



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ – ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εντοπισμός Χώρων Πρασίνου σε Αστικές Περιοχές από
Δορυφορικές Εικόνες με στόχο τον Υπολογισμό των Δεικτών
Βιωσιμότητας των Πόλεων**

ΣΤΥΛΙΑΝΗ Π. ΕΝΩΤΙΑΔΟΥ

Επιβλέπων: Νικόλαος Δουλάμης

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**Εντοπισμός Χώρων Πρασίνου σε Αστικές Περιοχές από
Δορυφορικές Εικόνες με στόχο τον Υπολογισμό των Δεικτών
Βιωσιμότητας των Πόλεων**

ΣΤΥΛΙΑΝΗ Π. ΕΝΩΤΙΑΔΟΥ

Επιβλέπων: Νικόλαος Δουλάμης
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή επιτροπή την 11^η Ιουλίου 2023.

.....
Νικόλαος Δουλάμης
Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

.....
Βασίλειος Βεσκούκης
Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

.....
Αναστάσιος Δουλάμης
Αναπληρωτής Καθηγητής
Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2023



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ –
ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ
ΤΟΜΕΑΣ ΤΟΠΟΓΡΑΦΙΑΣ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Copyright 051 © Στυλιανή Π. Ενωτιάδου, 2023.

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

.....

Στυλιανή Π. Ενωτιάδου

Διπλωματούχος Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός και Μηχανικός Γεωπληροφορικής,
Ε.Μ.Π.

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας σηματοδοτεί την ολοκλήρωση του προπτυχιακού κύκλου σπουδών μου στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών – Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η συγκεκριμένη μελέτη δε θα είχε υλοποιηθεί χωρίς την πολύτιμη βοήθεια και υποστήριξη συγκεκριμένων προσώπων, τους οποίους οφείλω να αναφέρω και να ευχαριστήσω.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου κύριο Νικόλαο Δουλάμη για την εμπιστοσύνη που έδειξε στις δυνατότητές μου και για τις γνώσεις και τα εφόδια που μου προσέφερε μέσα από τα μαθήματά του για την κατάρτισή μου ως μηχανικό. Περισσότερο όμως τον ευχαριστώ γιατί μου εμφύσησε ένα διαφορετικό τρόπο αντίληψης και αντιμετώπισης καταστάσεων.

Επίσης, ευχαριστίες θα ήθελα να αποδώσω και στα μέλη της επιτροπής μου, στον καθηγητή κύριο Βασίλειο Βεσκούκη και στον αναπληρωτή καθηγητή κύριο Αναστάσιο Δουλάμη, οι οποίοι με την συμβολή τους στα μαθήματα του τομέα Τοπογραφίας, απέκτησα σημαντικές γνώσεις που συνέβαλαν καθοριστικά στο να φέρω εις πέρας το αντικείμενο που πραγματεύεται η παρούσα εργασία.

Δεν θα μπορούσα να παραλείψω από τις ευχαριστίες τον υποψήφιο Δρ. Αναστάσιο Τέμενο, για την άψογη συνεργασία μας καθώς και για την συνεχή του καθοδήγηση και την αμέτρητη βοήθεια που μου παρείχε σε οτιδήποτε και αν χρειάστηκα κατά την εκπόνηση της παρούσας εργασίας, βρίσκοντας πάντα χρόνο για να με κατευθύνει και να μου επιλύσει οποιαδήποτε απορία και να μου δημιουργούταν.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τους γονείς μου, Πρόδρομο και Βασιλική και τα αδέρφια μου Νίκο, Ελένη και Ιωάννα για την υπομονή τους, την πολύτιμη υποστήριξη που μου παρείχαν σε όλη τη διάρκεια των σπουδών μου και την εμπιστοσύνη και την αγάπη που μου προσφέρουν καθημερινά.

Τέλος, θερμές ευχαριστίες δίνω στους φίλους μου και συμφοιτητές μου για τις όμορφες και μοναδικές στιγμές που ζήσαμε και τις δυσκολίες που αντιμετωπίσαμε μαζί όλα αυτά τα χρόνια των σπουδών μας. Ιδιαίτερος θα ήθελα να ευχαριστήσω από καρδιάς τον φίλο μου και πλέον συνάδελφό μου Μάριο Σπανάκη, ο οποίος ήταν πάντα παρών και με στήριξε σε όλη τη διάρκεια του ταξιδιού μου για την υλοποίηση της διπλωματικής μου εργασίας, δίνοντάς μου κουράγιο και δύναμη να συνεχίζω.

Περίληψη

Η ταχεία ανάπτυξη των αστικών ιστών έχει δημιουργήσει την απαίτηση ανάπτυξης στρατηγικών, για την εξασφάλιση της βιωσιμότητας και της αειφόρου ανάπτυξης. Οι στρατηγικές αυτές αξιολογούνται μέσω των δεικτών βιωσιμότητας. Οι δείκτες αυτοί εξετάζουν πολλούς τομείς, καθώς η βιωσιμότητα χαρακτηρίζεται ως ένα πολυπαραμετρικό ζήτημα. Το αστικό πράσινο αποτελεί βασική παράμετρο του ζητήματος, καθώς έχει βασικό ρόλο και ουσιαστική επίδραση σε πολλούς τομείς. Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι ο εντοπισμός των αστικών χώρων πρασίνου μέσα από δορυφορικές εικόνες ώστε να ελεγχθεί η βιωσιμότητα των πόλεων. Για το λόγο αυτό δίνεται έμφαση στον υπολογισμό δύο περιβαλλοντικών δεικτών που αφορούν στους αστικούς χώρους πρασίνου. Ο πρώτος δείκτης συσχετίζει τους χώρους πρασίνου με την συνολική έκταση της πόλης και ο δεύτερος με τον συνολικό πληθυσμό αυτής. Η παρούσα μελέτη πραγματοποιήθηκε χρησιμοποιώντας πολυφασματικά δεδομένα Sentinel – 2 τεσσάρων πόλεων και συγκεκριμένα της Αθήνας, της Βέρνης, των Βρυξελλών και της Λισαβόνας.

Λέξεις κλειδιά

βιωσιμότητα, δείκτης βιωσιμότητας, αστικός χώρος πρασίνου, βλάστηση, τηλεπισκόπηση, δείκτης ανάδειξης βλάστησης, NDVI, Sentinel – 2, Google Earth Engine.

Abstract

The rapid growth of urban areas has created the need to develop strategies to ensure sustainability and sustainable development. These strategies are assessed through sustainability indicators. These indicators cover many areas, as sustainability is characterised as a multiparameter issue. Urban green spaces is a key parameter of the issue, as it has a key role and a substantial impact on many sectors. The aim of this thesis is to identify urban green spaces through satellite imagery in order to test the sustainability of cities. For this purpose, emphasis is placed on the calculation of two environmental indicators related to urban green spaces. The first indicator relates green spaces to the total area of the city and the second to the total population of the city. This study was carried out using multi – spectral Sentinel – 2 data of four cities, specifically Athens, Bern, Brussels and Lisbon.

Keywords

sustainability, sustainability index, urban green space, vegetation, remote sensing, vegetation emergence index, NDVI, Sentinel - 2, Google Earth Engine.

Ακρωνύμια – Συντομογραφίες

API	Application Programming Interface
DEM	Digital Elevation Model
EVI	Enhance Vegetation Index
FOV	Field of View
FSC	Forest Stewardship Council
GEE	Google Earth Engine
GIS	Geographic Information System
GLONASS	GLObal Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GPU	Graphics Processing Unit
ISS	International Space Station
LiDAR	Light Detection And Ranging
ML	Machine Learning
MSI	Multi – Spectral Instrument
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index
NIR	Near Infrared
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
REST API	REpresentational State Transfer API
RGB	Red – Green – Blue
SAR	Synthetic Aperture Radar
SAVI	Soil Adjusted Vegetation Index
SWIR	Shortwave Infrared
UGS	Urban Green Space
WCED	World Commission on Environment and Development
HM	Ηλεκτρομαγνητική
ΥΑ	Υπουργική Απόφαση
ΦΕΚ	Φύλλο Εφημερίδας Κυβερνήσεως

Περιεχόμενα

Ευχαριστίες	1
Περίληψη	2
Abstract	3
Ακρωνύμια – Συντομογραφίες	4
Κατάλογος σχημάτων	9
Κατάλογος πινάκων	11
1. Εισαγωγή.....	12
1.1. Σημασία υπολογισμού δεικτών βιωσιμότητας – χώροι πρασίνου	12
1.2. Προκλήσεις	12
1.3. Συνεισφορά	13
1.4. Δομή εργασίας.....	14
2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση	15
2.1. Η κλιμάκωση της κάλυψης χώρων πρασίνου στις ευρωπαϊκές πόλεις.	15
2.2. Είναι ο κατά κεφαλήν αστικός χώρος πρασίνου ένας πολύτιμος στόχος για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας των πόλεων; Η Ρουμανία ως μελέτη περίπτωσης.	15
2.3. Πράσινες περιοχές, ο σημαντικότερος δείκτης της βιωσιμότητας των πόλεων. Έρευνα για τη χρησιμότητά τους στον αστικό σχεδιασμό.	16
2.4. Μέθοδος οπτικής τηλεπισκόπησης για την ανίχνευση του αστικού πρασίνου ως δείκτη που εξυπηρετεί τη βιώσιμη ανάπτυξη της πόλης.	17
2.5. Αστικοί πράσινοι χώροι: ιστορική διερεύνηση της εξέλιξής τους και εισαγωγή στην έννοια της βιωσιμότητας.	17
3. Θεωρητικό Υπόβαθρο	19
3.1. Δορυφόροι.....	19
3.1.1. Τεχνητοί δορυφόροι.....	19
3.1.1.1. Εφαρμογές τεχνητών δορυφόρων.....	20
3.1.1.2. Δομή τεχνητού δορυφόρου.....	21
3.1.2. Δορυφορικοί δέκτες	22
3.1.2.1. Παθητικός δέκτης	22
3.1.2.2. Ενεργητικός δέκτης	23
3.1.3. Φασματικά κανάλια	24
3.1.4. Φασματικές υπογραφές.....	27
3.1.5. Έγχρωμα σύνθετα	28

3.1.6.	Μετασχηματισμός δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων	29
3.1.6.1.	Λόγοι καναλιών	29
3.1.6.2.	Δείκτες καναλιών.....	30
3.1.6.3.	NDVI.....	31
3.2.	Βιωσιμότητα.....	32
3.2.1.	Δείκτες βιωσιμότητας	33
3.2.1.1.	Περιβαλλοντικοί δείκτες	35
3.2.1.2.	Δείκτης χώρων πρασίνου (έκταση πρασίνου/έκταση πόλης).....	35
3.2.1.3.	Δείκτης χώρων πρασίνου κατά κεφαλήν (έκταση πρασίνου/κάτοικο).....	36
3.2.2.	Σταθερότυπα	36
3.2.2.1.	Ελληνική νομοθεσία σταθεροτύπων	37
4.	Πηγές Δεδομένων.....	40
4.1.	Google Earth Engine	40
4.2.	Sentinel – 2.....	42
5.	Προγραμματισμός διαδικασιών σε Python	47
5.1.	Γλώσσα προγραμματισμού Python	47
5.2.	Google Colab.....	48
5.3.	Βιβλιοθήκες.....	48
5.4.	Υλοποίηση σε Python	51
6.	Διαχείριση δεδομένων	54
6.1.	Περιοχές μελέτης	54
6.1.1.	Αθήνα.....	56
6.1.1.1.	Διοικητική θέση.....	56
6.1.1.2.	Γεωγραφική θέση	57
6.1.1.3.	Τοπογραφία	57
6.1.1.4.	Κλίμα	58
6.1.1.5.	Χλωρίδα.....	59
6.1.1.6.	Δημογραφικά – κοινωνικά χαρακτηριστικά.....	60
6.1.1.7.	Βιωσιμότητα	61
6.1.2.	Βέρνη	62
6.1.2.1.	Διοικητική θέση.....	62
6.1.2.2.	Γεωγραφική θέση	63

6.1.2.3.	Τοπογραφία	63
6.1.2.4.	Κλίμα	63
6.1.2.5.	Χλωρίδα.....	65
6.1.2.6.	Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά	65
6.1.2.7.	Βιωσιμότητα	66
6.1.3.	Βρυξέλλες	66
6.1.3.1.	Διοικητική θέση.....	66
6.1.3.2.	Γεωγραφική θέση	67
6.1.3.3.	Τοπογραφία	68
6.1.3.4.	Κλίμα	68
6.1.3.5.	Χλωρίδα.....	71
6.1.3.6.	Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά	71
6.1.3.7.	Βιωσιμότητα	72
6.1.4.	Λισαβόνα	72
6.1.4.1.	Διοικητική θέση.....	72
6.1.4.2.	Γεωγραφική θέση	73
6.1.4.3.	Τοπογραφία	74
6.1.4.4.	Κλίμα	74
6.1.4.5.	Χλωρίδα.....	75
6.1.4.6.	Δημογραφικά – κοινωνικά χαρακτηριστικά.....	76
6.1.4.7.	Βιωσιμότητα	76
6.2.	Ανάλυση διαδικασιών	77
6.2.1.	Άδεια άντλησης δεδομένων από Google Earth Engine	77
6.2.2.	Καθορισμός περιοχής μελέτης.....	78
6.2.3.	Καθορισμός περιόδου μελέτης	79
6.2.4.	Καθορισμός μάσκας νεφοκάλυψης.....	79
6.2.5.	Δημιουργία εικόνων NDVI.....	79
6.2.6.	Δημιουργία εικόνων με κατώφλι	82
6.2.7.	Δημιουργία εικόνων με αποκοπή.....	85
6.2.8.	Υπολογισμός δεικτών βιωσιμότητας	87
6.2.9.	Εξαγωγή αποτελεσμάτων	88
7.	Παρουσίαση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων.....	89

7.1.	Αξιολόγηση αποτελεσμάτων κάθε περιοχής μελέτης	89
7.1.1.	Αθήνα.....	89
7.1.2.	Βέρνη	91
7.1.3.	Βρυξέλλες	95
7.1.4.	Λισαβόνα	97
7.2.	Σύγκριση αποτελεσμάτων περιοχών μελέτης	100
8.	Συμπεράσματα.....	102
8.1.	Γενικά.....	102
8.2.	Δυσχέρειες.....	102
8.2.1.	Θεωρητικές δυσχέρειες	102
8.2.1.1.	Χώροι πρασίνου.....	102
8.2.1.2.	Χρήση κατάλληλου ορίου διάκρισης τιμών (κατώφλι).....	102
8.2.2.	Τεχνικές δυσχέρειες.....	103
8.2.2.1.	Σύνταξη στη γλώσσα προγραμματισμού Python.....	103
8.2.2.2.	Αλλαγή περιοχών μελέτης	103
8.2.2.3.	Μέγεθος εικόνων και αποθηκευτικός χώρος	104
8.2.2.4.	Ακραία φαινόμενα και εντοπισμός βλάστησης	105
8.2.2.5.	Ανάλυση εικόνων.....	105
8.3.	Πορίσματα.....	105
8.4.	Μελλοντικές επεκτάσεις	106
8.4.1.	Διάκριση ιδιωτικού πρασίνου.....	106
8.4.2.	Εικόνες καλύτερης ανάλυσης.....	107
8.4.3.	Σύνδεση με άλλους δείκτες	107
8.4.4.	Απόσταση από χώρους πρασίνου	107
8.4.5.	Συσχέτιση με άλλα δεδομένα	107
	Αναφορές	109
	Παραρτήματα	115
	I. Κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Python	115
	II. Αποτελέσματα αλγοριθμικής διαδικασίας.....	120
	III. Χάρτες.....	120

Κατάλογος σχημάτων

Σχήμα 1: Βασικά μέρη ενός δορυφόρου.....	22
Σχήμα 2: Παθητικός δέκτης.....	23
Σχήμα 3: Ενεργητικός δέκτης.....	24
Σχήμα 4: Η έννοια της φασματοσκοπικής απεικόνισης.....	25
Σχήμα 5: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	25
Σχήμα 6: Το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.....	26
Σχήμα 7: Φασματικές υπογραφές κοινών υλικών.....	28
Σχήμα 8: Σχέση μεταξύ δεδομένων, δεικτών και πληροφοριών.....	34
Σχήμα 9: Η τροχιακή διαμόρφωση του δίδυμου δορυφόρου Sentinel – 2.....	43
Σχήμα 10: Τα κανάλια του Sentinel – 2.....	44
Σχήμα 11: Στοιχεία καναλιών Sentinel – 2A και Sentinel – 2B.....	44
Σχήμα 12: Άδεια άντλησης δεδομένων από GEE.....	51
Σχήμα 13: Πολύγωνο περιοχής μελέτης.....	51
Σχήμα 14: Μάσκα νεφοκάλυψης – περίοδος μελέτης.....	52
Σχήμα 15: Υπολογισμός πλήθος εικόνων.....	52
Σχήμα 16: Εισαγωγή βιβλιοθηκών.....	52
Σχήμα 17: Δημιουργία δυαδικών εικόνων – εντοπισμός βλάστησης.....	52
Σχήμα 18: Αποκοπή εικόνων στα όρια της περιοχής μελέτης.....	53
Σχήμα 19: Καθορισμός έκτασης και πληθυσμού – υπολογισμός δεικτών βιωσιμότητας.....	53
Σχήμα 20: Πόλεις μελέτης.....	55
Σχήμα 21: Θέση Δήμου Αθηναίων στην Ελλάδα.....	56
Σχήμα 22: Δημοτικές κοινότητες Δήμου Αθηναίων.....	56
Σχήμα 23: Απεικόνιση ορίων Δήμου Αθηναίων σε δορυφορικό υπόβαθρο.....	57
Σχήμα 24: Μέσες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων Αθήνας (1991 – 2020).....	59
Σχήμα 25: Μορφωτικό επίπεδο μόνιμων κατοίκων Αθήνας (2011).....	61
Σχήμα 26: Τοποθεσία Βέρνης.....	62
Σχήμα 27: Απεικόνιση Βέρνης σε δορυφορικό υπόβαθρο.....	63
Σχήμα 28: Μέσες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων Βέρνης (1991 – 2020).....	64
Σχήμα 29: Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού Βέρνης (2016 – 2022).....	66
Σχήμα 30: Τοποθεσία Βρυξελλών.....	67
Σχήμα 31: Κοινότητα Βρυξελλών.....	67
Σχήμα 32: Απεικόνιση Βρυξελλών σε δορυφορικό υπόβαθρο.....	68
Σχήμα 33: Μέσες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων Βρυξελλών (1991 – 2020).....	70
Σχήμα 34: Τοποθεσία Λισαβόνας.....	72
Σχήμα 35: Ενορίες Λισαβόνας.....	73
Σχήμα 36: Απεικόνιση Λισαβόνας σε δορυφορικό υπόβαθρο.....	73
Σχήμα 37: Μέσες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων Λισαβόνας (1991 – 2020).....	75
Σχήμα 38: Ορισμός ορθογωνίου στην περιοχή της Λισαβόνας.....	78

Σχήμα 39: Εικόνα NDVI Αθήνας με ημερομηνία λήψης την 26/12/2022	80
Σχήμα 40: Εικόνα NDVI Βέρνης με ημερομηνία λήψης την 10/11/2022	81
Σχήμα 41: Εικόνα NDVI Βρυξελλών με ημερομηνία λήψης την 06/12/2022	81
Σχήμα 42: Εικόνα NDVI Λισαβόνας με ημερομηνία λήψης την 20/11/2022	82
Σχήμα 43: Δυαδική εικόνα Αθήνας με ημερομηνία λήψης την 26/12/2022	83
Σχήμα 44: Δυαδική εικόνα Βέρνης με ημερομηνία λήψης την 10/11/2022	83
Σχήμα 45: Δυαδική εικόνα Βρυξελλών με ημερομηνία λήψης την 06/12/2022	84
Σχήμα 46: Δυαδική εικόνα Λισαβόνας με ημερομηνία λήψης την 20/11/2022	84
Σχήμα 47: Βλάστηση Αθήνας στις 26/12/2022	85
Σχήμα 48: Βλάστηση Βέρνης στις 10/11/2022.....	86
Σχήμα 49: Βλάστηση Βρυξελλών στις 06/12/2022	86
Σχήμα 50: Βλάστηση Λισαβόνας στις 20/11/2022.....	87
Σχήμα 51: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στην Αθήνα	90
Σχήμα 52: Εντοπισμός βλάστησης Αθήνας σε εικόνα NDVI 05/05/2020	91
Σχήμα 53: Εντοπισμός βλάστησης Αθήνας σε εικόνα NDVI 10/05/2021	91
Σχήμα 54: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στην Βέρνη.....	92
Σχήμα 55: Εντοπισμός βλάστησης Βέρνης σε εικόνα NDVI 22/10/2018.....	94
Σχήμα 56: Εντοπισμός βλάστησης Βέρνης σε εικόνα NDVI 14/02/2019.....	94
Σχήμα 57: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στις Βρυξέλλες.....	95
Σχήμα 58: Εντοπισμός βλάστησης σε εικόνα NDVI 12/12/2018.....	96
Σχήμα 59: Εντοπισμός χιονοσκεπών περιοχών σε εικόνα NDVI 28/01/2019	97
Σχήμα 60: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στη Λισαβόνα.....	98
Σχήμα 61: Πυρκαγιές στην Πορτογαλία στις 14/08/2017	99
Σχήμα 62: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στις περιοχές μελέτης.....	100

Κατάλογος πινάκων

Πίνακας 1: Ελληνικά πολεοδομικά σταθερότυπα πρασίνου	38
Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά αποστολής και δορυφόρων Sentinel – 2.....	45
Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά αισθητήρων δορυφόρων Sentinel – 2.....	46
Πίνακας 4: Κλιματολογικά δεδομένα Αθήνας σε °C (1991 – 2020)	58
Πίνακας 5: Απασχόληση μόνιμου πληθυσμού Αθήνας (2011)	61
Πίνακας 6: Κλιματολογικά δεδομένα Βέρνης σε °C (1991 – 2020).....	64
Πίνακας 7: Πληθυσμιακά στοιχεία Βέρνης (1980 – 2022)	65
Πίνακας 8: Κλιματολογικά δεδομένα Βρυξελλών (1991 – 2020).....	69
Πίνακας 9: Δεδομένα νετού Βρυξελλών (1991 – 2020).....	70
Πίνακας 10: Πληθυσμιακά στοιχεία Βρυξελλών (1990 – 2022).....	71
Πίνακας 11: Ολικός μέσος όρος έτους δείκτη πρασίνου κατά κεφαλήν των περιοχών για την περίοδο μελέτης	100

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1. Σημασία υπολογισμού δεικτών βιωσιμότητας – χώροι πρασίνου

Στη σημερινή εποχή, για πρώτη φορά στην ιστορία της ανθρωπότητας, πάνω από το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές, με το ποσοστό αυτό να αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα έτη¹. Οι αστικές περιοχές αποτελούν τον ταχύτερα αναπτυσσόμενο τύπο κάλυψης γης. Η γρήγορη ανάπτυξή τους είναι ανάλογη του μεγέθους τους, με τις μεγαλύτερες πόλεις να γίνονται ακόμα πιο μεγάλες και τον αριθμό τους να αυξάνεται ταχύτατα. Η έντονη αστικοποίηση έχει πυροδοτήσει την ανησυχία για τις πιθανές επιπτώσεις των πόλεων στη διατήρηση της βιοποικιλότητας και στην ποιότητα της ανθρώπινης ζωής.

