τις νέες κατηγορίες LCZ που δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα ArcMap μετατράπηκε σε μορφή raster και είναι σε ανάλυση 100 m. Τα αποτελέσματα αυτής της ασκήσεως πριν και μετά την επαναταξινόμηση παρουσιάζονται στις Εικόνες 6α,β.



Εικόνα 6α Αρχικές ταξινομήσεις Oslo Urban Atlas, εντός ROI (υπόμνημα στα
Συμπληρωματικά Γλικά) (Sigler et al., 2022, p.7)

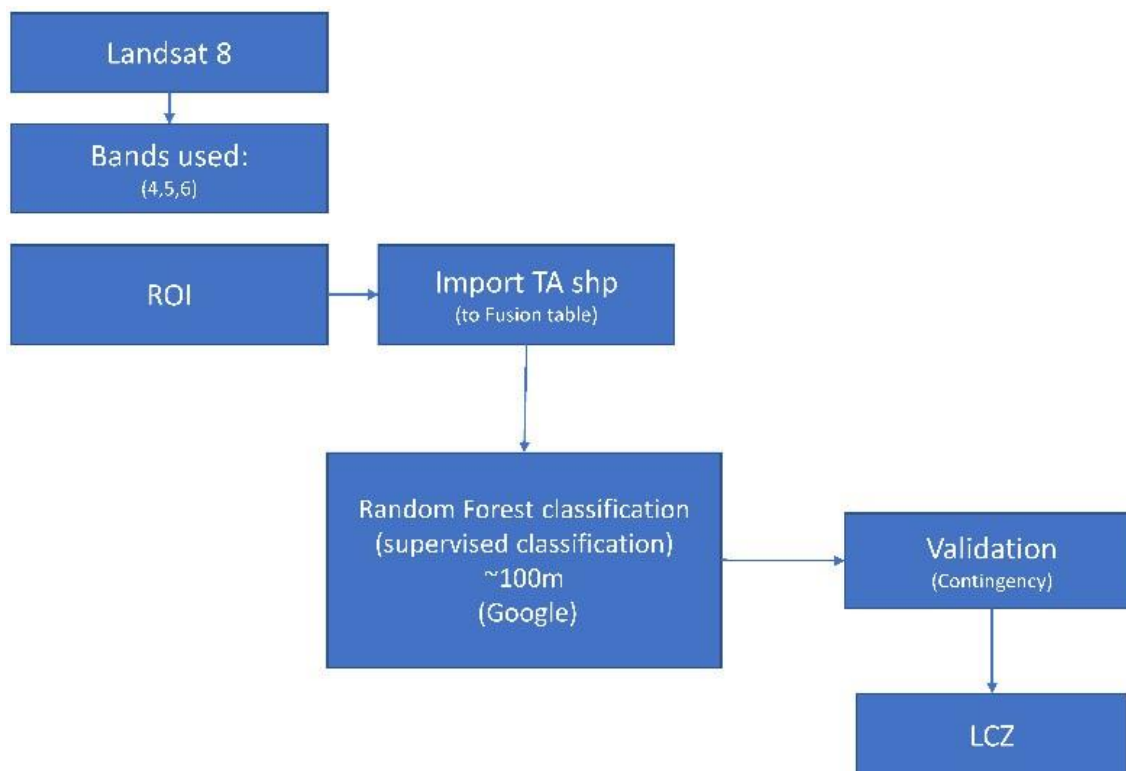


Εικόνα 6β LCZ που δημιουργήθηκε μετά την επαναταξινόμηση με τη μέθοδο GIS/Urban Atlas
(Sigler et al., 2022, p.8)

Δημιουργία LCZ μέσω της μεθόδου Google Earth Engine

Αυτή η τρίτη μέθοδος που περιγράφεται για τη δημιουργία των LCZs πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας το Google Earth Engine μέσω ενός φυλλομετρητή ιστού, και τα βήματα περιλαμβάνονται συνοψισμένα στην

Εικόνα 7.

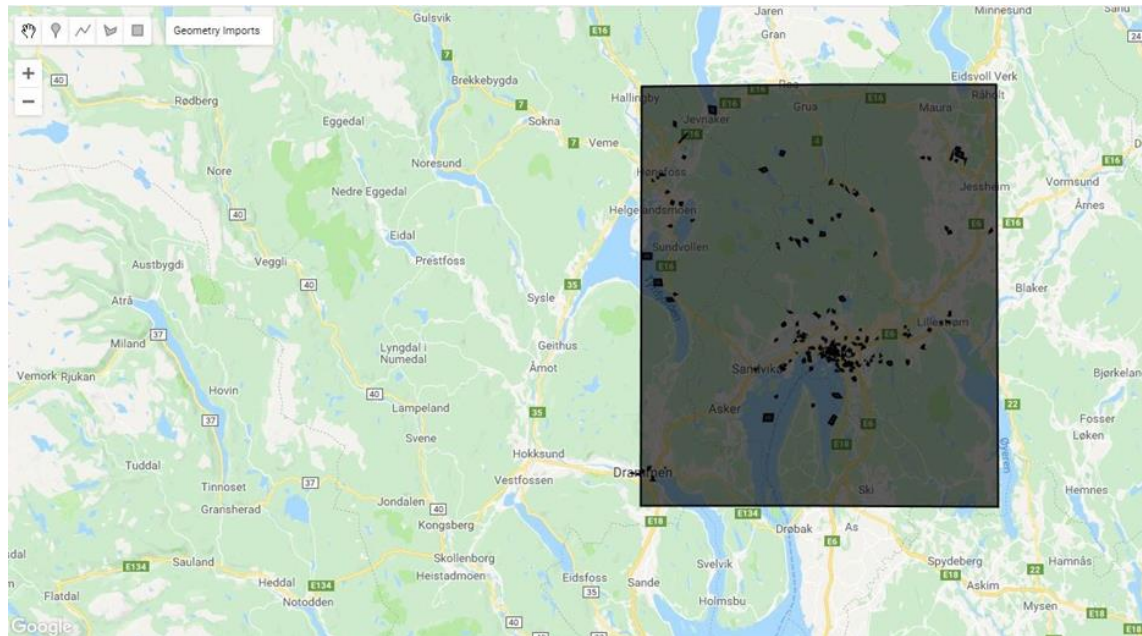


Εικόνα 7 Ροή εργασιών μεθόδου GEE (Sigler et al., 2022, p.9)

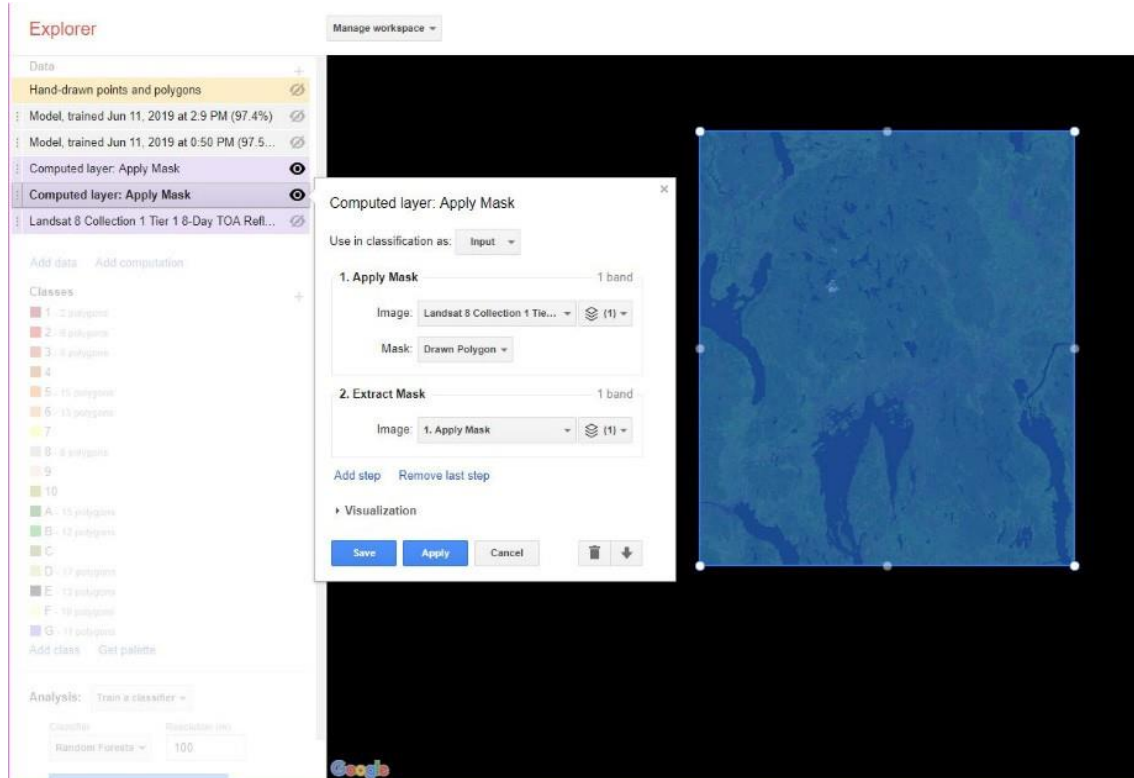
Το πρώτο βήμα αυτής της μεθόδου ξεκινά με την απόκτηση εικόνας από το Landsat 8 κατά μια ημέρα χωρίς νέφη, χρησιμοποιώντας το λογισμικό Google Earth Engine (GEE). Αυτή η εικόνα επιλέγεται να καλύπτει τις ζώνες 4, 5 και 6 του Landsat 8, καθώς αυτές οι ζώνες είναι οι κατάλληλες για την εφαρμογή του αλγορίθμου random forest. Σε αντίθεση με τη μέθοδο WUDAPT, το GEE επιτρέπει μόνο την επιλογή τριών ζωνών, η οποία μπορεί να επηρεάσει την τελική εικόνα και την ταξινόμηση που θα πραγματοποιηθεί αργότερα.

Αφού επιλεγεί η κατάλληλη εικόνα από το Landsat 8, η ROI προστίθεται στον χώρο εργασίας ως ένα shapefile, όπως φαίνεται στην Εικόνα 8. Στη συνέχεια, επιλέγεται μια ζώνη από την εικόνα Landsat 8, και χρησιμοποιείται η λειτουργία περικοπής (clip) για να δημιουργηθεί μια μάσκα που αντιστοιχεί στην ROI. Αυτό γίνεται τραβώντας ένα ορθογώνιο πάνω από το σχήμα της ROI, όπως φαίνεται στην Εικόνα 9α, με αποτέλεσμα να δημιουργείται ένα

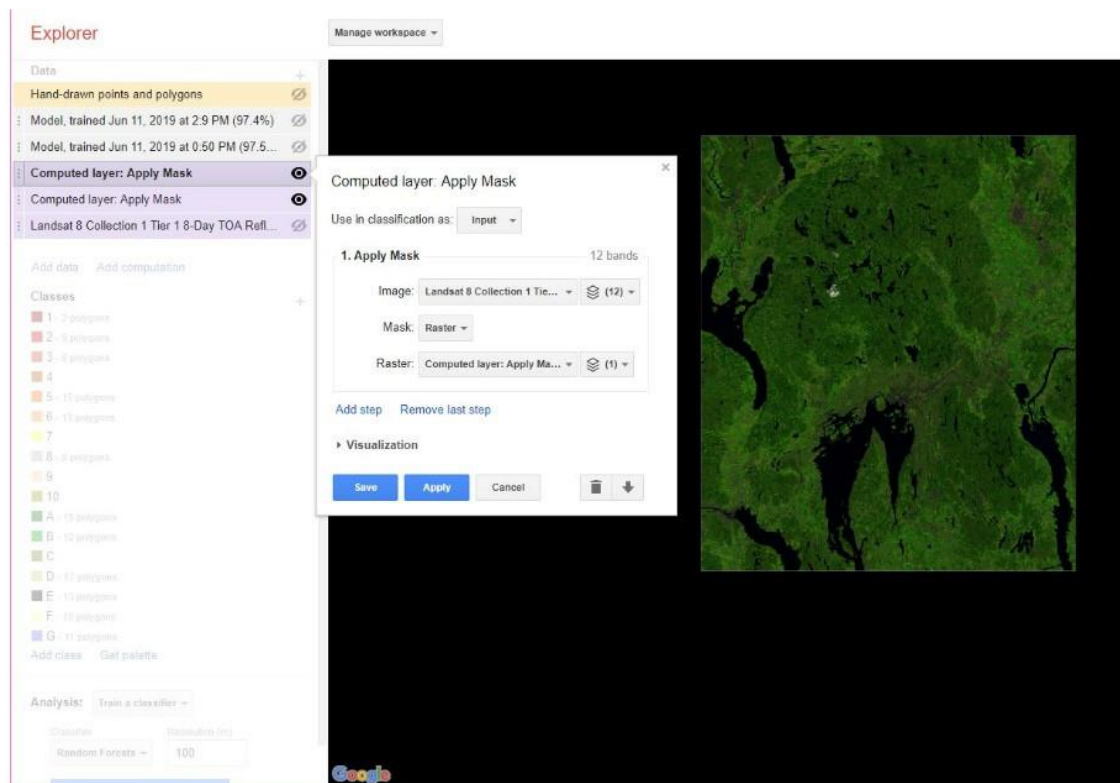
πεδίο της εικόνας Landsat 8 που είναι εντός της ROI, όπως φαίνεται στην
Εικόνα 9β στον χώρο εργασίας.



Εικόνα 8 Εισαγωγή αρχείων ROI και TA στο Google Earth Engine (Sigler et al., 2022, p.9)



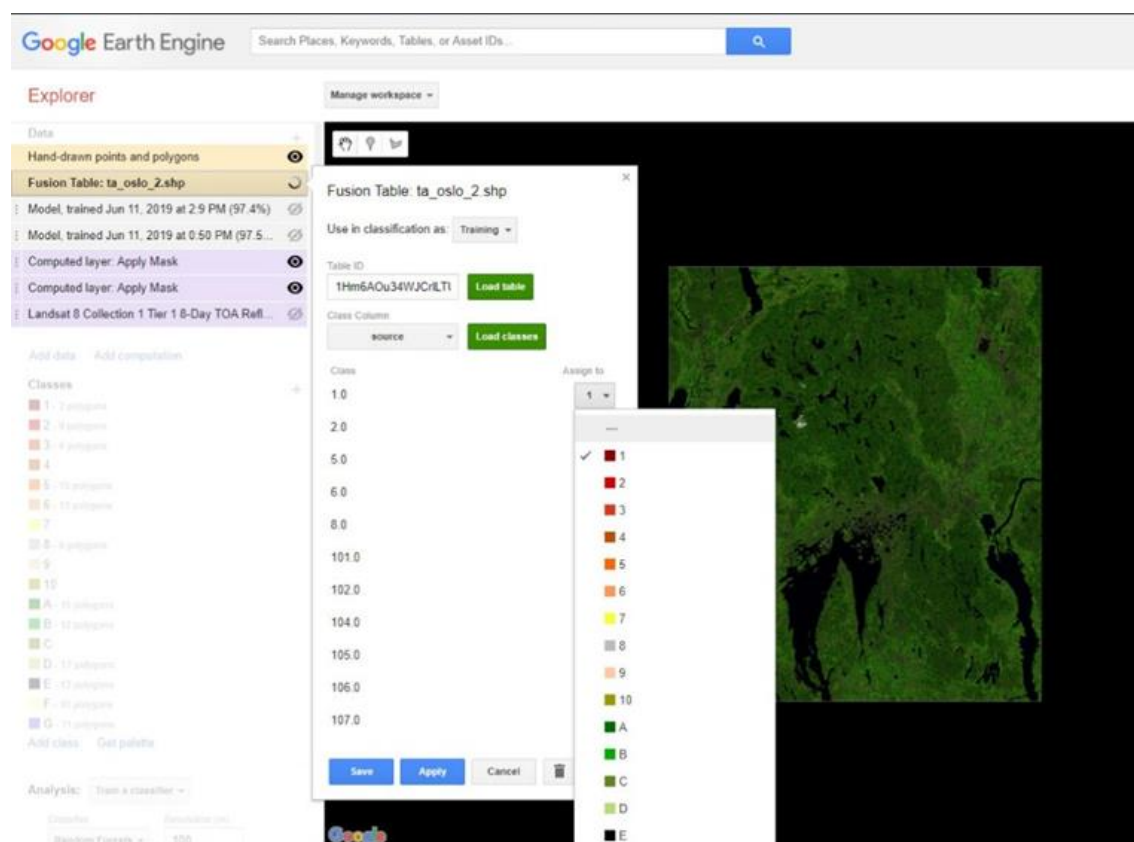
Εικόνα 9α Εφαρμογή της περιοχής κάλυψης πάνω από το σχήμα ROI στην εικόνα Landsat 8
στο GEE (Sigler et al., 2022, p.10)



Εικόνα 9β Εφαρμογή της περιοχής κάλυψης πάνω από το σχήμα ROI στην εικόνα Landsat 8 στο GEE (Sigler et al., 2022, p.10)

Αφού προετοιμάστηκε ο χώρος εργασίας με την περικομμένη εικόνα στην Περιοχή Ενδιαφέροντος (ROI), το shapefile που περιέχει τις περιοχές εκπαίδευσης (TAs) εισήχθη ως Google Fusion Table. Αυτό το εργαλείο αναπαράγει τον τυπικό πίνακα ιδιοτήτων ενός shapefile, συμπεριλαμβανομένων των γεωγραφικών πληροφοριών. Αν και η λειτουργικότητα των Google Fusion Tables έχει σταματήσει, το Google Earth πλέον δέχεται απευθείας τα shapefiles (https://developers.google.com/earth-engine/guides/table_upload, πρόσβαση στις 12 Απριλίου 2020). Ήταν απαραίτητο να αλλαχθεί ο τύπος δεδομένων της στήλης προέλευσης στο shapefile σε αριθμητικό, καθώς το λογισμικό δεν αναγνωρίζει και ταξινομεί κειμενικές τιμές. Μόλις το shapefile εισήχθη ως Fusion Table, του δόθηκε ένας αλφαριθμητικός κωδικός αναγνωριστικού πίνακα, ο οποίος μπορεί να χρησιμοποιηθεί στον Earth Engine Explorer. Εκεί, επιλέχθηκε η κατάλληλη στήλη που περιέχει την κατηγορία LCZ και ανατέθηκε στην αντίστοιχη

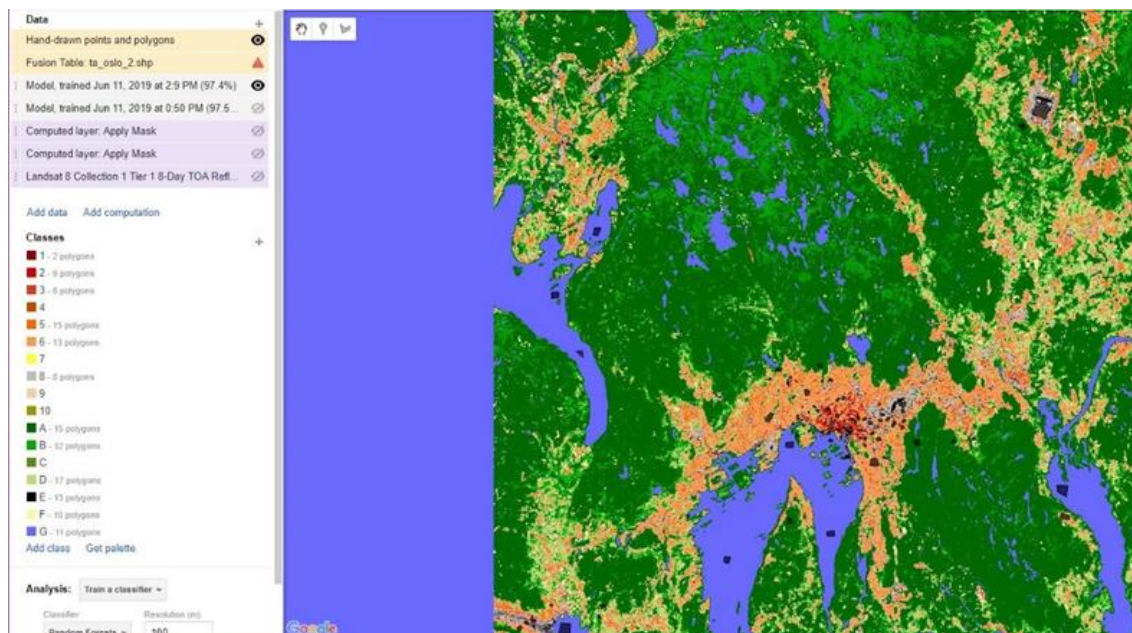
ταξινόμηση, χρησιμοποιώντας την τυπική παλέτα χρωμάτων LCZ που είχε εισαχθεί προηγουμένως στο λογισμικό GEE (Εικόνα 10).



Εικόνα 10 Ταξινόμηση LCZ στη μηχανή Google Earth με την κομμένη εικόνα Landsat 8 (Sigler et al., 2022, p.11)

Σημειώνεται ότι έχουν ήδη δημιουργηθεί οι περιοχές εκπαίδευσης (TAs) χρησιμοποιώντας τη μέθοδο WUDAPT και οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν απευθείας. Εάν κάποιος δεν είχε εκτελέσει προηγουμένως τη μέθοδο WUDAPT, θα έπρεπε να δημιουργήσει τις TAs στο Google Earth Pro ακολουθώντας τα βήματα που περιεγράφηκαν παραπάνω.

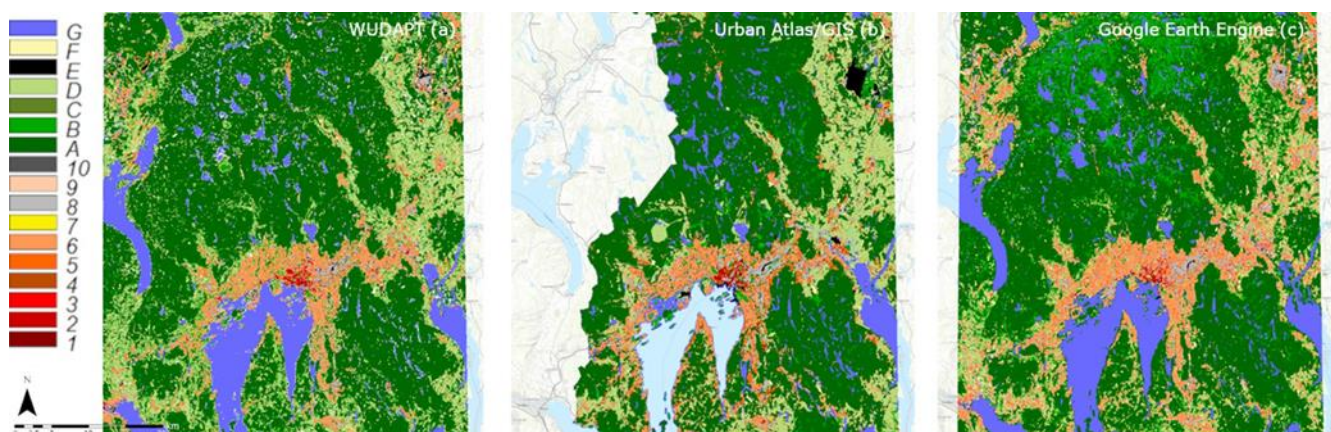
Το λογισμικό Earth Engine περιλαμβάνει τη λειτουργικότητα random forest, η οποία εκπαιδεύεται με το εισαγόμενο shapfile των TAs σε ανάλυση 100 m², παρόμοια με τα δεδομένα της WUDAPT. Οι LCZs που δημιουργούνται από το Earth Engine εμφανίζονται στην Εικόνα 11 στη διεπαφή του λογισμικού κατά την αρχική δημιουργία, χρησιμοποιώντας την τυπική παλέτα LCZ της WUDAPT. Το μπλε χρώμα του φόντου είναι τυχαίο.