Πρωταρχικός στόχος των σύγχρονων αστικών δομών οφείλει να είναι η βιωσιμότητα και η αειφόρος ανάπτυξη. Οι αστικοί χώροι πρασίνου θεωρούνται βασικά στοιχεία στη βελτίωση της ποιότητας ζωής και στη δημιουργία κατάλληλου πλαισίου για βιώσιμες πόλεις. Συμβάλουν θετικά σε πολλούς τομείς όπως στη σωματική υγεία [2], στην ψυχική ευεξία και στην αποκατάσταση του στρες [3], στην κοινωνική συνοχή [4], στην παροχή οικοσυστημικών υπηρεσιών (απορροή ομβρίων υδάτων, ρύθμιση της θερμοκρασίας – αποφυγή φαινομένου αστικής θερμονησίδας, δέσμευση άνθρακα) [5] και στη διατήρηση της βιοποικιλότητας [6].

Οι δείκτες μπορούν να βοηθήσουν τις αστικές κοινωνίες να προσδιορίσουν τις σημαντικές αλλαγές που οφείλουν να γίνουν σε όλα τα επίπεδα των αποφάσεων σχετικά με τη βιωσιμότητα. Κι αυτό γιατί αποτελούν παραμέτρους που συχνά είναι πιο χρήσιμοι από τα αρχικά δεδομένα καθώς παρέχουν πληροφορίες που μπορούν να περιγράψουν την κατάσταση ενός συστήματος και να αναδείξουν σχέσεις αιτίου – αποτελέσματος. Οι πλέον χρησιμοποιούμενοι ποσοτικοί δείκτες για την αξιολόγηση των αστικών υποδομών πρασίνου είναι αυτοί που περιγράφουν τους χώρους πρασίνου συναρτήσει της έκτασης της πόλης και οι αντίστοιχοι συναρτήσει του πληθυσμού (Κεφάλαια 3.2.1.3 και 3.2.1.4).

1.2. Προκλήσεις

Η επιστήμη του γήινου συστήματος έχει αλλάξει ραγδαία λόγω των παγκόσμιων περιβαλλοντικών αλλαγών και της έλευσης της τεχνολογίας παρατήρησης της Γης. Ως εκ τούτου, απαιτούνται νέα εργαλεία για την παρακολούθηση, τη μέτρηση, την ανάλυση, την αξιολόγηση και τη μοντελοποίηση των δεδομένων παρατήρησης της Γης.

¹ Το παγκόσμιο ποσοστό αστικοποίησης προβλέπεται να αυξηθεί από 55% το 2018 σε 68% τα επόμενα 30 χρόνια και η συνολική αύξηση του παγκόσμιου πληθυσμού αναμένεται να προσθέσει περίπου 2,5 δισεκατομμύρια ανθρώπους στις αστικές περιοχές μέχρι το 2050 [1].

Ο υπολογισμός του δεικτών βιωσιμότητας χώρων πρασίνου αποτελεί το κύριο ερευνητικό πεδίο της παρούσας μελέτης. Οι χώροι πρασίνου στις αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται και αποτυπώνονται από αρμόδιες υπηρεσίες, οι οποίες καθορίζουν στρατηγικές ανάπτυξης και αειφορίας. Ξεφεύγοντας από τα στεγανά της κλασικής γεωδαισίας και με χρήση σύγχρονων τηλεπισκοπικών μεθόδων καθίσταται δυνατός ο ταχύς εντοπισμός χώρων πρασίνου, και κατ' επέκταση ο άμεσος υπολογισμός των δεικτών βιωσιμότητας που αφορούν στους χώρους πρασίνου σε σύγκριση με την έκταση της πόλης και με τον πληθυσμό της αστικής περιοχής μελέτης.

Αρκετοί ιδιωτικοί φορείς έχουν την δυνατότητα συνεχούς αποτύπωσης της γήινης επιφάνειας σε πολυφασματικές εικόνες με χρήση δορυφόρων και αποθήκευσης αυτών σε βάσεις δεδομένων προσπελάσιμες από διάφορους χρήστες. Η ποιότητα της πληροφορίας που αποτυπώνεται (μέγεθος εδαφοψηφίδας) καθορίζει την ακρίβεια των υπολογιστικών δυνατοτήτων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το GEE που υποστηρίζει διάφορους τύπους γεωχωρικών δεδομένων, όπως δεδομένα Sentinel και πρώιμα δεδομένα Landsat. Η εκμετάλλευση των υπέρογκων αυτών βάσεων δεδομένων προσφέρει πληροφορία κατάλληλη, για ορθή εκτίμηση μεγεθών και κατ' επέκταση λήψη αποφάσεων.

Εξασφαλίζοντας τα πρωτογενή δεδομένα (πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες), έπεται η επιλογή κατάλληλων εργαλείων για την επεξεργασία τους. Οι φασματικές υπογραφές, οι λόγοι καναλιών αλλά και οι δείκτες καναλιών αποτελούν μέσα για την εξαγωγή συμπερασμάτων για μια καθορισμένη περιοχή μελέτης. Ο εντοπισμός της βλάστησης είναι μια σημαντική πρόκληση, ιδιαίτερα όταν οι συνθήκες δεν είναι ευνοϊκές (κάλυψη βλάστησης – π.χ. χιόνι) ή πέραν του συνηθισμένου (extreme events - π.χ. πυρκαγιές).

Στόχος της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι ο έλεγχος της δυνατότητας εντοπισμού περιοχών βλάστησης σε αστικές περιοχές με σκοπό τον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας χώρων πρασίνου στις επιλεγμένες περιοχές μελέτης. Η εφαρμογή του δείκτη ανάδειξης βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) σε πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες Sentinel – 2, θα οδηγήσει στον εντοπισμό της βλάστησης και στον υπολογισμό της έκτασής της. Τέλος θα υπολογιστούν ο δείκτης χώρων πρασίνου (έκταση πρασίνου/έκταση πόλης) και ο δείκτης χώρων πρασίνου κατά κεφαλήν (έκταση πρασίνου/κάτοικο).

1.3. Συνεισφορά

Η συνολική συνεισφορά της παρούσας διπλωματικής εργασίας προσδιορίζεται από τους ακόλουθους στόχους:

- Να εντοπιστούν οι αστικοί χώροι πρασίνου σε όλες τις δορυφορικές εικόνες της χρονοσειράς της εκάστοτε περιοχής μελέτης που θα μεταφορτωθούν.
- Να υπολογισθεί η συνολική έκταση που καταλαμβάνει η βλάστηση στις περιοχές μελέτης.

- Να υπολογιστούν οι δείκτες βιωσιμότητας σε χρονική κλίμακα έτους και να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της διαδικασίας, με σκοπό την εξέταση της δυνατότητας εφαρμογής της μεθόδου.

1.4. Δομή εργασίας

Η παρούσα διπλωματική εργασία διαρθρώνεται συνολικά σε οχτώ (8) κεφάλαια.

Στο **Κεφάλαιο 1**, όπως παρουσιάστηκε παραπάνω, περιέχεται η εισαγωγή και η ανάλυση του αντικείμενου της έρευνας που διεξήχθη.

Στο **Κεφάλαιο 2** πραγματοποιείται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση σε μελέτες αντίστοιχου περιεχομένου με την παρούσα, που έχουν εντυπώσει σε κάποιο βαθμό σε μεθόδους προσδιορισμού των δεικτών βιωσιμότητας που αφορούν στους χώρους πρασίνου στις αστικές περιοχές.

Στο **Κεφάλαιο 3** παρουσιάζονται οι θεωρητικές γνώσεις που απαιτούνται για την κατανόηση όλων των εννοιών που αποτελούν αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

Στο **Κεφάλαιο 4** γίνεται αναφορά στα δεδομένα και συγκεκριμένα στην πηγή από την οποία αντλήθηκαν και στο είδος τους, αναλύοντας γενικά χαρακτηριστικά τους.

Στο **Κεφάλαιο 5** περιγράφονται γενικά χαρακτηριστικά της γλώσσας προγραμματισμού Python και αναλύεται λεπτομερώς ο κώδικας που συντάχθηκε για την επίλυση του προβλήματος.

Στο **Κεφάλαιο 6** αναλύονται οι περιοχές μελέτης και οι διαδικασίες που πραγματοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των χώρων πρασίνου και τον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας.

Στο **Κεφάλαιο 7** αξιολογούνται τα πειραματικά αποτελέσματα για κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά αλλά και συγκεντρωτικά.

Στο **Κεφάλαιο 8** συγκεντρώνονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν από την παρούσα μελέτη μεταξύ των οποίων και οι δυσχέρειες που προκλήθηκαν κατά τη διαδικασία ενώ προτείνονται μελλοντικές επεκτάσεις της.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

Προτού γίνει εισαγωγή και εντύπωση στο θεωρητικό υπόβαθρο, στο παρόν κεφάλαιο παρατίθεται μια βιβλιογραφική ανασκόπηση. Μέσω αυτής της σύντομης εξέτασης μεθόδων μελέτης δεικτών βιωσιμότητας σε σχέση με τους χώρους πρασίνου σε αστικές δομές αποκτάται μια πιο σφαιρική άποψη επί του θέματος και έτσι κατανοείται καλύτερα η φυσική ροή της παρούσας μελέτης.

2.1. Η κλιμάκωση της κάλυψης χώρων πρασίνου στις ευρωπαϊκές πόλεις.

Τα οφέλη των αστικών χώρων πρασίνου κυμαίνονται από τη σωματική και ψυχολογική υγεία έως την κοινωνική συνοχή, την παροχή υπηρεσιών οικοσυστήματος και τη διατήρηση της βιοποικιλότητας. Η κάλυψη των χώρων πρασίνου διαφέρει σε τεράστιο βαθμό μεταξύ των πόλεων, ωστόσο ελάχιστα είναι γνωστά για τους συσχετισμούς ή τη γεωγραφία αυτής της διακύμανσης. Αυτό είναι σημαντικό επειδή η αστικοποίηση επιταχύνεται και οι συνέπειες για τους χώρους πρασίνου είναι ασαφείς. Στην εν λόγω μελέτη [7] χρησιμοποιείται τυποποιημένη παλινδρόμηση μεγάλων αξόνων για να διερευνηθούν οι σχέσεις μεταξύ της κάλυψης αστικού πρασίνου, της έκτασης της πόλης και του μεγέθους του πληθυσμού σε 386 ευρωπαϊκές πόλεις. Διαπιστώνεται ότι η κάλυψη των χώρων πρασίνου αυξάνεται ταχύτερα από την έκταση της πόλης, αλλά μειώνεται μόνο ασθενώς καθώς αυξάνεται η πυκνότητα του ανθρώπινου πληθυσμού. Έτσι, η παροχή χώρων πρασίνου εντός μιας πόλης σχετίζεται πρωτίστως με την έκταση της πόλης και όχι με τον αριθμό των κατοίκων που εξυπηρετεί ή με ένα απλό φαινόμενο πλήρωσης χώρου. Έτσι, οι συμπαγείς πόλεις (μικρό μέγεθος και υψηλή πυκνότητα) παρουσιάζουν πολύ χαμηλή κατά κεφαλήν διάθεση χώρων πρασίνου. Ωστόσο, σε υψηλά επίπεδα αστικότητας, το δίκτυο χώρων πρασίνου είναι ανθεκτικό στην περαιτέρω συμπίκνωση της πόλης. Καθώς οι πόλεις μεγαλώνουν, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ ανθρώπων και φύσης εξαρτώνται όλο και περισσότερο από την ποιότητα του τοπίου εκτός των επίσημων δικτύων πρασίνου, όπως οι φυτεύσεις στους δρόμους ή το μέγεθος, η σύνθεση και η διαχείριση των αυλών και των κήπων.

2.2. Είναι ο κατά κεφαλήν αστικός χώρος πρασίνου ένας πολύτιμος στόχος για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας των πόλεων; Η Ρουμανία ως μελέτη περίπτωσης.

Η αστική πράσινη υποδομή θεωρείται βασικό στοιχείο για τη βελτίωση της ποιότητας ζωής και τη δημιουργία κατάλληλου πλαισίου για βιώσιμες πόλεις. Ο πλέον χρησιμοποιούμενος ποσοτικός δείκτης για την αξιολόγηση των αστικών υποδομών πρασίνου είναι ο κατά κεφαλήν

αστικός χώρος πρασίνου (ΑΧΠ). Σκοπός της συγκεκριμένης μελέτης [8] είναι να αναλύσει κατά πόσον ο UGS (Urban Green Space) είναι ένας πολύτιμος στόχος για την επίτευξη των στόχων βιωσιμότητας των πόλεων. Εν προκειμένω χρησιμοποιείται η Ρουμανία ως μελέτη περίπτωσης, η οποία θα πρέπει να επιτύχει το στόχο των 26 m² UGS ανά κάτοικο σε όλες τις πόλεις. Χρησιμοποιήθηκαν αεροφωτογραφίες για την εξαγωγή της επιφάνειας των κατηγοριών UGS για ένα δείγμα 38 πόλεων στη Ρουμανία. Τα δεδομένα αυτά συγκρίθηκαν με τρεις άλλες βάσεις δεδομένων (Εθνικό Ινστιτούτο Στατιστικής, Υπηρεσίες Προστασίας Περιβάλλοντος και Αστικός Άτλας) για να ελεγχθούν διαφορές. Για να γίνει κατανοητή η συμβολή των γεωγραφικών και κοινωνικοοικονομικών παραγόντων στη δυναμική του κατά κεφαλήν UGS στις πόλεις της Ρουμανίας, χρησιμοποιήθηκε μια πολλαπλή γραμμική παλινδρόμηση. Για τον εντοπισμό των διαφορών μεταξύ των πόλεων όσον αφορά τα ποσοστά τους σε UGS, πραγματοποιήθηκε ανάλυση πολλαπλών αντιστοιχιών. Διαπιστώθηκαν σημαντικές διαφορές μεταξύ της επιφάνειας του UGS που αναφέρθηκε από τα διοικητικά γραφεία και αυτής που προέκυψε από τη χωρική ανάλυση. Η διαδικασία αναφοράς των στοιχείων UGS έχει επί του παρόντος μεθοδολογικές και προοπτικές ελλείψεις. Επιπλέον, η πυκνότητα του δομημένου χώρου, η εγγύτητα σε μεγάλες υποδομές συγκοινωνιών, η περίοδος ίδρυσης των πόλεων και τα κριτήρια γεωμορφολογίας αποτελούν σημαντικούς προγνωστικούς παράγοντες για τον UGS. Ο στόχος των 26 m² πρασίνου ανά κάτοικο σε όλες τις ρουμανικές πόλεις δεν είναι εφικτός και θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη τα χαρακτηριστικά των πόλεων, εάν επιθυμούνται να επιτευχθούν οι στόχοι βιωσιμότητας. Ο αστικός σχεδιασμός πρασίνου θα πρέπει να επικεντρωθεί περισσότερο στην ανάπτυξη μοντέλων αστικής πράσινης υποδομής που προσαρμόζονται σε κάθε τύπο αστικής περιοχής.

2.3. Πράσινες περιοχές, ο σημαντικότερος δείκτης της βιωσιμότητας των πόλεων. Έρευνα για τη χρησιμότητά τους στον αστικό σχεδιασμό.

Η συγκεκριμένη εργασία [9] συνοψίζει μια πολύ εκτεταμένη μελέτη που διεξήχθη στην πόλη Βαλένθια της Ισπανίας, σχετικά με το ρόλο που διαδραματίζουν οι χώροι πρασίνου στην άνεση των πόλεων. Σε προηγούμενη έρευνα, μελετήθηκαν οι περιβαλλοντικές παράμετροι που συνθέτουν το αστικό περιβάλλον. Με αυτές τις τιμές αναλύθηκε και επικυρώθηκε μια πολύ μεγάλη σειρά από δείκτες βιωσιμότητας και προσδιορίστηκαν οι δείκτες που παρουσίασαν την καλύτερη συμπεριφορά. Επίσης, μελετήθηκε ο ρόλος των δημόσιων χώρων πρασίνου της πόλης σε σχέση με την συγκράτηση της ηλιακής ακτινοβολίας και την ικανότητα συγκράτησης της ρύπανσης. Αυτό κατέληξε στη διατύπωση των δεικτών βιωσιμότητας ανάλογα με την ποσότητα των χώρων πρασίνου, οι οποίοι, μέσω στατιστικής συσχέτισης, επέτρεψαν τον προσδιορισμό της επιφάνειας του πρασίνου που απαιτείται για να θεωρηθεί η πόλη θεωρητικά βιώσιμη. Η παρούσα εργασία ολοκληρώνει την ανάλυση αυτών των διατυπώσεων για ένα ευρύτερο φάσμα μετρήσεων στην πόλη με μεγαλύτερο εύρος και μεγαλύτερη ποικιλία χώρων και καταστάσεων. Οι τρεις δείκτες βιωσιμότητας που απέδωσαν καλύτερα, δηλαδή εκείνοι με τη μεγαλύτερη στατιστική βεβαιότητα, έχουν επαναδιατυπωθεί για τη Βαλένθια. Η εργασία ολοκληρώνεται με την έρευνα από τον προηγούμενο πειραματισμό που εφαρμόστηκε στο πράσινο σχέδιο της Βαλένθια. Η

τελική λύση λαμβάνει υπόψη τις προτάσεις που διατυπώθηκαν από το Αρχή της Βαλένθια για το σχέδιο προστασίας της Huerta, το φυσικό περιβάλλον του λαχανόκηπου πάνω στο οποίο βρίσκεται η πόλη της Βαλένθια, μετά από τη φιλοσοφία της Ευρωπαϊκής Εδαφικής Στρατηγικής και της Ευρωπαϊκής Σύμβασης για το Τοπίο.

2.4. Μέθοδος οπτικής τηλεπισκόπησης για την ανίχνευση του αστικού πρασίνου ως δείκτη που εξυπηρετεί τη βιώσιμη ανάπτυξη της πόλης.

Το αστικό πράσινο, που ανακαλύπτεται από οπτικούς τηλεπισκοπικούς αισθητήρες, είναι η έκταση που καλύπτεται από χερσαία βλάστηση σε αστικές περιοχές και θεωρείται σημαντικός παράγοντας για την αστική βιωσιμότητα. Στην εν λόγω μελέτη [10] χρησιμοποιήθηκαν δύο αισθητήρες ALOS/AVNIR-2 και Landsat/OLI&TIR για τον προσδιορισμό του πράσινου χώρου με τη μέθοδο ταξινόμησης μέγιστης πιθανοφάνειας. Η περιοχή που ερευνήθηκε ήταν η πόλη Nha Trang, που βρίσκεται στο κεντρικό Βιετνάμ. Διαπιστώθηκε ότι οι αδιαπέραστες επιφάνειες αυξήθηκαν ραγδαία με αποτέλεσμα τη σημαντική μείωση του αστικού πρασίνου εντός 10 ετών από το 2007 – 2017. Στις αστικές περιοχές, ο δείκτης πρασίνου ήταν πολύ χαμηλός σε σύγκριση με το TCXDVN 9257: 2012. Με βάση την αλυσίδα Markov, προβλέφθηκε ότι κατά τα επόμενα 10 χρόνια, η συνολική φυτοκάλυψη της πόλης θα συνεχίσει να μειώνεται σε σύγκριση με τη υπάρχουσα. Αυτό είναι πιθανό να οδηγήσει στην αύξηση των καταστροφών και των περιβαλλοντικών κινδύνων, ιδίως των πλημμυρών και της διάβρωσης στην παράκτια πόλη Nha Trang. Η διαδικασία θα μπορούσε να είναι πολύ χρήσιμη στη χαρτογράφηση του αστικού πρασίνου ως δείκτη που εξυπηρετεί τη βιώσιμη ανάπτυξη της πόλης.

2.5. Αστικοί πράσινοι χώροι: ιστορική διερεύνηση της εξέλιξής τους και εισαγωγή στην έννοια της βιωσιμότητας.

Κύριος σκοπός αυτής της εργασίας [11] είναι η μελέτη της έννοιας και της μορφής των αστικών χώρων πρασίνου και η προσπάθεια σύνδεσής τους με την αρχή της αειφορίας. Αρχικά, προσεγγίζεται η έννοια του αστικού πρασίνου και αναλύονται οι διάφοροι τύποι και μορφές που εμφανίζονται στην πόλη. Σημαντικό μέρος της διερεύνησης, για την κατανόηση της σημερινής μορφής των χώρων πρασίνου, αποτελεί η επισκόπηση της εξέλιξης από τη βικτοριανή εποχή μέχρι σήμερα, με αναφορά σε συγκεκριμένες χρονικές περιόδους – σταθμούς. Θα ήταν απαραίτητο να επισημανθεί η σημασία της φύσης σε κοινωνικό, ψυχολογικό και αισθητικό επίπεδο, η συμβολή του φυσικού χώρου και του περιβάλλοντος, καθώς και η οικονομική προσφορά. Για τη συσχέτιση των χώρων πρασίνου με την έννοια της βιώσιμης ανάπτυξης, επιχειρείται μια ανάλυση του ορισμού και των παραγόντων – συνιστωσών που τη συνθέτουν. Κλείνοντας, γίνεται ανασκόπηση στους αστικούς χώρους πρασίνου του πολεοδομικού συγκροτήματος της Αθήνας, με μια σύντομη ιστορική αναδρομή από την πρώτη φάση δημιουργίας αστικών πάρκων μέχρι σήμερα. Μέσα από πιο συγκεκριμένα παραδείγματα χώρων πρασίνου της Αθήνας, γίνεται προσπάθεια διερεύνησης

των παραγόντων που καθορίζουν την επιτυχία ή την αποτυχία της προσπάθειας για τη δημιουργία ενός βιώσιμου χώρου πρασίνου.

Κεφάλαιο 3

Θεωρητικό Υπόβαθρο

Για την πλήρη κατανόηση των διαδικασιών που πραγματοποιήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης κρίθηκε απαραίτητη η παρουσίαση του θεωρητικού υποβάθρου. Το Κεφάλαιο 3 αποτελείται από δύο κύριες ενότητες, των δορυφόρων και της βιωσιμότητας, που έχουν ως γνώμονα την ανάλυση των μεθοδολογιών που χρησιμοποιήθηκαν και του θεωρητικού πλαισίου πάνω στο οποίο βασίζονται αυτές. Στο πρώτο υποκεφάλαιο παρατίθενται πληροφορίες σχετικές με τους δορυφόρους, τα δεδομένα που συλλέγουν και τους τρόπους με τους οποίους μπορούν αυτά να επεξεργαστούν για την ανάδειξη χρήσιμης πληροφορίας. Στο δεύτερο υποκεφάλαιο αναλύεται η σχέση της βιωσιμότητας και των δεικτών, σε συνάρτηση με τις απαιτούμενες προδιαγραφές που χρειάζονται για την μεταξύ τους σύνδεση.

3.1. Δορυφόροι

Ο δορυφόρος [12] είναι ένα αντικείμενο στο διάστημα το οποίο περιστρέφεται γύρω από ένα μεγαλύτερο αντικείμενο. Υπάρχουν οι φυσικοί δορυφόροι και οι τεχνητοί. Παράδειγμα φυσικού δορυφόρου αποτελεί το φεγγάρι που περιστρέφεται γύρω από τη γη ενώ τεχνητού ο Διεθνής Διαστημικός Σταθμός (International Space Station, ISS) που εκτελεί κι αυτός περιστροφική κίνηση γύρω από τη γη.

3.1.1. Τεχνητοί δορυφόροι

Στην παρούσα εργασία, το ενδιαφέρον στρέφεται στους τεχνητούς δορυφόρους της γης και συγκεκριμένα σε αυτούς που χρησιμοποιούνται για την παρατήρησή της. Επομένως, στη συνέχεια με την έννοια «δορυφόρος» θα εννοείται ο τεχνητός δορυφόρος δηλαδή μια μηχανή που εκτοξεύεται στο διάστημα, κινείται γύρω από τη γη και συλλέγει δεδομένα για αυτή.