Εικόνα 11 Η ολοκληρωμένη LCZ του Όσλο στο Google Earth Engine (το μπλε χρώμα του φόντου δεν σχετίζεται με κανέναν τύπο LCZ και έχει το ίδιο χρώμα με το LCZ G κατά σύμπτωση) (Sigler et al., 2022, p.12)

Αποτελέσματα

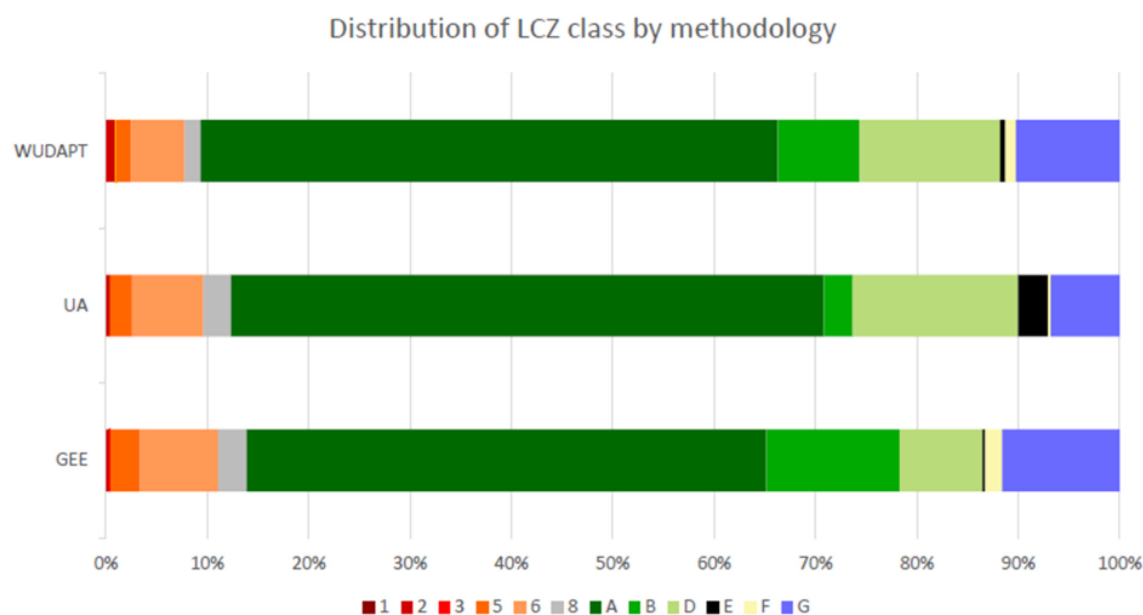
Οι LCZs που προκύπτουν από κάθε μία από τις περιγραφείσες μεθόδους παρουσιάζονται στην Εικόνα 12. Κάθε μέθοδος παρήγαγε έναν χρησιμοποιήσιμο και ακριβή χάρτη LCZ και παρόμοια αποτελέσματα ελήφθησαν από όλες τις τρεις μεθόδους.



Εικόνα 12 Οι LCZs που προκύπτουν από τις τρεις μεθόδους: WUDAPT (a), UA/GIS (b) και Google Earth Engine (c), με την κατηγοριοποίηση των τύπων LCZ στο υπόμνημα στα αριστερά (Sigler et al., 2022, p.12)

Προκειμένου να υπολογιστεί η κατανομή των LCZs (Local Climate Zones)

εντός της περιοχής ενδιαφέροντος (ROI) και να συγκριθούν τα αποτελέσματα κάθε μεθόδου, κάθε στρώμα raster μετατράπηκε σε στρώμα σημείων και υπολογίστηκαν τα ποσοστά των σημείων για κάθε τιμή LCZ. Οι τρεις μεθοδολογίες παρήγαγαν παρόμοιες κατανομές των τύπων LCZ, όπως φαίνεται στην Εικόνα 13. Και οι τρεις μέθοδοι συνέπεσαν στο ότι η LCZ A ήταν η πιο εκτεταμένη, καλύπτοντας το 51% έως 58% της επιφάνειας της ROI, ακολουθούμενη από τις LCZ B και D. Οι μέθοδοι UA και WUDAPT απέδωσαν μεγαλύτερη επιφάνεια στην LCZ B, αντανακλώντας την ομαδοποίηση των δασικών περιοχών σε μία κατηγορία. Όσον αφορά τις αστικές κατηγορίες, οι μέθοδοι WUDAPT, UA και GEE απέδωσαν 10%, 12% και 14% της ROI, αντίστοιχα. Η αστική περιοχή του Όσλο αποτελείται κυρίως από την LCZ6 (χαμηλή ανύψωση), η οποία κυμαίνεται από το 5% έως 8% της ROI.



Εικόνα 13 Κατανομή των LCZ ανά μεθοδολογία, με ποσοστά και τους τύπους LCZ ως υπόμνημα χρωμάτων (Sigler et al., 2022, p.13)

Η διαφορά στην κατανομή των τύπων LCZ μεταξύ των τριών μεθόδων μπορεί να οφείλεται σε αρκετούς λόγους. Αρχικά, τα δεδομένα UA/GIS οργανώνονται διαφορετικά καθώς προέρχονται από ταξινόμηση χρήσης γης, η οποία μπορεί να ομαδοποιεί διαφορετικές αστικές τοπολογίες μαζί. Για

παράδειγμα, κτίρια κυβέρνησης και στρατιωτικά κτίρια, ή περιοχές αεροδρομίων, μπορεί να συγχωνεύονται επειδή ανήκουν στην ίδια κατηγορία χρήσης γης. Επίσης, τα δεδομένα UA περιορίζονται σε περίπου δύο τρίτα της ROI λόγω πολιτικών συνόρων.

Η μέθοδος WUDAPT χρησιμοποιεί εννέα ζώνες από ορθοφωτογραφία, ενώ η μέθοδος GEE περιορίζεται σε τρεις ζώνες. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετική κατηγοριοποίηση από τον αλγόριθμο. Επίσης, η μετατροπή της ορθοφωτογραφίας από 30 σε 100 m² μπορεί να επηρεάσει τα αποτελέσματα κατηγοριοποίησης.

Για να επικυρωθεί η μέθοδος WUDAPT και οι ταξινομητές της, εφαρμόστηκε η μέθοδος των Bechtel και Daneke για παρόμοιες αστικές χαρτογραφήσεις. Αντιστοιχίστηκε το ράστερ της ταξινόμησης με random forest σε ένα επίπεδο διανύσματος σημείων, όπου κάθε σημείο αντιπροσώπευε ένα pixel (ή 100 m²) εντός της ROI. Αυτό το επίπεδο επικαλύφθηκε στο πολύγωνο επίπεδο των περιοχών εκπαίδευσης και κομμένο για να ταιριάζει με κάθε ξεχωριστή περιοχή εκπαίδευσης (TA). Έτσι, δημιουργήθηκε ένας συνδυασμένος πίνακας σημείων και πολυγώνων από τον οποίο προέκυψε ένας πίνακας σύγχυσης. Αυτός ο πίνακας αναλύει τον αριθμό των σωστά και λανθασμένα ταξινομημένων σημείων σε σχέση με το LCZ που ορίζεται από τις περιοχές εκπαίδευσης, τόσο για τις κύριες όσο και για τις δοκιμαστικές περιοχές εκπαίδευσης.

Με βάση αυτόν τον πίνακα, η ακρίβεια της εκπαίδευσης και των αποτελεσμάτων ταξινόμησης με τη μέθοδο του random forest επαληθεύτηκε μέσω του "Δείκτη K" ή του συντελεστή Kappa, ο οποίος μετρά τη συμφωνία και την ακρίβεια μεταξύ δύο αξιολογητών. Ο Kappa υπολογίζεται ως:

$$k = \frac{Pr(a) - Pr(e)}{1 - Pr(e)}$$

Όπου:

- Pr(a) είναι η πραγματική παρατηρούμενη συμφωνία.
- Pr(e) είναι η πιθανή συμφωνία που υπολογίζεται στο προηγούμενο βήμα.

Ο συντελεστής Kappa δείχνει το ποσοστό της συμφωνίας πέρα από αυτήν που αναμένεται τυχαία. Αυτός ο συντελεστής κινείται στο εύρος από -1 έως 1:

- Το 1 υποδεικνύει τέλεια συμφωνία.
- Το 0 δεν υποδεικνύει καμία συμφωνία πέρα από την τύχη.
- Ένα αρνητικό αποτέλεσμα δείχνει τυχαία αποτελέσματα

Η επικύρωση της μεθόδου WUDAPT για την ταξινόμηση των πρωτογενών περιοχών εκπαίδευσης έχει οδηγήσει σε πολύ υψηλές τιμές κατά Cohen's Kappa (0,985 και 0,869) για τις περιοχές ελέγχου. Αυτό σημαίνει ότι τα αποτελέσματα είναι πολύ ακριβή και υψηλής ποιότητας. Οι ταξινομητές αντιμετώπισαν μικρές δυσκολίες στο να διακρίνουν μεταξύ των ζωνών LCZ 2 και 5, καθώς και των 8 και E, οι οποίες είναι παρόμοιες στην εμφάνιση. Επιπλέον, η ανάλυση μπορεί να οδηγήσει σε σφάλματα ταξινόμησης λόγω της επικάλυψης κατά μήκος των συνόρων, κυρίως σε αστικές περιοχές όπου ένα σημείο ή ένα εικονοστοιχείο 100 m² μπορεί να καλύπτει μια μεγάλη ποικιλία χαρακτηριστικών.

Μετά την επαναταξινόμηση στον εξυπηρετητή ΣΓΠ (GIS Client), οι νέες τιμές LCZ αναπαρίστανται σύμφωνα με το πρότυπο υπόμνημα και τα χρώματα του WUDAPT, προσφέροντας μια αναπαράσταση που είναι παρόμοια με άλλες μεθόδους.

Το λογισμικό GEE διαθέτει ενσωματωμένη λειτουργία επικύρωσης (<https://developers.google.com/earth-engine/guides/classification> (πρόσβαση στις 12 Απριλίου 2020)), η οποία λειτουργεί με παρόμοιο τρόπο με τη μέθοδο WUDAPT, αν και εκτελείται μέσω διαδικτυακής διεπαφής. Μετά την εκτέλεση της επικύρωσης μέσω GEE, το λογισμικό παρήγαγε έναν πίνακα χαρακτηριστικών (confusion matrix) παρόμοιο με αυτόν που παρήχθη με τη μέθοδο WUDAPT.

Τα αποτελέσματα της επικύρωσης της μεθόδου GEE ήταν περίπου εξίσου ακριβή με τη μέθοδο WUDAPT, με Κάπα των 0,974 χρησιμοποιώντας τις ίδιες περιοχές εκπαίδευσης. Παρόλο που οι αλγόριθμοι μηχανικής μάθησης έχουν κάποιους περιορισμούς, οι δείκτες K υπερβαίνουν αυτό που ορίζεται ως αποδεκτό από τις προδιαγραφές του WUDAPT σε όλες τις περιπτώσεις.

Οι αγροτικές ζώνες δεν αντιπροσωπεύονται με τον καλύτερο τρόπο, καθώς παρατηρούμε κάποια σύγχυση σε διαφορετικές κατηγορίες. Συγκεκριμένα, οι φυτεμένες ζώνες μπορεί να συγχέονται σε ορισμένες περιπτώσεις μεταξύ των κατηγοριών LCZ A, B και C. Οι ασφαλτοστρωμένες ζώνες (τύπος E) επίσης μπορούν να συγχέονται με βιομηχανικές ζώνες, λόγω των ομοιοτήτων στα οπτικά κανάλια δορυφόρου. Επιπλέον, οι κατηγορίες 5 και 6 μπορούν να συγχέονται λόγω της ίδιας πυκνότητας αλλά διαφορετικού ύψους των δομών.

Γενικά, παρόλες αυτές τις μικρές ασυμβατότητες, οι περιοχές εκπαίδευσης αντιστοιχούν σωστά και η πλειονότητα αυτών απεικονίζει ακριβώς τις κατηγορίες LCZ τόσο στις μεθόδους WUDAPT όσο και GEE.

2.1.3 Αξιολόγηση επιμέρους μεθόδων

Πόσο ακριβείς είναι οι διάφορες μέθοδοι δημιουργίας του LCZ για την αξιολόγηση της επίδρασης του αστικού υφάσματος στη θερμοκρασία επιφάνειας;

Από τη σύγκριση που περιγράφεται σε αυτήν την ενότητα, προκύπτει ότι υπάρχει μια σημαντική σχέση μεταξύ των τύπων υλικών που χρησιμοποιούνται στις αστικές επιφάνειες, του ύψους και της διάταξης των κτιρίων και της ποσότητας θερμότητας που συσσωρεύεται στην αστική επιφάνεια. Η μέθοδος LCZ επιτυγχάνει τη μείωση της ανομοιογένειας της πόλης σε 11 αστικές κατηγορίες, καθεμία με τις δικές της θερμικές ιδιότητες υλικού και διάταξης κτιρίων.

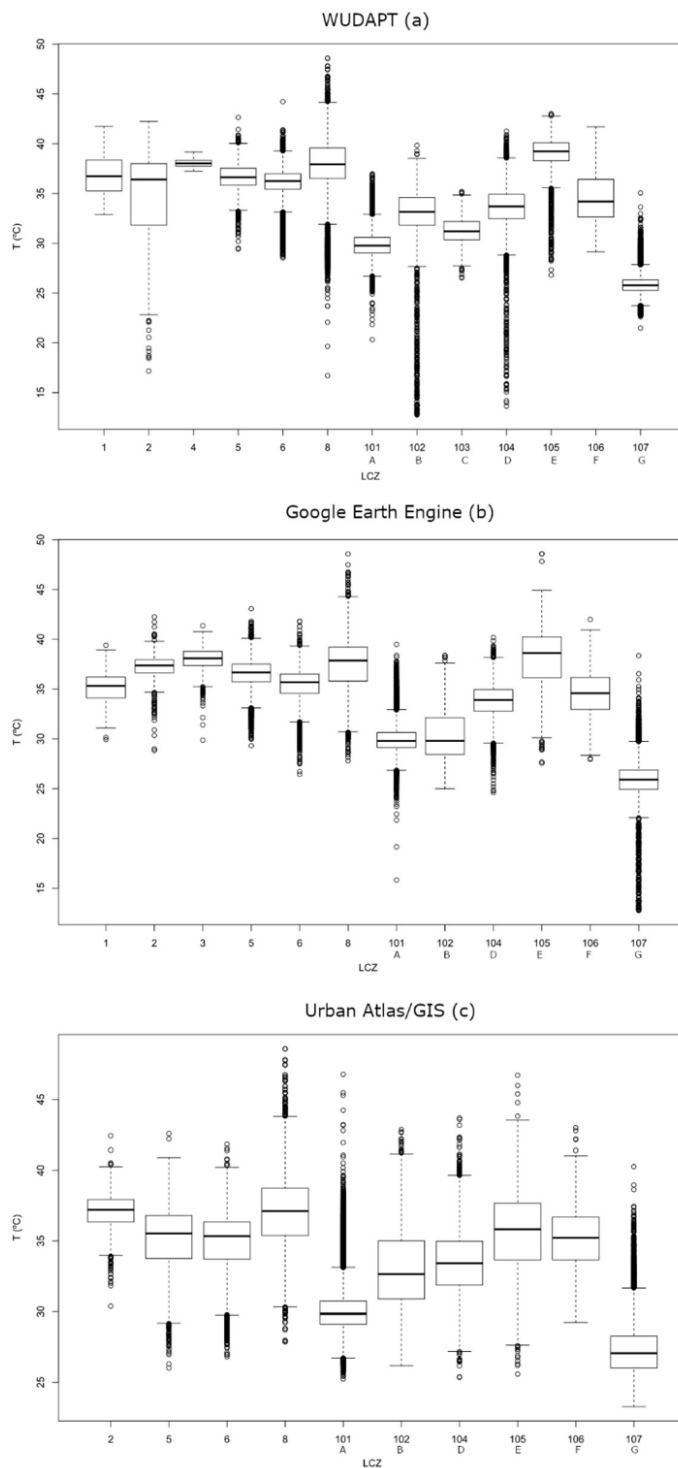
Πέραν της επικύρωσης των αποτελεσμάτων των τριών μεθόδων, επιλέχθηκε να εξεταστεί η ακρίβεια των διαφόρων μεθόδων στην αξιολόγηση της επίδρασης του αστικού υφάσματος στην θερμοκρασία της επιφάνειας. Για το σκοπό αυτό, χρησιμοποιήθηκε ένα επεισόδιο καύσωνα όπως ορίζεται από τον Robinson (2001), το οποίο συνέβη στο Όσλο στα τέλη Ιουλίου 2018. Χρησιμοποιήθηκε μια καθαρή εικόνα από Landsat 8 TIRS, αποκτηθείσα την 30ή Ιουλίου 2018, όπου οι θερμοκρασίες έφτασαν τους 34,6°C και οι επιφανειακές θερμοκρασίες έως και 48°C. Για τον υπολογισμό της LST, χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα Landsat από τις περιοχές OLT/TIRS 4 και 5 από τα αρχεία του USGS, ακολουθώντας τη μέθοδο που προτείνεται από την Αμερικανική Γεωλογική Υπηρεσία.

Η μελέτη επιδιώκει να αναδείξει τη συσχέτιση μεταξύ της Θερμοκρασίας της Επιφάνειας της Γης (LST) και των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών (LCZ), χρησιμοποιώντας γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα (GIS). Αυτό επιτεύχθηκε με τη δημιουργία στατιστικών κοντινών πινάκων, βασισμένων στην εγγύτητα των σημείων από τις δύο στρώσεις (LCZ και LST),

μετατρέποντας την εικόνα raster της LST σε σημεία (θερμοκρασία) και χρησιμοποιώντας την κατηγοριοποίηση των σημείων της LCZ.

Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε για κάθε χάρτη που δημιουργήθηκε από τις τρεις μεθοδολογίες που χρησιμοποιήθηκαν στα προηγούμενα στάδια της μελέτης. Τα αποτελέσματα παρουσιάζονται σε μορφή κουτιών/γραμμών (Εικόνα 14). Επίσης, εδραιώθηκε μια σχέση μεταξύ των LCZ και της θερμοκρασίας της επιφάνειας, της αδιαπερατότητας της επιφάνειας, της πυκνότητας και της κάλυψης βλάστησης.

Αν και αυτό το αποτέλεσμα βασίζεται σε μερική πληροφορία λόγω της κάθετης οπτικής γωνίας των δορυφορικών ραντάρ και των διανυσμάτων χρήσης γης, παρέχει μια ενδεικτική εικόνα της συμπεριφοράς των LCZ. Τα αποτελέσματα επιβεβαιώνουν επίσης τη συνοχή σε όλες τις τρεις μεθόδους, όπως ήταν αναμενόμενο από τις επικυρώσεις.



Εικόνα 14 (a-c) Θηκογράμματα για την Κατανομή θερμοκρασίας LCZ, 30 Ιουλίου 2018, μέθοδος WUDAPT (a), μέθοδος GEE (b), μέθοδος UA (c) (Sigler et al., 2022, p.15)

Κατανομή της θερμοκρασίας σύμφωνα με τις μεθόδους WUDAPT, Google Earth Engine και Urban Atlas

Το θηκόγραμμα (box/whisker plot) που παρουσιάζεται στην Εικόνα 14 απεικονίζει την κατανομή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της Γης (LST)

ανάλογα με τις διάφορες αστικές κατηγορίες χρήσης γης (LCZ), όπως παρατηρήθηκαν με τις μεθόδους WUDAPT, Google Earth Engine και Urban Atlas.

Τα "κουτιά" στο διάγραμμα αντιπροσωπεύουν το πρώτο (Q1) και το τρίτο (Q3) τεταρτημόριο του συνόλου δεδομένων (25-75%, ενδοτεταρτημοριακό εύρος ή IQR). Οι "γαλαξίες" δείχνουν τα τεταρτημόρια προς τα ελάχιστα (Q1 - 1.5IQR) ή τα μέγιστα (Q3 + 1.5IQR), με τυχόν εκτρώματα που εμφανίζονται ως μοναδικά σημεία πάνω και κάτω από τα "κουτιά" και τις "γαλαξίες".

Σύμφωνα με την ανάλυση:

- Οι αστικές κατηγορίες LCZ 1 έως 8 (που χρησιμοποιούν κυρίως υλικά όπως τσιμέντο, πλακάκι, μέταλλο και γυαλί) εμφανίζουν υψηλότερες επιφανειακές θερμοκρασίες, οι οποίες κυμαίνονται από περίπου 25 έως 45 βαθμούς Κελσίου. Υπάρχουν επίσης εκτρώματα που φτάνουν έως και 50 βαθμούς Κελσίου, υποδηλώνοντας έντονες θερμοκρασιακές ακραίες τιμές σε ορισμένες περιπτώσεις.
- Αντίθετα, οι περιοχές όπου επικρατούν φυσικές επιφάνειες (όπως νερό, έδαφος ή βλάστηση - τύποι LCZ A, B, C, D και G) εμφανίζουν χαμηλότερες θερμοκρασίες, οι οποίες κυμαίνονται κυρίως από 25 έως 42 βαθμούς Κελσίου. Εδώ τα εκτρώματα τείνουν προς τα χαμηλά, δείχνοντας την ύπαρξη πιο δροσερών σημείων στις φυσικές περιοχές.

Αυτή η ανάλυση προσφέρει μια σαφή εικόνα της συσχέτισης μεταξύ των διαφορετικών τύπων χρήσης γης και των επιφανειακών θερμοκρασιών σε αστικές περιοχές, καθώς και την επίδραση των υλικών και της δομής των κτιρίων σε αυτήν τη συσχέτιση.