Οι περισσότεροι δορυφόροι εκτοξεύονται στο διάστημα με πυραύλους. Ο πρώτος δορυφόρος που εκτοξεύτηκε στο διάστημα ήταν ο Sputnik 1. Ο δορυφόρος αυτός εκτοξεύθηκε από την Σοβιετική Ένωση το 1957. Ένας δορυφόρος τίθεται σε τροχιά γύρω από τη γη όταν η ταχύτητά του εξισορροπείται με την έλξη της γήινης βαρύτητας. Εάν δεν υπήρχε η ισορροπία αυτή, ο δορυφόρος θα συνέχιζε την ευθεία πορεία του προς το διάστημα ή θα επέστρεφε στη γη. Οι δορυφόροι βρίσκονται σε διαφορετικά ύψη (π.χ. 20.000 km δορυφόροι GPS) γύρω από τη γη και κινούνται με διαφορετικές ταχύτητες κατά μήκος διαφορετικών διαδρομών. Έτσι, οι συγκρούσεις είναι σπάνιες καθώς με την εκτόξευσή του κάθε δορυφόρος τοποθετείται σε προσχεδιασμένη τροχιά ώστε να αποφεύγει άλλους δορυφόρους. Επειδή οι τροχιές μπορούν να αλλάξουν με την

πάροδο του χρόνου, γίνεται συνεχής παρακολούθηση των δορυφόρων. Άλλωστε, η πιθανότητα σύγκρουσης αυξάνεται με την αύξηση των δορυφόρων στο διάστημα.

Οι δύο συνηθέστεροι τύποι τροχιάς είναι η «γεωστατική» ή «γεωσύγχρονη» και η «πολική». Ένας γεωστατικός δορυφόρος ταξιδεύει από τα δυτικά προς τα ανατολικά πάνω από τον ισημερινό. Κινείται δηλαδή προς την ίδια κατεύθυνση και με τον ίδιο ρυθμό με αυτόν της γης. Τέτοιοι δορυφόροι είναι συνήθως αυτοί που χρησιμοποιούνται για τις επικοινωνίες. Επομένως, ένας γεωστατικός δορυφόρος αν παρατηρηθεί από τη γη δεν φαίνεται να κινείται αφού συνεχώς βρίσκεται πάνω από την ίδια θέση. Αντίθετα, ένας δορυφόρος πολικής τροχιάς ταξιδεύει με κατεύθυνση από βορρά προς νότο, από πόλο σε πόλο, σαρώνοντας κάθε φορά μια λωρίδα. Παραδείγματα δορυφόρων πολικής τροχιάς περιλαμβάνουν μετεωρολογικούς δορυφόρους και δορυφόρους αναγνώρισης [12].

3.1.1.1. Εφαρμογές τεχνητών δορυφόρων

Χιλιάδες τεχνητοί δορυφόροι βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τη γη, επιτελώντας έναν διαφορετικό σκοπό. Ορισμένοι τραβούν φωτογραφίες του πλανήτη που βοηθούν τους μετεωρολόγους να προβλέψουν τον καιρό και να εντοπίζουν πιθανούς τυφώνες, ενώ άλλοι τραβούν άλλους πλανήτες, τον ήλιο, μαύρες τρύπες, σκοτεινή ύλη ή μακρινούς γαλαξίες. Οι εικόνες αυτές βοηθούν τους επιστήμονες στην καλύτερη κατανόηση του ηλιακού συστήματος και του σύμπαντος. Κι αυτό γιατί οι τεχνητοί δορυφόροι μπορούν να παρατηρήσουν το διάστημα καλύτερα από τα τηλεσκόπια στην επιφάνεια της γης αφού πετούν πάνω από τα σύννεφα, τη σκόνη και τα μόρια της ατμόσφαιρας που εμποδίζουν τη θέα από το επίπεδο του εδάφους.

Άλλοι τεχνητοί δορυφόροι χρησιμοποιούνται για τις τηλεπικοινωνίες καθώς τα τηλεοπτικά σήματα ταξιδεύουν μόνο σε ευθείες γραμμές. Έτσι, μέσω αυτών τα τηλεοπτικά σήματα και οι τηλεφωνικές κλήσεις στέλνονται προς τα πάνω σε έναν δορυφόρο και στη συνέχεια αυτός μπορεί να τα στείλει προς τα κάτω σε διάφορες τοποθεσίες στη γη. Πριν από αυτούς τα τηλεοπτικά σήματα δεν έφταναν πολύ μακριά αφού δεν μπορούσαν να ακολουθήσουν την καμπυλότητα της γης ενώ άλλες φορές τα βουνά ή τα ψηλά κτίρια τα εμπόδιζαν.

Πολλοί δορυφόροι χρησιμοποιούνται για τον ακριβή προσδιορισμό της θέσης, του χρόνου και της ταχύτητας κάποιου ανθρώπου ή αντικειμένου οπουδήποτε στην επιφάνεια της γης (ξηρά, θάλασσα, αέρα) και στο εγγύς διάστημα. Οι δορυφόροι αυτοί αποτελούν το Παγκόσμιο Δορυφορικό Σύστημα Πλοήγησης (GNSS). Έτσι, αρκετές χώρες έχουν συμβάλει με τα δικά τους συστήματα² και τους δορυφόρους τους στο σκοπό αυτό.

Τέλος, υπάρχουν δορυφόροι για την παρατήρηση της γης και την τηλεπισκόπηση. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα των δορυφόρων είναι ότι επιτυγχάνουν τη θέαση από μακριά

² Στα συστήματα αυτά ανήκουν το GPS (Αμερική – NASA), το GLONASS (Ρωσία), το GALILEO (Ευρωπαϊκή Ένωση – ESA), το COMPASS/BEIDOU (Κίνα) κ.ά.

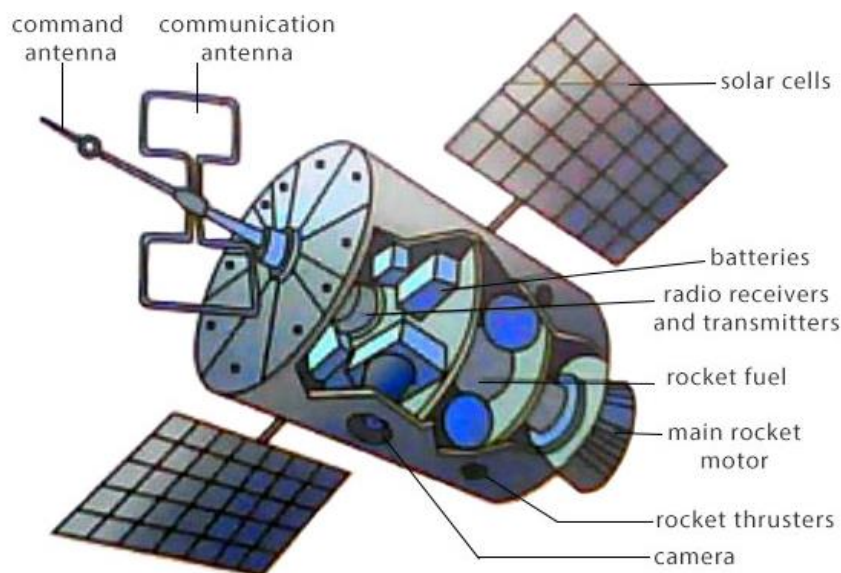
(bird's eye view) [13]. Το γεγονός αυτό τους επιτρέπει να βλέπουν μεγάλες περιοχές της γης ταυτόχρονα και έτσι μπορούν να συλλέγουν περισσότερα δεδομένα και με μεγαλύτερη ταχύτητα από τα επίγεια όργανα. Οι δορυφόροι που βλέπουν προς τη γη παρέχουν πληροφορίες για τα σύννεφα, τους ωκεανούς, τους πάγους, τα αέρια στην ατμόσφαιρα (π.χ. όζον και διοξείδιο του άνθρακα) και την ποσότητα ενέργειας που απορροφά και εκπέμπει η γη. Οι δορυφόροι παρακολούθησης της γης, όπως η σειρά Landsat και Sentinel χρησιμοποιούνται επίσης για την παρακολούθηση πυρκαγιών, ηφαιστειών και του καπνού που παράγουν αυτά και γενικότερα αλλαγών των δασών, του νερού και άλλων μερών της γήινης επιφάνειας με την πάροδο του χρόνου.

3.1.1.2. Δομή τεχνητού δορυφόρου

Τα μέρη ενός δορυφόρου ποικίλλουν ανάλογα με τη λειτουργία του. Ωστόσο, υπάρχουν ορισμένα τμήματα που συναντώνται στους περισσότερους δορυφόρους. Κάθε αξιοποιήσιμος δορυφόρος έχει τέσσερα βασικά μέρη: ένα σύστημα ενέργειας, ένα σύστημα ελέγχου της θέσης του, μια κεραία και ένα ωφέλιμο φορτίο για τη συλλογή πληροφοριών. Συνήθως, οι περισσότεροι δορυφόροι αποτελούνται από [14]:

- Κεραία: Λαμβάνει και μεταδίδει πληροφορίες/σήματα από και προς τη γη.
- Σύστημα διοίκησης και ελέγχου: παρακολουθεί κάθε πτυχή του δορυφόρου και λαμβάνει εντολές από τη γη για τη λειτουργία του.
- Αισθητήρας καθοδήγησης και σταθεροποίησης: παρακολουθεί τη θέση του δορυφόρου για τη διασφάλιση της σταθερότητας, της σωστής τροχιάς και του προσανατολισμού του. Εάν είναι απαραίτητο, υπάρχει προωθητής που επιτρέπει να ρυθμίσει λεπτομερώς τη θέση και τον προσανατολισμό του.
- Σύστημα ενέργειας: μπορεί να είναι ένα ηλιακό πάνελ ή μια μπαταρία. Οι περισσότεροι δορυφόροι χρησιμοποιούν ηλιακούς συλλέκτες και βασίζονται στην ηλιακή συστοιχία για τη μετατροπή του ηλιακού φωτός σε ενέργεια δηλαδή ηλεκτρισμό.
- Εξωτερικό περίβλημα: κατασκευάζεται από ισχυρά υλικά που αντέχουν στις ιδιαίτερες και σκληρές συνθήκες που επικρατούν στο διαστημικό περιβάλλον.
- Θερμικό σύστημα: προστατεύει τον εξοπλισμό από ακραίες μεταβολές της θερμοκρασίας.
- Αναμεταδότης: μετατρέπει τις συχνότητες της ανερχόμενης ζεύξης σε συχνότητες της κατερχόμενης και ενισχύει τη μετατρεπόμενη μετάδοση για την αποστολή στη γη. Κι αυτό γιατί τα σήματα άνω και κάτω ζεύξης φθάνουν και αναχωρούν σε διαφορετικές συχνότητες, γεγονός που θα δημιουργούσε σφάλματα ακρίβειας.
- Σύστημα συλλογής πληροφοριών/δέκτης: μπορεί να είναι μια κάμερα, ένας αισθητήρας ή ένας ανιχνευτής σωματιδίων. Ορισμένες φορές [15] τα όργανα στρέφονται προς τη γη για να συλλέξουν πληροφορίες σχετικές με το έδαφος, το νερό

ή τον αέρα ενώ άλλες προς το διάστημα για να συλλέξουν πληροφορίες για το ηλιακό σύστημα και το σύμπαν.



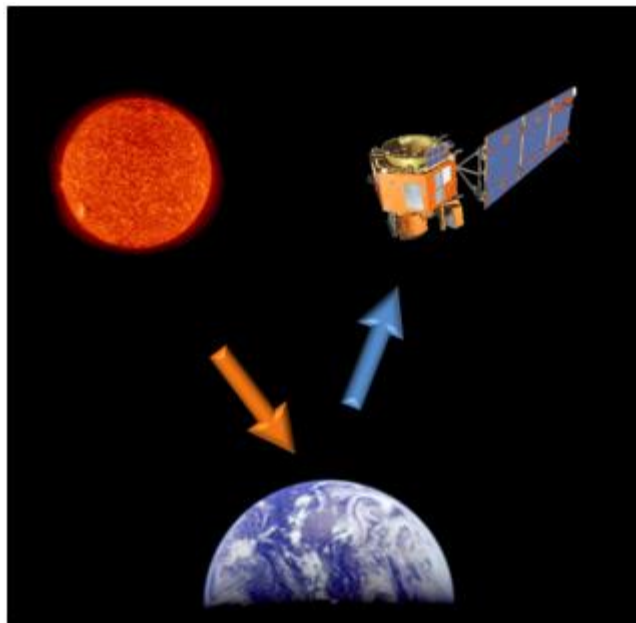
Σχήμα 1: Βασικά μέρη ενός δορυφόρου
(Πηγή: *Rockets and Satellites, classhall.com* [16])

3.1.2. Δορυφορικοί δέκτες

Ο δέκτης είναι μια συσκευή που μπορεί να εντοπίζει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα που ανακλώνται ή εκπέμπονται από ένα αντικείμενο. Ανάλογα με την πηγή που προέρχεται η ΗΜ ακτινοβολία διακρίνονται δύο είδη δεκτών/αισθητήρων, ο παθητικός και ο ενεργητικός.

3.1.2.1. Παθητικός δέκτης

Οι παθητικοί δέκτες δεν εκπέμπουν οι ίδιοι ακτινοβολία αλλά ανιχνεύουν και καταγράφουν την ανακλώμενη ηλιακή και θερμική ακτινοβολία στα ορατά και υπέρυθρα μήκη κύματος του ΗΜ φάσματος. Οι περισσότεροι δορυφόροι, μεταξύ των οποίων οι Landsat και Sentinel – 2, είναι εφοδιασμένοι με έναν πολυφασματικό σαρωτή ο οποίος καταγράφει το ΗΜ σήμα που προέρχεται από την ίδια περιοχή της γήινης επιφάνειας, την ίδια χρονική στιγμή αλλά σε διαφορετικά μήκη κύματος, παρέχοντας με αυτόν τον τρόπο τα διαφορετικά φασματικά κανάλια μιας πολυφασματικής δορυφορικής εικόνας. Η ισχύς που μετρούν οι αισθητήρες εξαρτάται από τη σύνθεση και την τραχύτητα της επιφάνειας, την φυσική θερμοκρασία και από άλλα χαρακτηριστικά της γης.



Σχήμα 2: Παθητικός δέκτης
(Πηγή: NASA, 2012)

Οι δορυφόροι αυτοί έχουν την ικανότητα να λαμβάνουν παγκόσμιες παρατηρήσεις της γης και της ατμόσφαιράς της σε όλες τις καιρικές συνθήκες, ημέρα και νύχτα. Περιλαμβάνουν διαφόρων τύπων όργανα τα κυριότερα των οποίων καταγράφουν στο ορατό, στο εγγύς υπέρυθρο, στο θερμικό υπέρυθρο και σε τμήματα της περιοχής των μικροκυμάτων του ΗΜ φάσματος. Τα όργανα έχουν ως πρότυπο αυτή της ραδιοαστρονομίας και επιτυγχάνουν την ανίχνευση εκπομπών με πολύ χαμηλή ισχύ. Τέτοια όργανα καταγραφής είναι το επιταχυνσιόμετρο, το ραδιόμετρο, το απεικονιστικό ραδιόμετρο, το φασματοόμετρο, το φασματο – ραδιόμετρο, το υπερφασματικό ραδιόμετρο και το ηχώμετρο.

3.1.2.2. Ενεργητικός δέκτης

Οι ενεργητικοί δέκτες έχουν τη δυνατότητα να εκπέμπουν δική τους ακτινοβολία, το σήμα της οποίας ανακλάται, διαθλάται ή διαχέεται στην γήινη επιφάνεια ή ατμόσφαιρα και το καταγράφουν αφού επιστρέψει [17]. Το σημαντικότερο πλεονέκτημά τους είναι ότι δεν εξαρτώνται από τις καιρικές συνθήκες και από τις συνθήκες φωτισμού του ήλιου. Κι αυτό γιατί μπορούν να διαπεράσουν τα σύννεφα, τη χαμηλή βροχή, το χιόνι καθώς και τη βλάστηση και το έδαφος (σε βάθος περίπου ενός μέτρου). Καθώς δεν εξαρτώνται από τις συνθήκες φωτισμού μπορούν να λειτουργήσουν είτε μέρα είτε νύχτα. Ακόμη, έχουν την ικανότητα να εκτιμήσουν την υγρασία του επιφανειακού στρώματος του εδάφους, εάν χρησιμοποιήσουν περίπλοκες και ακριβές μεθόδους.

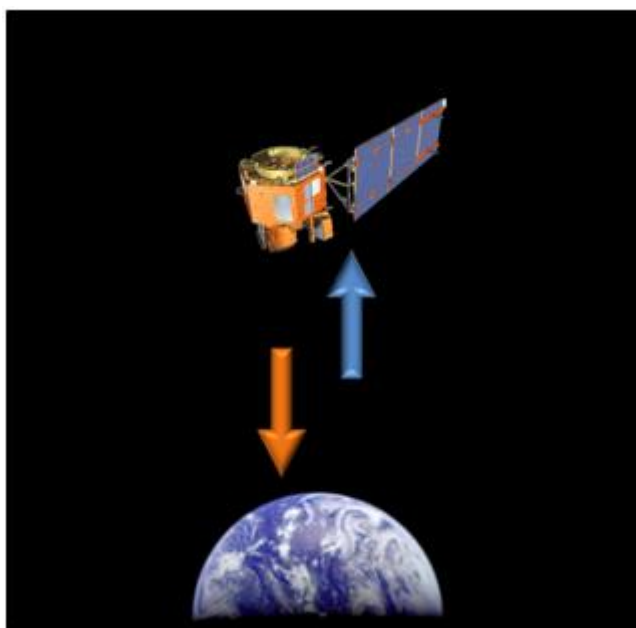
Οι ενεργητικοί δέκτες χρησιμοποιούνται κυρίως στη γεωργία, στη δασολογία, στη γεωλογία, στην υδρολογία, στην ωκεανογραφία και στην καταγραφή και μελέτη πάγων στην γήινη

επιφάνεια. Επίσης, χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό αποστάσεων και υψομετρικών διαφορών μέσω της καταμέτρησης τη χρονικής διαφοράς μεταξύ του εκπεμπόμενου και του επιστρεφόμενου σήματος. Μειονέκτημά τους αποτελούν η υψηλή πιθανότητα αλλοίωσης του σήματος που καταγράφουν εξαιτίας παρεμβολών λόγω της χαμηλής εκπεμπόμενης ακτινοβολίας του και η μη ύπαρξη πολυφασματικών χαρακτηριστικών στο σήμα.

Τα όργανα καταγραφής μπορεί να είναι απεικονιστικά (imaging radars), αλτίμετρα (altimeters – ραντάρ μετρήσεων υψομέτρων), σκεδασίμετρα (scatterometers), ραδιόμετρα, βυθόμετρα ή GPS. Οι πιο γνωστοί ενεργητικοί δέκτες είναι οι LiDAR και οι SAR.

Οι αισθητήρες LiDAR (Light Detection And Ranging) εκπέμπουν μερικές χιλιάδες παλμούς μονοχρωματικού φωτός με τη μορφή laser το δευτερόλεπτο και χρησιμοποιούν την ανάκλαση κάθε παλμού για τη μέτρηση της απόστασης μεταξύ του αισθητήρα και του εδάφους.

Οι SAR (Synthetic Aperture Radar) ή αλλιώς τα Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος εκπέμπουν μικροκύματα προς ένα αντικείμενο, δέχονται το τμήμα της ακτινοβολίας που ανακλάται από αυτό και καταγράφουν την ένταση και το χρόνο της επιστροφής. Με τη βοήθεια της ψηφιακής επεξεργασίας των πολλαπλών καταγραφών επιτυγχάνει πολύ μεγάλη ανάλυση.

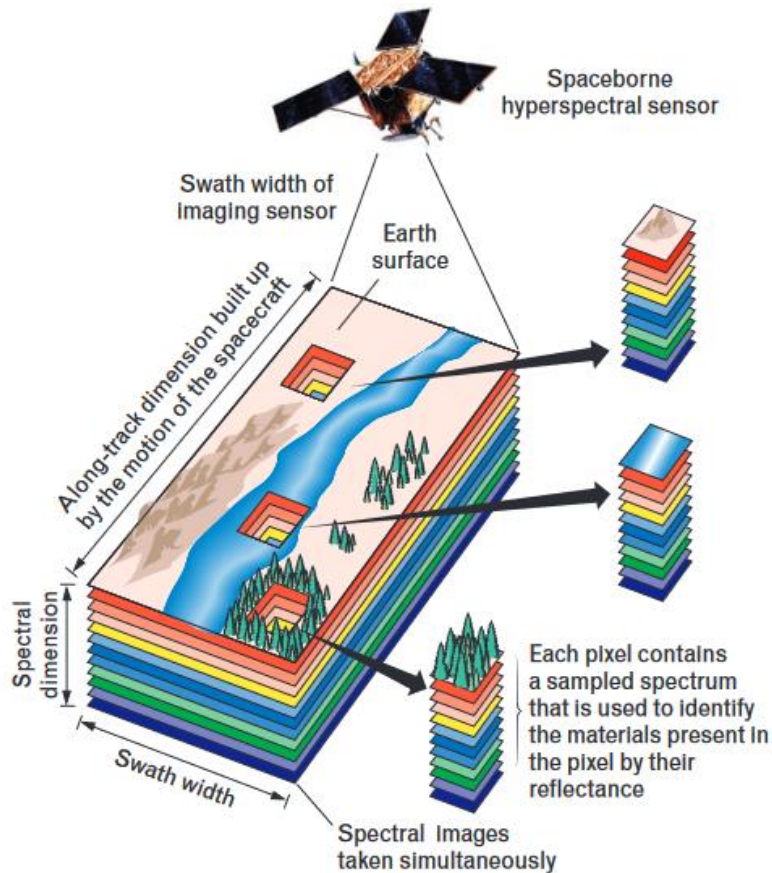


Σχήμα 3: Ενεργητικός δέκτης
(Πηγή: NASA, 2012)

3.1.3. Φασματικά κανάλια

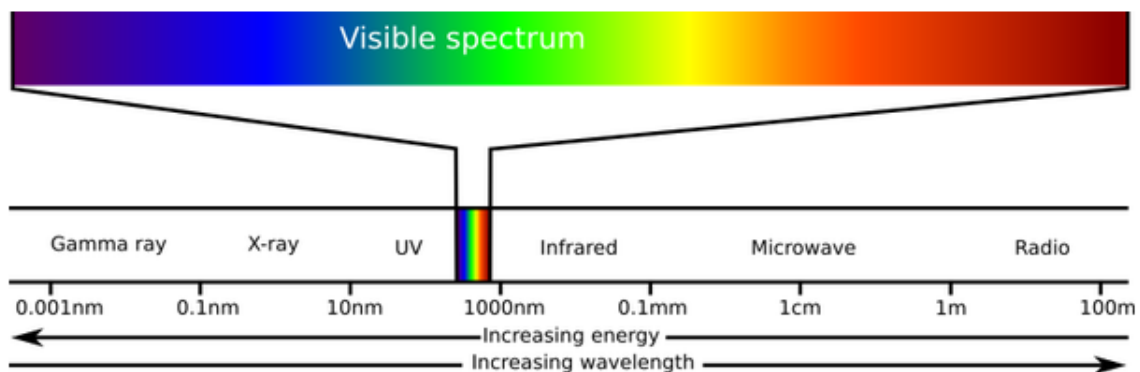
Με τον όρο «φασματικό κανάλι» [18] εννοείται μια περιοχή μήκους κύματος στο φάσμα της ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ηλεκτρομαγνητικής (ΗΜ) ενέργειας στην οποία είναι ευαίσθητος ένας απομακρυσμένος αισθητήρας. Η ΗΜ ακτινοβολία έχει ένα τεράστιο εύρος ενέργειας που

αποτελείται από διαφορετικά μήκη κύματος. Μόλις ένας αισθητήρας συλλέξει δεδομένα από μια φασματική ζώνη, αποθηκεύει τα δεδομένα σε ένα αρχείο ή τμήμα αρχείου δηλαδή σε ένα κανάλι. Έτσι, μια εικόνα είναι μια μορφή επικάλυψης διαφορετικών καναλιών.