Η παρατήρηση της συμπεριφοράς της θερμοκρασίας επιφάνειας της Γης (LST) σύμφωνα με τις τρεις μεθόδους (WUDAPT, Google Earth Engine - GEE, Urban Atlas - UA) προσφέρει ενδιαφέροντα ευρήματα σχετικά με τη συσχέτιση μεταξύ των διαφορετικών τύπων χρήσης γης (LCZ) και των επιφανειακών θερμοκρασιών. Ας επισημάνουμε τα κύρια σημεία για κάθε μέθοδο:

WUDAPT:

Οι τύποι LCZ 1 έως 8, που περιλαμβάνουν κατασκευασμένες περιοχές με κυρίως υλικά όπως τσιμέντο και μέταλλο, καθώς και ο τύπος E (που περιλαμβάνει ασφαλτωμένες και πετρώδεις εκτάσεις), δείχνουν υψηλότερες μέσες θερμοκρασίες, κατά μέσο όρο τουλάχιστον 7 βαθμούς Κελσίου υψηλότερες κατά τη διάρκεια της θερμής περιόδου. Τα εκτρώματα είναι επίσης αξιοσημείωτα, με ορισμένες περιοχές να φτάνουν έως και 50 βαθμούς Κελσίου.

Google Earth Engine (GEE):

Η μέθοδος GEE παράγει σχεδόν ταυτόσημα αποτελέσματα με τη WUDAPT, με μικρές διαφορές κυρίως στην ταξινόμηση του τύπου LCZ 1 λόγω των διαφορών στις εικόνες δορυφορικού ραντάρ. Επίσης, οι διαφορές στις μεθόδους ταξινόμησης επηρεάζουν ελάχιστα την ακριβή περιοχή και την τοποθεσία που συμπεριλαμβάνονται στον LCZ.

Urban Atlas (UA):

Η μέθοδος UA παραλείπει ορισμένους τύπους LCZ λόγω περιορισμών ταξινόμησης, αλλά η γενική πρόβλεψη και οι θερμοκρασίες παραμένουν σχεδόν ίδιες. Τα αποτελέσματα δείχνουν ότι οι LCZ 1-8 και η E εμφανίζουν υψηλότερες θερμοκρασίες σε σύγκριση με τις LCZ A-D και F.

Συνολικά, η συμπεριφορά της θερμοκρασίας επιφάνειας της Γης συσχετίζεται σαφώς με τη χρήση γης στις αστικές περιοχές, με τους κατασκευασμένους τύπους LCZ να εμφανίζουν υψηλότερες θερμοκρασίες λόγω της συσσώρευσης θερμότητας από τα υλικά και τις δομές τους.

Η μελέτη εστιάζει στη συσχέτιση μεταξύ των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών (LCZ) και της Επιφανειακής Θερμοκρασίας Εδάφους (LST), χρησιμοποιώντας δεδομένα από τις ταξινομήσεις του Urban Atlas σε συνδυασμό με τις μεθόδους WUDAPT και Google Earth Engine (GEE). Αν και η ταξινόμηση του Urban Atlas προβλέπει λιγότερες κατηγορίες και ευρύτερες διακυμάνσεις στις θερμοκρασίες, τα αποτελέσματα επιδεικνύουν παρόμοια χαρακτηριστικά με εκείνα που προκύπτουν από τις μεθόδους WUDAPT και GEE.

Καίρια σημεία της μελέτης περιλαμβάνουν:

1. Κατηγορίες LCZ και Διακυμάνσεις Θερμοκρασίας:

- Οι LCZ που ομαδοποιούνται με βάση τις ταξινομήσεις του Urban Atlas δείχνουν ευρύτερες διακυμάνσεις στις επιφανειακές θερμοκρασίες. Συγκεκριμένα, οι LCZ που περιλαμβάνουν κατασκευασμένα υλικά τείνουν να έχουν υψηλότερες θερμοκρασίες εδάφους, αποτυπώνοντας την αύξηση της θερμότητας από υλικά όπως τσιμέντο και μέταλλο.
- Αντιθέτως, οι LCZ που χαρακτηρίζονται από διαπερατές επιφάνειες και βλάστηση (όπως οι LCZ A, B, C και D) εμφανίζουν γενικά χαμηλότερες θερμοκρασίες εδάφους λόγω των σκιασμάτων και των αποτελεσμάτων της εξάτμισης.

2. Σύγκριση με Άλλες Μελέτες:

- Παρόμοιες μελέτες έχουν επιβεβαιώσει ότι οι LCZ συνδέονται

στενά με τις θερμοκρασίες εδάφους, με κάποιους τύπους LCZ (κατασκευασμένοι και πετρώδεις) και υψηλού albedo να συμβάλλουν σημαντικά στο φαινόμενο του Αστικού Νησιού Θερμοκρασίας (SUHI).

3. Αξιοπιστία των Μεθόδων:

- Η μελέτη ενισχύει την αξιοπιστία των μεθόδων WUDAPT, GEE και Urban Atlas σε πρακτικές εφαρμογές για τη μελέτη των αστικών κλιματικών διαδικασιών. Η συνεκτικότητα στη συσχέτιση LCZ-LST ενισχύει την εγκυρότητα των ευρημάτων για τη διαχείριση του αστικού κλίματος και την προετοιμασία της πόλης για τις κλιματικές αλλαγές.

Η μελέτη καταδεικνύει τη σημασία της ανάλυσης των LCZ στις αστικές περιοχές και την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων για την κατανόηση των πολύπλοκων δυναμικών του αστικού κλίματος.

Συζήτηση: Πλεονεκτήματα και Μειονεκτήματα των Τριών Μεθόδων

Σε αυτό το σημείο οι Sigler et al. (2022) αναφέρονται στη σύγκριση τριών μεθόδων για την ταξινόμηση των Κατηγοριών Τοπικών Κλιματικών Ζωνών (LCZ) σε μια περιοχή ενδιαφέροντος (ROI). Οι τρεις μέθοδοι περιλαμβάνουν τη WUDAPT, τη Google Earth Engine (GEE) και την Urban Atlas/GIS.

1. WUDAPT:

- Η WUDAPT είναι η πιο πολύπλοκη μέθοδος από τις τρεις και απαιτεί καλή γνώση επεξεργασίας εικόνας και GIS. Προσφέρει υψηλό βαθμό ελέγχου κατά τη διαδικασία παραγωγής των LCZ, καθώς μπορεί να γίνει ακόμα και χειροκίνητα για εξασφάλιση της

αξιοπιστίας των αποτελεσμάτων. Το έργο lcz-generator προσφέρει αυτοματοποιημένη διαδικασία, αλλά ακόμα απαιτεί σημαντικό χρόνο για την ολοκλήρωση της παραγωγής.

2. Google Earth Engine (GEE):

- Η GEE χρησιμοποιείται για την ανάλυση δορυφορικών εικόνων Landsat 8 και προσφέρει μεγαλύτερη αυτοματοποίηση σε σχέση με τη WUDAPT. Απαιτεί γνώσεις στο λογισμικό GEE, αλλά είναι λιγότερο πολύπλοκη στην εφαρμογή της συγκριτικά με τη WUDAPT.

3. Urban Atlas/GIS:

- Η μέθοδος Urban Atlas/GIS είναι η πιο διαφορετική, καθώς χρησιμοποιεί δεδομένα από την κατηγοριοποίηση γης του Urban Atlas. Οι διαφορές στα αποτελέσματα μπορεί να οφείλονται σε πολιτικούς ορισμούς των περιοχών, καθώς και στο γεγονός ότι οι υδάτινες επιφάνειες συχνά δεν περιλαμβάνονται στους χάρτες του Urban Atlas.

4. Διαφορές στα Αποτελέσματα:

- Οι διαφορές στις ταξινομήσεις LCZ μεταξύ των μεθόδων είναι εν μέρει λόγω των διαφορετικών αναλύσεων και προσεγγίσεων των δεδομένων καθώς και της διαφορετικής καταγραφής των περιοχών εκπαίδευσης. Η Urban Atlas/GIS παρουσιάζει τις μεγαλύτερες διαφορές, καθώς η αρχική περιοχή μελέτης δεν αντιστοιχεί ακριβώς στην ROI που χρησιμοποιείται από τις άλλες δύο μεθόδους.

5. Σχετικότητα με τις κλιματικές ζώνες:

- Η χρήση της γης δεν είναι κρίσιμη για την ταξινόμηση LCZ, αλλά είναι σημαντική για κατανόηση των επιπτώσεων στο κλίμα (όπως η αύξηση θερμοκρασίας από την αστική θερμότητα).

6. Περιοχές εκπαίδευσης και επίπεδα ακρίβειας:

- Η δημιουργία περιοχών εκπαίδευσης σε αστικά και υποαστικά περιβάλλοντα βοήθησε στην ακριβή ταξινόμηση των LCZ.
- Η πλειονότητα των περιοχών εκπαίδευσης είναι στις αστικές ζώνες, ενώ η επανακατηγοριοποίηση παρουσιάζει περιορισμούς στην ακρίβεια της ταξινόμησης.

7. Συγκρίσεις και αξιολογήσεις:

- Οι μέθοδοι αξιολογούνται βάσει της ακρίβειας, της ευκολίας χρήσης και της εφαρμογής τους σε διαφορετικά γεωγραφικά περιβάλλοντα.
- Οι αντιφάσεις μεταξύ των μεθόδων είναι αποτέλεσμα των διαφορών στις μεθοδολογίες και τις εισροές δεδομένων.

Συνοψίζοντας, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου για τη δημιουργία χαρτών LCZ εξαρτάται από το συγκεκριμένο περιβάλλον μελέτης, τους διαθέσιμους πόρους και τους στόχους της έρευνας ή της εφαρμογής. Κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματά της και τις περιορισμένες της, και η κατάλληλη επιλογή θα εξαρτηθεί από τις συγκεκριμένες ανάγκες της μελέτης σας.

Συμπεράσματα

Τα αποτελέσματα της άσκησης καταδεικνύουν ότι οι τρεις μέθοδοι για τη δημιουργία Τοπικών Κλιματικών Ζωνών (LCZ) - WUDAPT, Google Earth

Engine (GEE) και Urban Atlas/GIS - παράγουν ακριβείς χαρτογραφήσεις με παρόμοια αποτελέσματα σε ισοποίηση και διανομή των LCZ. Κάθε μέθοδος έχει τα πλεονεκτήματά της και τους περιορισμούς της:

- **WUDAPT:** Είναι η πιο λεπτομερής μέθοδος και προσφέρει τον μεγαλύτερο έλεγχο στη δημιουργία των LCZ. Ωστόσο, είναι και η πιο χρονοβόρα και απαιτεί περισσότερους πόρους σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεθόδους.
- **Google Earth Engine (GEE):** Η μέθοδος GEE είναι παρόμοια στην προσέγγισή της με την WUDAPT, χρησιμοποιώντας εικόνες από δορυφόρο και αλγόριθμους μηχανικής μάθησης για τη δημιουργία των LCZ. Είναι πιο απλή στην εφαρμογή της σε σύγκριση με τη WUDAPT, αλλά προσφέρει παρόμοια ακρίβεια.
- **Urban Atlas/GIS:** Είναι η πιο εύκολη και γρήγορη μέθοδος για τη δημιουργία των LCZ, αλλά τα δεδομένα προέρχονται αρχικά για άλλους σκοπούς (όχι για αστική τοπογραφία και κλιματολογία), οπότε μπορεί να οδηγήσει σε ομάδες δομών που ταξινομούνται σε διαφορετικές LCZ σε σύγκριση με τις άλλες δύο μεθόδους.

Συνολικά, η επιλογή της μεθόδου εξαρτάται από την εφαρμογή και τους πόρους που είναι διαθέσιμοι. Η WUDAPT είναι ιδανική για αναλύσεις που απαιτούν υψηλή λεπτομέρεια και έλεγχο, ενώ η GEE προσφέρει μια καλή ισορροπία ανάμεσα σε ακρίβεια και απλότητα εφαρμογής. Αντίθετα, η Urban Atlas/GIS είναι κατάλληλη για γρήγορες αναλύσεις που απαιτούν λιγότερους πόρους, αλλά πρέπει να λαμβάνεται υπόψη η πιθανή επανακατηγοριοποίηση των LCZ.

Τέλος, η ευελιξία και η συγκριτική ανάλυση των τριών μεθόδων μπορούν να βοηθήσουν άλλους ερευνητές και εφαρμοστές να επιλέξουν την κατάλληλη μέθοδο ανάλογα με τις ανάγκες τους και τις διαθέσιμες δυνατότητες.

2.2 Ειδικός ορισμός και ταξινόμηση των κλιματικών ζωνών

Οι Stewart and Oke (2012) αναφέρουν ότι οι τοπικές κλιματικές ζώνες ορίζονται ως περιοχές ομοιόμορφης επιφανειακής κάλυψης, δομής, υλικών και ανθρώπινης δραστηριότητας που εκτείνονται σε εκατοντάδες μέτρα έως αρκετά χιλιόμετρα οριζόντια. Οι τοπικές κλιματικές ζώνες χωρίζονται συνολικά σε 17 διαφορετικές κατηγορίες. Οι 10 από αυτές αναφέρονται στα κτίρια, ενώ οι υπόλοιπες 7 αφορούν στην κάλυψη γης.

Βασική κατηγοριοποίηση σύμφωνα με τους Stewart and Oke (2012) σε μετάφραση του Α. Polydoros είναι η παρακάτω:

Τύποι κτηρίων:

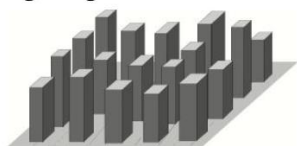
Κατηγορία 1^η: Πυκνή δόμηση με μεγάλου ύψους κτήρια (Compact Highrise). Πυκνή διάταξη από ψηλά κτήρια (10άδων ορόφων). Λίγα ή καθόλου δέντρα. Κάλυψη γης κυρίως πλακόστρωτη. Δομικά υλικά: τσιμέντο, χάλυβας, γυαλί.

Πίνακας 1 Compact Highrise

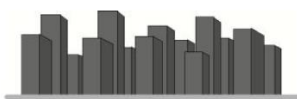
Compact Highrise	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	0.2-0.4
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	>2
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	>25 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	8
Building surface fraction/Κλάσμα	40-60%

επιφάνειας κτιρίου	
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	40-60%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	< 10%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	1,100-2,200 $\text{Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.10-0.20
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	50-300 Wm^{-2}

High angle



Low level



Εικόνα 15 Compact Highrise - Πηγή: Appendix

Κατηγορία 2^η: Πυκνή δόμηση με μεσαίου ύψους κτήρια (Compact Midrise). Πυκνή διάταξη από μεσαίου ύψους κτήρια (3-9 ορόφων). Λίγα ή καθόλου δέντρα. Κάλυψη γης κυρίως πλακόστρωτη. Δομικά υλικά: πέτρα, τσιμέντο, τούβλο, πλακάκι.

Πίνακας 2 Compact Midrise

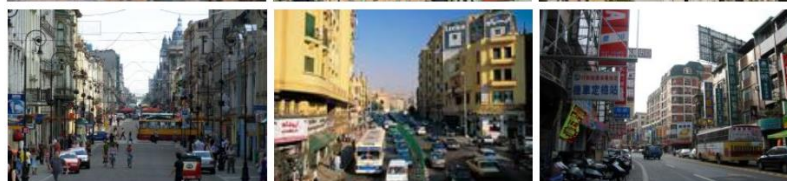
Compact Midrise	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	0.3-0.6
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	0.75-2
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	10-25 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	6-7

Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	40-70%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	30-50%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	<20%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	1,000-2,200 Jm ⁻¹ s ^{1/2} k ⁻¹
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.10-0.20
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	<75 Wm ⁻²

High angle



Low level



Εικόνα 16 Compact Midrise - Πηγή: Appendix

Κατηγορία 3^η: Πυκνή δόμηση με χαμηλού ύψους κτήρια (Compact Lowrise). Πυκνή διάταξη από χαμηλά κτήρια (1-3 ορόφων). Λίγα ή καθόλου δέντρα. Κάλυψη γης κυρίως πλακόστρωτη. Δομικά υλικά: πέτρα, τσιμέντο, τούβλο, πλακάκι.

Πίνακας 3 Compact Lowrise

Compact Lowrise	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	0.2-0.6
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	0.75-1.5
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	3-10 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	6

Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	40-70%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	20-50%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	<30%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	1,100-2,200 Jm ⁻¹ s ^{1/2} k ⁻¹
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.10-0.20
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	<75 Wm ⁻²

High angle



Low level



Εικόνα 17 Compact Lowrise - Πηγή: Appendix

Κατηγορία 4^η: Αραιή δόμηση με μεγάλους ύψους κτήρια (Open Highrise). Αραιή διάταξη ψηλών κτηρίων (10άδων ορόφων). Άφθονο διαπερατό έδαφος (χαμηλά φυτά διάσπαρτα δέντρα). Δομικά υλικά: τσιμέντο, χάλυβας, γυαλί.

Πίνακας 4 Open Highrise

Open Highrise	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	0.5-0.7
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	0.75-1.25
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	>25 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	7-8
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	20-40%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	30-40%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	30-40%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	$1,100-2,000 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.12-0.25
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	$<50 \text{ Wm}^{-2}$



Εικόνα 18 Open Highrise - Πηγή: Appendix

Κατηγορία 5^η: Αραιή δόμηση με μεσαίου ύψους κτήρια (Open Midrise). Αραιή διάταξη μεσαίου ύψους κτηρίων (3-9 ορόφων). Άφθονο διαπερατό έδαφος (χαμηλά φυτά διάσπαρτα δέντρα). Δομικά υλικά: πέτρα, τσιμέντο,

χάλυβας.

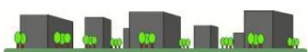
Πίνακας 5 Open Midrise

Open Midrise	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	0.5-0.8
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	0.3-0.75
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	10-25 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	5-6
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	20-40%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	30-50%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	20-40%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	1,000-2,200 $\text{Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.12-0.25
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	<25 Wm^{-2}

High angle



Low level



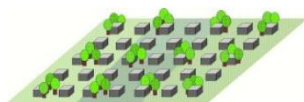
Εικόνα 19 Open Midrise - Πηγή: Appendix

Κατηγορία 6^η: Αραιή δόμηση με μικρού ύψους κτήρια (Open Lowrise). Αραιή διάταξη χαμηλών κτηρίων (1-3 ορόφων). Άφθονο διαπερατό έδαφος (χαμηλά φυτά διάσπαρτα δέντρα). Δομικά υλικά: ξύλο, τούβλο, πέτρα, πλακάκι.

Πίνακας 6 Open Lowrise

Open Lowrise	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	0.6-0.9
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	0.3-0.75
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	3-10 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	5-6
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	20-40%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	20-50%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	30-60%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	1,000-2,200 $\text{Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.12-0.25
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	$<25 \text{ Wm}^{-2}$

High angle



Low level



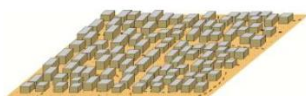
Εικόνα 20 Open Lowrise - Πηγή: Appendix

Κατηγορία 7^η: Ελαφριές κατασκευές μικρού ύψους (Lightweight Lowrise). Πυκνή διάταξη μονώροφων ομάδων κτηρίων. Λίγα ή καθόλου δέντρα. Δομικά υλικά: καλάμι- άχυρο, μπαμπού, πτυχωτό μέταλλο.

Πίνακας 7 *Lightweight Lowrise*

Lightweight Lowrise	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	0.2-0.5
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	1-2
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	2-4 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	4-5
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	60-90%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	<20%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	<30%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	400-1,800 Jm ⁻¹ s ^{1/2} k ⁻¹
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.15-0.35
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	<35 Wm ⁻²

High angle



Low level



Εικόνα 21 *Lightweight Lowrise* - Πηγή: Appendix

Κατηγορία 8^η: Αραιή δόμηση με μεγάλα κτήρια (Large Lowrise). Αραιή διάταξη μεγάλων χαμηλών κτηρίων (1-3 ορόφων). Λίγα ή καθόλου δέντρα. Κάλυψη γης κυρίως πλακόστρωτη. Δομικά υλικά: χάλυβας, τσιμέντο, μέταλλο.

Πίνακας 8 Large Lowrise

Large Lowrise	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	>0.7
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	0.1-0.3
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	3-10 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	5
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	30-50%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	40-50%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	<20%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	$1,000-2,000 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.15-0.25
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	$<50 \text{ Wm}^{-2}$

High angle



Low level



Εικόνα 22 Large Lowrise - Πηγή: Appendix

Κατηγορία 9^η: Αραιή δόμηση (Sparsely Built). Αραιή διάταξη μικρού ή

μεσαίου μεγέθους κτηρίων σε φυσικό τοπίο. Άφθονο διαπερατό έδαφος (χαμηλά φυτά διάσπαρτα δέντρα). Δομικά υλικά: ξύλο, τούβλο, τσιμέντο, πέτρα, πλακάκι.

Πίνακας 9 *Sparsely Built*

Sparsely Built	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	>0.8
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	0.1-0.25
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	3-10 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	5-6
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	10-20%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	<20%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	40-50%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	$1,000-2,200 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.12-0.25
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	$<10 \text{ Wm}^{-2}$

High angle



Low level



Εικόνα 23 *Sparsely Built* - Πηγή: Appendix

Κατηγορία 10^η: Βαριά βιομηχανία (Heavy Industry). Χαμηλού ή μεσαίου ύψους βιομηχανικές κατασκευές. Λίγα ή καθόλου δέντρα. Κάλυψη γης κυρίως πλακόστρωτη. Δομικά υλικά: χάλυβας, τσιμέντο, μέταλλο.

Πίνακας 10 Heavy Industry

Heavy Industry	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	0.6-0.9
Canyon aspect ratio/Αναλογία Ύψους Φαραγγιού	0.2-0.5
Mean building height/Μέσο Ύψος Κτιρίων	5-15 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	5-6
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	20-30%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	20-40%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	40-50%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	1,000-2,500 Jm ⁻¹ s ^{1/2} k ⁻¹
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.12-0.20
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	> 300 Wm ⁻²

High angle



Low level



Εικόνα 24 Heavy Industry - Πηγή: Appendix

Τύποι κάλυψης γης:

Κατηγορία Α: Πυκνά δέντρα (Dense Trees). Πυκνό δασώδες τοπίο φυλλοβόλων και/ή αειθαλών δέντρων. Έδαφος κυρίως διαπερατό (χαμηλά φυτά). Φυσικό δάσος, δενδρώδεις καλλιέργειες ή αστικό πάρκο.

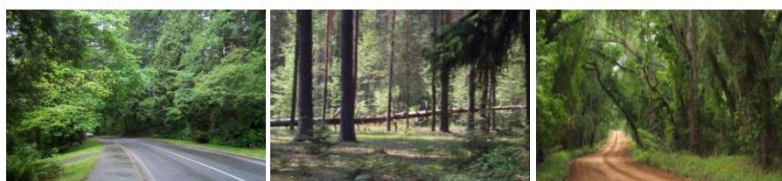
Πίνακας 11 Dense Trees

Dense Trees	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	<0.4
Tree aspect ratio/Αναλογία Ύψους Δέντρου	>1
Mean tree height/Μέσο Ύψος Δέντρων	3-30+ m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	8
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	<10%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	<10%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	>90%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	$1,000-1,800 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.10-0.20
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	0 Wm^{-2}

High angle



Low level



Εικόνα 25 Dense Trees - Πηγή: Appendix

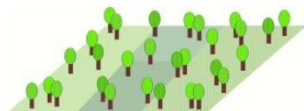
Κατηγορία Β: Διάσπαρτα δέντρα (Scattered Trees). Αραιό δασώδες τοπίο

φυλλοβόλων και/ή αιθαλών δέντρων. Έδαφος κυρίως διαπερατό (χαμηλά φυτά). Φυσικό δάσος, δενδρώδεις καλλιέργειες ή αστικό πάρκο.

Πίνακας 12 Scattered Trees

Scattered Trees	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	0.5-0.8
Tree aspect ratio/Αναλογία Ύψους Δέντρου	0.25-0.75
Mean tree height/Μέσο Ύψος Δέντρων	3-15 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	5-6
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	< 10%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	< 10%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	90%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	1,000-1,800 Jm ⁻¹ s ^{1/2} k ⁻¹
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.15-0.25
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	0 Wm ⁻²

High angle



Low level



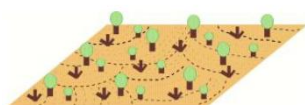
Εικόνα 26 Scattered Trees - Πηγή: Appendix

Κατηγορία C: Θάμνοι (Bush, Scrub). Αραιή διάταξη θάμνων και μικρών ξυλωδών δέντρων. Έδαφος κυρίως διαπερατό (γυμνό έδαφος ή άμμος). Φυσικός θαμνότοπος ή γεωργική γη.

Πίνακας 13 Bush, Scrub

Bush, Scrub	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	>0.9
Tree aspect ratio/Αναλογία Ύψους Δέντρου	0.25-1
Mean tree height/Μέσο Ύψος Δέντρων	<2 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	4-5
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	<10%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	<10%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	>90%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	$1,000-1,800 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.15-0.30
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	0 Wm^{-2}

High angle



Low level



Εικόνα 27 Bush, Scrub - Πηγή: Appendix

Κατηγορία D: Χαμηλή βλάστηση (Low Plants). Τοπίο από γρασίδι, πώδη φυτά ή καλλιέργειες. Λίγα ή καθόλου δέντρα. Φυσικό λιβάδι, γεωργική ή αστικό πάρκο.

Πίνακας 14 Low Plants

Low Plants	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	>0.9
Tree aspect ratio/Αναλογία Ύψους Δέντρου	<0.1
Mean tree height/Μέσο Ύψος Δέντρων	<1 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	3-4
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	<10%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	<10%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	>90%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	$1,000-1,800 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.15-0.25
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	0 Wm^{-2}

High angle



Low level



Εικόνα 28 Low Plants - Πηγή: Appendix

Κατηγορία Ε: Γυμνοί βράχοι ή πλακόστρωτο (Bare Rock or Paved). Τοπίο από βράχο ή πλακόστρωτη κάλυψη. Λίγα ή καθόλου δέντρα ή φυτά. Φυσική έρημος (βράχος) ή αστικές συγκοινωνίες.

Πίνακας 15 Bare Rock or Paved

Bare Rock or Paved	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	>0.9
Tree aspect ratio/Αναλογία Ύψους Δέντρου	<0.1
Mean tree height/Μέσο Ύψος Δέντρων	<0.25 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	1-2
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	<10%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	>90%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	<10%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	1,300-3,000 Jm ⁻¹ s ^{1/2} k ⁻¹
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.15-0.30
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	0 Wm ⁻²

High angle



Low level



Εικόνα 29 Bare Rock or Paved - Πηγή: Appendix

Κατηγορία F: Γυμνό έδαφος ή άμμος (Bare Soil or Sand). Τοπίο με κάλυψη εδάφους ή άμμου. Λίγα ή καθόλου δέντρα ή φυτά. Φυσική έρημος ή γεωργική γη.

Πίνακας 16 Bare Soil or Sand

Bare Soil or Sand	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	>0.9
Tree aspect ratio/Αναλογία Ύψους Δέντρου	<0.1
Mean tree height/Μέσο Ύψος Δέντρων	<0.25 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	1-2
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	< 10%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	<10%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	>90%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	1,000-1,800 Jm ⁻¹ s ^{1/2} k ⁻¹
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.20-0.35
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	0 Wm ⁻²



Εικόνα 30 Bare Soil or Sand - Πηγή: Appendix

Κατηγορία G: Νερό (Water). Ανοιχτά υδατικά συστήματα είτε μεγάλα

(θάλασσες, λίμνες) είτε μικρά (ποτάμια, δεξαμενές, λιμνοθάλασσες).

Πίνακας 17 Water

Water	
Sky view factor/Δείκτης Οπτικής Θέασης Ουρανού	>0.9
Tree aspect ratio/Αναλογία Ύψους Δέντρου	<0.1
Mean tree height/Μέσο Ύψος Δέντρων	<0.25 m
Terrain roughness class/Κατηγορία τραχύτητας εδάφους	1
Building surface fraction/Κλάσμα επιφάνειας κτιρίου	<10%
Impervious surface fraction/Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών	<10%
Pervious surface fraction/Κάλυψη διαπερατών επιφανειών	>90%
Surface admittance/Επιφανειακή είσοδος	$1,500 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{1/2}\text{k}^{-1}$
Surface albedo/ Ανακλαστικότητα Επιφάνειας	0.02-0.10
Anthropogenic heat flux/Ανθρωπογενής ροή θερμότητας	0 Wm^{-2}

High angle



Low level



Εικόνα 31 Water - Πηγή: Appendix

2.3 Χρησιμότητα Τοπικών Κλιματικών Ζωνών

Οι Τοπικές Κλιματικές Ζώνες (LCZs) είναι ένα σύστημα κατηγοριοποίησης που

χρησιμοποιείται για να ταξινομήσει διαφορετικούς τύπους αστικών και αγροτικών περιοχών βάσει της επιφανειακής κάλυψης, της μορφολογίας και των μετεωρολογικών ιδιοτήτων τους. Είναι χρήσιμες με αρκετούς τρόπους:

Πολοδομία: Οι LCZ παρέχουν πολύτιμες πληροφορίες στους πολιοδότες και τους πολιτικούς για να κατανοήσουν τα μικροκλίματα εντός μιας πόλης. Με τον διαχωρισμό των περιοχών σε διάφορες κατηγορίες βάσει της επιφανειακής κάλυψης και της μορφολογίας τους, οι πολιοδότες μπορούν να λάβουν ενημερωμένες αποφάσεις σχετικά με το πώς να χρησιμοποιήσουν το έδαφος, να σχεδιάσουν κτίρια και να αναπτύξουν υποδομές με σκοπό τη μείωση της αστικής θερμότητας, τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα και την αύξηση της ποιότητας ζωής στις πόλεις.

Αντιμετώπιση της Κλιματικής Αλλαγής και Προσαρμογή σε αυτή: Οι LCZ βοηθούν τις πόλεις να αντιληφθούν την ευπάθειά τους στην κλιματική αλλαγή και να αναπτύξουν στρατηγικές προσαρμογής. Με την αναγνώριση περιοχών που αντιμετωπίζουν υψηλές θερμοκρασίες ή κακό αερισμό οι πόλεις μπορούν να εστιάσουν σε παρεμβάσεις όπως η αύξηση των πράσινων χώρων, η εφαρμογή δροσερών στεγών ή ο σχεδιασμός κτιρίων με καλύτερο αερισμό με στόχο τη μείωση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής.

Ενεργειακή Απόδοση: Η κατανόηση των τοπικών κλιματικών ζωνών μπορεί να συμβάλει στη βελτιστοποίηση της χρήσης ενέργειας στις αστικές περιοχές. Αναγνωρίζοντας περιοχές με υψηλή απορρόφηση θερμότητας ή περιοχές με περιορισμένη ροή αέρα, οι πόλεις μπορούν να σχεδιάσουν κτίρια και υποδομές με στόχο τη μείωση της κατανάλωσης ενέργειας για θέρμανση, ψύξη και αερισμό. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να οδηγήσει σε σημαντικές εξοικονομήσεις ενέργειας και μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου.

Μοντελοποίηση Κλίματος: Οι LCZ χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου σε κλιματικά μοντέλα για να προσομοιώσουν το τοπικό κλίμα και να αξιολογήσουν τον αντίκτυπο της αστικοποίησης στα περιφερειακά και παγκόσμια κλιματικά μοτίβα. Με την ενσωμάτωση λεπτομερών πληροφοριών για το αστικό περιβάλλον, όπως η αλβεδοϊκή επιφάνεια, η βλάστηση και η πυκνότητα κτιρίων, τα κλιματικά μοντέλα μπορούν να προσομοιώσουν με μεγαλύτερη ακρίβεια τις πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των αστικών περιοχών και της ατμόσφαιρας.

Αξιολόγηση Θερμοκρασίας: Οι LCZ βοηθούν τους ερευνητές και τους υπαλλήλους δημόσιας υγείας να αξιολογήσουν την ευπάθεια διαφορετικών αστικών περιοχών στο θερμικό στρες. Αναγνωρίζοντας περιοχές με υψηλά επίπεδα αδιαπερατότητας επιφάνειας και περιορισμένη βλάστηση, οι σχεδιαστές οι σχεδιαστές μπορούν να δώσουν προτεραιότητα σε στρατηγικές μείωσης της θερμοκρασίας, όπως η αύξηση των πράσινων εκτάσεων, η εγκατάσταση δροσερών στεγών και η υλοποίηση προγραμμάτων αστικής δασοκομίας για τη μείωση του κινδύνου από θερμοκρασιακές ασθένειες και θανάτους κατά τη διάρκεια των καυσώνων.

Κατανάλωση Ενέργειας: Οι LCZ μπορούν να ενημερώσουν τις στρατηγικές σχεδιασμού και διαχείρισης ενέργειας με τον εντοπισμό περιοχών με υψηλή ζήτηση ενέργειας λόγω παραγόντων όπως η πυκνότητα κτιρίων, τα μοτίβα χρήσης γης και η ηλιακή έκθεση. Μέσω της εφαρμογής μέτρων ενεργειακής απόδοσης και της χρήσης εγκαταστάσεων ανανεώσιμης ενέργειας σε αυτές τις περιοχές με υψηλή κατανάλωση ενέργειας, οι πόλεις μπορούν να μειώσουν τις εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου και να ενισχύσουν την ενεργειακή ανθεκτικότητά τους.

Διαχείριση Ποιότητας Αέρα: Οι LCZ παρέχουν εισαγωγικά στοιχεία για την κατανομή των ατμοσφαιρικών ρύπων εντός των αστικών περιοχών αναγνωρίζοντας πηγές ρύπανσης όπως η κυκλοφορία, οι βιομηχανικές δραστηριότητες και η θέρμανση των κατοικιών. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να βοηθήσουν τους πολιτικούς να αναπτύξουν στρατηγικές διαχείρισης της ποιότητας του αέρα, όπως η εφαρμογή ζωνών χαμηλών εκπομπών, η βελτίωση των υποδομών δημόσιας μεταφοράς και η προώθηση καθαρών τεχνολογιών ενέργειας.

Ελάφρυνση Νησίδων Θερμότητας: Τα δεδομένα LCZ βοηθούν τους πολεοδόμους και τους σχεδιαστές να κατανοήσουν τα θερμικά χαρακτηριστικά διαφορετικών περιοχών εντός της πόλης. Αυτές οι πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για το σχεδιασμό πράσινων χώρων, την αύξηση της βλάστησης και την εφαρμογή δροσερών στεγών, καθώς και άλλων στρατηγικών για την αντιμετώπιση των αστικών νησίδων θερμότητας.

Διαχείριση Θερμικού Στρες: Οι πληροφορίες LCZ είναι πολύτιμες για την αξιολόγηση των επιπέδων θερμικού στρες σε διάφορα μέρη μιας πόλης. Αυτό είναι κρίσιμο για την ανάπτυξη στρατηγικών για την προστασία ευπαθών πληθυσμιακών ομάδων κατά τη διάρκεια ακραίων θερμοκρασιών, όπως οι ηλικιωμένοι ή αυτοί με υπάρχουσες υγειονομικές προβλέψεις.

Σχεδιασμός Βιοποικιλότητας: Διάφορες LCZ υποστηρίζουν διαφορετικούς τύπους βλάστησης και οικοσυστημάτων. Η γνώση των τοπικών κλιματικών ζωνών μπορεί να βοηθήσει στον σχεδιασμό και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας στις αστικές περιοχές. Μπορεί επίσης να καθοδηγήσει την επιλογή φυτικών ειδών που είναι προσαρμοσμένα σε συγκεκριμένες κλιματικές συνθήκες.

Μικροκλιματικές Επιθεωρήσεις: Τα δεδομένα LCZ μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον σχεδιασμό μεταφορών για να κατανοήσουν πώς τα τοπικά μικροκλίματα μπορεί να επηρεάσουν τα πρότυπα μετακινήσεων. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στη βελτιστοποίηση της ανάπτυξης υποδομών και συστημάτων μεταφορών, επιτρέποντας την ακριβέστερη πρόβλεψη της ζήτησης και την προσαρμογή των υπηρεσιών μεταφοράς σύμφωνα με τις κλιματικές συνθήκες σε κάθε περιοχή.

Σχεδιασμός Ανθεκτικότητας: Καθώς οι επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής γίνονται πιο έντονες, η κατανόηση των τοπικών κλιματικών ζωνών γίνεται κρίσιμη για την ανάπτυξη στρατηγικών προσαρμογής και ανθεκτικότητας. Από τον καταμερισμό της πόλης σε διάφορες θερμοκλιματικές ζώνες έως την ανάπτυξη προληπτικών μέτρων για την αντιμετώπιση ακραίων καιρικών φαινομένων, η κατανόηση αυτών των περιοχών παίζει καθοριστικό ρόλο στη δημιουργία πιο ανθεκτικών και βιώσιμων πόλεων.

Κανονισμοί Ζωνών: Οι πληροφορίες LCZ μπορούν να ενημερώσουν τους κανονισμούς ζώνης και τις πολιτικές χρήσης γης, παρέχοντας στους αρμόδιους φορείς σημαντικά δεδομένα για τον χαρακτηρισμό των διαφορετικών περιοχών μιας πόλης. Με βάση αυτές τις πληροφορίες, μπορούν να αναθεωρηθούν ή να ενημερωθούν οι κανονισμοί για τον προσδιορισμό της χρήσης γης, τον προσδιορισμό περιοχών προστασίας του περιβάλλοντος, την ανάπτυξη πράσινων χώρων ή την κατασκευή υποδομών, με στόχο τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και τη διατήρηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

Εκπαιδευτικά Εργαλεία: Οι κατηγορίες LCZ μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εκπαιδευτικά εργαλεία για να ενισχύσουν την κατανόηση των μαθητών

σχετικά με τη σχέση μεταξύ του αστικού περιβάλλοντος και του κλίματος. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να εξηγήσουν τις διαφορές στη θερμοκρασία και την υγρασία μεταξύ διαφορετικών περιοχών της πόλης και πώς αυτές οι διαφορές επηρεάζουν τη ζωή και το περιβάλλον. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να συζητήσουν τις διαφορετικές στρατηγικές που μπορούν να υιοθετηθούν για τη μείωση της αστικής θερμότητας και τη βελτίωση της ποιότητας του αέρα στις πόλεις. Έτσι, μπορούν να συμβάλουν στην αύξηση της ευαισθητοποίησης και της αποτελεσματικότητας στις περιβαλλοντικές προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι πόλεις.

Υγεία και Ευημερία: Οι LCZ επηρεάζουν σημαντικά την άνεση και την υγεία των ανθρώπων στις πόλεις. Αναγνωρίζοντας περιοχές με υψηλές θερμοκρασίες ή κακή ποιότητα αέρα, οι πολιτικοί μπορούν να δώσουν προτεραιότητα σε παρεμβάσεις για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων στην δημόσια υγεία. Αυτό μπορεί να συμπεριλαμβάνει την αύξηση της πρόσβασης σε πράσινους χώρους, τη φύτευση δέντρων ή την εφαρμογή μέτρων για τη μείωση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης. Με αυτόν τον τρόπο, μπορούν να δημιουργηθούν πιο υγιεινά και βιώσιμα περιβάλλοντα στις αστικές περιοχές, βελτιώνοντας έτσι την ποιότητα ζωής των κατοίκων.

Έρευνα και Ανάλυση Δεδομένων: Οι κατηγορίες LCZ παρέχουν ένα προτυποποιημένο πλαίσιο για τους ερευνητές και τους πολιτικούς επιτρέποντάς τους να συγκρίνουν διάφορες αστικές περιοχές και να αναλύουν τις τάσεις με την πάροδο του χρόνου. Μελετώντας τον τρόπο με τον οποίο εξελίσσονται και αλληλεπιδρούν οι LCZ με άλλους παράγοντες, όπως η αύξηση του πληθυσμού και οι αλλαγές στη χρήση της γης, οι ερευνητές μπορούν να κατανοήσουν καλύτερα τη δυναμική των αστικών κλιμάτων. Αυτός ο κατανοημένος χαρακτήρας των αστικών κλιμάτων μπορεί

να χρησιμοποιηθεί για την ενημέρωση μελλοντικών αποφάσεων σχεδιασμού και πολιτικής, προκειμένου να προωθηθεί η βιώσιμη ανάπτυξη και η προσαρμογή στις αλλαγές του περιβάλλοντος.

2.4 Παράμετροι τοπικών κλιματικών ζωνών

Όπως αναφέρουν οι Mitraka et al. (2016) στο κείμενο τους για την ταξινόμηση των LCZ σε URBANFLUXES, οι παράμετροι που προέρχονται από τα δεδομένα ΕΟ είναι οι εξής: Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών, Κάλυψη διαπερατών επιφανειών, Πυκνότητα δόμησης, Ανακλαστικότητα επιφάνειας, Δείκτης οπτικής θέασης του ουρανού, Αναλογία ύψους φαραγγιού και Μέσο ύψος κτηρίων/δέντρων.

Κάλυψη αδιαπέραστων επιφανειών (impervious surface cover): Οι αδιαπέραστες επιφάνειες είναι όλες οι επιφάνειες που αποτρέπουν τη διέλευση του νερού, συνήθως αυτές που καλύπτονται από κτίρια και ασφαλτωμένους δρόμους. Η ποσότητα αυτών των επιφανειών προκύπτει από την ανάλυση της εκτεταμένης χρήσης γης στην πόλη, που συμπεριλαμβάνει τα διάφορα αστικά και βιομηχανικά εδάφη.

Κάλυψη διαπερατών επιφανειών (pervious surface cover): Οι διαπερατές επιφάνειες αναφέρονται σε εκείνα τα εδάφη που επιτρέπουν στο νερό να διαπεράσει, αντίθετα με τις αδιαπέραστες επιφάνειες. Αυτές περιλαμβάνουν τη βλάστηση, το ξηρό έδαφος και τα υδάτινα στοιχεία. Η ανάλυση των διαπερατών επιφανειών μπορεί να γίνει μέσω χαρτογράφησης της χρήσης γης, που περιλαμβάνει την καταγραφή των ποσοτήτων των επιφανειών κάλυψης για τη βλάστηση, τη γεωργία, το ξηρό έδαφος και τα ύδατα.

Πυκνότητα δόμησης (building density): Η πυκνότητα δόμησης

αντιπροσωπεύει το ποσοστό της επιφάνειας του εδάφους που καλύπτεται από κτίρια. Τα ποσοστά αυτής της κάλυψης προκύπτουν από την ανάλυση της χρήσης της γης, συχνά μέσω της δημιουργίας χαρτών πληθωρικότητας, και παρέχουν τη συγκεκριμένη πληροφορία.

Ανακλαστικότητα επιφάνειας (surface albedo): Η ανακλαστικότητα επιφάνειας αναφέρεται στην ικανότητα μιας επιφάνειας να αντανακλά την εισερχόμενη ακτινοβολία, τόσο άμεση όσο και διασπασμένη, σε όλα τα μήκη κύματος και προς όλες τις πιθανές γωνίες. Αυτή η ιδιότητα μπορεί να μετρηθεί με τη διθεονική ανακλαστικότητα, η οποία κυμαίνεται από 0 έως 1 (χωρίς μονάδες). Με βάση τη Συνάρτηση Κατανομής Ανακλαστικότητας (BRDF) μιας συγκεκριμένης επιφάνειας, η ανακλαστικότητά της μπορεί να εκτιμηθεί από δεδομένα Earth Observation (EO) ως τον λόγο της συνολικής ανακλώμενης ενέργειας της επιφάνειας προς τη συνολική εισερχόμενη ενέργεια στην επιφάνεια (Lucht κ.ά., 2000). Για το έργο URBANFLUXES, η ανακλαστικότητα της επιφάνειας μπορεί να υπολογιστεί είτε με τη χρήση των μεθόδων που εφαρμόζονται στο ATCOR2, είτε με την προσέγγιση που περιγράφεται από τον Liang (2001). Στο μέλλον, αναμένεται ότι το μοντέλο DART θα παρέχει τις πιο ακριβείς εκτιμήσεις ανακλαστικότητας, τουλάχιστον για μικρές περιοχές.

Δείκτης οπτικής θέασης του ουρανού (sky view factor): Ο δείκτης οπτικής θέασης του ουρανού αναφέρεται στον λόγο μεταξύ του ουρανού που θεωρητικά μπορεί να είναι ορατός από ένα συγκεκριμένο σημείο και του πραγματικά ορατού ουρανού, λαμβάνοντας υπόψη την αναλογία ύψους προς πλάτος του κανόνα του δρόμου. Οι τιμές αυτού του δείκτη κυμαίνονται μεταξύ 0 και 1. Για το έργο URBANFLUXES, ο δείκτης οπτικής θέασης του ουρανού υπολογίζεται με βάση το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου υψηλής ανάλυσης, χρησιμοποιώντας τη μέθοδο που εφαρμόζεται στο UMEP.

Αναλογία ύψους φαραγγιού (canyon aspect ratio): Ο λόγος ύψους προς πλάτος του κανόνα ή η κλίμακα ύψους προς πλάτος του φαραγγιού υπολογίζεται με βάση το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου υψηλής ανάλυσης. Αυτός ο λόγος υπολογίζεται μέσω του δείκτη σχεδίασης εμβαδού, λαμβάνοντας υπόψη το ποσοστό της επιφάνειας του τοίχου σε σχέση με το συνολικό οριζόντιο εμβαδόν.

Μέσο ύψος κτηρίων/δέντρων (Mean Building/Tree height): Το μέσο ύψος των κτιρίων και/ή των δέντρων μπορεί να υπολογιστεί με βάση το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου υψηλής ανάλυσης, χρησιμοποιώντας μια μέθοδο στατιστικής ζώνης ή συγκέντρωσης.

3 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

Στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας επιλέχθηκε να γίνει εφαρμογή σε δύο (2) καλλικρατικούς δήμους της Περιφέρειας Αττικής, οι οποίοι εμφανίζουν διαφορετικά χαρακτηριστικά. Πιο συγκεκριμένα, επιλέχθηκε ο Δήμος Καλλιθέας, που είναι μια αμιγώς αστική περιοχή μέσα στο Λεκανοπέδιο, ενώ επιλέχθηκε και ο Δήμος Μαραθώνα, ο οποίος σε μεγάλο ποσοστό αποτελείται από φυσικές επιφάνειες.