Σχήμα 4: Η έννοια της φασματοσκοπικής απεικόνισης
(Πηγή: Gary A. Shaw & Hsiao – Hua K. Burke, “Spectral Imaging for Remote Sensing”)

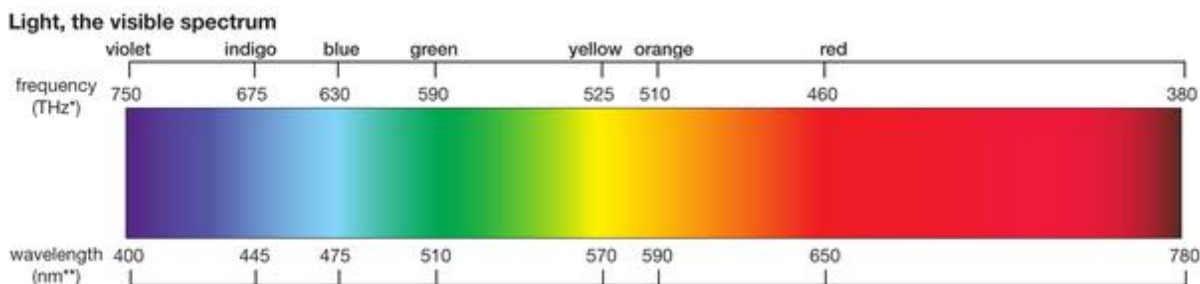
Οι αισθητήρες έχουν την ικανότητα να διαχωρίζουν συγκεκριμένο αριθμό ζωνών ΗΜ ακτινοβολίας, έχουν δηλαδή συγκεκριμένη φασματική ανάλυση. Επί της ουσίας, η φασματική ανάλυση αφορά στον αριθμό των «χρωμάτων» που μπορεί να εντοπίσει ένας αισθητήρας.



Σχήμα 5: Το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Κάθε κανάλι έχει συγκεκριμένη χωρική ανάλυση. Η ανάλυση αυτή αφορά στο μικρότερο μέγεθος ενός χαρακτηριστικού που μπορεί να διακριθεί σε μια εικόνα. Αυτό είναι σημαντικό επειδή ορισμένα κανάλια είναι καταλληλότερα για ορισμένες εφαρμογές, όπως εικόνες υψηλής ανάλυσης για αστική χαρτογράφηση ή χαμηλής ανάλυσης για παρακολούθηση της βλάστησης.

Μια απλή φωτογραφική μηχανή καταγράφει τις φασματικές ζώνες που ανήκουν στο ορατό τμήμα του μήκους κύματος δηλαδή το κόκκινο, το πράσινο και το μπλε. Παραδείγματος χάριν, το κόκκινο κανάλι συλλέγει ακτινοβολία από περίπου 625 έως 740 nm. Στη συνέχεια οι τρεις εικόνες (κόκκινη, πράσινη, μπλε) συνδυάζονται και δημιουργείται μια έγχρωμη (RGB).



Σχήμα 6: Το ορατό φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας

Στην τηλεπισκόπηση, ένα κανάλι αναφέρεται σε ένα συγκεκριμένο εύρος μήκους κύματος του ΗΜ φάσματος που χρησιμοποιείται για την καταγραφή και τη μέτρηση της ανακλαστικότητας ή της ακτινοβολίας ενός αντικείμενου ή μιας επιφάνειας από έναν αισθητήρα. Τα όργανα τηλεπισκόπησης [19] όπως είναι οι δορυφόροι, διαθέτουν συνήθως πολλαπλές ζώνες/κανάλια που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη απόκτηση διαφορετικών τύπων πληροφοριών σχετικά με την επιφάνεια της γης.

Κάθε ζώνη αντιστοιχεί σε ένα συγκεκριμένο εύρος μηκών κύματος το οποίο είναι ευαίσθητο σε διαφορετικούς τύπους πληροφοριών³. Οι πληροφορίες αυτές σχετίζονται με το είδος των εκάστοτε αντικείμενων. Κάθε αντικείμενο εμφανίζει διαφορετική ανακλαστικότητα σε διαφορετικά φάσματα της ακτινοβολίας αφού από κάθε αντικείμενο ανακλώνται και απορροφώνται άλλα τμήματα του φάσματος. Συνεπώς, κάθε φασματική ζώνη χρησιμοποιείται για διαφορετικό σκοπό.

Για παράδειγμα, οι ζώνες ορατού φωτός χρησιμοποιούνται για τη λήψη εικόνων της γήινης επιφάνειας όμοιες με αυτές που βλέπουν οι άνθρωποι ενώ οι υπέρυθρες ζώνες για την ανίχνευση θερμότητας και υγρασίας. Πιο συγκεκριμένα, το εγγύς υπέρυθρο βοηθά σημαντικά στον εντοπισμό της υγιούς βλάστησης και των χλωροφυλλών. Κατά συνέπεια, συνεισφέρει στην ανίχνευση φυτών που βρίσκονται υπό πίεση λόγω κλίματος ή ασθένειας ή περιορισμού θρεπτικών

³ Το ΗΜ φάσμα μετριέται κατά μήκος ενός συνεχούς μήκους κύματος, το οποίο είναι η απόσταση από τη μια κορυφή του κύματος στην επόμενη. Καθώς η απόσταση μεταβάλλεται, το κύμα εμφανίζει διαφορετικές ιδιότητες όσον αφορά στη μετάδοση ενέργειας σε διαφορετικές συνθήκες.

συστατικών. Τα κανάλια που καταγράφουν την μέση υπέρυθη ακτινοβολία είναι ιδιαίτερα χρήσιμα στη γεωλογία και στην αρχαιολογία επειδή «διαπερνούν» πιο πυκνές μοριακές δομές.

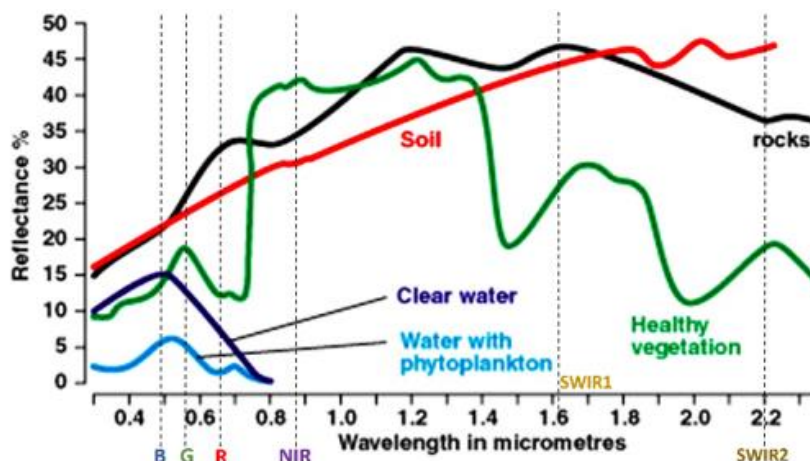
Οι φασματικές ζώνες μπορούν να χωριστούν περαιτέρω σε διάφορες υποκατηγορίες όπως η παγχρωματική, η πολυφασματική και η υπερφασματική.

- Οι παγχρωματικές ζώνες καταγράφουν εικόνες στην ορατή και την εγγύς υπέρυθη περιοχή του φάσματος. Ουσιαστικά, μια παγχρωματική ζώνη είναι μια ασπρόμαυρη ζώνη, η οποία είναι ενιαία και τυπικά έχει μεγάλο εύρος μερικών εκατοντάδων νανομέτρων. Το γεγονός αυτό της επιτρέπει να έχει υψηλό λόγο σήματος προς θόρυβο. Έτσι, τα παγχρωματικά δεδομένα είναι συχνά διαθέσιμα με την υψηλότερη χωρική ανάλυση.
- Οι πολυφασματικές ζώνες καταγράφουν εικόνες σε πολλαπλές περιοχές του φάσματος όπως το ορατό, το εγγύς υπέρυθρο και το μέσο υπέρυθρο (ή υπέρυθρο βραχέων κυμάτων). Σε μια πολυφασματική εικόνα, κάθε pixel έχει ένα πλήθος τιμών φωτεινότητας ίσο με το πλήθος των φασματικών ζωνών.
- Οι υπερφασματικές ζώνες καταγράφουν εικόνες σε πολύ λεπτά διαστήματα μήκους κύματος, γεγονός που επιτρέπει την πολύ λεπτομερή ανάλυση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών και αντικειμένων (π.χ. διάκριση φυτικών ειδών).

3.1.4. Φασματικές υπογραφές

Συνήθως για τη διάκριση και αναγνώριση υλικών και αντικειμένων χρησιμοποιείται το χρώμα. Η δυνατότητα καταγραφής διαφορετικών καναλιών από έναν αισθητήρα είναι πολύ σημαντική για την διάκριση φαινομενικά ομοειδών κατηγοριών/καλύψεων γης. Η διάκριση αυτή επιτυγχάνεται μέσω της ραδιομετρίας τους και κατά συνέπεια της φασματικής τους υπογραφής.

Η φασματική υπογραφή αναφέρεται στη σχηματική αναπαράσταση της ποσότητας της ΗΜ ακτινοβολίας που καταγράφει ένας αισθητήρας του δορυφόρου από μια συγκεκριμένη κάλυψη γης. Η ποσότητα αυτή αντιστοιχεί σε κάποια ραδιομετρική τιμή. Παρόλα αυτά, κάθε pixel της ίδιας κατηγορίας δεν παρουσιάζει απαραίτητως την ίδια ραδιομετρική τιμή στο ίδιο φασματικό κανάλι. Οι τιμές όμως είναι κοντινές εάν η μελετώμενη κάλυψη γης είναι ομοιογενής. Έτσι, το παρακάτω διάγραμμα έχει προκύψει βάσει των μέσων όρων των τιμών όσο το δυνατόν μεγαλύτερης συγκέντρωσης pixels της ίδιας κατηγορίας.



Σχήμα 7: Φασματικές υπογραφές κοινών υλικών
(Πηγή: Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση – ΕΜΠ, 2021)

Για παράδειγμα, όσον αφορά στη βλάστηση το πράσινο χρώμα οφείλεται στο γεγονός ότι στο ορατό φάσμα παρουσιάζει υψηλή απορρόφηση της ενέργειας που αντιστοιχεί στο μπλε και στο κόκκινο και υψηλή ανάκλαση στο πράσινο. Γι' αυτό και στο διάγραμμα η υγιής βλάστηση στο ορατό φάσμα εμφανίζει τοπικά ελάχιστα στο μπλε και στο κόκκινο και τοπικό μέγιστο στο πράσινο. Έτσι, μια φυτική κάλυψη με έντονη περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη εμφανίζει αυτά τα χαρακτηριστικά.

Ωστόσο, παρατηρώντας το διάγραμμα διαπιστώνεται ότι η υγιής βλάστηση παρουσιάζει πολύ υψηλή ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) και η φασματική της υπογραφή αυξάνει απότομα μετά το κόκκινο τμήμα του φάσματος. Το συγκεκριμένο τμήμα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, χρησιμεύει στον εντοπισμό της υγιούς ή μη βλάστησης και στην ανίχνευση φυτών που βρίσκονται υπό πίεση. Συνεπώς, συγκρίνοντας την ανακλαστικότητα της βλάστησης στο ορατό φάσμα και στο εγγύς υπέρυθρο παρατηρείται ότι στο πρώτο είναι σχετικά χαμηλή, γεγονός που οφείλεται στα συστατικά των φύλλων⁴.

Στο μέσο υπέρυθρο (SWIR) διατηρούνται οι υψηλές τιμές ανακλαστικότητας και αυτό σχετίζεται με την εσωτερική δομή των φύλλων. Άρα, η περιοχή αυτή του φάσματος κρίνεται ως καταλληλότερη για τον διαχωρισμό των διαφόρων φυτικών ειδών.

3.1.5. Έγχρωμα σύνθετα

Δεδομένου ότι το ανθρώπινο μάτι είναι περιορισμένο, δεν είναι δυνατή η κατανόηση της ταυτόχρονης απόδοσης όλων των δεδομένων που συλλέγει ένας πολυφασματικός ή υπερφασματικός αισθητήρας. Έτσι, κάθε φορά επιλέγονται μόνο τρεις ζώνες για την αναπαράσταση μιας εικόνας, ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που επιθυμούνται να αναδειχθούν.

⁴ Η απορρόφηση του μπλε και του κόκκινου χρώματος είναι υψηλή διότι η ενέργεια που ανήκει σε αυτά τα τμήματα χρησιμοποιείται για τη διαδικασία της φωτοσύνθεσης.

Αυτός είναι ο λόγος που χρησιμοποιούνται τα έγχρωμα σύνθετα. Ουσιαστικά, το έγχρωμο σύνθετο δημιουργείται από το συνδυασμό τριών μονοφασματικών (ασπρόμαυρων) εικόνων (καναλιών) που τοποθετούνται σε ένα χρωματικό συνδυασμό, χρησιμοποιώντας τα τρία βασικά χρώματα (κόκκινο, πράσινο, μπλε).

Κάθε έγχρωμο σύνθετο χρησιμοποιείται για συγκεκριμένες διεργασίες αφού από κάθε ένα αναδεικνύονται διαφορετικά στοιχεία, διευκολύνοντας αποφασιστικά την φωτοερμηνεία των απεικονίσεων [20]. Το πιο γνωστό είναι το φυσικό έγχρωμο σύνθετο (R, G, B) που αποτελεί μια απεικόνιση της πραγματικότητας με απομίμηση των φυσικών χρωμάτων. Με αυτό είναι δυνατή η αναγνώριση όλων των στοιχείων που διακρίνονται με γυμνό οφθαλμό, σε συνάρτηση πάντα με τους περιορισμούς που θέτει η διακριτική ικανότητα του δέκτη που χρησιμοποιείται. Άλλα σημαντικά έγχρωμα σύνθετα είναι το (NIR, SWIR, R), το (SWIR, NIR, R) και το (SWIR, R, B), τα οποία χρησιμοποιούνται αντίστοιχα για τη μελέτη χρήσεων και καλύψεων γης, για τον εντοπισμό της βλάστησης, των διαβαθμίσεων του πρασίνου και των καμένων εκτάσεων και για γεωλογικές μελέτες.

3.1.6. Μετασχηματισμός δορυφορικών πολυφασματικών εικόνων

Στις πολυφασματικές τηλεπισκοπικές εικόνες μπορούν να πραγματοποιηθούν ορισμένες τεχνικές επεξεργασίας μεταξύ των φασματικών καναλιών προκειμένου να δημιουργηθούν νέες εικόνες που θα αναδεικνύουν ορισμένα χαρακτηριστικά του χώρου τα οποία δεν είναι διακριτά στις αρχικές εικόνες. Οι λόγοι και οι δείκτες αποτελούν τέτοιες τεχνικές μετασχηματισμού.

Η επιλογή της εκάστοτε τεχνικής εξαρτάται από το είδος της εφαρμογής που επιθυμείται να εκτελεστεί. Εκτός των λόγων μπορούν να πραγματοποιηθούν και άλλες αριθμητικές πράξεις μεταξύ των καναλιών (πρόσθεση, αφαίρεση, πολλαπλασιασμός). Επιπλέον, υπάρχουν τεχνικές που επιτυγχάνουν οι νέες εικόνες να συμπίπτουν μεγάλο όγκο πληροφοριών σε μικρότερο αριθμό καναλιών, όπως είναι η ανάλυση σε κύριες συνιστώσες (PCA). Στο πλαίσιο της εργασίας αυτής, δεν απαιτείται περαιτέρω ανάλυση των μεθόδων αυτών.

3.1.6.1. Λόγοι καναλιών

Οι λόγοι καναλιών είναι μία από τις πιο χρήσιμες αριθμητικές πράξεις που μπορούν να εφαρμοστούν αφού με την κατάλληλη επιλογή καναλιών συμβάλουν στην ανάδειξη συγκεκριμένων αντικειμένων και θεματικών κατηγοριών. Πιο συγκεκριμένα, αποτελούν ενισχύσεις, οι οποίες προκύπτουν από τη διαίρεση των ψηφιακών τιμών ενός πολυφασματικού καναλιού με τις αντίστοιχες ενός άλλου. Η εφαρμογή τους μειώνει σε ένα βαθμό την επίδραση του ανάγλυφου και των σκιάσεων (ατμοσφαιρική διάχυση) στις εικόνες και περιορίζει τις επιπτώσεις που οφείλονται στις ατμοσφαιρικές συνθήκες, ενώ παράλληλα αναδεικνύει φασματικά

χαρακτηριστικά διαφόρων στοιχείων ανεξάρτητα από την έκταση των συνθηκών φωτισμού της περιοχής κατόπτευσης.

Ακόμη, οι λόγοι συχνά είναι χρήσιμοι για τη διάκριση μικρών φασματικών διαφορών μίας περιοχής κατόπτευσης, οι οποίες συγκαλύπτονται από τη διακύμανση των τιμών φωτεινότητας σε εικόνες μεμονωμένων φασματικών καναλιών. Αυτό επιτυγχάνεται διότι απεικονίζουν τις διακυμάνσεις στις κλίσεις των καμπυλών φασματικής ανακλαστικότητας μεταξύ των δύο καναλιών ανεξαρτήτως των απόλυτων τιμών ανακλαστικότητας που παρατηρούνται στα κανάλια. Οι κλίσεις αυτές είναι διαφορετικές για διαφορετικά είδη υλικών σε ορισμένα κανάλια. Προφανώς, η χρησιμότητα του οποιουδήποτε φασματικού λόγου εξαρτάται από τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά ανακλαστικότητας των αντικειμένων και των θεματικών κατηγοριών που υπάρχουν στις εικόνες μελέτης και στην εκάστοτε εφαρμογή και χρήση που επιθυμείται.

Οι πιο δημοφιλείς εφαρμογές των λόγων αφορούν στον εντοπισμό χαρακτηριστικών καλύψεων γης και στη δημιουργία σημαντικών δεικτών όπως είναι αυτοί της βλάστησης. Για την ανάδειξη της βλάστησης, ο λόγος που συνήθως χρησιμοποιείται είναι ο *RATIO* (Ratio Vegetation Index), ο οποίος είναι συνδυασμός των φασματικών καναλιών του ορατού κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου.

$$RATIO = \frac{Nir}{Red}$$

Η βλάστηση εμφανίζει υψηλή ανακλαστικότητα στο εγγύς υπέρυθρο συγκριτικά με το κόκκινο τμήμα του φάσματος. Έτσι, ο λόγος μεταξύ των καναλιών αυτών είναι μεγάλος και η βλάστηση διακρίνεται εύκολα καθώς η απεικόνισή της γίνεται με φωτεινούς τόνους.

3.1.6.2. Δείκτες καναλιών

Πέραν των λόγων, μπορούν να πραγματοποιηθούν πιο σύνθετες πράξεις όπως είναι οι δείκτες (indexes) εδαφοκάλυψης. Οι δείκτες ανήκουν στην κατηγορία των τεχνικών φασματικής ενίσχυσης (spectral enhancement) των εικόνων. Ουσιαστικά, είναι εικόνες οι οποίες προκύπτουν μετά από μαθηματικές πράξεις μεταξύ των φασματικών καναλιών της ίδιας εικόνας ή διαφορετικών εικόνων. Οι δείκτες καναλιών είναι πολλές φορές προτιμότεροι έναντι των λόγων καθώς οι πρώτοι είναι συνήθως κανονικοποιημένοι και έχουν καθορισμένο εύρος (-1,1).

Ένας δείκτης θεωρείται ότι είναι λειτουργικός όταν πληροί τρία κριτήρια [21]. Αρχικά, οφείλει να μεγιστοποιεί την ευαισθησία των επιφανειών με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά, να μεταβάλλεται γραμμικά στις αλλαγές που συντελούνται και να εφαρμόζεται σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος περιοχών. Επίσης, πρέπει να εξομαλύνει και να ελαττώνει τις επιπτώσεις που σχετίζονται με τις συνθήκες φωτισμού (γωνία του ήλιου), την τοπογραφία, τις ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα σφάλματα των αισθητήρων, ώστε να μπορούν να πραγματοποιούνται διαχρονικές

συγκρίσεις στην περιοχή μελέτης. Τέλος, οφείλει να συνδέεται με διαδικασίες υπολογισμού ποσοτικών παραμέτρων όπως ο υπολογισμός της βιομάζας.

Κάθε δείκτης επιτελεί έναν διαφορετικό σκοπό. Για παράδειγμα, υπάρχουν δείκτες που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση διαφορετικών ειδών βλάστησης ή για την ανάδειξη αστικών περιοχών και κτιρίων, γυμνών εδαφών, ορυκτών, ξηρασίας, υδάτων (νερού, χιονιού, πάγου) και καμένων εκτάσεων.

Οι πιο γνωστοί δείκτες είναι αυτοί της βλάστησης. Μερικοί εξ αυτών είναι ο NDVI, ο SAVI και ο EVI. Οι δείκτες βλάστησης εφαρμόζονται για διάφορες χρήσεις όπως για τη διαχείριση του δασικού πλούτου, τον εντοπισμό φυτικών ασθενειών και την παρακολούθηση της ερημοποίησης.

Παρακάτω παρουσιάζεται αναλυτικά ο δείκτης NDVI ο οποίος αξιοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης.

3.1.6.3. NDVI

Ο πιο γνωστός δείκτης για την ανάδειξη της βλάστησης είναι ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Πρόκειται για έναν κανονικοποιημένο δείκτη που προκύπτει από το λόγο ανάκλασης του κόκκινου καναλιού προς το εγγύς υπέρυθρο και υπολογίζεται ως εξής:

$$NDVI = \frac{Nir - Red}{Nir + Red}$$

Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται από -1 έως +1 με τις θετικές τιμές να υποδηλώνουν την ύπαρξη βλάστησης. Συγκεκριμένα, οι τιμές 0,1 – 0,5 περιγράφουν την αραιή βλάστηση και οι τιμές > 0,6 την πυκνή πράσινη βλάστηση. Οι αρνητικές τιμές και η τιμή 0 εκφράζουν την απουσία βλάστησης και την ύπαρξη άλλων καλύψεων γης. Συγκεκριμένα, οι αρνητικές τιμές συνήθως περιγράφουν την ύπαρξη νερού ή χιονιού (ή ακόμα και σύννεφων) και οι θετικές τιμές κοντά στο 0 την ύπαρξη γυμνού εδάφους ή αστικοποιημένης περιοχής (ανθρωπογενών κατασκευών) [22].

Η μορφή του NDVI είναι αυτή καθώς βασίζεται στο γεγονός ότι η χλωροφύλλη απορροφά την κόκκινη ακτινοβολία ενώ η δομή του μεσοφύλλου των φύλλων σκεδάζει το εγγύς υπέρυθρο [23].

Καθώς ο δείκτης NDVI έχει συγκεκριμένες τιμές για διαφορετικές καλύψεις γης, αφού κάθε κάλυψη γης παρουσιάζει διαφορετικές ανακλαστικότητες στα κανάλια Nir και Red, η εφαρμογή ενός κατωφλίου συμβάλει σημαντικά στο διαχωρισμό των καλύψεων αυτών. Έτσι, η τιμή κατωφλίου (threshold) μπορεί να προσδιορίσει τους τύπους βλάστησης στην αστική περιοχή. Προκειμένου να εντοπισθεί η βλάστηση προτείνεται η εφαρμογή κατωφλίου > 0,5 για pixel που θεωρούνται πλήρως φυτικά και μεταξύ 0,2 έως 0,5 για pixel που θεωρούνται μείγμα γυμνού εδάφους και βλάστησης [24].