3.1 Γενική περιγραφή περιοχών μελέτης

3.1.1 Καλλιθέα

Η Καλλιθέα είναι μία από τις κεντρικές και πολυπληθείς περιοχές της Αττικής, που βρίσκεται στα νότια προάστια της Αθήνας. Αποτελεί έναν από τους 58 δήμους του πολεοδομικού συγκροτήματος της Αθήνας και έχει έντονη αστική και ιστορική ταυτότητα.

Ιστορία

Η Καλλιθέα ιδρύθηκε το 1884 και το όνομά της σημαίνει "ωραία θέα", πιθανότατα λόγω της θέας προς τη θάλασσα και τον Σαρωνικό κόλπο που προσέφερε η περιοχή. Με την πάροδο των ετών, η περιοχή αναπτύχθηκε ραγδαία, ειδικά κατά τις δεκαετίες του 1920 και του 1930, με την άφιξη των προσφύγων από τη Μικρά Ασία μετά τη Μικρασιατική Καταστροφή.

Γεωγραφία και Τοποθεσία

Η Καλλιθέα βρίσκεται ανάμεσα στην Αθήνα και τον Πειραιά και συνορεύει με τις περιοχές του Νέου Κόσμου, του Ταύρου και του Μοσχάτου. Η θέση της αυτή την καθιστά στρατηγικό σημείο για μετακινήσεις και εμπορικές δραστηριότητες.

Πολιτισμός και Εκπαίδευση

Η Καλλιθέα είναι γνωστή για την πολυπολιτισμικότητά της και τον έντονο πολιτιστικό της χαρακτήρα. Στην περιοχή βρίσκονται σημαντικά εκπαιδευτικά ιδρύματα, όπως το Πανεπιστήμιο Πειραιώς και το Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο. Επιπλέον, η Στέγη Ιδρύματος Ωνάση, ένας από τους πιο σύγχρονους πολιτιστικούς χώρους της Αθήνας, βρίσκεται στην Καλλιθέα.

Υποδομές και Ανάπτυξη

Η περιοχή είναι άρτια οργανωμένη με πολλές δημόσιες υπηρεσίες, πάρκα, αθλητικές εγκαταστάσεις και εμπορικά κέντρα. Το παραλιακό μέτωπο της Καλλιθέας έχει αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια με την δημιουργία του Κέντρου Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος, που περιλαμβάνει την Εθνική Βιβλιοθήκη και την Εθνική Λυρική Σκηνή, και αποτελεί πλέον ένα από τα κυριότερα σημεία αναφοράς της περιοχής.

Κοινωνική Ζωή

Η Καλλιθέα διαθέτει μια έντονη κοινωνική ζωή με πολλές επιλογές για φαγητό, ψυχαγωγία και νυχτερινή ζωή. Η περιοχή φημίζεται για τις ταβέρνες, τα εστιατόρια και τα καφέ της, που συγκεντρώνουν κόσμο από όλη την Αθήνα.



Εικόνα 32 Πλατεία Δαβάκη Καλλιθέα – Πηγή: yrodomes.com



Εικόνα 33 Κέντρο Πολιτισμού Ίδρυμα Σταύρος Νιάρχος – Πηγή: Φωτογραφίες Google

3.1.2 Μαραθώνας

Ο Μαραθώνας είναι μια ιστορική πόλη της Αττικής, γνωστή κυρίως για τη

μάχη του Μαραθώνα το 490 π.Χ. και τον ομώνυμο Μαραθώνιο δρόμο.

Ιστορία

Η Μάχη του Μαραθώνα θεωρείται ένα από τα πιο σημαντικά γεγονότα της αρχαίας ελληνικής ιστορίας, καθώς αποτέλεσε ορόσημο για την υπεράσπιση της ελληνικής πόλης-κράτους από τις περσικές εισβολές. Σύμφωνα με τον μύθο, ο Αθηναίος δρομέας Φειδιππίδης έτρεξε από τον Μαραθώνα στην Αθήνα για να αναγγείλει τη νίκη, διανύοντας περίπου 42 χιλιόμετρα, απόσταση που αργότερα έγινε η βάση για τον σύγχρονο Μαραθώνιο.

Γεωγραφία και Τοποθεσία

Βρίσκεται περίπου 40 χιλιόμετρα βορειοανατολικά της Αθήνας. Ο Μαραθώνας περιλαμβάνει παραλίες, δάση και αγροτικές περιοχές.

Πολιτισμός και Εκπαίδευση

Ο Δήμος Μαραθώνα, πλούσιος σε πολιτιστική κληρονομιά και εκπαιδευτικές ευκαιρίες, φιλοξενεί σημαντικούς αρχαιολογικούς χώρους όπως ο Τύμβος των Αθηναίων και το Αρχαιολογικό Μουσείο Μαραθώνα, ενώ διοργανώνει πολιτιστικά φεστιβάλ και αθλητικές εκδηλώσεις, όπως ο Μαραθώνιος αγώνας. Οι πολιτιστικές του δομές περιλαμβάνουν το Λαογραφικό Μουσείο και πολιτιστικά κέντρα που προσφέρουν δραστηριότητες για την τοπική κοινότητα. Στον τομέα της εκπαίδευσης, διαθέτει δημοτικά σχολεία, γυμνάσια και λύκεια, ενώ υποστηρίζει εξωσχολικές δραστηριότητες, αθλητικές ομάδες και πολιτιστικά εργαστήρια. Η Δημοτική Βιβλιοθήκη παρέχει πλούσια συλλογή βιβλίων και εκπαιδευτικό υλικό, προωθώντας την ανάγνωση με προγράμματα φιλιαναγνωσίας.

Υποδομές και Ανάπτυξη

Ο Δήμος Μαραθώνα επενδύει σε υποδομές και αναπτυξιακές πρωτοβουλίες

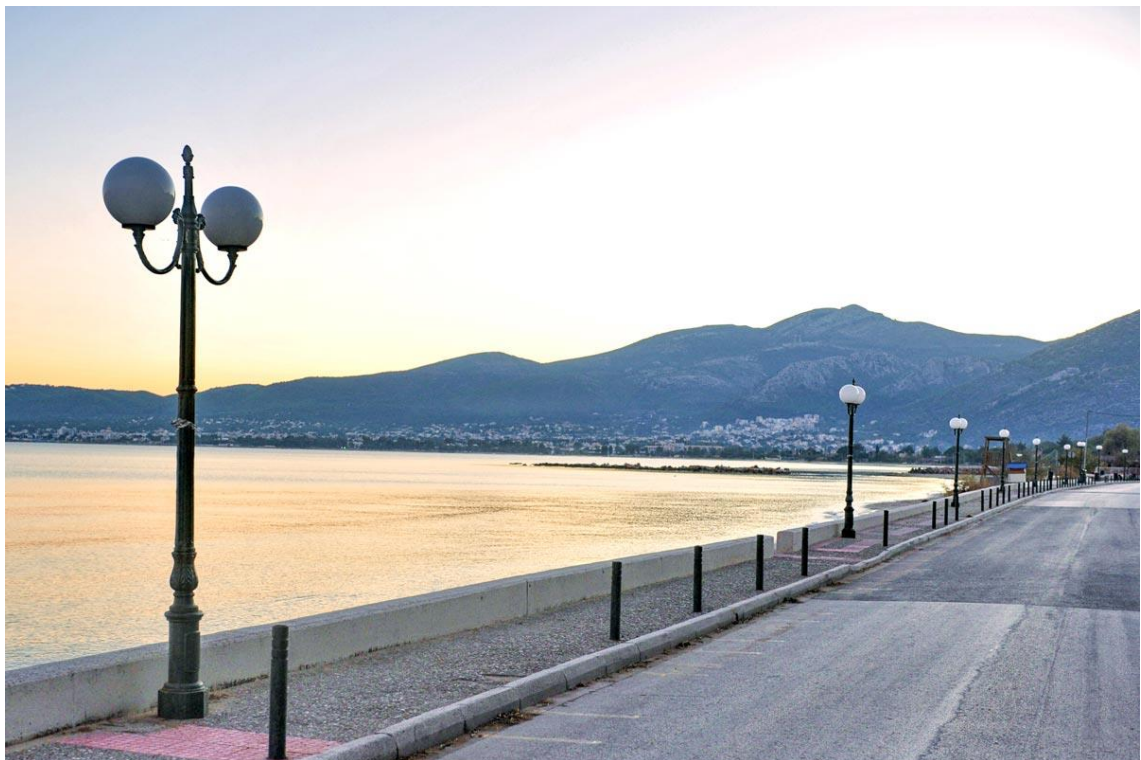
για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και την ενίσχυση της τοπικής οικονομίας. Οι υποδομές περιλαμβάνουν καλά ανεπτυγμένο οδικό δίκτυο, συστήματα υδροδότησης και αποχέτευσης, υγειονομικές υπηρεσίες, εκπαιδευτικές και αθλητικές εγκαταστάσεις, καθώς και πολιτιστικά κέντρα και μουσεία. Οι αναπτυξιακές πρωτοβουλίες επικεντρώνονται στον τουρισμό, την αγροτική ανάπτυξη, την περιβαλλοντική προστασία, την κοινωνική ένταξη και την ψηφιακή ανάπτυξη. Προωθείται η πολιτιστική κληρονομιά, η στήριξη των αγροτών, η προστασία των φυσικών πόρων και η χρήση ανανεώσιμων πηγών ενέργειας.

Κοινωνική Ζωή

Η κοινωνική ζωή στον Δήμο Μαραθώνα αναδεικνύει την πολυπολιτισμική του φύση μέσω διάφορων κοινοτικών δραστηριοτήτων και εκδηλώσεων. Τα πολιτιστικά κέντρα και οι αθλητικοί σύλλογοι αποτελούν κέντρα κοινωνικής δραστηριότητας, ενώ η παρουσία πλήθους καφέ και εστιατορίων προσφέρει ευκαιρίες για κοινωνική αλληλεπίδραση και αναψυχή. Οι κάτοικοι απολαμβάνουν ποικίλες πολιτιστικές εκδηλώσεις και φεστιβάλ, όπως ο Μαραθώνιος αγώνας και τοπικά πολιτιστικά γεγονότα, ενώ οι αρχαιολογικοί χώροι και τα μουσεία προσφέρουν ευκαιρίες για πολιτιστική ενημέρωση και εμπάθунση στην ιστορία της περιοχής.



Εικόνα 34 Τύμβος των Αθηναίων – Πηγή: Περιφέρεια Αττικής



Εικόνα 35 Παραλία Μαραθώνα – Πηγή: Δήμος Μαραθώνα

3.2 Μεθοδολογία: LCZ Generator

Ο LCZ Generator (lcz-generator.rub.de) είναι ένα εργαλείο που χρησιμοποιείται για την ταξινόμηση αστικών και φυσικών τοπίων σε διακριτές κλιματικές ζώνες με βάση τις φυσικές και θερμικές τους ιδιότητες. Οι LCZ έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν μια τυποποιημένη μέθοδο για τον χαρακτηρισμό του κλίματος διαφορετικών τύπων αστικών και αγροτικών περιβαλλόντων, βοηθώντας στη μελέτη των αστικών θερμικών νησίδων, στον αστικό σχεδιασμό και στη μοντελοποίηση του κλίματος.

Ακολουθούν τα κύρια στοιχεία και οι λειτουργίες του LCZ Generator:

Σχέδιο Ταξινόμησης: Οι LCZ κατηγοριοποιούνται σε ένα σύστημα 17 τυποποιημένων τύπων, που περιλαμβάνουν διάφορους τύπους δομημένων περιοχών (π.χ. συμπαγή πολυώροφα, αραιά χαμηλά κτίρια) και τύπους κάλυψης γης (π.χ. πυκνά δέντρα, υδάτινα σώματα). Κάθε ζώνη ορίζεται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, όπως ύψος κτιρίων, κάλυψη επιφάνειας και βλάστηση.

Είσοδοι Δεδομένων: Ο LCZ Generator απαιτεί διάφορους τύπους εισόδων δεδομένων για την ακριβή ταξινόμηση των ζωνών. Αυτές οι εισοδοί συνήθως περιλαμβάνουν δεδομένα τηλεπισκόπησης, όπως δορυφορικές εικόνες, και δεδομένα συστημάτων γεωγραφικών πληροφοριών (GIS), όπως χάρτες χρήσης γης και κάλυψης γης.

Αυτοματοποιημένη Επεξεργασία: Ο LCZ Generator αυτοματοποιεί την επεξεργασία των εισαγόμενων δεδομένων για να αναγνωρίσει και να ταξινομήσει τις διάφορες ζώνες. Αυτό περιλαμβάνει αλγόριθμους που αναλύουν τα χωρικά και φυσικά χαρακτηριστικά του τοπίου.

Χαρτογράφηση και Οπτικοποίηση: Η έξοδος του LCZ Generator είναι συχνά υπό μορφή χαρτών και οπτικοποιήσεων που εμφανίζουν τις ταξινομημένες ζώνες. Αυτοί οι χάρτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον αστικό σχεδιασμό, περιβαλλοντικές αξιολογήσεις και έρευνες κλίματος.

Εφαρμογές: Η ταξινόμηση LCZ είναι χρήσιμη για ποικίλες εφαρμογές, συμπεριλαμβανομένων:

- **Μελέτες Αστικού Κλίματος:** Κατανόηση της επίδρασης της αστικοποίησης στο τοπικό κλίμα.
- **Αστικός Σχεδιασμός:** Πληροφορίες για την αειφόρο αστική ανάπτυξη και τον σχεδιασμό χρήσης γης.
- **Μοντελοποίηση Κλίματος:** Βελτίωση της ακρίβειας των κλιματικών μοντέλων μέσω της ενσωμάτωσης λεπτομερών δεδομένων αστικού τοπίου.
- **Μελέτες Θερμικών Νησίδων:** Ανάλυση του φαινομένου της αστικής θερμικής νησίδας και ανάπτυξη στρατηγικών μετριασμού.

Εργαλεία και Πλατφόρμες: Ο LCZ Generator μπορεί να υλοποιηθεί χρησιμοποιώντας διάφορα εργαλεία και πλατφόρμες λογισμικού. Παραδείγματα περιλαμβάνουν λογισμικό GIS όπως το QGIS ή το ArcGIS, πλατφόρμες τηλεπισκόπησης και εξειδικευμένα εργαλεία χαρτογράφησης LCZ που παρέχονται από ερευνητικά ιδρύματα ή οργανισμούς.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Ταξινόμηση περιοχής μελέτης σε Τοπικές Κλιματικές Ζώνες

Προκειμένου να ταξινομηθεί η περιοχή μελέτης μας σε Τοπικές Κλιματικές Ζώνες, χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό Google Earth Pro. Η διαδικασία ταξινόμησης πραγματοποιήθηκε μέσω του έτοιμου προτύπου που ήταν διαθέσιμο στην ιστοσελίδα του LCZ Generator. Έτσι, για κάθε οικοδομικό τετράγωνο της περιοχής, δημιουργήθηκε πολύγωνο ανάλογο με την κλιματική ζώνη στην οποία αυτό άνηκε.

Αφού ολοκληρώθηκε η διαδικασία δημιουργίας των πολυγώνων και συνάμα του αρχείου .kml, αυτό υποβλήθηκε στην ειδική πλατφόρμα LCZ Generator, όπου συμπληρώθηκαν όλα τα απαραίτητα στοιχεία και ανέβηκε το αρχείο.

Μετά την υποβολή, έρχεται στην αλληλογραφία μας ένας φάκελος σε μορφή .zip, ο οποίος περιλαμβάνει τον τελικό χάρτη LCZ, καθώς και άλλα απαραίτητα έγγραφα. Η ίδια διαδικασία επαναλήφθηκε και για τις δύο περιοχές μελέτης.

Τα δυο σενάρια που υλοποιήθηκαν για την περιοχή της Καλλιθέας, είναι τα εξής:

- **Σενάριο 1:** Δημιουργήθηκαν μεγαλύτερα πολύγωνα και έτσι η ταξινόμηση δεν έγινε ανά οικοδομικό τετράγωνο της περιοχής.
- **Σενάριο 2:** Δημιουργήθηκαν πολύγωνα με βάση τα οικοδομικά τετράγωνα της περιοχής.

Στην επόμενη παράγραφο παρουσιάζονται αναλυτικά τα σχετικά αποτελέσματα για κάθε περιοχή.

4.2 Τοπικές Κλιματικές Ζώνες Δ. Καλλιθέας

Στο πρώτο σενάριο, δημιουργήθηκαν πολύγωνα, κάθε ένα από τα οποία περιλαμβάνει περισσότερα του ενός οικοδομικά τετράγωνα.



Εικόνα 36 Σενάριο 1

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο υποβάλλεται το αρχείο .kmz που δημιουργήθηκε από το Google Earth Pro. Όπως φαίνεται, συμπληρώνονται τα στοιχεία του δημιουργού, οι πληροφορίες της εν λόγω περιοχής, επιλέγεται το επιθυμητό αρχείο και συμπληρώνεται η ημερομηνία δημιουργίας του (Εικόνα 37).

Αφού υποβληθεί το αρχείο, ο δημιουργός λαμβάνει στην αλληλογραφία του έναν συμπιεσμένο φάκελο σε μορφή .zip, μέσα στον οποίο υπάρχει ο φάκελος,

ο οποίος περιλαμβάνει τον τελικό χάρτη των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών της περιοχής και το διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης για κάθε ζώνη. Αυτά φαίνονται στις δυο επόμενες εικόνες (Εικόνα 38).

LCZ Generator Home Training area submission Submissions Global LCZ Map FAQ

LCZ Training Area Submission

1. Personal Information

First Name * Last Name * E-mail Address *

2. Training Area Information

Continent * Country *

City Name *

Upload kmz/kml file * Representative date of Training Areas *

3. Add Additional Information

Reference

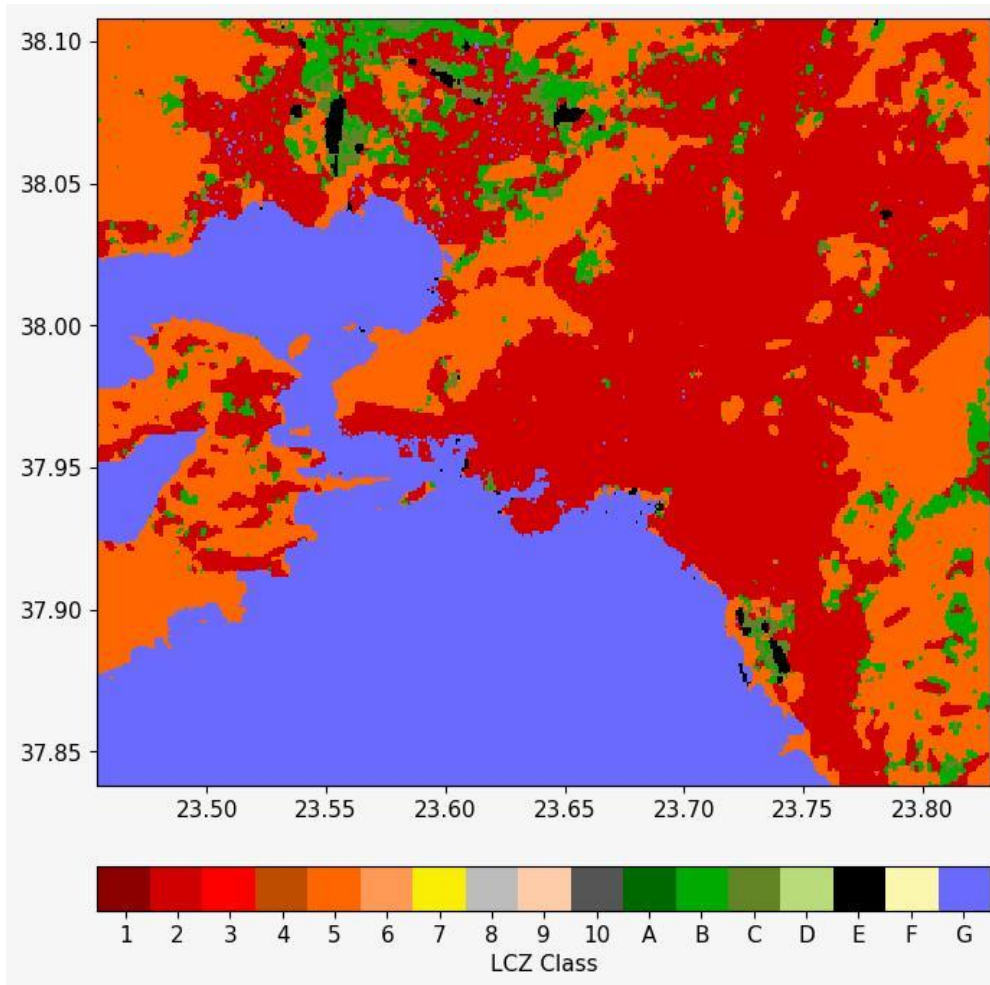
Reference for training area file
- Please provide a DOI if available
- If not, provide a full reference including a link that points to the resource
- If there is no reference at all, leave it blank

Remarks

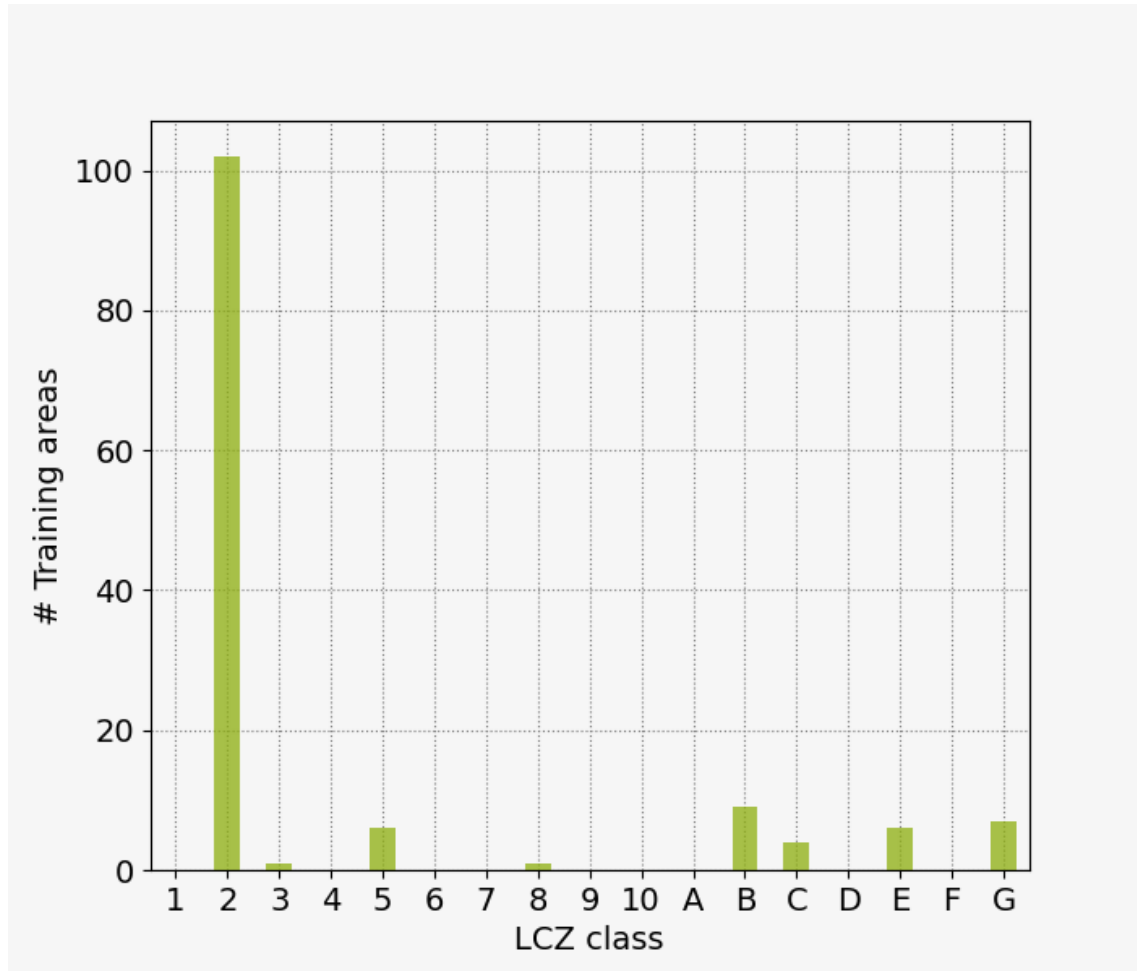
Add co-authors: firstname, lastname (if multiple, separate them with :)
Add anything else to describe your training areas

I consent to show my name in the submission table and in the LCZ-Factsheet ?
 I consent to the Terms of Service and Declaration of Consent and have read the Attribution Guidelines *

Εικόνα 37 Υποβολή αρχείου Σεναρίου 1



Εικόνα 38 Τελικός χάρτης Σεναρίου 1



Εικόνα 39 Συχνότητα εμφάνισης ζωνών σεναρίου 1

Στο δεύτερο σενάριο, δημιουργήθηκαν πολύγωνα με βάση τα οικοδομικά τετράγωνα της περιοχής.