Λόγω των κανονικοποιημένων τιμών, ο NDVI είναι σχεδόν αναλλοίωτος από τις διάφορες συνθήκες. Χρησιμοποιείται συχνά σε διάφορες εφαρμογές που αφορούν στη βλάστηση όπως για την παρακολούθηση της υγείας των φυτών, την εκτίμηση της βιομάζας τους και την απόδοση των καλλιεργειών καθώς περιγράφει πολλές ιδιότητές της. Ακόμη, με τον δείκτη αυτό ελαχιστοποιούνται οι τοπογραφικές επιδράσεις και αναπληρώνονται αλλαγές που υπάρχουν στις συνθήκες φωτισμού. Ένα μειονέκτημά του είναι ότι σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βλάστησης εμφανίζει δείγματα κορεσμού (saturation) ενώ σε χαμηλές παρουσιάζει υπερεκτίμηση που οφείλεται στην ανακλαστικότητα του εδάφους. Εκτός αυτού, οι τιμές του μπορούν να επηρεαστούν από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, όπως από τα λεπτά σύννεφα.

Αξίζει να σημειωθεί ότι δημιουργήθηκε το 1974 προκειμένου να διαχωρίζει τη βλάστηση από τη φωτεινότητα του εδάφους στα δορυφορικά δεδομένα του Landsat MSS [25].

3.2. Βιωσιμότητα

Η βιωσιμότητα [26] ή αλλιώς η αειφόρος ανάπτυξη αποτελεί μια ασαφή έννοια καθώς εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Ακόμη, η βιωσιμότητα αναφερόμενη σε αστικό επίπεδο παρουσιάζει ειδικά χαρακτηριστικά.

Όπως ορίζεται στην έκθεση Brundtland⁵, «η βιωσιμότητα είναι η ανάπτυξη που ανταποκρίνεται στις ανάγκες του παρόντος χωρίς να θέτει σε κίνδυνο την ικανότητα των μελλοντικών γενεών να καλύπτουν τις δικές τους ανάγκες» (World Commission on Environment and Development – WCED, 1987).

Η έννοια της βιωσιμότητας αναφέρεται σε ζητήματα κοινωνικά, οικονομικά, πολιτικά και περιβαλλοντικά. Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην περιβαλλοντική διάσταση της βιωσιμότητας και συγκεκριμένα στη συσχέτιση των αστικών χώρων πρασίνου με την βιώσιμη πορεία μιας αστικής περιοχής.

Η έννοια της βιωσιμότητας παρουσιάζει τέσσερις (4) πτυχές: την κοινωνική, την οικονομική, την πολιτική και την περιβαλλοντική. Κάθε μια από αυτές οφείλει να είναι ισορροπημένη και ολοκληρωμένη για την επίτευξη της βιωσιμότητας.

Όπως επισημαίνουν οι Haunton και Hunter (2003), υπάρχουν τρεις (3) βασικές αρχές που πρέπει να διέπουν τη διαδικασία της βιώσιμης ανάπτυξης [27].

- Αρχή της δικαιοσύνης μεταξύ των γενεών/Αρχή της μελλοντικότητας: Οποιαδήποτε ανθρώπινη δραστηριότητα πρέπει να εξετάζεται λαμβάνοντας υπόψιν τις επιπτώσεις της στη δυνατότητα της ικανοποίησης των αναγκών και των προσδοκιών των μελλοντικών γενεών.

⁵ Η έκθεση Brundtland (1987) θεωρείται ο ιδεολογικός προπομπός και η βάση για την Agenda 21 και αποτελεί την έναρξη της εφαρμογής της αειφόρου και βιώσιμης ανάπτυξης.

- Αρχή της κοινωνικής δικαιοσύνης: Η αειφόρος ανάπτυξη προϋποθέτει τον έλεγχο της ομοιόμορφης διανομής των πόρων, οι οποίοι είναι συνυφασμένοι με τις βασικές ανάγκες και τις κοινές επιδιώξεις. Αφορά στις τρέχουσες γενεές, στις οποίες η φτώχεια αποτελεί πρωταρχική αιτία της υποβάθμισης.
- Αρχή της διασυννοριακής ευθύνης: Η διαχείριση του παγκόσμιου περιβάλλοντος κρίνεται απαραίτητη. Η διασυννοριακή ρύπανση αποτελεί ένα σύνθετο πρόβλημα ευρείας εμβέλειας, που πρέπει να αναγνωριστεί και να ελεγχθεί όπου δύναται. Παράλληλα, οι επιπτώσεις της ανθρώπινης δραστηριότητας πρέπει να ελέγχονται σε παγκόσμιο επίπεδο και να μην περιλαμβάνουν μια γεωγραφική μετατόπιση των περιβαλλοντικών προβλημάτων.

3.2.1. Δείκτες βιωσιμότητας

Σύμφωνα με τον Οργανισμό για την Οικονομική Συνεργασία και Ανάπτυξη (OECD), ως δείκτης ορίζεται «μια παράμετρος ή μια τιμή που προκύπτει από παραμέτρους που δίνει πληροφορίες για την κατάσταση ενός φαινομένου του περιβάλλοντος ή μιας περιοχής». Κατά τον Segnestam (2002), «οι δείκτες μπορεί να προκύψουν πιο χρήσιμοι από τα αρχικά δεδομένα. Βοηθούν ακόμα στην εκτίμηση των συνθηκών και τάσεων, διευκολύνουν και συντονίζουν τη συζήτηση και τη διαχείριση προβλημάτων μεταξύ διαφορετικών φορέων και ομάδων της κοινωνίας ενώ παρέχουν τάσεις στη διαδικασία διαμόρφωσης πολιτικής».

Όσον αφορά στη σύνδεση βιωσιμότητας και δεικτών, οι Farrel και Hart (1998) επισημαίνουν ότι «ο δείκτης βιώσιμης ανάπτυξης είναι ένα μέτρο το οποίο παρέχει χρήσιμες πληροφορίες για ένα φυσικό, κοινωνικό ή οικονομικό σύστημα, συνήθως σε αριθμητική μορφή, και το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει την κατάσταση του συστήματος, για να εντοπίσει αλλαγές σε αυτό ή να αναδείξει σχέσεις αιτίου – αποτελέσματος» [28].

Η Επιστημονική Επιτροπή Περιβαλλοντικών Προβλημάτων (SCOPE) υποστηρίζει ότι οι δείκτες εμφανίζουν δύο βασικά χαρακτηριστικά. Το πρώτο χαρακτηριστικό είναι ότι επιτυγχάνουν να ποσοτικοποιήσουν την πληροφορία, με αποτέλεσμα η σημασία της να γίνεται πιο ξεκάθαρη. Το δεύτερο είναι ότι μέσω αυτών απλοποιούνται πληροφορίες σύνθετων φαινομένων και έτσι βελτιώνεται η επικοινωνία. Ουσιαστικά, ένας δείκτης αποτελεί συμπυκνωμένη πληροφορία σε τέτοια μορφή ώστε να μπορεί να κατανοηθεί πιο εύκολα.



Σχήμα 8: Σχέση μεταξύ δεδομένων, δεικτών και πληροφοριών
(Πηγή: Hsu, et al., 2013)

Η αξία των δεικτών ως εργαλεία πολιτικής ενισχύεται όταν η χρήση των δεικτών συνδυάζεται με τους στόχους που έχουν τεθεί στο πλαίσιο διαφόρων εθνικών πολιτικών σχετικών με τη βιώσιμη ανάπτυξη. Οι δείκτες είναι πολύ χρήσιμοι για τον προσδιορισμό σημαντικών αλλαγών και τη λήψη αποφάσεων στις αστικές κοινωνίες, σε όλα τα επίπεδα, καθώς παρέχουν πληροφορίες που στοχεύουν στη βιώσιμη ανάπτυξη. Παραδείγματος χάριν, οι δείκτες μπορούν να βοηθήσουν σε θέματα πολιτικής γης και οικονομίας αλλά και χρήσεων γης, υποδομών και μεταφορών. Ακόμη, οι δείκτες χρησιμοποιούνται για την αξιολόγηση της επίτευξης του στόχου της αειφορίας και της σχέσης μεταξύ των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και του περιβάλλοντος.

Σύμφωνα με την Agenda 21, οι δείκτες πρέπει να πληρούν τις ακόλουθες προϋποθέσεις [28]:

- Να συμβαδίζουν με τη γενική ροπή της κοινωνίας, που είναι μακροχρόνια θεμελιώδης για την περιβαλλοντική και κοινωνικοοικονομική ισορροπία.
- Να είναι στατικά μετρήσιμοι και τα δεδομένα τους να ανταποκρίνονται για τουλάχιστον μια με δύο δεκαετίες.
- Να είναι ελκυστικοί από τις τοπικές αρχές.
- Να υπάρχει διαθεσιμότητα και αξιοπιστία των πηγών.
- Να γίνεται χρήση πρόσφατων στατιστικών δεδομένων.
- Να γίνεται ολιστική προσέγγιση που να περιλαμβάνει ποιοτικούς και ποσοτικούς όρους.

Οι δείκτες βιωσιμότητας μπορεί να είναι περιβαλλοντικοί, κοινωνικοί, οικονομικοί ή συνδυασμός των κατηγοριών αυτών (σύνθετοι). Η παρούσα μελέτη εστιάζει στην περιβαλλοντική διάσταση της βιωσιμότητας, για αυτό και στη συνέχεια παρουσιάζονται οι περιβαλλοντικοί δείκτες.

3.2.1.1. Περιβαλλοντικοί δείκτες

Οι περιβαλλοντικοί δείκτες αποτελούν σημαντικούς δείκτες καθώς αναφέρονται σε ένα περιβαλλοντικό μέσο. Κι αυτό γιατί το περιβάλλον και η προστασία του σχετίζονται άμεσα με την βιωσιμότητα και την αειφόρο ανάπτυξη. Οι περισσότεροι από αυτούς αναφέρονται στην ατμόσφαιρα, στον αέρα, στο νερό, στο οικοσύστημα και στο πράσινο. Ορισμένα παραδείγματα περιβαλλοντικών δεικτών παρουσιάζονται παρακάτω:

- **Πράσινοι χώροι:** δείκτης χώρων πρασίνου, δείκτης χώρων πρασίνου ανά κάτοικο, δείκτης προσβασιμότητας, δείκτης εγκαταλελειμμένων περιοχών, δείκτης προστατευόμενων περιοχών, δείκτης ποιότητας της αστικής άγριας ζωής κ.λπ.
- **Ενεργειακή αποδοτικότητα:** δείκτης εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου ανά πόλη και ανά κάτοικο κ.λπ.
- **Κινητικότητα:** μέσος χρόνος μετακίνησης, ποσοστό χρήσης μέσων μετακίνησης κ.λπ.
- **Νερό:** δείκτης ποιότητας νερού, ποσοστό πληθυσμού που έχει πρόσβαση σε πόσιμο νερό, συνολικό ποσό διαθεσιμότητας νερού κ.λπ.
- **Αέρας:** επίπεδο αιωρούμενων σωματιδίων, εκπομπές CO₂ κ.λπ.
- **Απόβλητα:** ποσοστό ανακύκλωσης, ποσότητα παραγόμενων αποβλήτων κ.λπ.

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, το ενδιαφέρον στρέφεται στους περιβαλλοντικούς δείκτες που αφορούν στους χώρους πρασίνου και συγκεκριμένα στον δείκτη έκταση πρασίνου ανά έκταση πόλης και στον δείκτη έκταση πρασίνου ανά κάτοικο. Η ανάλυσή τους παρουσιάζεται στα επόμενα υποκεφάλαια.

3.2.1.2. Δείκτης χώρων πρασίνου (έκταση πρασίνου/έκταση πόλης)

Ο δείκτης αυτός υπολογίζει την ποσοστιαία αναλογία των αστικών χώρων πρασίνου, στους οποίους έχουν ελεύθερη πρόσβαση οι πολίτες, σε σχέση με τη συνολική έκταση της πόλης. Συνεπώς,

$$\text{Δείκτης χώρων πρασίνου} = \frac{\text{Έκταση αστικού πρασίνου}}{\text{Συνολική έκταση πόλης}}$$

Σύμφωνα με τον Ευρωπαϊκό Οργανισμό Περιβάλλοντος, ο δείκτης αυτός είναι καλό να εκτιμάται σε τακτά χρονικά διαστήματα και να συγκρίνεται με τα προηγούμενα έτη. Στόχος του είναι να παρατηρείται η διαχρονική εξέλιξη του αστικού πρασίνου και οι μεταβολές αυτού [29].

3.2.1.3. Δείκτης χώρων πρασίνου κατά κεφαλήν (έκταση πρασίνου/κάτοικο)

Ο δείκτης χώρων πρασίνου κατά κεφαλήν υπολογίζει την ποσοστιαία αναλογία των αστικών χώρων πρασίνου, στους οποίους έχουν ελεύθερη πρόσβαση οι πολίτες, σε σχέση με τον συνολικό πληθυσμό της πόλης. Επομένως, ο δείκτης αυτός συσχετίζει την έκταση του πράσινου με το μέγεθος του πληθυσμού.

$$\text{Δείκτης χώρων πρασίνου κατά κεφαλήν} = \frac{\text{Έκταση αστικού πρασίνου}}{\text{Συνολικός πληθυσμός πόλης}}$$

Αποτελεί έναν από τους σημαντικότερους και πιο αποτελεσματικούς δείκτες και έχει ευρεία χρήση σε πολλές ευρωπαϊκές πόλεις. Ένα πρόβλημά του είναι ότι δεν λαμβάνει υπόψη τα κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά των πόλεων και του τοπίου καθώς και τη δομή των αστικών χώρων πρασίνου (UGS) [8]. Ανεξάρτητα από την επιφάνεια, οι UGS μπορούν να εξασφαλίσουν τις ανάγκες των κατοίκων (π.χ. για αναψυχή ή άλλες δραστηριότητες) με τη συμπερίληψη ορισμένων κατηγοριών. Ωστόσο ο δείκτης αυτός δεν προσδιορίζει τις κατηγορίες που λαμβάνονται υπόψη ή αποκλείονται από την αξιολόγηση.

3.2.2. Σταθερότυπα

Η ανάγκη σε πράσινο διαφέρει από πόλη σε πόλη και από χώρα σε χώρα [29]. Το πράσινο μιας πόλης συνδέεται άμεσα με ορισμένους παράγοντες οι οποίοι αλληλεξαρτώνται μεταξύ τους. Πιο συγκεκριμένα, το αστικό πράσινο εξαρτάται από:

- Την έκταση της πόλης: το μέγεθος μιας πόλης είναι ανάλογο της ανάγκης της για σύνδεσή της με το πράσινο καθώς τόσο πιο απομακρυσμένη είναι από τη φύση.
- Την πληθυσμιακή πυκνότητα της πόλης: όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των κατοίκων/m², τόσο μικρότερος είναι ο χώρος που αντιστοιχεί σε κάθε κάτοικο.
- Το ύψος και το μέγεθος των κτιρίων: Η ύπαρξη πολυώροφων κτιρίων σε μια έκταση υποδηλώνει περισσότερες κατοικίες και κατοίκους στον ίδιο χώρο. Επομένως, μειώνεται το ποσοστό χώρου πρασίνου/κάτοικο.
- Τις χρήσεις γης: Αρχικά, σε περιοχές που η χρήση γης χαρακτηρίζεται ως κατοικία είναι αναγκαία η ύπαρξη χώρων πρασίνου χωροθετημένων σε συγκεκριμένα σημεία και αποστάσεις για τη χρήση των πολιτών. Επίσης, σε περίπτωση παρουσίας χρήσεων γης που σχετίζονται με υψηλά επίπεδα θορύβου και όχλου είναι απαραίτητη η δημιουργία εκτάσεων πρασίνου περιμετρικά αυτών ώστε να υπάρξει μόνωση.
- Το ιδιοκτησιακό καθεστώς.
- Τις περιβαλλοντικές συνθήκες: την μορφολογία του εδάφους, το κλίμα και τον προσανατολισμό.
- Την ισχύουσα νομοθεσία του συστήματος δόμησης και του περιβάλλοντος.

Οι αστικοί χώροι πρασίνου διαδραματίζουν ζωτικό ρόλο στο σχεδιασμό και σχετίζονται άμεσα με τον τρόπο με τον οποίο έχουν αναπτυχθεί οι συμπαγείς πόλεις [30]. Το γεγονός αυτό έχει προκαλέσει μια επιστημονική διχογνωμία όσον αφορά στην ποσότητα πρασίνου που χρειάζονται τα άτομα και στον βαθμό που οι σύγχρονες προσεγγίσεις αντιμετωπίζουν το ζήτημα. Προκειμένου να είναι αποσαφηνισμένα όλα αυτά, οι περισσότερες σύγχρονες πόλεις έχουν εισάγει ορισμένες προδιαγραφές που σχετίζονται με την πυκνότητα, τη χωροθέτηση και τα είδη των χώρων πρασίνου. Οι προδιαγραφές αυτές, ή αλλιώς τα **σταθερότυπα** (standards) αποτελούν ειδικούς δείκτες χωρικής κατανομής στους οποίους ορίζονται τα όρια πυκνοτήτων και η απαραίτητη έκταση αστικών χώρων πρασίνου.

Κάθε αστικό συγκρότημα ορίζει τα δικά του σταθερότυπα τα οποία διαφέρουν μεταξύ των διαφορετικών πόλεων καθώς βασίζονται στα χαρακτηριστικά και στις ανάγκες της εκάστοτε πόλης. Τα σταθερότυπα προσδιορίζονται στην νομοθεσία κάθε χώρας. Πέραν αυτών, σταθερότυπα ορίζονται και από άλλους φορείς, τα οποία προσδιορίζονται στην περιοχή δράσης αυτών. Χαρακτηριστικά αναφέρονται τα ακόλουθα παραδείγματα ποσοτικοποίησης των σταθερότυπων για το δείκτη βιωσιμότητας έκταση πρασίνου/κάτοικο [31]:

- Η Ευρωπαϊκή Ένωση έχει ορίσει ελάχιστο στόχο τα 26 m² πρασίνου/κάτοικο.
- Τα Ηνωμένα Έθνη έχουν ορίσει ελάχιστο στόχο τα 30 m² πρασίνου/κάτοικο.
- Ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) έχει ορίσει ελάχιστο στόχο τα 9 m² πρασίνου/κάτοικο και ιδανική τιμή τα 50 m² πρασίνου/κάτοικο. Η έκταση αυτή πρέπει να βρίσκεται σε απόσταση 15 λεπτών με τα πόδια από τις κατοικίες.

3.2.2.1. Ελληνική νομοθεσία σταθεροτύπων

Τα σταθερότυπα βρίσκουν εφαρμογή κατά την εκπόνηση των Γενικών Πολεοδομικών Σχεδίων (ΓΠΣ), των ΣΧΟΟΑΠ και των πολεοδομικών μελετών, σε συνδυασμό με τις αντίστοιχες ισχύουσες προδιαγραφές και τις διατάξεις περί των χρήσεων γης όπως εκάστοτε ισχύουν.

Τα Ελληνικά σταθερότυπα ορίζονται στην ΥΑ 10788/5.3.2004 «Έγκριση πολεοδομικών σταθεροτύπων (standards) και ανώτατα όρια πυκνοτήτων που εφαρμόζονται κατά την εκπόνηση των γενικών πολεοδομικών σχεδίων, των σχεδίων χωρικής και οικιστικής οργάνωσης και των πολεοδομικών μελετών» στο ΦΕΚ 285Δ [32]. Σύμφωνα με αυτή την υπουργική απόφαση τα πολεοδομικά πρότυπα⁶ προσδιορίζουν τα βασικά μεγέθη σχεδιασμού για τον πληθυσμό, τη φέρουσα ικανότητα (χωρητικότητα), την πυκνότητα, το συντελεστή κορεσμού και την κατοικία. Τα πολεοδομικά πρότυπα έχουν εφαρμογή σε διάφορους τομείς όπως στη διοίκηση –

⁶ Ως πρότυπο νοείται «η παράμετρος (ποσοτική ή ποιοτική) που εξασφαλίζει το μέτρο του αρκετού για την ποσότητα, και το μέτρο του ανεκτού για την ποιότητα, μιας συνήθους λειτουργίας που επιλέγεται και χωροθετείται με τον πολεοδομικό σχεδιασμό».

εξυπηρετήσεις, στην εκπαίδευση, στην υγεία – πρόνοια, στον αθλητισμό, στο πράσινο – ελεύθερους χώρους και στα δίκτυα κυκλοφορίας.

Ειδικότερα, όσον αφορά στο πράσινο, οι αστικοί χώροι πρασίνου διακρίνονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες οι οποίες περιλαμβάνουν άλλες μικρότερες. Πιο συγκεκριμένα, οι αστικοί χώροι πρασίνου διακρίνονται σε ελεύθερους χώρους πολεοδομικής ενότητας και σε ελεύθερους χώρους πόλης/οικισμού.

Οι ελεύθεροι χώροι πολεοδομικής ενότητας περιλαμβάνουν:

- Νησίδες πρασίνου (green rockets): Συμβάλλουν σημαντικά στην ορθολογική οριστικοποίηση του σχεδιασμού και στη δημιουργία «ανοιγμάτων» στο δομημένο ιστό. Προκειμένου μια πόλη να θεωρείται βιώσιμη πρέπει το μέγεθός τους να είναι 0,01 – 0,1 Ha χωρίς άλλη χρήση.
- Πλατείες: Κυρίως χρησιμοποιούνται ως χώροι κοινωνικής επαφής και αναψυχής ενώ το πράσινο δεν αποτελεί κύριο χαρακτηριστικό τους. Για να θεωρείται μια πόλη βιώσιμη πρέπει το μέγεθός τους να είναι 0,1 – 0,5 Ha με ή χωρίς εξοπλισμό.
- Παιδικές χαρές – γωνιές (μικρής κλίμακας): μπορεί να αφορά σε τμήματα πεζοδρόμων (woonerf).
- Πάρκο πολεοδομικής ενότητας – γειτονιάς: Το πράσινο αποτελεί το κύριο χαρακτηριστικό του και μπορεί να περιλαμβάνει δραστηριότητες ενεργητικής αναψυχής (μικρές αθλητικές εγκαταστάσεις, παιδικές χαρές, χώροι παιχνιδιού). Είναι δυνατόν να καλύπτει τις ανάγκες και πέραν της μιας πολεοδομικής ενότητας ή μιας γειτονιάς. Το βιώσιμο μέγεθός του είναι 0,5 – 1,5 Ha.

Στους ελεύθερους χώρους πόλης/οικισμού περιλαμβάνεται το πάρκο πόλης/οικισμού. Τα πάρκα πόλης/οικισμού κατά κανόνα τοποθετούνται σε φυσικές περιοχές που προσφέρονται για τον σκοπό αυτό και πρέπει να διαμορφωθούν έτσι ώστε να προστατευθεί και να αναδειχθεί ο φυσικός χαρακτήρας του τοπίου. Αποτελούν τις «φυγές» από το αστικό περιβάλλον και για αυτό είναι σκόπιμο να αποφεύγεται η χωροθέτηση σε αυτά λειτουργιών με έντονη όχληση.

Συνεπώς, σύμφωνα με την Ελληνική Νομοθεσία, προκειμένου μια πόλη να θεωρείται βιώσιμη απαιτούνται τουλάχιστον **8 m² πρασίνου/κάτοικο**. Στον ακόλουθο πίνακα παρουσιάζεται αναλυτικά η έκταση που πρέπει να έχει ο εκάστοτε χώρος πρασίνου, ώστε να επιτυγχάνεται η βιωσιμότητα.