Ομοίως με το Σενάριο 1, στην Εικόνα 41 παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο υποβάλλεται το αρχείο .kmz που δημιουργήθηκε από το Google Earth Pro.

«Ταξινόμηση του Αστικού Περιβάλλοντος βάσει Τοπικών Κλιματικών Ζωνών και
Διεθνείς Πρακτικές για την Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή»



Εικόνα 40 Σενάριο 2

LCZ Generator Home Training area submission Submissions Global LCZ Map FAQ

LCZ Training Area Submission

1. Personal Information

First Name * Last Name * E-mail Address *

2. Training Area Information

Continent * Country *

City Name *

Upload kmz/kml file * Representative date of Training Areas *

3. Add Additional Information

Reference

Reference for training area file
- Please provide a DOI if available
- If not, provide a full reference including a link that points to the resource
- If there is no reference at all, leave it blank

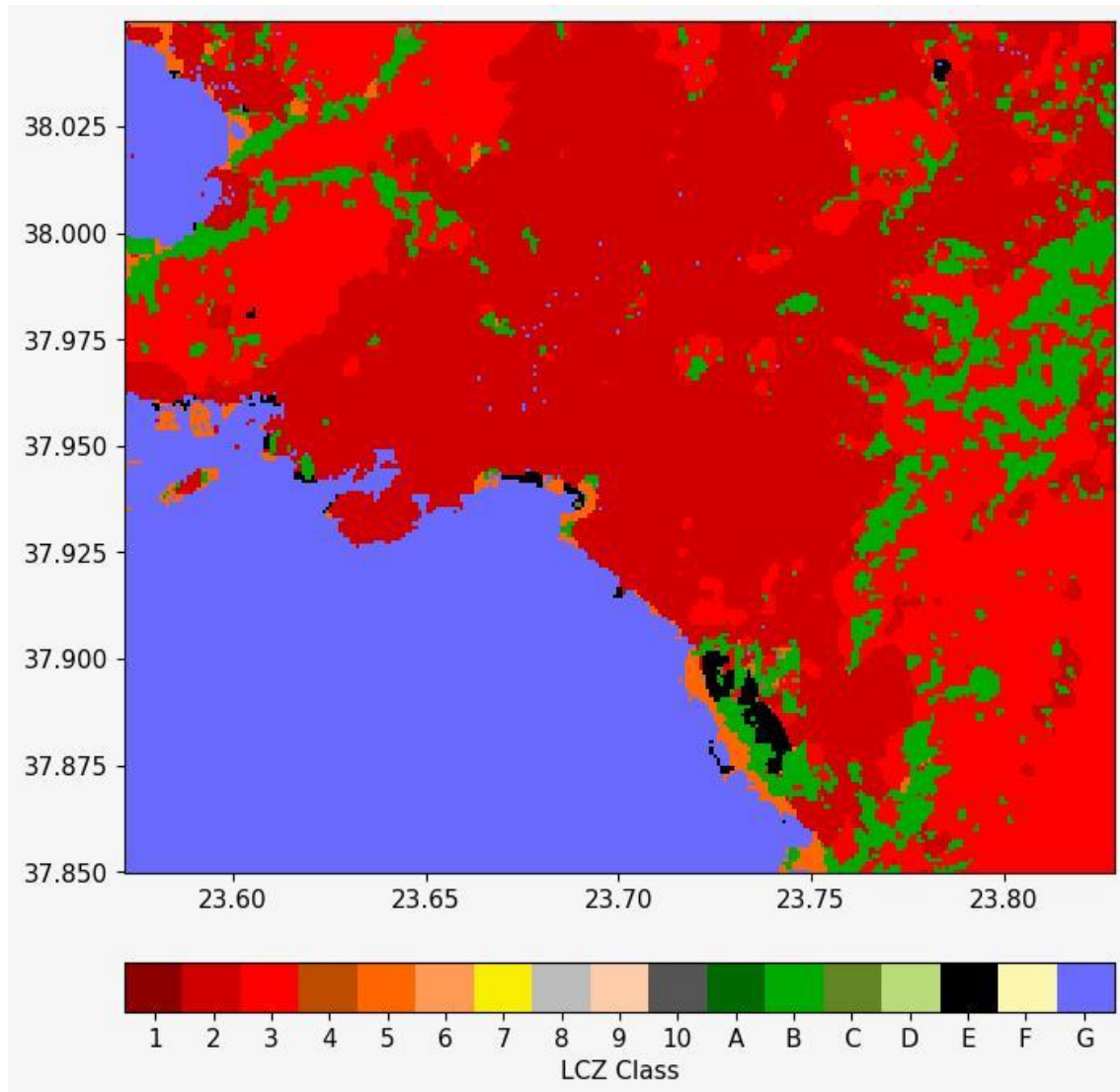
Remarks

Add co-authors: firstname, lastname (if multiple, separate them with ;)
Add anything else to describe your training areas

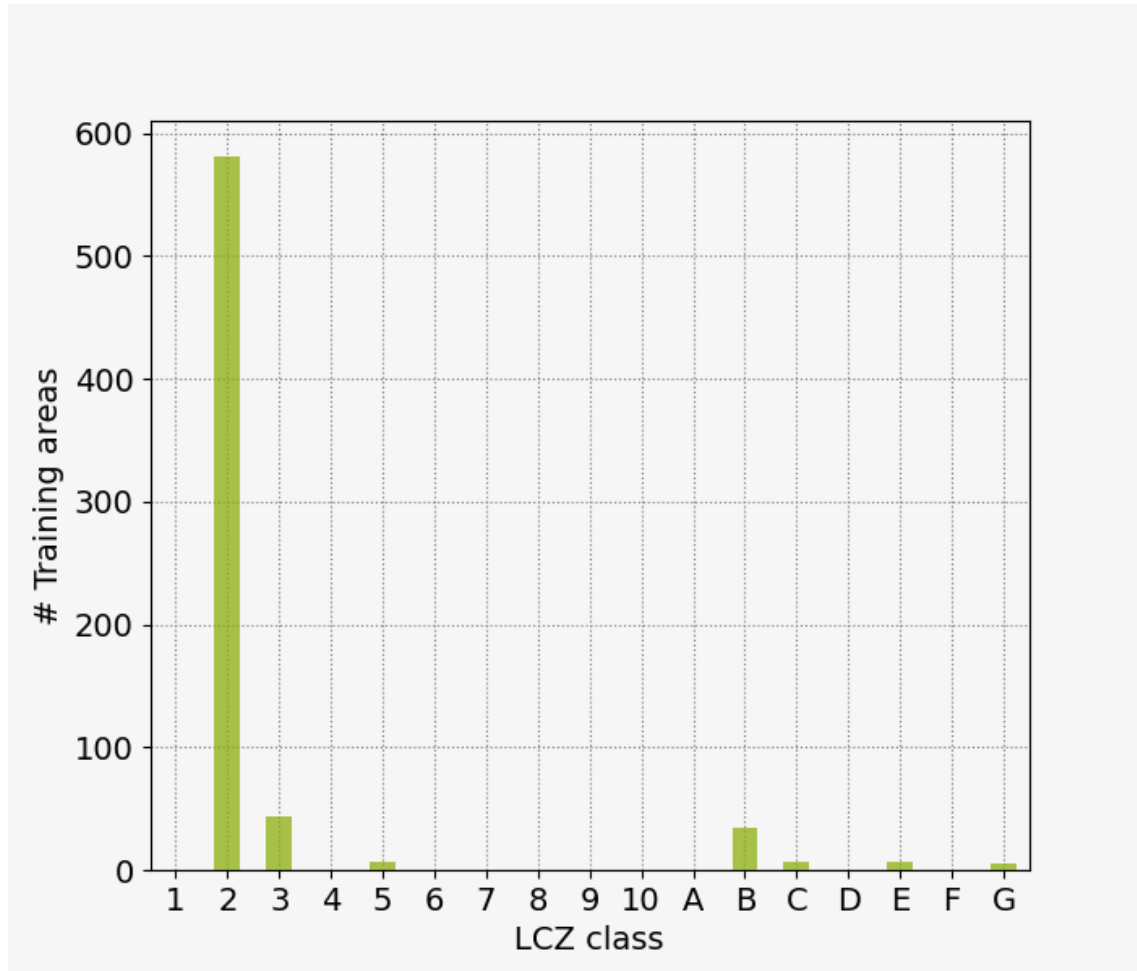
I consent to show my name in the submission table and in the LCZ-Factsheet ?
 I consent to the Terms of Service and Declaration of Consent and have read the Attribution Guidelines *

Εικόνα 41 Υποβολή αρχείου Σεναρίου 2

Στις παρακάτω δυο εικόνες, όπως και στο Σενάριο 1 παρουσιάζονται ο τελικός χάρτης των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών της περιοχής και το διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης για κάθε ζώνη.



Εικόνα 42 Τελικός χάρτης Σεναρίου 2



Εικόνα 43 Συχνότητα εμφάνισης ζωνών σεναρίου 2

4.3 Τοπικές Κλιματικές Ζώνες Δ. Μαραθώνα

Όπως και στο Δήμο Καλλιθέας, έτσι και στο Δήμο Μαραθώνα, δημιουργήθηκαν πολύγωνα με βάση τα οικοδομικά τετράγωνα, με εξαίρεση την περιοχή του πρασίνου, όπου εκεί δημιουργήθηκαν τυχαία πολύγωνα.



Εικόνα 44 LCZ Δήμου Μαραθώνα

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο υποβάλλεται το αρχείο .kmz που δημιουργήθηκε από το Google Earth Pro. Όπως

παρουσιάστηκε προηγουμένως, συμπληρώνονται τα στοιχεία του δημιουργού, οι πληροφορίες της εν λόγω περιοχής, επιλέγεται το επιθυμητό αρχείο και συμπληρώνεται η ημερομηνία δημιουργίας του.

LCZ Generator Home Training area submission Submissions Global LCZ Map FAQ

LCZ Training Area Submission

1. Personal Information

First Name * Last Name * E-mail Address *

Maria Kosior geo19391010@uniwa.gr

2. Training Area Information

Continent * Country *

Europe Greece, Hellenic Republic

City Name *

Marathonas

Upload kmz/kml file * Representative date of Training Areas *

Περιήγηση... | MARATHONAS | [080724] | [MariaKosior] kmz 08/07/2024

3. Add Additional Information

Reference

Reference for training area file

- Please provide a DOI if available
- If not, provide a full reference including a link that points to the resource
- If there is no reference at all, leave it blank

Remarks

Add co-authors: first name, last name (if multiple, separate them with ;)

Add anything else to describe your training areas

I consent to show my name in the submission table and in the LCZ-Factsheet *

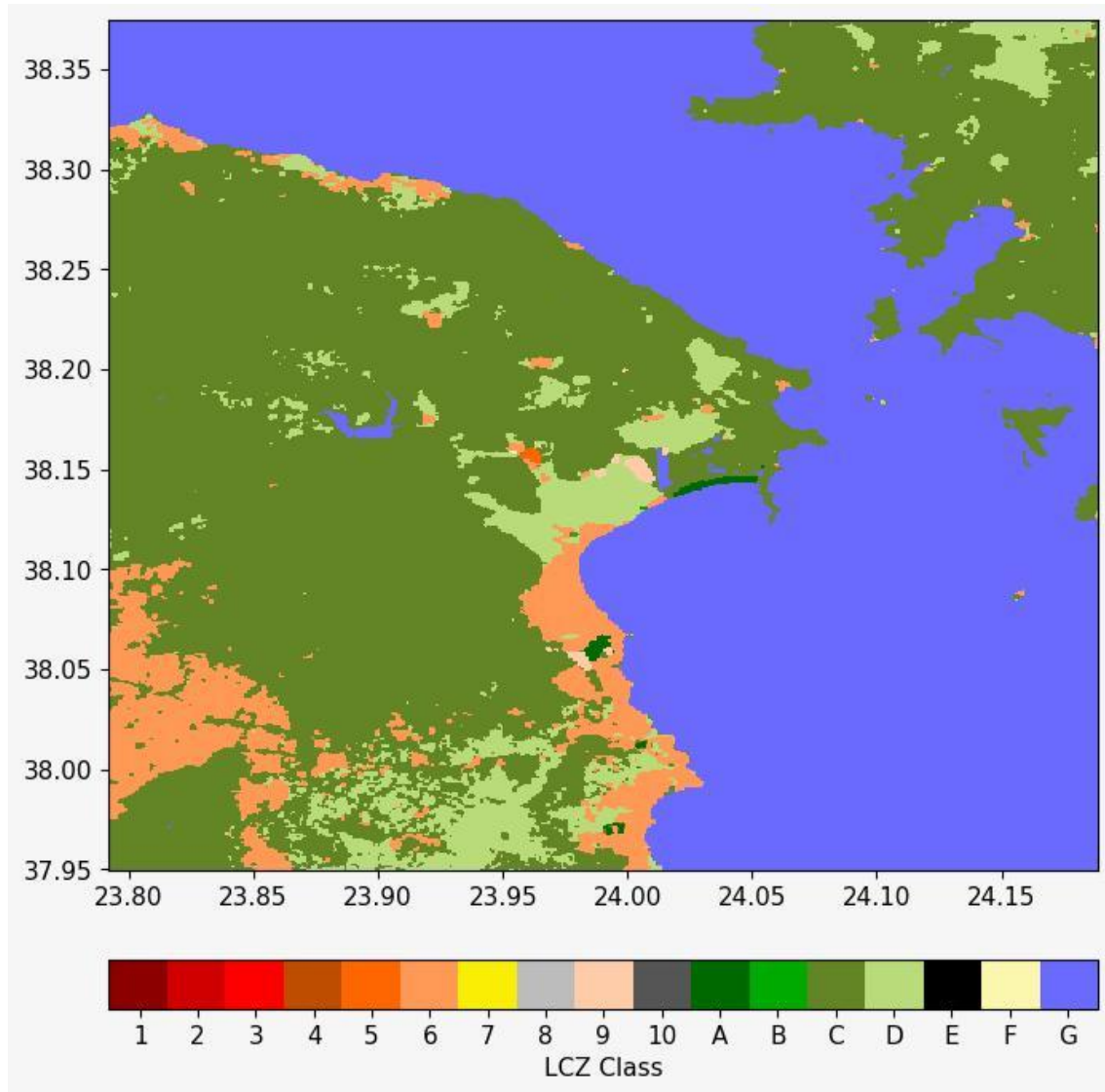
I consent to the Terms of Service and Declaration of Consent and have read the Attribution Guidelines *

Submit Training Areas

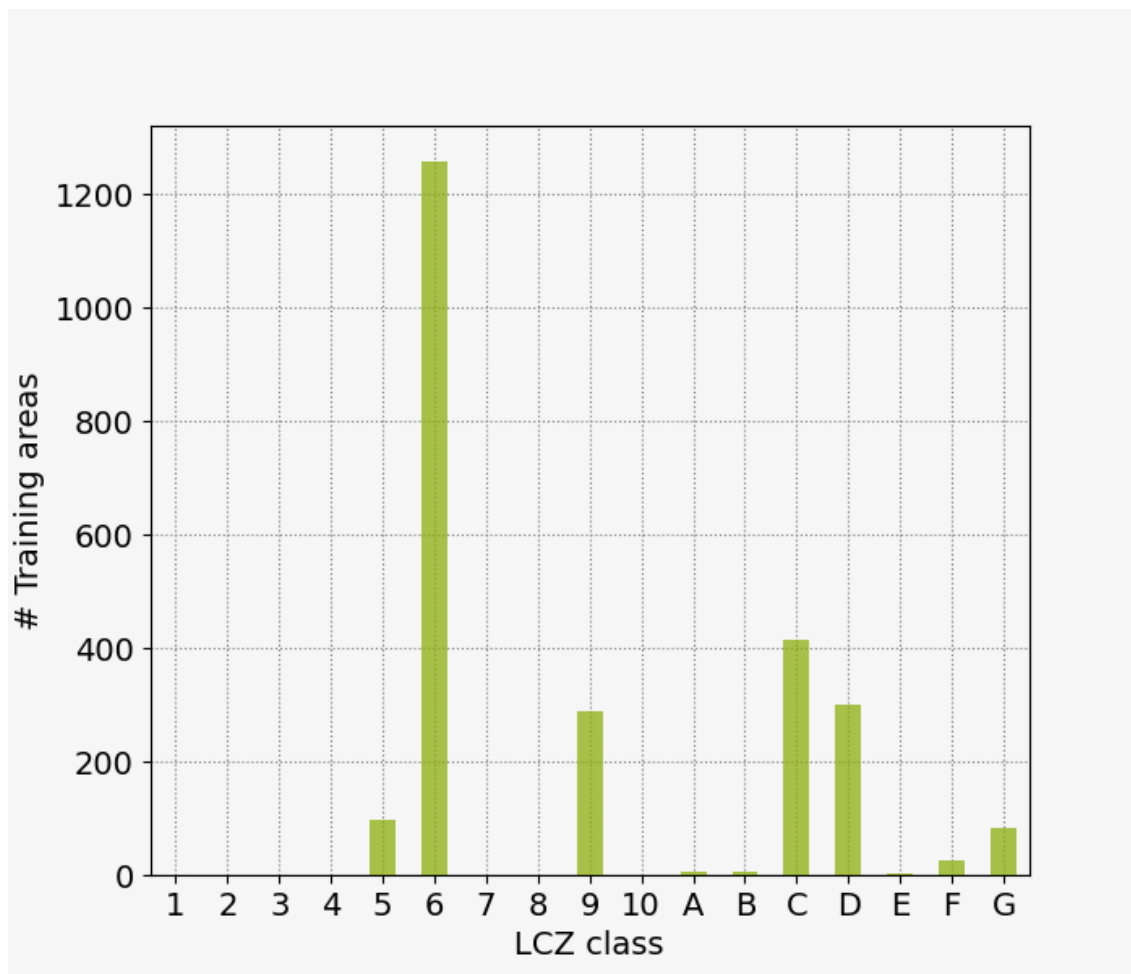
Privacy Note Terms of Service RUB Climatology WUDAPT Twitter Create issue on Github

Εικόνα 45 Υποβολή αρχείου

Αφού υποβληθεί το αρχείο, ο δημιουργός λαμβάνει στην αλληλογραφία του με όμοιο τρόπο με τον Δήμο της Καλλιθέας έναν συμπιεσμένο φάκελο σε μορφή .zip, μέσα στον οποίο υπάρχει ο φάκελος, ο οποίος περιλαμβάνει τον τελικό χάρτη των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών της περιοχής και το διάγραμμα συχνότητας εμφάνισης για κάθε ζώνη. Τα αποτελέσματα φαίνονται στις επόμενες δυο εικόνες.



Εικόνα 46 Τελικός χάρτης



Εικόνα 47 Συχνότητα εμφάνισης ζωνών

4.4 Συζήτηση επί των αποτελεσμάτων

Όπως παρατηρείται και από τα δυο γραφήματα για την περιοχή της Καλλιθέας, το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής ανήκει στην Τοπική Κλιματική Ζώνη 2, δηλαδή Πυκνή δόμηση με μεσαίου ύψους κτήρια (Compact Midrise). Αυτό συμβαίνει διότι, ως αστική περιοχή διαθέτει πυκνή διάταξη από μεσαίου ύψους κτήρια (3-9 ορόφων), λίγα ή καθόλου δέντρα και η κάλυψη γης είναι κυρίως πλακόστρωτη.

Στο πρώτο σενάριο η ακρίβεια είναι 0.92, ενώ στο δεύτερο είναι 0.85. Άρα, με τα μεγαλύτερα πολύγωνα έχουμε λίγο καλύτερη ακρίβεια.

Λόγω δυσλειτουργίας της εφαρμογής, ο τελικός χάρτης δεν αφορά μόνο τη δική μας περιοχή μελέτης, δηλαδή την Καλλιθέα, αλλά την ευρύτερη περιοχή των Αθηνών.

Όπως παρατηρείται από το γράφημα για την περιοχή του Μαραθώνα, το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής ανήκει στην Τοπική Κλιματική Ζώνη 6, δηλαδή αραιή δόμηση με μικρού ύψους κτήρια (Open Lowrise). Αραιή διάταξη χαμηλών κτηρίων (1-3 ορόφων).

Σε αυτή την περίπτωση η ακρίβεια είναι 0.81.

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω, η ταξινόμηση των LCZ παρέχει σημαντική πληροφορία ως προς τη μορφολογία δόμησης του πολεοδομικού περιβάλλοντος του αστικού συγκροτήματος της Αθήνας, η οποία μπορεί να αντιστοιχηθεί και σε διαφορετική μικροκλιματική συμπεριφορά. Παρά ταύτα, όσον αφορά την περιγραφή των κεντρικών περιοχών του ΠΣΠ, οι Τοπικές Κλιματικές Ζώνες δεν δύνανται να αποτυπώσουν τη χωρική μεταβλητότητα της αστικής μορφολογίας και λειτουργίας των επιμέρους περιοχών. Αυτό προκύπτει σε μεγάλο βαθμό από το γεγονός ότι το σχήμα ταξινόμησης LCZ παρουσιάζει σημαντικό εύρος τιμών ανά τάξη και από τα ειδικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. (Αγαθαγγελίδης, 2020)

Με βάση τις τεχνικές που παρουσιάζονται οι Remote Sensing data based προσεγγίσεις δύναται να οδηγήσουν σε γενικεύσεις κ να χαθεί πληροφορία λόγω κλίμακας, κάτι που αποφεύγεται κατά την χειροκίνητη αξιολόγηση της περιοχής. Ότι αφορά σε περιφερειακό επίπεδο, προτείνεται η υιοθέτηση ανάλογων προσεγγίσεων, που όμως όταν η εφαρμογή υποβιβάζεται σε κλίμακα Δήμου για παράδειγμα, τότε απαιτείται επανέλεγχος.