Πίνακας 1: Ελληνικά πολεοδομικά σταθερότυπα πρασίνου

Αναγκαιότητα λειτουργίας κατά πληθυσμιακό μέγεθος πόλης				
	Πολεοδομική ενότητα – γειτονιά (m ²)	Πόλη (m ²)	Ακτίνα εξυπηρέτησης	Βιώσιμο μέγεθος (Ha)
Νησίδες πρασίνου	0,25	–	Πολεοδομική ενότητα	0,01 – 0,10

Πλατείες	0,50	–	Πολεοδομική ενότητα	0,10 – 0,50
Παιδικές χαρές	0,25	–		0,01 – 0,10
Πάρκο	–	1,50	Δήμος	0,50 – 1,50
Πάρκο πόλης	–	5,5	Πόλη	>1,50
Σύνολο	8,0			

(Πηγή: ΦΕΚ 285Α/2004)

Όπως επισημαίνεται στο παράρτημα της ΥΑ 10788/5.3.2004, κατά τον πολεοδομικό σχεδιασμό οι χώροι πρασίνου χωροθετούνται κατά τρόπον ώστε:

- Να επιτυγχάνεται διασύνδεση του πλέγματος πρασίνου – κίνησης πεζών με τα σημαντικά στοιχεία ιστορικής μνήμης και τα σημεία κοινωνικής και πολιτιστικής δραστηριότητας.
- Να απομονώνονται οπτικά κατά το δυνατόν μνημεία από το περιβάλλον που δεν είναι συμβατό.
- Η βλάστηση να απομονώνει κατά το δυνατόν τους χρήστες από το αστικό περιβάλλον.
- Να χρησιμοποιείται σαν διαχωριστικό στοιχείο μεταξύ της περιοχής κατοικίας και δραστηριοτήτων βαρείας όχλησης όπως αρτηριών μεγάλης κυκλοφορίας κ.λπ.

Κεφάλαιο 4

Πηγές Δεδομένων

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφονται οι πηγές από τις οποίες αντλήθηκαν τα δεδομένα και αναλύεται το είδος των δεδομένων που αξιοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των χώρων πρασίνου στις αστικές περιοχές. Επί της ουσίας, το Κεφάλαιο 4 εμβαθύνει στα γενικά χαρακτηριστικά των δεδομένων ώστε να αποσαφηνιστούν πλήρως οι λόγοι για τους οποίους έγινε η συγκεκριμένη επιλογή τους για την υλοποίηση της παρούσας μελέτης.

4.1. Google Earth Engine

Το Google Earth Engine (GEE) είναι μια πλατφόρμα γεωχωρικής ανάλυσης υπολογιστικού νέφους που επιτρέπει στους χρήστες να απεικονίζουν και να αναλύουν δορυφορικές εικόνες. Έχει σχεδιαστεί για την αποθήκευση και επεξεργασία τεράστιων συνόλων δεδομένων πολλών petabyte⁷ συμβάλλοντας σημαντικά στην λήψη αποφάσεων [33]. Αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο το οποίο αξιοποιείται σε πολλούς τομείς όπως στην τηλεπισκόπηση, στην πρόβλεψη επιδημιών και στη διαχείριση φυσικών πόρων.

Το GEE κυκλοφόρησε το 2010 και παρέχει ένα βολικό περιβάλλον για διαδραστικά δεδομένα και ανάπτυξη αλγορίθμων. Ένα από τα σημαντικότερα πλεονεκτήματα του GEE είναι ότι οι χρήστες έχουν ελεύθερη πρόσβαση σε μια τεράστια αποθήκη δεδομένων, με μεγάλες χρονοσειρές αρχείων παρατήρησης της γης και με επιστημονικές μετρήσεις που χρονολογούνται πριν από περίπου 40 χρόνια.

Συγκριτικά με άλλες πλατφόρμες υπολογιστικού νέφους⁸, το GEE υποστηρίζει περισσότερους τύπους γεωχωρικών δεδομένων, όπως δεδομένα Sentinel και πρώιμα δεδομένα Landsat και παρέχει υπηρεσίες δωρεάν σε όλους τους χρήστες [34]. Επίσης, έχει σχεδιαστεί για να βοηθά τους ερευνητές να διαδίδουν εύκολα τα αποτελέσματά τους σε άλλους ερευνητές, φορείς χάραξης πολιτικής, ΜΚΟ, εργαζόμενους στο πεδίο, ακόμη και στο ευρύ κοινό. Επομένως, κάθε άνθρωπος έχει τη δυνατότητα να αξιοποιήσει τα στοιχεία αυτά για μελέτη και έρευνα και να προσθέτει και να επιμελείται τα δικά του δεδομένα και συλλογές, χρησιμοποιώντας τους πόρους νέφους της Google για να αναλάβουν όλη την επεξεργασία.

Ο δημόσιος κατάλογος δεδομένων του GEE είναι μια επιμελημένη συλλογή με ευρέως χρησιμοποιούμενα σύνολα γεωχωρικών δεδομένων. Περιλαμβάνει ανοιχτά δεδομένα από δορυφόρους, σύνολα διανυσματικών δεδομένων βασισμένα σε συστήματα γεωχωρικών πληροφοριών (GIS), κοινωνικά, οικονομικά, δημογραφικά, περιβαλλοντικά, γεωφυσικά και

⁷ Ένα petabyte αντιστοιχεί σε 10^{15} bytes.

⁸ Π.χ. το Amazon Web Services (AWS) και το Microsoft Azure.

τοπογραφικά στοιχεία, δεδομένα κάλυψης γης και καιρού, ψηφιακά μοντέλα υψομέτρων (DEM) καθώς και κλιματικές προβλέψεις.

Το GEE είναι σήμερα η πιο δημοφιλής πλατφόρμα υπολογιστικού νέφους στην επιστήμη του γήινου συστήματος και χρησιμοποιείται εκτενώς για την επεξεργασία δεδομένων που σχετίζονται με διάφορα πεδία που αφορούν στην περιβαλλοντική παρακολούθηση και ανάλυση, όπως είναι η γεωργία, τα ύδατα, η κάλυψη/χρήση γης, οι καταστροφές, η κλιματική αλλαγή, το έδαφος, οι υγρότοποι, τα δάση και η αστικοποίηση κ.ά. [34]. Ακόμη, αποτελεί σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση δεδομένων, συμβάλλοντας έτσι σε διάφορους τομείς όπως [33]:

- στη χαρτογράφηση και παρακολούθηση της βλάστησης,
- στη χαρτογράφηση εδαφοκάλυψης,
- στις γεωργικές εφαρμογές,
- στη διαχείριση καταστροφών και
- στις γεωεπιστήμες.

Τα δεδομένα ενημερώνονται συνεχώς με ρυθμό σχεδόν 6.000 σκηνών/ημέρα από ενεργές αποστολές, με τυπική καθυστέρηση περίπου 24 ώρες από τη στιγμή της απόκτησης της σκηνής. Οι χρήστες έχουν τη δυνατότητα μέσω μιας διεπαφής REST API⁹ να υποβάλουν υπολογιστικά αιτήματα και να ζητήσουν την προσθήκη νέων συνόλων δεδομένων στο δημόσιο κατάλογο ή να ανεβάσουν τα δικά τους ιδιωτικά δεδομένα με χρήση είτε εργαλείων που βασίζονται στο πρόγραμμα περιήγησης είτε εργαλείων γραμμής εντολών και να τα μοιραστούν με άλλους χρήστες ή ομάδες.

Το GEE χρησιμοποιεί ένα απλό και ιδιαίτερα γενικό μοντέλο δεδομένων που βασίζεται σε ένα δισδιάστατο ψηφιδωτό πλέγμα (2D raster bands). Αυτό αποτελεί και έναν περιορισμό του καθώς μπορεί να εμφανίσει παγκόσμια γεωχωρικά δεδομένα μόνο σε δύο διαστάσεις. Τα pixels σε μια μεμονωμένη ζώνη πρέπει να είναι ομοιογενή ως προς τον τύπο δεδομένων, την ανάλυση και την προβολή. Ωστόσο, οι εικόνες μπορούν να περιέχουν οποιονδήποτε αριθμό ζωνών και οι ζώνες εντός μιας εικόνας δεν χρειάζεται να έχουν ομοιόμορφους τύπους δεδομένων. Κάθε εικόνα μπορεί επίσης να έχει συναφή μεταδεδομένα κλειδιών/τιμών που περιέχουν πληροφορίες όπως η τοποθεσία, ο χρόνος λήψης και οι συνθήκες υπό τις οποίες συλλέχθηκε ή επεξεργάστηκε η εικόνα.

Οι εικόνες που είναι σχετικές μεταξύ τους όπως οι εικόνες που παράγονται από έναν αισθητήρα, ομαδοποιούνται και παρουσιάζονται ως μια «συλλογή». Οι συλλογές διευκολύνουν σημαντικά την αναζήτηση μέσω του γρήγορου φιλτραρίσματος και της ταξινόμησης. Έτσι, οι

⁹ Ένα API για έναν ιστότοπο είναι ένας κώδικας που επιτρέπει σε δύο προγράμματα να επικοινωνούν μεταξύ τους. Ορίζει τον κατάλληλο τρόπο με τον οποίο με τον οποίο ένας προγραμματιστής μπορεί να γράψει ένα πρόγραμμα που ζητά υπηρεσίες από ένα λειτουργικό σύστημα ή μια άλλη εφαρμογή.

Ένα RESTful API βασίζεται στην αναπαραστατική μεταφορά κατάστασης (REST) η οποία είναι ένα αρχιτεκτονικό στυλ και μια προσέγγιση επικοινωνίας που χρησιμοποιείται συχνά στην ανάπτυξη υπηρεσιών ιστού. Μπορούν να κατασκευαστούν με γλώσσες προγραμματισμού όπως JavaScript ή Python [35].

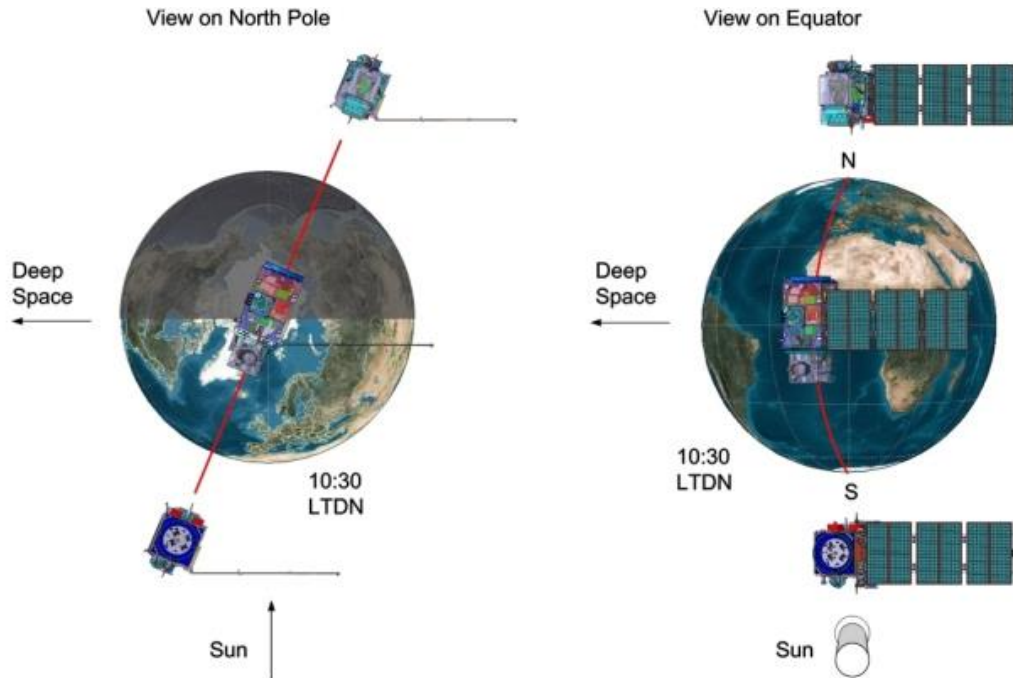
χρήστες έχουν τη δυνατότητα να επιλέγουν δεδομένα που πληρούν συγκεκριμένα χωρικά, χρονικά ή άλλα κριτήρια ανάμεσα σε εκατομμύρια μεμονωμένες εικόνες.

Οι εικόνες που βρίσκονται στο GEE υποβάλλονται σε προεπεξεργασία έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η γρήγορη και αποτελεσματική πρόσβαση και αίρει πολλά εμπόδια που σχετίζονται με τη διαχείριση δεδομένων. Ως πρώτο βήμα, οι εικόνες στην αρχική προβολή κόβονται σε πλακίδια (tiles) μεγέθους 256×256 pixels και αποθηκεύονται σε μια αποτελεσματική και επαναλαμβανόμενη βάση δεδομένων. Το μέγεθος αυτό επιλέχθηκε προκειμένου να μην φορτώνονται μη αναγκαία δεδομένα και παράλληλα η πλατφόρμα να μην επιβαρύνεται από την έκδοση πρόσθετων αναγνώσεων. Αυτή η διαδικασία εισαγωγής δεδομένων διατηρεί την πληροφορία. Έτσι, τα δεδομένα διατηρούνται πάντα στην αρχική τους προβολή, ανάλυση και βάθος bit, αποφεύγοντας την υποβάθμισή τους η οποία θα οδηγούσε στην επαναδειγματοληψία όλων των δεδομένων σε ένα σταθερό πλέγμα που μπορεί να ήταν ή να μην ήταν κατάλληλο για την εκάστοτε εφαρμογή [36].

Επιπλέον, προκειμένου να επιτυγχάνεται η γρήγορη οπτικοποίηση κατά την ανάπτυξη αλγορίθμων, δημιουργείται μια πυραμίδα πλακιδίων μειωμένης ανάλυσης για κάθε εικόνα και αποθηκεύεται στη βάση δεδομένων των πλακιδίων [36]. Κάθε επίπεδο της πυραμίδας δημιουργείται με μείωση της δειγματοληψίας του προηγούμενου επιπέδου κατά συντελεστή δύο. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ολόκληρη η εικόνα να χωρέσει σε ένα μόνο πλακίδιο. Κατά την υποδειγματοληψία, οι ζώνες συνεχούς αξίας τυπικά υπολογίζονται κατά μέσο όρο, ενώ για τις ζώνες διακριτής αξίας, όπως είναι οι ετικέτες ταξινόμησης, γίνεται δειγματοληψία είτε μέσω του ελάχιστου δείγματος (min), είτε του μέγιστου (max), είτε του σταθερού (fixed). Όταν ζητείται ένα μέρος των δεδομένων μιας εικόνας για τον υπολογισμό σε μειωμένη ανάλυση, μόνο τα σχετικά πλακίδια από το καταλληλότερο επίπεδο πυραμίδας ανακτώνται από τη βάση δεδομένων των πλακιδίων. Συνεπώς, αυτή η υποβάθμιση κατά συντελεστή δύο, επιτρέπει την ετοιμότητα δεδομένων σε διάφορες κλίμακες χωρίς να εισάγεται σημαντική επιβάρυνση αποθήκευσης και ευθυγραμμίζεται με τα συνήθη πρότυπα χρήσης στη χαρτογράφηση μέσω διαδικτύου.

4.2. Sentinel – 2

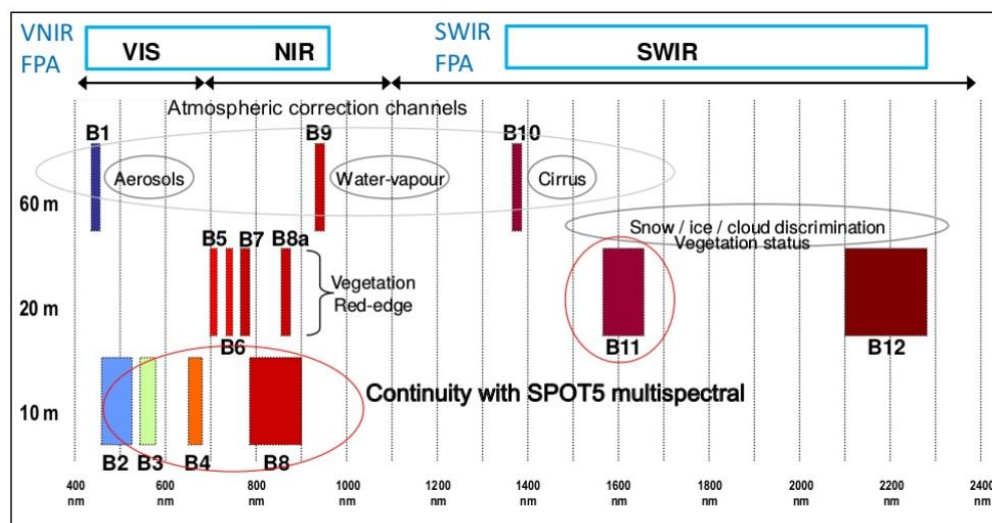
Ο Sentinel – 2 είναι μια αποστολή παρατήρησης της γης από το πρόγραμμα Copernicus που συλλέγει συστηματικά οπτικές εικόνες υψηλής ανάλυσης (από 10 m έως 60 m). Η αποστολή περιλαμβάνει έναν αστερισμό σε πολική τροχιά από δύο δίδυμους δορυφόρους, τον Sentinel – 2A και Sentinel – 2B. Ο πρώτος εκτοξεύθηκε στις 23 Ιουνίου 2015 και ο δεύτερος στις 7 Μαρτίου 2017. Η εκτόξευση και των δύο πραγματοποιήθηκε από τον ευρωπαϊκό εκτοξευτή Vega.



Σχήμα 9: Η τροχιακή διαμόρφωση του δίδυμου δορυφόρου Sentinel – 2
(Πηγή: Astrium GmbH)

Ο κάθε δορυφόρος ζυγίζει 1140 kg, έχει χρόνο ζωής περίπου 7 έτη και πετάει σε ηλιοσύγχρονη τροχιά σε μέσο ύψος 786 km από την επιφάνεια της γης. Το εύρος ανοίγματος σάρωσης (FOV) είναι 290 km. Οι δύο δορυφόροι είναι συμπληρωματικοί και έχουν γωνιακή απόκλιση 180° μεταξύ τους για την καταγραφή όλης της γήινης επιφάνειας, με αποτέλεσμα αυτή να επιτυγχάνεται ανά 5 ημέρες.

Κάθε δορυφόρος έχει έναν υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας πολυφασματικό σαρωτή (MSI) με 13 φασματικά κανάλια με ανάλυση 10 m, 20 m και 60 m. Το MSI λειτουργεί παθητικά, συλλέγοντας το ηλιακό φως που αντανακλάται από τη γη. Η εισερχόμενη φωτεινή δέσμη διαχωρίζεται μέσω ενός διαχωριστή δέσμης και εστιάζεται σε δύο ξεχωριστές διατάξεις εστιακού επιπέδου εντός του οργάνου, η μια για τις ζώνες του ορατού και του εγγύς υπέρυθρου (VNIR) και η άλλη για τις ζώνες του μέσου υπέρυθρου (SWIR). Ο φασματικός διαχωρισμός κάθε ζώνης σε επιμέρους μήκη κύματος επιτυγχάνεται με φίλτρα λωρίδας τοποθετημένα στην κορυφή των ανιχνευτών [37].



Σχήμα 10: Τα κανάλια του Sentinel – 2
(Πηγή: ESA, τροποποιημένο)

Όσον αφορά στα κανάλια που καταγράφουν οι δορυφόροι, στην πρώτη ζώνη των 10 m ανήκουν τέσσερα κανάλια, στη δεύτερη των 20 m έξι και στην τελευταία των 60 m τρεις. Παρακάτω παρουσιάζεται η συσχέτιση των καναλιών που καταγράφουν οι δορυφόροι με τη χωρική τους ανάλυση:

- Ανάλυση 10 m: blue (B2), green (B3), red (B4) και nir1 (B8)
- Ανάλυση 20 m: vegetation reledge1 (B5), vegetation reledge2 (B6), vegetation reledge3 (B7), narrow nir2 (B8a), swir1 (B11) και swir2 (B12)
- Ανάλυση 60 m: coastal aerosol (B1), water – vapour (B9) και swir – cirrus (B10).¹⁰

Sentinel-2 bands	Sentinel-2A		Sentinel-2B		Spatial resolution (m)
	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	Central wavelength (nm)	Bandwidth (nm)	
Band 1 – Coastal aerosol	442.7	21	442.2	21	60
Band 2 – Blue	492.4	66	492.1	66	10
Band 3 – Green	559.8	36	559.0	36	10
Band 4 – Red	664.6	31	664.9	31	10
Band 5 – Vegetation red edge	704.1	15	703.8	16	20
Band 6 – Vegetation red edge	740.5	15	739.1	15	20
Band 7 – Vegetation red edge	782.8	20	779.7	20	20
Band 8 – NIR	832.8	106	832.9	106	10
Band 8A – Narrow NIR	864.7	21	864.0	22	20
Band 9 – Water vapour	945.1	20	943.2	21	60
Band 10 – SWIR – Cirrus	1373.5	31	1376.9	30	60
Band 11 – SWIR	1613.7	91	1610.4	94	20
Band 12 – SWIR	2202.4	175	2185.7	185	20

Σχήμα 11: Στοιχεία καναλιών Sentinel – 2A και Sentinel – 2B
(Πηγή: ESA [38])

¹⁰ Αποτελούν ατμοσφαιρικά διορθωμένα κανάλια.

Σκοπός της αποστολής είναι η παρακολούθηση των αλλαγών στην επιφάνεια της γης. Η αποστολή υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα υπηρεσιών και εφαρμογών και συμβάλει σημαντικά σε θέματα του Copernicus, όπως είναι η κλιματική αλλαγή, η διαχείριση της γης, η γεωργία, η δασοκομία, ο έλεγχος καταστροφών, οι γεωφυσικές μεταβλητές, οι επιχειρήσεις ανθρωπιστικής βοήθειας, η χαρτογράφηση και η διαχείριση έκτακτων αναγκών και η ασφάλεια.

Αναλυτικότερα, οι δορυφόροι Sentinel – 2 είναι κατασκευασμένοι για να παρέχουν δεδομένα τόσο για αγροτικές όσο και για δασικές περιοχές με σκοπό την διατροφική ασφάλεια του πλανήτη. Από τα δεδομένα που παρέχουν προσδιορίζονται παράγοντες πολύ σημαντικοί για την ανθρώπινη διαβίωση και επιβίωση όπως δείκτες περιεκτικότητας νερού και χλωροφύλλης στις φυτοκοινωνίες. Επιπλέον είναι χρήσιμοι για εφαρμογές όπως τη χαρτογράφηση των καλύψεων/χρήσεων γης και τη διαχείριση των αλλαγών σε αυτές, την ατμοσφαιρική διόρθωση και τις μάσκες σύννεφων/χιονιού. Παρέχουν πολύτιμα δεδομένα για την καταγραφή δασικών περιοχών και δασικών καταστροφών, τη διαχείριση και την καταγραφή ανάπτυξης φυτικών πληθυσμών, την καταγραφή της μόλυνσης παράκτιων και λιμναίων περιοχών, τις καταγραφικές και συνεχείς απεικονίσεις φυσικών καταστροφών όπως πλημμυρών, ηφαιστειακών εκρήξεων και καθιζήσεων – ολισθήσεων εδαφών και γενικότερα τη χαρτογράφηση των περιβαλλοντικών και γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών μιας περιοχής.