Το αρχείο athenstif που δημιουργήθηκε κατά την πρώτη φάση του Προγράμματος Climpack (data.climpack.gr), χρησιμοποιήθηκε ώστε να γίνει μια σύγκριση μεταξύ των ζωνών του αρχείου αυτού και του αρχείου .kmz που δημιουργήθηκε για την περιοχή της Καλλιθέας. Έτσι, συντάχθηκε χάρτης στον οποίο φαίνονται τα δυο αυτά αρχεία και είναι εμφανείς οι διαφορές τους. Στο υπόμνημα του χάρτη φαίνονται τα δυο επίπεδα, LCZ_Kallithea και athenstif_LCZ. Η ζώνη 0 στο επίπεδο LCZ_Kallithea αντιστοιχεί στη ζώνη 1 στο επίπεδο athenstif_LCZ κ.ο.κ.

Χρησιμοποιήθηκαν τα ίδια χρώματα, ώστε να είναι πιο εύκολο να εντοπιστούν οι διαφορές που συνδέονται με την διαφορετική κλίμακα ανάλυσης και με τα δεδομένα εισόδου. Έτσι, παραδείγματος χάρη, περιοχές που αποτυπώνονται με πολύγωνα τα οποία στο αρχείο .kmz ανήκουν στην Ζώνη 0, στο αρχείο .tif ανήκουν στις ζώνες 5 και 7. Η παρούσα εφαρμογή οδήγησε σε πιο ακριβή εκτίμηση, αφού βασίστηκε απευθείας στο υπόβαθρο Google Earth, ωστόσο ενδείκνυται σε πιο στοχευμένες εφαρμογές (πχ. Σε επίπεδο δήμου, όπως στην παρούσα ανάλυση), σε αντίθεση με την προσέγγιση του Climpack (2020) που μπορεί να δώσει μια πρώτη εικόνα των κλιματικών ζωνών για ευρύτερες γεωγραφικές περιοχές (πχ. Λεκανοπέδιο Αττικής). Η αντιστοιχία των ζωνών για τα δυο επίπεδα φαίνεται στους δυο (2) παρακάτω πίνακες:

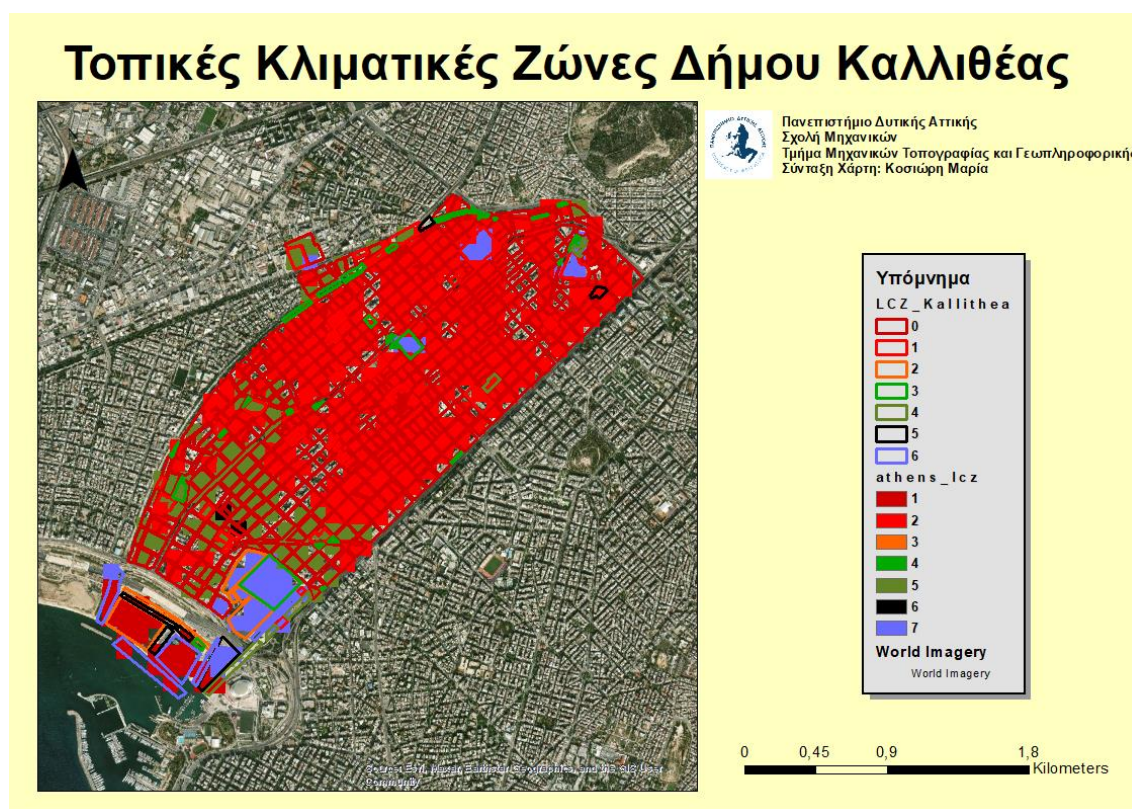
Πίνακας 18 Αντιστοιχία Τοπικών Κλιματικών Ζωνών με LCZ_Kallithea

LCZ_Kallithea	
0	Τοπική Κλιματική Ζώνη 2
1	Τοπική Κλιματική Ζώνη 3
2	Τοπική Κλιματική Ζώνη 5
3	Τοπική Κλιματική Ζώνη B
4	Τοπική Κλιματική Ζώνη C
5	Τοπική Κλιματική Ζώνη E
6	Τοπική Κλιματική Ζώνη G

Πίνακας 19 Αντιστοιχία Τοπικών Κλιματικών Ζωνών με athens_lcz

athens_lcz	
1	Τοπική Κλιματική Ζώνη 2
2	Τοπική Κλιματική Ζώνη 3
3	Τοπική Κλιματική Ζώνη 5
4	Τοπική Κλιματική Ζώνη Β
5	Τοπική Κλιματική Ζώνη C
6	Τοπική Κλιματική Ζώνη Ε
7	Τοπική Κλιματική Ζώνη G

Ο χάρτης είναι ο ακόλουθος:



Εικόνα 48 Τοπικές Κλιματικές Ζώνες Δήμου Καλλιθέας

Η αμιγώς αστική περιοχή, δηλαδή ο Δήμος Καλλιθέας εμφανίζει μεγαλύτερη συχνότητα στις κλάσεις 2 και 3 με ποσοστά 85% και 6% αντίστοιχα (εικόνα 43), ενώ ο Δήμος Μαραθώνα εμφανίζει μεγαλύτερη συχνότητα στις κλάσεις 6 και C με ποσοστά 50% και 17% αντίστοιχα (εικόνα 47).

Εστιάζοντας στις περιοχές υψηλής προτεραιότητας από άποψη τύπου κλιματικής ζώνης, για τους δύο δήμους που πραγματοποιήθηκε η εφαρμογή, η Καλλιθέα σχεδόν στο σύνολο της αποτελείται από την κλάσεις τύπου 2 και 3. Για αυτό το λόγο επιβάλλονται μικρής κλίμακας παρεμβάσεις όπως πάρκα τσέπης, αλλαγές στα υλικά, χρήση δροσερών στεγών στα κτίρια κλπ. Αντίθετα, ο Μαραθώνας αποτελείται κυρίως από τις κλάσεις 6 και C με αποτέλεσμα οι συνθήκες εντός του αστικού ιστού να κρίνονται αποδέκτες, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι η περιοχή περικλείεται σε μεγάλο ποσοστό από δασική έκταση.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

5.1 Σύνοψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία έγινε μια προσπάθεια ταξινόμησης του Αστικού Περιβάλλοντος βάσει της προσέγγισης των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών με περιοχές εφαρμογής τους Δήμους Καλλιθέας και Μαραθώνα,, και επίσης αναλύθηκαν καλές πρακτικές που εφαρμόζονται διεθνώς για την προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή.

Οι δυο αυτές περιοχές επιλέχθηκαν λόγω των διαφορετικών χαρακτηριστικών τους. Η πρώτη είναι μια αμιγώς αστική περιοχή στο Λεκανοπέδιο της Αττικής, ενώ η δεύτερη είναι μια περιοχή, η οποία σε μεγάλο ποσοστό αποτελείται από φυσικές επιφάνειες.

Στην παρούσα ανάλυση έγινε χρήση του προτύπου που παρέχεται μέσω της εφαρμογής LCZ Generator στο Google Earth Pro, και έτσι δημιουργήθηκαν πολύγωνα για κάθε περιοχή, κάθε ένα από τα οποία αντιστοιχεί σε μια Τοπική Κλιματική Ζώνη. Για την περιοχή της Καλλιθέας πραγματοποιήθηκε ακόμα σύγκριση των αποτελεσμάτων με προγενέστερη ανάλυση που υλοποιήθηκε σε διαφορετική χωρική κλίμακα.

Για λόγους πληρότητας, στην παρούσα διπλωματική εργασία αναλύονται τέλος οι τρόποι με τους οποίους οι χώρες μπορούν να προσαρμοστούν στην Κλιματική Αλλαγή, καθώς επίσης αναφέρονται και παραδείγματα πρακτικών, τις οποίες έχουν εφαρμόσει διάφορες χώρες στον κόσμο, στο πλαίσιο της αναβάθμισης των χαρακτηριστικών του κλίματος εντός πόλης.

5.2 Συμπεράσματα

Οι Τοπικές Κλιματικές Ζώνες είναι ένα χρήσιμο εργαλείο για την Ταξινόμηση του Αστικού περιβάλλοντος, στο πλαίσιο χωρικού σχεδιασμού, λήψης απόφασης και ιεράρχησης παρεμβάσεων κατά τη δημιουργία βιώσιμων πόλεων. Συμβάλλουν ως ένα πρώτο βήμα στον βέλτιστο πολεοδομικό σχεδιασμό και στις στοχευμένες αναπλάσεις εντός αστικού περιβάλλοντος.

Ειδικότερα αναφορικά με τη μεθοδολογία που εφαρμόστηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, αναδείχθηκε το χαρακτηριστικό πως, οι τεχνικές που χρησιμοποιούν δεδομένα από δορυφορικές παρατηρήσεις μπορούν να οδηγήσουν σε γενικεύσεις και απώλεια πληροφοριών λόγω της κλίμακας. Αυτή η απώλεια πληροφοριών μπορεί να αποφευχθεί με χειροκίνητη αξιολόγηση της περιοχής που όμως είναι πιο χρονοβόρα διαδικασία και η ακρίβειά της εφαρμογής εξαρτάται από την εμπειρία του αναλυτή. Για παράδειγμα, σε περιφερειακό επίπεδο, προτείνεται η χρήση τεχνικών που αξιοποιούν δορυφορικά δεδομένα και παράγουν μαζικά ένα αποτέλεσμα, αλλά σε κλίμακα περιοχής περιορισμένης έκτασης, όπως σε επίπεδο Δήμου, υπάρχουν περιορισμοί λόγω της ανάλυσης των δεδομένων εισόδου, οι οποίοι ξεπερνούνται με αναλύσεις όπως η παρούσα.

Η ταξινόμηση των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών παρέχει σημαντικές πληροφορίες για τη μορφολογία και την αστική δομή, οι οποίες μπορούν να συνδεθούν με διαφορετικές μικροκλιματικές συμπεριφορές. Ωστόσο, για την περιοχή της Αθήνας που παρουσιάστηκε, φάνηκε πως για τις κεντρικές περιοχές της πόλης, οι Τοπικές Κλιματικές Ζώνες δεν μπορούν να αποτυπώσουν πλήρως τη χωρική ποικιλότητα της αστικής μορφολογίας και λειτουργίας. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό στο εύρος των τιμών που παρουσιάζει το σύστημα ταξινόμησης των Τοπικών Κλιματικών Ζωνών και

στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, όπως σημειώθηκε και από άλλους επιστήμονες (Αγαθαγγελίδης, 2020).

5.3 Προτάσεις για μελλοντική έρευνα

Η παρούσα διπλωματική εργασία προσφέρει ένα γενικό πλαίσιο αξιοποίησης της θεωρίας των τοπικών κλιματικών ζωνών, όπως και της υλοποίησης της σχετικής μεθοδολογίας και της επέκτασής της σε άλλες περιοχές.

Στο πλαίσιο αυτό, διατυπώνονται οι ακόλουθες προτάσεις για μελλοντική έρευνα:

- Ολοκληρωμένη εφαρμογή της μεθοδολογίας σε επίπεδο Περιφέρειας.
- Διερεύνηση διαφορετικών μεθοδολογικών προσεγγίσεων σε διαφορετικά επίπεδα ανάλυσης και αξιολόγηση με παρατηρήσεις πεδίου.
- Αξιοποίηση αποτελεσμάτων για τον καθορισμό περιοχών υψηλής προτεραιότητας στο πλαίσιο της προώθησης πράσινων παρεμβάσεων εντός του αστικού χώρου.
- Μακροπρόθεσμη παρακολούθηση του παραπάνω πλαισίου, μέσω της παρακολούθησης της θερμοκρασίας και άλλων παραμέτρων (θερμικές εκπομπές κλπ.) στις αστικές περιοχές, μέσα από την αξιοποίηση μεθόδων τηλεπισκόπησης (πχ. Θερμικές εικόνες από drones/ UAV) και παρατηρήσεων επίγειων μετεωρολογικών σταθμών.

5.4 Διεθνείς πρακτικές για προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή

5.4.1 Γενική επισκόπηση

Η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή περιλαμβάνει στρατηγικές και δράσεις για τον μετριασμό των αρνητικών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής σε φυσικά και ανθρώπινα συστήματα. Έχουν αναπτυχθεί διάφορες διεθνείς πρακτικές για την αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων, συχνά προσαρμοσμένες σε συγκεκριμένες περιοχές, κοινότητες και οικοσυστήματα. Ακολουθούν ορισμένες από τις σημαντικότερες διεθνείς πρακτικές για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή:

1. Εθνικά Σχέδια Προσαρμογής (NAPs)

Σύμφωνα με την Σύμβαση των Ηνωμένων Εθνών για την Κλιματική Αλλαγή (unfccc.int), οι χώρες αναπτύσσουν NAPs για να προσδιορίσουν μεσοπρόθεσμες και μακροπρόθεσμες ανάγκες και στρατηγικές προσαρμογής. Αυτά τα σχέδια περιλαμβάνουν συχνά:

- Αξιολόγηση ευπαθειών και κινδύνων.
- Προτεραιοποίηση δράσεων προσαρμογής.
- Ενσωμάτωση της προσαρμογής στις εθνικές πολιτικές και προγράμματα.

2. Προσαρμογή με Βάση το Οικοσύστημα (EbA)

Όπως αναφέρει η Διεθνής Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης (iucn.org), η EbA (Ecosystem-based Adaptation) χρησιμοποιεί τη βιοποικιλότητα και τις οικοσυστημικές υπηρεσίες για να βοηθήσει τις κοινότητες να προσαρμοστούν στην κλιματική αλλαγή. Παραδείγματα περιλαμβάνουν:

- Αποκατάσταση μαγκροβίων για την προστασία των ακτών από καταιγίδες.
- Αναδάσωση για την πρόληψη κατολισθήσεων και την ενίσχυση της

συγκράτησης νερού.

3. Προσαρμογή με Βάση την Κοινότητα (CBA)

Σύμφωνα με το Διεθνές Ινστιτούτο για το Περιβάλλον και την Ανάπτυξη (iied.org) η CBA (Community-Based Adaptation) περιλαμβάνει τοπικές κοινότητες στον σχεδιασμό και την υλοποίηση μέτρων προσαρμογής. Οι πρακτικές περιλαμβάνουν:

- Συμμετοχικές αξιολογήσεις ευπαθειών.
- Τοπικές λύσεις όπως η συλλογή νερού και οι ανθεκτικές στην ξηρασία καλλιέργειες.

4. Κλιματικά Ανθεκτικές Υποδομές

Ο όμιλος Παγκόσμιας Τράπεζας (worldbank.org) αναφέρει ότι η ανάπτυξη υποδομών που μπορούν να αντέξουν τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής είναι ζωτικής σημασίας. Παραδείγματα είναι:

- Κατασκευή αντιπλημμυρικών έργων όπως φράγματα και τοιχία προστασίας.
- Σχεδιασμός δρόμων και κτηρίων που αντέχουν σε ακραία καιρικά φαινόμενα.

5. Διαχείριση Υδάτινων Πόρων

Σύμφωνα με το Πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών για το περιβάλλον (unep.org) η προσαρμογή των πρακτικών διαχείρισης υδάτων για την εξασφάλιση βιώσιμης παροχής και ποιότητας περιλαμβάνει:

- Εφαρμογή ολοκληρωμένης διαχείρισης υδάτινων πόρων (IWRM).
- Ενίσχυση τεχνικών αποθήκευσης και συντήρησης νερού.

6. Γεωργική Προσαρμογή

Ο Οργανισμός Τροφίμων και Γεωργίας των Ηνωμένων Εθνών (fao.org) αναφέρει ότι η προσαρμογή των γεωργικών πρακτικών στις μεταβαλλόμενες κλιματικές συνθήκες βοηθά στην εξασφάλιση της επισιτιστικής ασφάλειας. Τα μέτρα περιλαμβάνουν:

- Ανάπτυξη ανθεκτικών στις κλιματικές συνθήκες ποικιλιών

καλλιεργειών.

- Εφαρμογή αποδοτικών τεχνικών άρδευσης, όπως η στάγδην άρδευση.

7. Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης

Σύμφωνα με το Γραφείο των Ηνωμένων Εθνών για τη μείωση του κινδύνου καταστροφών (undrr.org) η ανάπτυξη και η χρήση συστημάτων έγκαιρης προειδοποίησης για ακραία καιρικά φαινόμενα μπορούν να σώσουν ζωές και να μειώσουν οικονομικές απώλειες. Τα συστήματα περιλαμβάνουν:

- Προγνώσεις καιρού σε πραγματικό χρόνο.
- Συστήματα ειδοποίησης που βασίζονται στην κοινότητα.

8. Μηχανισμοί Ασφάλισης και Μεταφοράς Κινδύνου

Ο όμιλος Παγκόσμιας Τράπεζας (worldbank.org) αναφέρει ότι τα ασφαλιστικά σχήματα και άλλα χρηματοοικονομικά εργαλεία βοηθούν τις κοινότητες να ανακάμψουν από τις επιπτώσεις της κλιματικής αλλαγής. Παραδείγματα είναι:

- Ασφάλιση καλλιεργειών.
- Καταστροφικά ομόλογα.

9. Αστικός Σχεδιασμός και Ανάπτυξη

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Περιβάλλοντος (eea.europa.eu) η ενσωμάτωση της προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή στον αστικό σχεδιασμό βοηθά τις πόλεις να γίνουν πιο ανθεκτικές. Οι πρακτικές περιλαμβάνουν:

- Δημιουργία πράσινων χώρων για τη διαχείριση της θερμότητας και της απορροής νερού.
- Εφαρμογή νόμων ζωνοποίησης που μειώνουν την ευπάθεια σε πλημμύρες και κατολισθήσεις.

10. Διεθνής Συνεργασία και Χρηματοδότηση

Οι παγκόσμιοι μηχανισμοί συνεργασίας και χρηματοδότησης υποστηρίζουν τις προσπάθειες προσαρμογής, όπως:

- Το Πράσινο Ταμείο για το Κλίμα (GCF) που παρέχει οικονομική βοήθεια

στις αναπτυσσόμενες χώρες (unfccc.int).

- Συνεργασίες και πρωτοβουλίες ανταλλαγής γνώσεων όπως το Παγκόσμιο Δίκτυο Προσαρμογής.

Συμπερασματικά, οι διεθνείς πρακτικές για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή είναι ποικίλες και πολυδιάστατες, καλύπτοντας διάφορους τομείς και κλίμακες. Η επιτυχής προσαρμογή απαιτεί την ενσωμάτωση επιστημονικής γνώσης, τοπικού πλαισίου και ισχυρής θεσμικής υποστήριξης για τη δημιουργία ανθεκτικών κοινοτήτων και οικοσυστημάτων.

5.4.2 Παραδείγματα Διεθνών Πρακτικών για Προσαρμογή στην Κλιματική Αλλαγή

Η προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή περιλαμβάνει την προσαρμογή πρακτικών, διαδικασιών και δομών για την άμβλυση των δυσμενών επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Διάφορες χώρες και περιοχές εφαρμόζουν ποικίλες στρατηγικές για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή, συχνά προσαρμοσμένες στα συγκεκριμένα περιβαλλοντικά, οικονομικά και κοινωνικά τους πλαίσια. Ακολουθούν ορισμένες αξιοσημείωτες διεθνείς πρακτικές για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή:

1. Ολοκληρωμένη Διαχείριση Υδατικών Πόρων (ΙΔΥΠ)

- **Ολλανδία:** Η ολλανδική προσέγγιση, γνωστή ως "Room for the River", περιλαμβάνει τη δημιουργία χώρου για τα ποτάμια ώστε να πλημμυρίζουν με ασφάλεια και τη μείωση των κινδύνων πλημμύρας μέσω μέτρων όπως η αποκατάσταση των πλημμυρικών περιοχών και η κατασκευή παρακαμπτηρίων ποταμών (dutchwatersector.com)
- **Αυστραλία:** Η Αυστραλία χρησιμοποιεί το εμπόριο νερού και τις βελτιώσεις στην αποδοτικότητα χρήσης του νερού για να διαχειριστεί την έλλειψη νερού, ειδικά στη λεκάνη Murray-Darling (dcceew.gov)

2. Αστικός Σχεδιασμός και Υποδομές

- **Σιγκαπούρη:** Η πόλη-κράτος έχει εφαρμόσει ένα ολοκληρωμένο σύστημα διαχείρισης αποστράγγισης και πλημμυρών, συμπεριλαμβανομένου του Φράγματος Marina, που λειτουργεί ως φράγμα παλίρροιας, ταμιευτήρας και χώρος αναψυχής (pub.gov.sg)

3. Γεωργική Προσαρμογή

- **Ινδία:** Η Εθνική Πρωτοβουλία για την Κλιματική Ανθεκτικότητα της Γεωργίας (NICRA) επικεντρώνεται στην ανάπτυξη ποικιλιών καλλιεργειών ανθεκτικών στην κλιματική αλλαγή, την προώθηση βιώσιμων γεωργικών πρακτικών και την ενίσχυση της ικανότητας των αγροτών μέσω εκπαίδευσης και διάδοσης πληροφοριών (nicra-icar.in)

4. Προσαρμογή με Βάση τα Οικοσυστήματα (EbA)

- **Κόστα Ρίκα:** Η Κόστα Ρίκα χρησιμοποιεί την EbA αποκαθιστώντας και διατηρώντας τα δάση της, τα οποία βοηθούν στη ρύθμιση της ροής του νερού, την πρόληψη της διάβρωσης του εδάφους και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας (iied.org)
- **Νότια Αφρική:** Το πρόγραμμα Working for Water της Νότιας Αφρικής επικεντρώνεται στην απομάκρυνση των εισβολικών ειδών για την ενίσχυση της διαθεσιμότητας νερού και τη βελτίωση της υγείας των οικοσυστημάτων (dfffe.gov.za)

5. Κλιματικά Ανθεκτικές Υποδομές

- **Ηνωμένες Πολιτείες:** Οι Η.Π.Α. εφαρμόζουν πρακτικές ανθεκτικών υποδομών, όπως η ανύψωση κτιρίων, η αναβάθμιση γεφυρών και η αναβάθμιση των συστημάτων αποστράγγισης, ειδικά σε περιοχές που είναι επιρρεπείς σε τυφώνες και πλημμύρες (fema.gov)

6. Πολιτική και Διακυβέρνηση

- **Ευρωπαϊκή Ένωση:** Η Ε.Ε. έχει θεσπίσει ολοκληρωμένες πολιτικές προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή, συμπεριλαμβανομένης της Ευρωπαϊκής Πλατφόρμας Προσαρμογής στην Κλιματική Αλλαγή

(Climate-ADAPT) για την ανταλλαγή γνώσεων και βέλτιστων πρακτικών μεταξύ των κρατών-μελών (climate-adapt.eea.europa.eu)

- **Καναδάς:** Οι πολιτικές προσαρμογής του Καναδά περιλαμβάνουν το Πανα-Καναδικό Πλαίσιο για την Καθαρή Ανάπτυξη και την Κλιματική Αλλαγή, το οποίο περιγράφει δράσεις για την ενίσχυση της ανθεκτικότητας σε διάφορους τομείς, όπως οι υποδομές, η υγεία και τα δάση (canada.ca)

7. Συστήματα Έγκαιρης Προειδοποίησης

- **Μοζαμβίκη:** Η Μοζαμβίκη έχει αναπτύξει προηγμένα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης για κυκλώνες και πλημμύρες, που περιλαμβάνουν την εκπαίδευση της κοινότητας και τη χρήση τεχνολογίας για τη διάδοση έγκαιρων πληροφοριών (worldbank.org)
- **Φιλιππίνες:** Οι Φιλιππίνες εφαρμόζουν ένα πολυ-κίνδυνο σύστημα έγκαιρης προειδοποίησης που ενσωματώνει δορυφορικά δεδομένα, καιρικές προβλέψεις και τοπικά δίκτυα επικοινωνίας για να προετοιμάσουν τις κοινότητες για τυφώνες και άλλα ακραία καιρικά φαινόμενα (gsma.com)

8. Ασφαλιστικοί και Χρηματοοικονομικοί Μηχανισμοί

- **Καραϊβική Ασφάλιση Κινδύνου Καταστροφών (CCRIF):** Αυτός ο μηχανισμός παρέχει παραμετρική ασφάλιση στις κυβερνήσεις της Καραϊβικής για την άμβλυση των οικονομικών επιπτώσεων των φυσικών καταστροφών (ccrif.org).

5.4.3 Τρόποι με τους οποίους οι χώρες μπορούν να προσαρμοστούν στην Κλιματική Αλλαγή

Σύμφωνα με το περιβαλλοντικό πρόγραμμα των Ηνωμένων Εθνών (unep.org) οι καταστροφικές επιπτώσεις της κλιματικής κρίσης γίνονται αισθητές σε όλο τον κόσμο. Επισημαίνεται ότι το έτος 2022 πρωτοφανείς

πλημμύρες κάλυψαν το ένα τρίτο του Πακιστάν, άνθρωποι και ζώα πέθαναν από την ξηρασία που προκλήθηκε από την κλιματική αλλαγή στην Ανατολική Αφρική, και η Κίνα αντιμετώπισε τον πιο σοβαρό καύσωνα που έχει καταγραφεί ποτέ.

Ο Γενικός Γραμματέας των Ηνωμένων Εθνών κάλεσε τους ηγέτες του κόσμου να επενδύσουν εξίσου στην προσαρμογή όσο και στον μετριασμό της κλιματικής αλλαγής, γιατί χωρίς προσαρμογή οι οικονομίες, η επισιτιστική ασφάλεια και η παγκόσμια σταθερότητα βρίσκονται σε κίνδυνο.

Για αυτό το λόγο εξετάστηκαν πέντε βασικοί τρόποι με τους οποίους ο κόσμος μπορεί να προσαρμοστεί καλύτερα στην κλιματική κρίση. Αυτοί είναι οι παρακάτω:

- **Συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης**

Η έρευνα δείχνει ότι μόνο 24 ώρες προειδοποίησης για έναν επερχόμενο καύσωνα ή καταιγίδα μπορούν να μειώσουν τις επακόλουθες ζημιές κατά 30 τοις εκατό. Τα συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης που παρέχουν προβλέψεις για το κλίμα είναι ένα από τα πιο οικονομικά αποδοτικά μέτρα προσαρμογής, αποδίδοντας περίπου εννέα δολάρια συνολικών οφελών για κάθε δολάριο που επενδύεται.

Με έγκαιρες προειδοποιήσεις, οι άνθρωποι μπορούν να λάβουν έγκαιρη δράση τοποθετώντας σάκους άμμου στις πόρτες για να προβλέψουν τις πλημμύρες, αποθηκεύοντας πόρους ή, σε ορισμένες ακραίες περιπτώσεις, εκκενώνοντας τα σπίτια τους.

Ωστόσο, σήμερα, το ένα τρίτο του παγκόσμιου πληθυσμού δεν καλύπτεται επαρκώς από συστήματα έγκαιρης προειδοποίησης. Και ενώ οι προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί κυρίως σε καταιγίδες, πλημμύρες και ξηρασίες, άλλοι κίνδυνοι όπως οι καύσωνες και οι δασικές πυρκαγιές θα χρειαστεί να ενσωματωθούν καλύτερα καθώς γίνονται πιο συχνόι και έντονοι.

- **Αποκατάσταση των οικοσυστημάτων**

Η Δεκαετία Δράσης των Ηνωμένων Εθνών για την Αποκατάσταση των Οικοσυστημάτων, που ξεκίνησε το 2021 από το Πρόγραμμα Περιβάλλοντος των Ηνωμένων Εθνών (UNEP) και τους εταίρους του, πυροδότησε ένα παγκόσμιο κίνημα για την αποκατάσταση των οικοσυστημάτων του κόσμου. Αυτή η παγκόσμια προσπάθεια αποκατάστασης δεν θα απορροφήσει μόνο τον άνθρακα, αλλά θα αυξήσει επίσης τις "υπηρεσίες οικοσυστήματος" για να προστατεύσει τον κόσμο από τις πιο καταστροφικές επιπτώσεις.

Στις πόλεις, η αποκατάσταση των αστικών δασών δροσίζει τον αέρα και μειώνει τους καύσωνες. Σε μια κανονική ηλιόλουστη ημέρα, ένα μόνο δέντρο παρέχει δροσιστικό αποτέλεσμα ισοδύναμο με δύο οικιακά κλιματιστικά που λειτουργούν για 24 ώρες.

Στις ακτές, τα μαγκρόβια δάση παρέχουν φυσικές άμυνες από τις καταιγίδες μειώνοντας το ύψος και τη δύναμη των θαλάσσιων κυμάτων. Επιπλέον, η προστασία των μαγκρόβιων είναι 1.000 φορές φθηνότερη ανά χιλιόμετρο από την κατασκευή θαλάσσιων τειχών.

Σε μεγάλα υψόμετρα, η αναδάσωση των ορεινών πλαγιών προστατεύει τις κοινότητες από κατολισθήσεις και χιονοστιβάδες που προκαλούνται από την κλιματική αλλαγή. Με την υποστήριξη του UNEP, ένα έργο έχει στόχο να φυτέψει 1,4 εκατομμύρια δέντρα σε τέσσερα χρόνια για να συγκρατήσει τη διάβρωση και να διατηρήσει το νερό και τα θρεπτικά συστατικά στο έδαφος. Το UNEP συνεργάζεται με κυβερνήσεις σε όλο τον κόσμο για να εφαρμόσει αυτές τις λύσεις βασισμένες στη φύση για την κλιματική κρίση - γνωστές ως προσαρμογή που βασίζεται στα οικοσυστήματα. Ορισμένα έργα πραγματοποιούνται σε μεγάλη κλίμακα, όπως στο Λάος, όπου το UNEP και οι εταίροι βοηθούν στην αποκατάσταση των αστικών οικοσυστημάτων σε τέσσερις μεγάλες πόλεις για να μειώσουν τις πλημμύρες για 700.000 ανθρώπους - περίπου το 10% του συνολικού πληθυσμού.

Και το Global EbA Fund, που ξεκίνησε από το UNEP και τη Διεθνή Ένωση για τη Διατήρηση της Φύσης, παρέχει επιχορηγήσεις σε καινοτόμες προσεγγίσεις που χρησιμοποιούν τη φύση για να ενισχύσουν την ανθεκτικότητα στο κλίμα.

- **Ανθεκτικές στο κλίμα υποδομές**

Οι ανθεκτικές στο κλίμα υποδομές αναφέρονται σε στοιχεία και συστήματα όπως δρόμοι, γέφυρες και γραμμές ηλεκτρικής ενέργειας που μπορούν να αντέξουν τις επιπτώσεις ακραίων καιρικών φαινομένων. Οι υποδομές είναι υπεύθυνες για το 88 τοις εκατό των προβλεπόμενων δαπανών για την προσαρμογή στην κλιματική αλλαγή.

Μια αναφορά της Παγκόσμιας Τράπεζας διαπιστώνει ότι οι επενδύσεις σε ανθεκτικές στο κλίμα υποδομές σε χώρες χαμηλού και μεσαίου εισοδήματος θα μπορούσαν να αποφέρουν περίπου 4,2 τρισεκατομμύρια δολάρια συνολικών οφελών, - περίπου 4 δολάρια για κάθε δολάριο που επενδύεται. Ο λόγος είναι απλός. Οι πιο ανθεκτικές υποδομές αποπληρώνονται από μόνες τους καθώς η διάρκεια ζωής τους επεκτείνεται και οι υπηρεσίες τους γίνονται πιο αξιόπιστες.

Τα εργαλεία για την ενθάρρυνση των επενδύσεων σε ανθεκτικές στο κλίμα υποδομές περιλαμβάνουν κανονιστικά πρότυπα όπως οι κώδικες κατασκευής, πλαίσια χωροταξικού σχεδιασμού όπως οι χάρτες ευπάθειας και μια ισχυρή εκστρατεία επικοινωνίας για να διασφαλιστεί ότι ο ιδιωτικός τομέας είναι ενήμερος για τους κλιματικούς κινδύνους, τις προβλέψεις και τις αβεβαιότητες.

Το UNEP κυκλοφόρησε πρόσφατα κατευθυντήριες γραμμές που δείχνουν πώς να κατασκευάζονται κτίρια και πράσινοι χώροι για να αυξηθεί η ανθεκτικότητα στο κλίμα. Ο οδηγός αναλύει τις λύσεις ανάλογα με τα είδη των κλιματικών επιπτώσεων που μπορεί να αντιμετωπίσουν οι κοινότητες.

- **Εφοδιασμός και ασφάλεια του νερού**

Η ιστορία της κλιματικής αλλαγής είναι, με πολλούς τρόπους, μια ιστορία για το νερό, είτε πρόκειται για πλημμύρες, ξηρασίες, αύξηση της στάθμης της

θάλασσας ή ακόμα και πυρκαγιές. Μέχρι το 2030, αναμένεται ότι ένας στους δύο ανθρώπους θα αντιμετωπίζει σοβαρή έλλειψη νερού.

Η επένδυση σε πιο αποδοτικά συστήματα άρδευσης θα είναι κρίσιμη, καθώς η γεωργία απορροφά το 70 τοις εκατό όλων των παγκόσμιων αντλιών γλυκού νερού. Στα αστικά κέντρα, περίπου 100-120 δισεκατομμύρια κυβικά μέτρα νερού θα μπορούσαν να εξοικονομηθούν παγκοσμίως μέχρι το 2030 με τη μείωση των διαρροών. Οι κυβερνήσεις ενθαρρύνονται να αναπτύξουν ολιστικά σχέδια διαχείρισης των υδάτων, γνωστά ως Ολοκληρωμένη Διαχείριση των Υδατικών Πόρων, που λαμβάνουν υπόψη ολόκληρο τον κύκλο του νερού: από την πηγή μέχρι τη διανομή, την επεξεργασία, την επαναχρησιμοποίηση και την επιστροφή στο περιβάλλον.

Έρευνες δείχνουν ότι οι επενδύσεις σε συστήματα συλλογής βρόχινου νερού πρέπει να είναι συνεχείς για να γίνουν ευρέως διαθέσιμα. Το UNEP συνεργάζεται με κυβερνητικούς εταίρους για την κατασκευή πάνω από 1000 συστημάτων συλλογής βρόχινου νερού σε όλο τον κόσμο και παρέχει ειδική καθοδήγηση για την κατασκευή και τη χρήση τους, είτε πρόκειται για ηλιοφόρους αγωγούς, γεωτρήσεις, τεχνολογίες μικρο-άρδευσης είτε συστήματα επαναχρησιμοποίησης του νερού.

Στην πόλη Bagamoyo της Τανζανίας, για παράδειγμα, η αύξηση της στάθμης της θάλασσας και η ξηρασία λόγω μειωμένων βροχοπτώσεων έκαναν τα φράγματα να στεγνώνουν και να γίνονται αλμυρά. Χωρίς άλλες επιλογές, παιδιά από το τοπικό Σχολείο Κινγκάνι έπρεπε να πίνουν αλμυρό νερό, προκαλώντας πονοκεφάλους, έλκη και χαμηλή συμμετοχή στο σχολείο. Με την υποστήριξη του UNEP, η κυβέρνηση άρχισε να κατασκευάζει ένα σύστημα συλλογής βρόχινου νερού που περιλάμβανε συλλογή νερού από στέγες και σειρά μεγάλων δεξαμενών για αποθήκευση νερού. Η ασθένειες σύντομα άρχισαν να μειώνονται και τα παιδιά επέστρεψαν στο σχολείο.

- **Μακροπρόθεσμος Σχεδιασμός**

Οι λύσεις προσαρμογής στην κλιματική αλλαγή είναι πιο αποτελεσματικές

όταν ενσωματώνονται σε μακροπρόθεσμες στρατηγικές και πολιτικές. Οι Εθνικοί Σχεδιασμοί Προσαρμογής αποτελούν κρίσιμο μηχανισμό διακυβέρνησης για τις χώρες να σχεδιάζουν για το μέλλον και να διαμορφώνουν στρατηγικά τις προτεραιότητες σε θέματα προσαρμογής.

Ένα κεντρικό στοιχείο αυτών των σχεδίων είναι η εξέταση κλιματικών σεναρίων για δεκαετίες μπροστά και η συνδυασμένη αξιολόγηση ευπάθειας για διαφορετικούς τομείς. Αυτά μπορούν να βοηθήσουν στον σχεδιασμό και την καθοδήγηση των αποφάσεων της κυβέρνησης σχετικά με επενδύσεις, αλλαγές στο νομικό και φορολογικό πλαίσιο και στην ενημέρωση του κοινού. Περίπου 70 χώρες έχουν αναπτύξει Εθνικό Σχέδιο Προσαρμογής, αλλά αυτός ο αριθμός αυξάνεται γρήγορα. Το UNEP υποστηρίζει αυτή τη στιγμή 20 κράτη μέλη στην ανάπτυξη των σχεδίων τους, τα οποία μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για να βελτιωθούν οι στοιχεία προσαρμογής στις Εθνικά Καθορισμένες Συνεισφορές - κεντρικό μέρος της Συμφωνίας του Παρισιού.

Το UNEP βρίσκεται λειτουργεί υποστηρίζοντας τον στόχο της Συμφωνίας του Παρισιού να κρατήσει την αύξηση της παγκόσμιας θερμοκρασίας καλά κάτω από τους 2°C και να στοχεύει - για ασφάλεια - στους 1,5°C σε σχέση με τα προ-βιομηχανικά επίπεδα. Για να το πετύχει αυτό, το UNEP έχει αναπτύξει έναν οδικό χάρτη για τη μείωση των εκπομπών σε έξι τομείς σύμφωνα με τις δεσμεύσεις της Συμφωνίας του Παρισιού και την επίτευξη της κλιματικής σταθερότητας. Οι έξι τομείς είναι η Ενέργεια, Η Βιομηχανία, Η Γεωργία και η Τροφή, Οι Δάση και η Χρήση Γης, Ο Μεταφορές και οι Κτιριακές Κατασκευές.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

Bechtel B. et al. (2015) 'Local Climate Zones as a new standard for mapping urban areas?' p.1-34.

Geletič, J.; Lehnert, M. GIS-based delineation of local climate zones: The case of medium-sized Central European cities. Morav. Geogr. Rep. 2016, 24, 2–12.

Lehnert, M. et al. (2021) 'Mapping local climate zones and their applications in European Urban Environments: A systematic literature review and future development trends', ISPRS International Journal of Geo-Information, 10(4), p. 260. doi:10.3390/ijgi10040260.

Mitraka Z. et al. (2016) 'Preliminary Local Climate Zones (LCZ) Classification' p.1-12.

Oke T. et al. (2010) 'Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites' p.1-8.

Oliveira, A.; Lopes, A.; Niza, S. Local climate zones in five southern European cities: An improved GIS-based classification method based on Copernicus data. Urban Clim. 2020, 33, 100631.

Stewart I. and Oke T. (2012) 'Appendix G: Datasheets for local climate zones (LCZ)' p.1-18

Sigler, L., Gilabert, J. and Villalba, G. (2022) 'Exploring methods for developing local climate zones to support climate research', Climate, 10(7), p. 109. doi:10.3390/cli10070109.

Stewart, I.D. and Oke, T.R. (2012) 'Local climate zones for urban temperature

studies', *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12), pp. 1879–1900. doi:10.1175/bams-d-11-00019.1.

Stewart, I.D. and Oke, T.R. (2011) 'Local Climate Zones: Origins, development, and application to urban heat islands'

Stewart I. (2011) 'Redifining The Urban Heat Island' p.1-368

Wang, R.; Ren, C.; Xu, Y.; Lau, K.K.L.; Shi, Y. Mapping the local climate zones of urban areas by GIS-based and WUDAPT methods: A case study of Hong Kong. *Urban Clim.* 2018, 24, 567–576.

Zheng, Y.; Ren, C.; Xu, Y.; Wang, R.; Ho, J.; Lau, K.; Ng, E. GIS-based mapping of Local Climate Zone in the high-density city of Hong Kong. *Urban Clim.* 2018, 24, 419–448.

Ελληνική βιβλιογραφία

Αγαθαγγελίδης Η. (2020) 'Εκτίμηση της συμβολής της αστικής μορφολογίας και λειτουργίας στο αστικό θερμικό περιβάλλον με την ανάπτυξη προηγμένων τεχνικών δορυφορικής τηλεπισκόπησης p.1-233. Διδακτορική Διατριβή (ΕΚΠΑ, Τμήμα Φυσικής), Διαθέσιμο διαδικτυακά [<https://www.didaktorika.gr/eadd/handle/10442/47082>]

Αδαμοπούλου Λ. (2020) 'Τοπικές Κλιματικές Ζώνες Τηλεπισκοπικές Μέθοδοι και Εφαρμογή τους στην ευρύτερη περιοχή της Θεσσαλονίκης' p.1-88. Μεταπτυχιακή Διατριβή (ΑΠΘ), Διαθέσιμο διαδικτυακά [<https://ikee.lib.auth.gr/record/325917?ln=el>]

Διαδικτυακοί τόποι

<https://www.adapt2climate.gr/2022/01/15/%CE%B1%CF%83%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82->

<https://www.canada.ca/en/services/environment/weather/climatechange/pan-canadian-framework.html>
(Τελευταία προσπέλαση στις 10 Οκτωβρίου 2024)

<https://www.ccrif.org/>
(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου)

<https://climate-adapt.eea.europa.eu/en>
(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου)

https://climate-pact.europa.eu/about/climate-change_el
(Τελευταία προσπέλαση στις 26 Μαΐου 2024)

<https://climpact.gr/about/targets>
(Τελευταία προσπέλαση στις 2 Ιουλίου 2024)

<https://www.dcceew.gov.au/water/policy/markets>
(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου)

<https://www.dffe.gov.za/working-water-wfw-programme>
(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου)

[dutchwatersector.com](https://www.dutchwatersector.com)
(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου 2024)

<https://www.eea.europa.eu/publications/urban-adaptation-to-climate-change>
(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου)

<https://www.fao.org/climate-smart-agriculture/en/>
(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου)

<https://www.fema.gov/>

(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου)

https://www.gsma.com/solutions-and-impact/connectivity-for-good/mobile-for-development/gsma_resources/ews-philippines-mobile-and-digital-technologies/

(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου)

<https://www.iied.org/collection/community-based-adaptation>

(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου 2024)

<https://www.iied.org/eba-evidence-policy-costa-rica>

(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου)

<https://www.iucn.org/our-work/biodiversity>

(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου 2024)

lcz-generator.rub.de

(Τελευταία προσπέλαση στις 10 Νοεμβρίου 2023)

<http://www.nicra-icar.in/>

(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου 2024)

<https://www.undrr.org/terminology/early-warning-system>

(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου 2024)

<https://www.pub.gov.sg/public/places-of-interest/marina-barrage>

(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου 2024)

unep.org

(Τελευταία προσπέλαση στις 23 Ιουνίου 2024)

<https://www.unep.org/topics/fresh-water/water-resources-management>

(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου 2024)

<https://unfccc.int/topics/adaptation-and-resilience/workstreams/national-adaptation-plans>

(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου 2024)

https://unfccc.int/process/bodies/funds-and-financial-entities/green-climate-fund?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjw-uK0BhC0ARIsANQtgGMkIUb8xND1RYXfAER2F_ClsbMF_Og1cuKcgCoduninZILTWjFRWfYaApGeEALw_wcB

(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου 2024)

<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2020/11/17/the-adaptation-principles-6-ways-to-build-resilience-to-climate-change>

(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου 2024)

<https://www.worldbank.org/en/results/2017/12/01/climate-insurance>

(Τελευταία προσπέλαση στις 9 Ιουνίου 2024)

<https://www.worldbank.org/en/news/feature/2023/09/11/early-warning-system-saves-lives-in-afe-mozambique>

(Τελευταία προσπέλαση στις 11 Ιουνίου 2024)

wudapt.org

(Τελευταία προσπέλαση στις 4 Οκτωβρίου 2023)