Τέλος, σημαντικό είναι το γεγονός ότι τα δεδομένα που συλλέγουν οι Sentinel – 2 είναι ελεύθερα προς το κοινό και μπορούν να συνδυαστούν με αυτά των Spot και Landsat με σκοπό τη δημιουργία μακροχρόνιων χρονοσειρών. Ιδιαίτερα, η χωρική ανάλυση των 10 m επιτρέπει τη συνέχιση της συνεργασίας με τις αποστολές Spot – 5 και Landsat – 8, με βασική εστίαση την ταξινόμηση της γης, συμβάλλοντας έτσι στις τρέχουσες πολυσματικές παρατηρήσεις.

Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά αποστολής και δορυφόρων Sentinel – 2

Πληροφορίες εκτόξευσης	Ημερομηνία: 23/07/2015, 07/03/2017 Εκτοξευτής: Vega Περιοχή: Ευρωπαϊκός Διαστημικός Σταθμός κοντά στο Κούρου της Γαλλικής Γουιάνας
Στοιχεία δορυφόρων (βάρος, μέγεθος, ισχύς)	1140 kg, 3.4 m × 1.8 m × 2.35 m, 1.7 kW
Τροχιά	Υψόμετρο: 786 km Τύπος: ηλιοσύγχρονος Περίοδος: min
Κλίση/Ωρα διασταύρωσης με ισημερινό	98.62°/10:30 μ.μ. (ανοδικός κόμβος)
Περιστροφές ανά ημέρα	14.3
Περίοδος	5 ημέρες (δύο δορυφόροι) 10 ημέρες (ένας δορυφόρος)
Διάρκεια λειτουργίας	7.25 έτη (με αναλώσιμα για 12 έτη)

Κάλυψη	<p>Όλες οι ηπειρωτικές χερσαίες επιφάνειες (συν τα εσωτερικά ύδατα) μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 56° νότια και 83° βόρεια</p> <p>Όλα τα παράκτια ύδατα σε απόσταση έως 20 km από την ακτή</p> <p>Όλα τα νησιά με έκταση > 100 km²</p> <p>Όλα τα νησιά της ΕΕ και η Μεσόγειος θάλασσα</p> <p>Όλες οι κλειστές θάλασσες (π.χ. Κασπία)</p>
--------	--

(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Πίνακας 3: Χαρακτηριστικά αισθητήρων δορυφόρων Sentinel – 2

Φασματικά κανάλια	13 (VIS – NIR – SWIR φασματικά πεδία)		
	VIS	NIR	SWIR
	443 nm (B1)	705 nm (B5)	1375 nm (B10)
	490 nm (B2)	740 nm (B6)	1610 nm (B11)
	560 nm (B3)	783 nm (B7)	2190 nm (B12)
	665 nm (B4)	842 nm (B8)	
		865 nm (B8a)	
	945 nm (B9)		
Χωρική ανάλυση (στο ναδίρ)	<p>10 m → 4 κανάλια (B2, B3, B4, B8)</p> <p>20 m → 6 κανάλια (B5, B6, B7, B8a, B11, B12)</p> <p>60 m → 3 κανάλια (B1, B9, B10)</p>		
Ραδιομετρική ανάλυση	12 bits/pixel		
Πλάτος σάρωσης	290 km στο ναδίρ		

(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Κεφάλαιο 5

Προγραμματισμός διαδικασιών σε Python

Η γλώσσα προγραμματισμού Python χρησιμοποιήθηκε για την υλοποίηση του τεχνικού τμήματος της παρούσας εργασίας. Μέσω της αλγοριθμικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε, εντοπίστηκαν οι χώροι πρασίνου των πόλεων και στη συνέχεια οι δείκτες βιωσιμότητας των πόλεων. Παρακάτω παρουσιάζονται περισσότερες πληροφορίες σχετικά με την γλώσσα, τα εργαλεία και τις βιβλιοθήκες που αξιοποιήθηκαν καθώς και με το περιβάλλον που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία και την προσπέλαση του κώδικα Python.

5.1. Γλώσσα προγραμματισμού Python

Η Python [39] είναι μια διερμηνευμένη, διαδραστική, αντικειμενοστραφής γλώσσα προγραμματισμού. Παρέχει δομές δεδομένων υψηλού επιπέδου και είναι μια ισχυρή και γενικού σκοπού γλώσσα. Διαθέτει ένα εξαιρετικά απλό και κομψό συντακτικό και αυτό την καθιστά προσιτή και κατανοητή. Σχεδιάστηκε από τον Guido van Rossum στο ερευνητικό κέντρο Centrum Wiskunde & Informatica (CWI) το 1989 και κυκλοφόρησε για πρώτη φορά το 1991.

Θεωρείται σταθερά ως μια από τις πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού. Πρόκειται για μια γλώσσα με πολλές βιβλιοθήκες που διευκολύνουν ιδιαίτερα αρκετές συνηθισμένες εργασίες. Παράλληλα, είναι εύκολη στην κατανόηση και στην εκμάθησή της και έχει ένα σημαντικό παγκόσμιο δίκτυο για βοήθεια. Η σύνταξή της [40] εμφανίζει έντονες επιρροές από τις γλώσσες ABC, C, Modula – 3 και Icon.

Το κομψό συντακτικό της και η δυναμική τυποποίηση, μαζί με τη διερμηνευμένη φύση της την καθιστούν ιδανική γλώσσα για τη δημιουργία σεναρίων και την ταχεία ανάπτυξη εφαρμογών. Όπως και πολλές άλλες γλώσσες σεναρίων, είναι δωρεάν ακόμα και για εμπορικούς σκοπούς και μπορεί να εκτελεστεί, πρακτικά, σε οποιονδήποτε σύγχρονο υπολογιστή. Είναι διαθέσιμη για διάφορα λειτουργικά συστήματα, μεταξύ των οποίων διάφορες εκδοχές του UNIX (συμπεριλαμβανομένου του Linux), το Apple Macintosh O.S. και το MS – Windows O.S..

Η Python επιτρέπει τη σύνταξη προγραμμάτων με συμπαγή και ευανάγνωστο τρόπο [41]. Ο διερμηνέας της και η εκτεταμένη πρότυπη βιβλιοθήκη είναι ελεύθεροι διαθέσιμοι σε πηγαία ή δυαδική μορφή για όλες τις μεγάλες πλατφόρμες. Ένα πρόγραμμα σε Python μεταγλωττίζεται αυτόματα από τον διερμηνέα σε κώδικα byte, ο οποίος είναι ανεξάρτητος από την πλατφόρμα και στη συνέχεια διερμηνεύεται. Καθώς δεν απαιτείται μεταγλώττιση και σύνδεση, μειώνεται σημαντικά ο χρόνος κατά την ανάπτυξη προγραμμάτων.

Ακόμη, υποστηρίζει πολλαπλά παραδείγματα προγραμματισμού, συμπεριλαμβανομένων του δομημένου (ιδιαίτερα του διαδικαστικού) και του αντικειμενοστραφούς. Μειονεκτεί στο γεγονός ότι επειδή είναι διερμηνευόμενη είναι πιο αργή από τις μεταγλωττιζόμενες (compiled) γλώσσες,

όπως η C και η C ++. Επειδή ωστόσο μπορεί να επεκταθεί στις γλώσσες αυτές, επιτυγχάνει να παρέχει την απαιτούμενη ταχύτητα ακόμη και για εργασίες υψηλής υπολογιστικής έντασης [41]. Επομένως, είναι κατάλληλη και για γραφή λειτουργικών συστημάτων.

Τέλος, τα προγράμματα που είναι γραμμένα σε Python είναι συνήθως πολύ συντομότερα από τα αντίστοιχα σε C, C++ ή Java. Το γεγονός αυτό οφείλεται κυρίως στους τύπους δεδομένων υψηλού επιπέδου που επιτρέπουν την έκφραση πολύπλοκων λειτουργιών σε μια μόνο εντολή ενώ ταυτόχρονα δεν απαιτείται η δήλωση μεταβλητών.

5.2. Google Colab

Το Google Colaboratory που αναφέρεται συνήθως ως «Google Colab» ή εν συντομία «Colab» είναι ένα προϊόν της Google Research και αποτελεί ένα ερευνητικό εργαλείο για την κατασκευή πρωτότυπων μοντέλων μηχανικής μάθησης σε ισχυρές επιλογές υλικού [42]. Επιτρέπει σε οποιονδήποτε να γράφει και να εκτελεί αυθαίρετο κώδικα σε Python μέσω του προγράμματος περιήγησης ιστού.

Όπως προαναφέρθηκε, είναι ιδιαίτερα κατάλληλο για μηχανική μάθηση (ML), αλλά και για ανάλυση δεδομένων και για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Ουσιαστικά, πρόκειται για ένα διαδραστικό περιβάλλον σημειωματάριου Jupyter, που είναι ελεύθερο¹¹ και δεν απαιτεί κάποια εγκατάσταση για να χρησιμοποιηθεί, ενώ παρέχει δωρεάν πρόσβαση σε υπολογιστικούς πόρους, συμπεριλαμβανομένων των GPU.

Επιπροσθέτως, το Colab έχει προεγκατεστημένες τις περισσότερες βιβλιοθήκες¹², οι οποίες είναι διαθέσιμες ανά πάσα στιγμή. Ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό του προγράμματος είναι πως πραγματοποιεί αυτόματη αποθήκευση στο Cloud και έτσι δεν υπάρχει κίνδυνος να καταστραφεί ο αλγόριθμος που έχει ήδη υλοποιηθεί. Όλες οι εργασίες αποθηκεύονται στο Google Drive ή μπορούν να φορτωθούν από το GitHub του εκάστοτε χρήστη. Έτσι, το Colab επιτρέπει τη συνεργασία μεταξύ των προγραμματιστών, καθώς είναι δυνατή η ταυτόχρονη επεξεργασία ενός κώδικα με άλλα άτομα [43].

5.3. Βιβλιοθήκες

Στον κόσμο του προγραμματισμού, μια βιβλιοθήκη είναι μια συλλογή προ – μεταγλωττισμένων κωδικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν αργότερα σε ένα πρόγραμμα για συγκεκριμένες και σαφώς καθορισμένες λειτουργίες [45]. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, ο

¹¹ Η Google [43] προσφέρει επίσης διάφορες συνδρομές Colab Pro που δίνουν στους χρήστες επί πληρωμή πρόσβαση σε ταχύτερες GPU και μονάδες υπολογισμού για πιο προηγμένες εργασίες.

¹² TensowFlow, Matplotlib, PlyTorch κ.ά.

προγραμματισμός να γίνεται απλούστερος και βολικός καθώς δεν χρειάζεται η συγγραφή του ίδιου κώδικα ξανά και ξανά για διαφορετικά προγράμματα.

Όπως ήδη αναφέρθηκε, η Python διαθέτει πλούσιες βιβλιοθήκες οι οποίες δύνανται να χρησιμοποιηθούν για διάφορες μελέτες. Στην παρούσα εργασία, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένες από τις βασικές βιβλιοθήκες για τον εντοπισμό της βλάστησης μέσα από τις δορυφορικές εικόνες και τον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας των πόλεων.

Pandas

Η Pandas είναι μια δημοφιλής βιβλιοθήκη ανοιχτού κώδικα η οποία παρέχει υψηλή επίδοση, εύχρηστες δομές δεδομένων και εργαλεία ανάλυσης δεδομένων για την Python. Προσφέρει δομές και λειτουργίες για το χειρισμό αριθμητικών πινάκων και χρονοσειρών, για ομαδοποίηση και για συνδυασμό δεδομένων και φιλτράρισμα. Το όνομά της προέρχεται από τον όρο «Panel Data», ένας όρος της οικονομετρίας για σύνολα δεδομένων που περιλαμβάνουν παρατηρήσεις σε πολλαπλές χρονικές περιόδους για τα ίδια άτομα. Η Pandas υποστηρίζει διάφορες λειτουργίες χειρισμού δεδομένων όπως είναι η ταξινόμηση, ο επαναπροσδιορισμός, η επανάληψη, η συνένωση, η μετατροπή δεδομένων, η οπτικοποίηση, η συγκέντρωση και η συσσώρευση [44]. Ένα από τα σπουδαία της χαρακτηριστικά είναι η δυνατότητα μετάφρασης πολύπλοκων λειτουργιών με δεδομένα με τη χρήση μιας ή δυο εντολών.

NumPy

Η NumPy [46] αποτελεί μια από τις πιο δημοφιλείς βιβλιοθήκες μηχανικής μάθησης της Python. Υποστηρίζει μεγάλους πίνακες και πολυδιάστατα δεδομένα και αποτελείται από ενσωματωμένες μαθηματικές συναρτήσεις για εύκολους υπολογισμούς. Υλοποιήθηκε με στόχο την επεξεργασία και τη διαχείριση μαθηματικών προβλημάτων μέσω της δομής πινάκων. Το όνομά της αποτελεί συντομογραφία της φράσης «Numerical Python». Δημιουργήθηκε το 2005 από τον Travis Oliphant και είναι ένα εργαλείο ανοιχτού κώδικα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί ελεύθερα.

Βρίσκει πληθώρα εφαρμογών σε προβλήματα γραμμικής άλγεβρας, μετασχηματισμού Fourier και υλοποίησης πράξεων μεταξύ πινάκων [47]. Ακόμη και βιβλιοθήκες όπως η TensorFlow χρησιμοποιούν εσωτερικά την NumPy για την εκτέλεση διάφορων λειτουργιών σε τανυστές. Το κύριο χαρακτηριστικό της είναι η διεπαφή συστοιχιών η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έκφραση εικόνων, ηχητικών κυμάτων και άλλων δυαδικών ακατέργαστων ροών ως συστοιχία πραγματικών αριθμών σε N – διάσταση. Τέλος, η NumPy είναι πολύ διαδραστική και εύκολη στη χρήση αφού κάνει πολύπλοκες μαθηματικές πράξεις να φαίνονται πολύ απλές. Έτσι, η κωδικοποίηση και η κατανόηση των εννοιών γίνεται πραγματικά εύκολη.

Folium

Η Folium [48] είναι μια ισχυρή βιβλιοθήκη της Python μέσω της οποίας είναι δυνατή η δημιουργία διαφόρων τύπων χαρτών Leaflet. Από προεπιλογή, η Folium δημιουργεί ένα χάρτη σε ένα ξεχωριστό αρχείο HTML. Δεδομένου ότι τα αποτελέσματα της είναι διαδραστικά, είναι πολύ χρήσιμη για τη δημιουργία ταμπλό. Επίσης μπορεί να δημιουργήσει inline χάρτες Jupyter.

Η Folium βασίζεται στα πλεονεκτήματα της επεξεργασίας δεδομένων του οικοσυστήματος Python και στα πλεονεκτήματα της χαρτογράφησης της βιβλιοθήκης Leaflet.js. Ουσιαστικά, τα δεδομένα μπορούν να επεξεργαστούν στην Python και στη συνέχεια να απεικονιστούν σε ένα χάρτη Leaflet. Ακόμη, παρέχει τη δυνατότητα να δημιουργηθεί ένας βασικός χάρτης καθορισμένου πλάτους και ύψους είτε με ενσωματωμένα σύνολα πλακιδίων που διαθέτει (στυλ χαρτών), είτε με μια προσαρμοσμένη διεύθυνση URL για σύνολα πλακιδίων. Τέτοια σύνολα πλακιδίων είναι το OpenStreetMap, το Mapbox Bright, το Mapbox Control Room, το Stamen (συμπεριλαμβανομένων των Terrain, Toner και Watercolor), το Cloudmade, το Mapbox και το CartoDB (συμπεριλαμβανομένων των positron και dark_matter).

Επίσης, υποστηρίζει χάρτες choropleth. Ο χάρτης choropleth¹³ είναι ένας θεματικός χάρτης στον οποίο οι περιοχές σκιάζονται ή σχεδιάζονται ανάλογα με τη μέτρηση της στατιστικής μεταβλητής που απεικονίζεται, όπως η πυκνότητα του πληθυσμού ή το κατά κεφαλήν εισόδημα.

OpenCV

Η OpenCV (Open Source Computer Vision Library) είναι μια βιβλιοθήκη Python ανοικτού κώδικα μέσω της οποίας είναι δυνατή η εκτέλεση εργασιών επεξεργασίας εικόνας, όρασης υπολογιστών και μηχανικής μάθησης. Παρέχει ένα ευρύ φάσμα χαρακτηριστικών όπως η ανίχνευση αντικειμένων και η αναγνώριση προσώπου [49]. Το cv2 είναι το στοιχείο εισαγωγής (module) της βιβλιοθήκης OpenCV.

GDAL

Η GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) είναι πολύ χρήσιμη βιβλιοθήκη για τη διαχείριση γεωχωρικών δεδομένων. Είναι ανοιχτού κώδικα και υποστηρίζει διανυσματικά και πινακοποιημένα δεδομένα σε πληθώρα τυποποιήσεων. Κι αυτό γιατί η GDAL είναι συνδυασμός δύο άλλων βιβλιοθηκών, της GDAL και της OGR. Η πρώτη αναφερόταν για την επεξεργασία δεδομένων raster και η δεύτερη για δεδομένα vector [50]. Οι βιβλιοθήκες αυτές πλέον είναι συγχωνευμένες σε μία, έχοντας την ονομασία της πρώτης. Έτσι, η GDAL αποτελεί έναν από τους ισχυρότερους μεταφραστές γεωχωρικών δεδομένων καθώς υποστηρίζει την αναγνώριση 81

¹³ Ο χάρτης choropleth ετυμολογικά προέρχεται από τις λέξεις «περιοχή» και «πλήθος».

διαφορετικών μορφών αρχείων raster και 27 διανυσματικών και την εγγραφή σε 41 διαφορετικές μορφές και 15 αντίστοιχα.

Επιπλέον, η GDAL [51] συνοδεύεται από μια ποικιλία βοηθητικών προγραμμάτων γραμμής εντολών για τη μετάφραση και την επεξεργασία δεδομένων. Στην παρούσα εργασία για παράδειγμα, χρησιμοποιήθηκε η “gdal_calc”, η οποία είναι σε σύνταξη numpy για την επεξεργασία raster δεδομένων [52].

5.4. Υλοποίηση σε Python

Στο παρόν υποκεφάλαιο αναλύεται τμηματικά το σύνολο του κώδικα που συντάχθηκε για την εκπόνηση της μελέτης. Συνοπτικά αναφέρεται ότι, στόχος της παρούσας μελέτης είναι η δημιουργία αλγορίθμου άντλησης καναλιών εικόνων Sentinel – 2 για τον εντοπισμό χώρων πρασίνου μέσω του δείκτη βλάστησης (NDVI), με απώτερο σκοπό τον υπολογισμό δεικτών βιωσιμότητας επιλεγμένων περιοχών μελέτης.

Αρχικά εξασφαλίζεται η δυνατότητα πρόσβασης για μεταφόρτωση δεδομένων από το Google Earth Engine.

```
[ ] import ee

ee.Authenticate()

ee.Initialize()

To authorize access needed by Earth Engine, open the following URL in a web browser and follow the instructions.
```

Σχήμα 12: Άδεια άντλησης δεδομένων από GEE

Στη συνέχεια δίνεται η δυνατότητα ορισμού πολυγώνου ευρύτερου της περιοχής μελέτης, ώστε να μεταφορτωθούν επιλεγμένα κανάλια για την υλοποίηση επιθυμητών υπολογισμών.

```
# KATHORISMOS PERIOXHS MELETHS
geometry = ee.Geometry.Rectangle([-9.242551,38.676908],[-9.077026,38.805405])

location = geometry.coordinates().getInfo()
print(location)

s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_HARMONIZED')
```

Σχήμα 13: Πολύγωνο περιοχής μελέτης

Έπειτα ορίζονται περιορισμοί ώστε να αποφευχθούν νεφοκαλύψεις στις προς μελέτη εικόνες που θα μεταφορτωθούν και δίνεται η δυνατότητα καθορισμού της περιόδου μελέτης. Κατόπιν υπολογίζεται ο δείκτης βλάστησης NDVI.

```

# PERIORISMOI NEFOKALUPSIS
def maskS2clouds(image):
    qa = image.select('QA00')
    cloudBitMask = 1 << 10
    cirrusBitMask = 1 << 11
    mask = qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).And(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0))
    return image.updateMask(mask).select("B.").copyProperties(image, ["system:time_start"])

# KATHORISMOS PERIODOU MELETHS
filtered = s2.filter(ee.Filter.date('2016-01-01', '2022-12-31')).filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE', 5)).filter(ee.Filter.bounds(geometry)).map(maskS2clouds)

def addNDVI(image):
    ndvi = image.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('ndvi')
    return image.addBands(ndvi)

withNdvI = filtered.map(addNDVI)
median = withNdvI.median()

```

Σχήμα 14: Μάσκα νεφοκάλυψης – περίοδος μελέτης

Στη συνέχεια υπολογίζεται το πλήθος των εικόνων που πληρούν τις απαιτήσεις νεφοκάλυψης περιοχής και χρονολογίας λήψης και ο αλγόριθμος ενημερώνει τον χρήστη ώστε να ξεκινήσει η μεταφόρτωση δεδομένων στον επιλεγμένο δίσκο.

```

[ ] # YPOLOGISMOS PLITHOUS EIKONWN
image_ids = withNdvI.aggregate_array('system:index').getInfo()
print('Total images: ', len(image_ids))

Total images: 565

[ ] from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

```

Σχήμα 15: Υπολογισμός πλήθους εικόνων

Αφού ολοκληρώθηκε η μεταφόρτωση εικόνων NDVI, εισάγουμε τις βιβλιοθήκες που χρειάστηκαν για την κλήση των κατάλληλων αλγορίθμων.

```

[ ] ! pip install gdal

import subprocess
import glob
import os
import numpy
import cv2
import pandas as pd

```

Σχήμα 16: Εισαγωγή βιβλιοθηκών

Ο αλγόριθμος συνεχίζεται με την εξαγωγή δυαδικών εικόνων (binary), αφού έχει καθοριστεί συγκεκριμένη τιμή (κατώφλι), εν προκειμένω 0.25, του εύρους του δείκτη βλάστης, με σκοπό τον εντοπισμό αμιγούς βλάστησης στις περιοχές μελέτης.

```

# CREATE BINARY IMAGE
# Arguments.
calc_expr = '"1 * (A>0.25)"'
nodata = '-99999999.0'
typeof = '"Byte"'

# Generate string of process.
gdal_calc_str = 'python {0} -A {1} --outfile={2} --calc={3} --NoDataValue={4} --type={5}'
gdal_calc_process = gdal_calc_str.format(gdal_calc_path, tile,
ras_out, calc_expr, nodata, typeof)

# Call process.
os.system(gdal_calc_process)

```

Σχήμα 17: Δημιουργία δυαδικών εικόνων – εντοπισμός βλάστησης

Κατόπιν οι δυαδικές εικόνες αποκόπτονται και εστιάζονται στα ακριβή όρια της περιοχής μελέτης, με την χρήση διανυσματικού επιπέδου και του αλγορίθμου `gdal.warp`. Οι τελικές εικόνες αποθηκεύονται με καθορισμένη ονομασία σε ξεχωριστό φάκελο.

```
# CLIP AREA
path_for_Th = glob.glob('/content/drive/MyDrive/stella/Lisboa_Thresh/*.tif')

for Thresh_tile in path_for_Th:

    shpin = '/content/drive/MyDrive/stella/Lisboa_Shp/Lisboa_municipality.shp'

    print(Thresh_tile)
    ras_out1 = Thresh_tile.split("/")[6]
    print(ras_out1)
    ras_out2 = root_path+city+'_clipped/clipped_'+ras_out1
    print(ras_out2)
    print("")

    out = root_path+city+'_clipped/clipped_'+ras_out1

gdal.Warp(out, Thresh_tile, cutlineDSName=shpin, cutlineLayer='Lisboa_municipality', cropToCutline=True)
```

Σχήμα 18: Αποκοπή εικόνων στα όρια της περιοχής μελέτης

Τέλος αφού ο χρήστης εισάγει το εμβαδόν της περιοχής μελέτης σε τετραγωνικά μέτρα (εμβαδόν ορίων διανυσματικού επιπέδου) και καθορίσει τον πληθυσμό, με απλές αριθμητικές πράξεις υπολογίζονται οι δείκτες χώρων πρασίνου βάσει της έκτασης της πόλης και του πληθυσμού.

```
path_for_cl_Th = glob.glob('/content/drive/MyDrive/stella/Bern_clipped/*.tif')

# EMVADO PERIOXHS MELETHS
Lisboa_area = 51618797
# POP PERIOXHS MELETHS
Lisboa_pop = 133115
deikths = []
deikthspp = []
dates = []
green_area = []
```

Σχήμα 19: Καθορισμός έκτασης και πληθυσμού – υπολογισμός δεικτών βιωσιμότητας

Τα αποτελέσματα αποθηκεύονται σε εξαγόμενα αρχεία csv (comma – separated values), με σκοπό την στατιστική τους επεξεργασία και ανάλυση, όπως αυτή αναλύεται στο Κεφάλαιο 7.

Κεφάλαιο 6

Διαχείριση δεδομένων

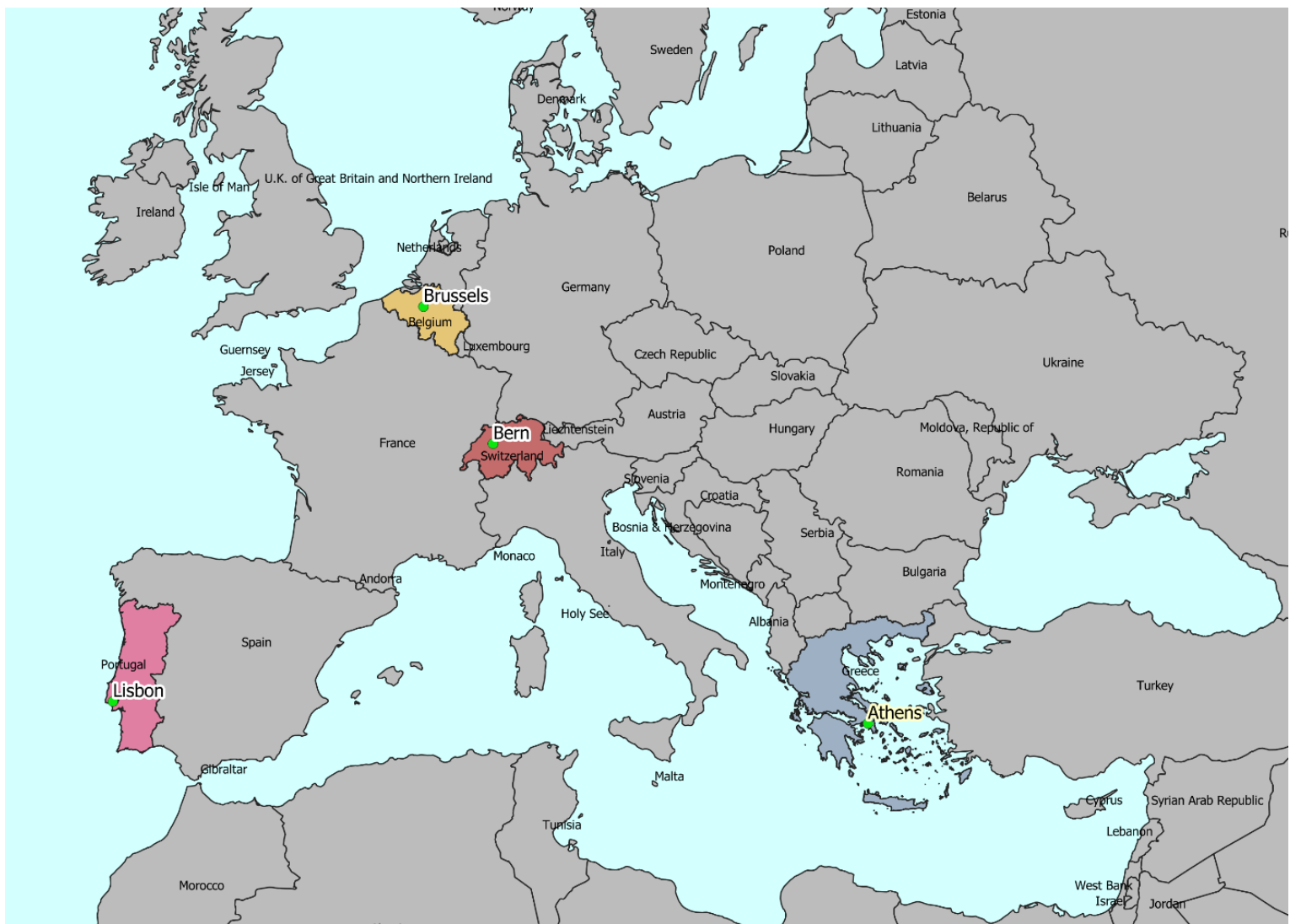
Το Κεφάλαιο 6 αφορά στη διαχείριση των δεδομένων, δηλαδή στην ανάλυση των περιοχών μελέτης και των διαδικασιών που πραγματοποιήθηκαν για τον εντοπισμό των χώρων πρασίνου και τον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας. Στο πρώτο υποκεφάλαιο περιγράφονται ορισμένα χαρακτηριστικά των περιοχών που επιλέχθηκαν προκειμένου να γίνει πλήρως αντιληπτό το προφίλ τους. Στο δεύτερο υποκεφάλαιο παρουσιάζονται αναλυτικά, βήμα προς βήμα, οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν για την υλοποίηση της παρούσας μελέτης. Ουσιαστικά, σε αυτό περιγράφονται τα αποτελέσματα της προσπέλασης κάθε εντολής του κώδικα που συντάχθηκε.

6.1. Περιοχές μελέτης

Για την υλοποίηση της παρούσας μελέτης, δηλαδή τον εντοπισμό των χώρων πρασίνου και τον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας αξιοποιήθηκαν δεδομένα από τέσσερις (4) πόλεις. Συγκεκριμένα επιλέχθηκαν οι πόλεις: Αθήνα, Βέρνη, Βρυξέλλες και Λισαβόνα. Για τις πόλεις αυτές αξιοποιήθηκαν δεδομένα και δορυφορικές εικόνες Sentinel – 2 από το 2016 έως το 2022. Κριτήρια για την επιλογή τους αποτέλεσαν η έκτασή τους και η τοποθεσία τους. Ουσιαστικά, οι πόλεις αυτές επιλέχθηκαν ώστε να είναι όσο το δυνατόν ισομεγέθεις μεταξύ τους και παράλληλα να βρίσκονται στην Ευρώπη.

Επισημαίνεται ότι με την έννοια της πόλης θεωρήθηκε ο αστικός πυρήνας και άρα ο κύριος δήμος χωρίς τα προάστια. Συνεπώς, παρακάτω δηλώνοντας την ονομασία της πόλης εννοείται ο δήμος της.

Στις επόμενες υποενότητες παρουσιάζεται το προφίλ κάθε μιας πόλης ξεχωριστά, προκειμένου, μετέπειτα, να μπορούν να αξιολογηθούν τα αποτελέσματα της έρευνας.



Σχήμα 20: Πόλεις μελέτης
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία σε QGIS)

6.1.1. Αθήνα

6.1.1.1. Διοικητική θέση

Η Αθήνα είναι η πρωτεύουσα της Ελλάδας και βρίσκεται στην Αττική, στην ανατολική Στερεά Ελλάδα.



Σχήμα 21: Θέση Δήμου Αθηναίων στην Ελλάδα
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία σε QGIS)

Υπάγεται στην Περιφέρεια Αττικής, στην Περιφερειακή Ενότητα του Κεντρικού Τομέα Αθηνών, έχει έκταση 38.945.161 m² και περιλαμβάνει επτά δημοτικές κοινότητες.



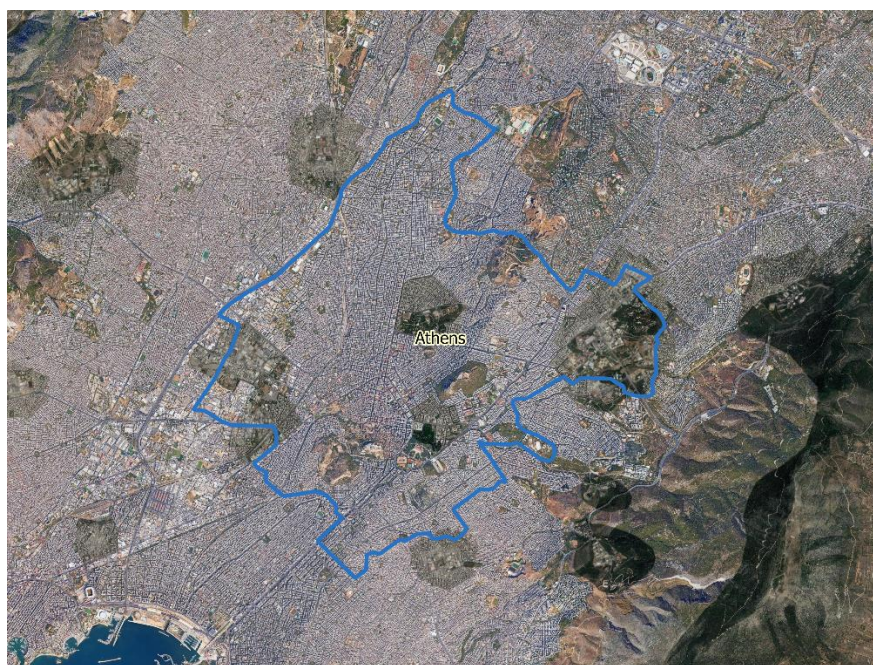
Σχήμα 22: Δημοτικές κοινότητες Δήμου Αθηναίων

(Πηγή: Α. Παπαφραγκάκη «Μεθοδολογικό πλαίσιο διερεύνησης πρότυπων εξευγενισμού αστικών περιοχών σε περιβάλλον GIS. Η περίπτωση του Δήμου Αθηναίων»)

Η πρώτη κοινότητα αφορά στο κέντρο των Αθηνών, στο εμπορικό τρίγωνο (π.χ. Σύνταγμα, Ομόνοια, Μοναστηράκι), η δεύτερη στις νοτιοανατολικές συνοικίες (Νέος Κόσμος, Παγκράτι κ.λπ.), η τρίτη στις νοτιοδυτικές (Αστεροσκοπείο, Πετράλωνα, Θησείο κ.λπ.), η τέταρτη στις δυτικές (Κολωνός, Ακαδημία Πλάτωνος, Σεπόλια κ.λπ.), η πέμπτη στις βορειοδυτικές (από Κάτω Πατήσια έως Προμπονά), η έκτη στις βόρειες κεντρικές (Άγιος Παντελεήμονας, Κυψέλη κ.λπ.) και η έβδομη στις βορειοανατολικές (Αμπελόκηποι, Πολύγωνο κ.λπ.).

6.1.1.2. Γεωγραφική θέση

Η Αθήνα βρίσκεται στην Αττική, στην ανατολική Στερεά Ελλάδα. Οι γεωγραφικές συντεταγμένες είναι $37^{\circ} 59' 3''$ Β, $23^{\circ} 43' 41''$ Α (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος) σε μορφή μοιρών ή 37.981537, 23.72623 σε δεκαδική μορφή.



Σχήμα 23: Απεικόνιση ορίων Δήμου Αθηναίων σε δορυφορικό υπόβαθρο (Πηγή: Ιδία επεξεργασία σε QGIS)

6.1.1.3. Τοπογραφία

Η Αθήνα είναι χτισμένη γύρω από αρκετούς λόφους [53]. Έχει μέσο υψόμετρο τα 90 m αλλά παρουσιάζει έντονες υψομετρικές εναλλαγές εξαιτίας των λόφων στους οποίους είναι χτισμένη. Ο Λυκαβηττός είναι ένας από τους υψηλότερους λόφους της, με υψόμετρο 277 m. Η γεωμορφολογία της θεωρείται ως μια από τις πιο ιδιαίτερες στον κόσμο λόγω των βουνών της,

από τα οποία προκαλείται το φαινόμενο της θερμοκρασιακής αναστροφής. Το φαινόμενο αυτό σε συνδυασμό με την αυξημένη εκπομπή ρύπων, ευθύνεται για τα προβλήματα της ατμοσφαιρικής ρύπανσης που αντιμετωπίζει η πόλη.

6.1.1.4. Κλίμα

Η Αθήνα έχει ένα υποτροπικό μεσογειακό κλίμα [54]. Το κυριότερο χαρακτηριστικό του κλίματος αυτού είναι η εναλλαγή παρατεταμένων ζεστών και ξηρών καλοκαιριών και ήπιων και υγρών χειμώνων (κατά σύστημα Köppen: Csa¹⁴).

Το μεσογειακό κλίμα είναι ουσιαστικά ένα μεταβατικό κλίμα, μια γέφυρα σύνδεσης ανάμεσα στο υποτροπικό ξηρό/ερημικό κλίμα, με τις θερμές αέριες μάζες, που προέρχεται από το νότο και στο κλίμα των Δυτικών Επικρατούντων Ανέμων που προέρχεται από το βορρά (Ατλαντικό). Επομένως, τη θερμή περίοδο (Απρίλιος – Σεπτέμβριος) επικρατούν συνθήκες ατμοσφαιρικού εμποδισμού και έτσι παρατηρείται μια σταθερότητα στον καιρό, με τα θερμά έως καυτά καλοκαίρια ενώ την ψυχρή περίοδο μια μεταβλητότητα, με απότομες αλλαγές και μεταβολές.

6.1.1.4.1. Θερμοκρασία

Το κλίμα της Αθήνας επηρεάζεται επίσης από το φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας που προκαλείται λόγω της ανθρώπινης δραστηριότητας και των κατασκευών. Αυτό έχει ως αντίκτυπο την περαιτέρω αύξηση των θερμοκρασιών. Σύμφωνα με κλιματικά δεδομένα του μετεωρολογικού σταθμού του Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών (ΕΑΑ) (1991 – 2020), η μέση ετήσια θερμοκρασία της Αθήνας είναι 19,2 °C.

Πίνακας 4: Κλιματολογικά δεδομένα Αθήνας σε °C (1991 – 2020)

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Έτος
Μέση	10.2	10.8	13.1	16.7	21.8	26.6	29.3	29.4	25	20.3	15.6	11.6	19,2
Μέγιστη	13.3	14.2	17	21.1	26.5	31.6	34.3	34.3	29.6	24.4	18.9	14.4	23,3
Ελάχιστη	7.1	7.3	9.2	12.3	17	21.6	24.2	24.4	20.4	16.2	12.2	8.7	15

(Πηγή: Μετεωρολογικός σταθμός Εθνικού Αστεροσκοπείου Αθηνών – ίδια επεξεργασία)

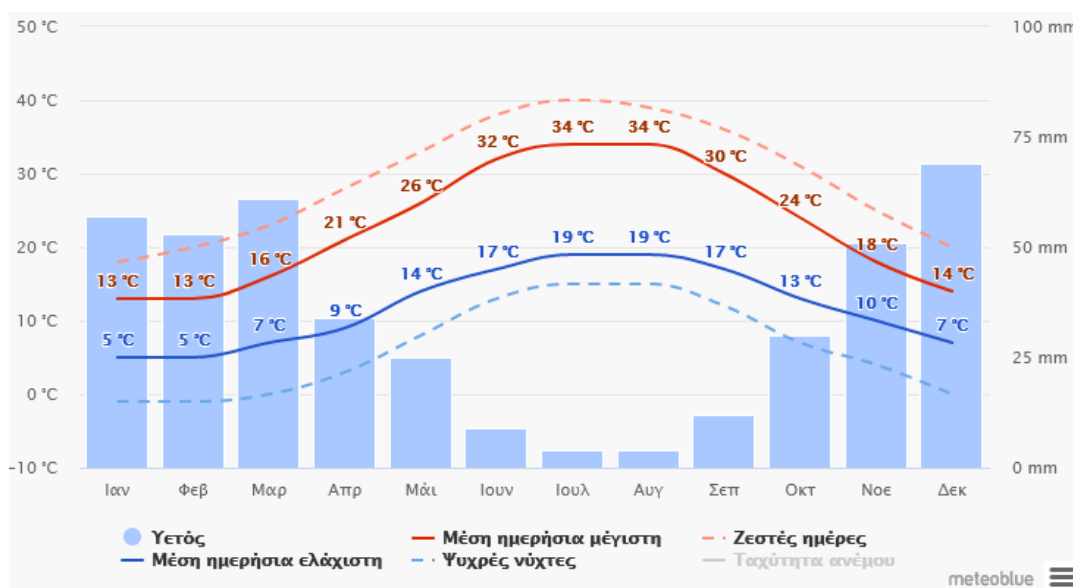
Ο θερμότερος μήνας είναι ο Αύγουστος και ο ψυχρότερος είναι ο Ιανουάριος. Η μέση θερμοκρασία τον Αύγουστο ξεπερνάει τους 29 °C (όπως και τον Ιούλιο), ενώ τον Ιανουάριο, είναι λίγο πάνω από τους 10 °C. Αναλυτικότερα, τον Αύγουστο η θερμοκρασία κυμαίνεται από 24.2 °C έως 34.3 °C και τον Ιανουάριο από 7.1 έως 13.3 °C.

¹⁴ C: warm temperate, s: summer dry, a: hot summer.

6.1.1.4.2. Βροχόπτωση

Η μέση ετήσια βροχόπτωση, βάσει δεδομένων χρονοσειράς 120 ετών του σταθμού του ΕΑΑ φθάνει τα 401 mm. Τα μεγαλύτερα ύψη βροχόπτωσης εντοπίζονται την ψυχρή περίοδο από Οκτώβριο έως Μάρτιο, ιδιαίτερος τον Νοέμβριο και τον Δεκέμβριο. Κατά την περίοδο αυτή, οι ψυχρότερες αέριες μάζες των βορειότερων γεωγραφικών πλατών κατέρχονται νοτιότερα και συνδυαστικά με την ιδιαίτερα θερμή μεσόγειο, δημιουργούνται υφέσεις με υψηλά ποσοστά υγρασίας. Έτσι, το χειμώνα η μέση τιμή βροχόπτωσης είναι περίπου στα 70 mm.

Τα μικρότερα ύψη βροχόπτωσης εντοπίζονται το καλοκαίρι και συγκεκριμένα τον Αύγουστο (περίπου 5 mm). Το γεγονός αυτό είναι απολύτως λογικό και συνυφασμένο με τις υψηλές θερμοκρασίες που επικρατούν τον μήνα αυτό.



Σχήμα 24: Μέσες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων Αθήνας (1991 – 2020)
(Πηγή: meteoblue.com [55])

6.1.1.4.3. Υγρασία

Στην Αθήνα επικρατούν μέτρια επίπεδα υγρασία προς υψηλότερα τους χειμερινούς μήνες. Η μέση υγρασία σε ένα έτος είναι περίπου 61%. Όπως αναλύθηκε παραπάνω, από τον Οκτώβριο έως το Μάρτιο η υγρασία είναι υψηλότερη έχοντας τιμές γύρω στο 70 %. Τους καλοκαιρινούς μήνες η υγρασία είναι περίπου στο 45%.

6.1.1.5. Χλωρίδα

Στην Αθήνα βρίσκονται 1.346 ξεχωριστοί χώροι πρασίνου, προσφέροντας πράσινο στις γειτονιές και περισσότερο οξυγόνο στην πόλη [56]. Στην περιοχή εντοπίζονται κυρίως νεραντζιές,

ακακίες, ιβίσκοι, ελιές, πλατάνια, μουριές, πικροδάφνες και πεύκα. Σε διάστημα δυόμισι ετών, από το 2020 έως το 2022 φυτεύτηκαν συνολικά περίπου 4.000 δέντρα και 30.000 θάμνοι.

6.1.1.6. Δημογραφικά – κοινωνικά χαρακτηριστικά

6.1.1.6.1. Πληθυσμός

Η Αθήνα αποτελεί τον πολυπληθέστερο δήμο της Ελλάδας και βάσει της απογραφής του 2021 έχει μόνιμο πληθυσμό 637.798 κατοίκους [57]. Στην απογραφή του 2011, ο αριθμός αυτός ήταν 664.046 κάτοικοι [58] και στους 2001 ήταν 789.166 κάτοικοι. Το γεγονός αυτό αποδεικνύει μια σημαντική μείωση του πληθυσμού της τάξεως των 100.000 κατοίκων από το 2001 έως το 2011 και μια μικρότερη της τάξεως των 30.000 κατοίκων από το 2011 έως σήμερα.

6.1.1.6.2. Μορφωτικό επίπεδο

Με βάση την απογραφή του 2011, ο μόνιμος πληθυσμός της Αθήνας κατατάσσεται στα επίπεδα εκπαίδευσης που παρουσιάζονται παρακάτω. Τα αποτελέσματα φαίνονται και στο ακόλουθο σχήμα.

1. Κάτοχοι διδακτορικού ή μεταπτυχιακού τίτλου/Πτυχιούχοι Πανεπιστημίου – Πολυτεχνείου, ΑΤΕΙ, ΑΣΠΑΙΤΕ, Ανώτερων Επαγγελματικών και Ισότιμων Σχολών: 161.997 άτομα.
2. Πτυχιούχοι μεταδευτεροβάθμιας εκπαίδευσης (ΙΕΚ, Κολλέγια κ.λπ.): 40.460 άτομα.
3. Απόφοιτοι Λυκείου (Γενικού, Εκκλησιαστικού, Επαγγελματικού κ.λπ.): 196.705 άτομα.
4. Απόφοιτοι τριτάξιου Γυμνασίου και Πτυχιούχοι Επαγγελματικών Σχολών: 79.860 άτομα.
5. Απόφοιτοι Δημοτικού: 100.672 άτομα.
6. Εγκατέλειψαν το Δημοτικό, αλλά γνωρίζουν γραφή και ανάγνωση/Ολοκλήρωσαν την προσχολική αγωγή/Δεν γνωρίζουν γραφή και ανάγνωση: 51.980 άτομα.
7. Μη κατατασσόμενοι (άτομα γεννηθέντα μετά την 01/01/2005): 32.462 άτομα.



Σχήμα 25: Μορφωτικό επίπεδο μόνιμων κατοίκων Αθήνας (2011)
(Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ. – ίδια επεξεργασία)

Από τα παραπάνω στοιχεία προκύπτει πως το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού είναι απόφοιτοι λυκείου (29,6%) ενώ ακολουθούν οι πτυχιούχοι και οι διπλωματούχοι σχολών (24,4%). Συμπερασματικά, το μορφωτικό επίπεδο της Αθήνας χαρακτηρίζεται ως αρκετά ικανοποιητικό.

6.1.1.6.3. Επαγγελματική απασχόληση

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζεται η απασχόληση και μη του μόνιμου πληθυσμού στην Αθήνα, σύμφωνα με την απογραφή του 2011.

Πίνακας 5: Απασχόληση μόνιμου πληθυσμού Αθήνας (2011)

Οικονομικά ενεργοί			Οικονομικά μη ενεργοί		
Σύνολο	Απασχολούμενοι	Άνεργοι	Σύνολο	Συνταξιούχοι	Λοιποί
327.389	260.658	66.731	336.657	133.722	202.935

(Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ.)

Η πλειοψηφία των απασχολούμενων (83,1%) δραστηριοποιείται στον τριτογενή τομέα παραγωγής (216.702 κάτοικοι). Στο δευτερογενή τομέα απασχολείται το 16,4% (42.683 κάτοικοι) ενώ στον πρωτογενή το 0,5% (1.273 κάτοικοι).

6.1.1.7. Βιωσιμότητα

Το αστικό πράσινο αποτελεί το πιο αποτελεσματικό μέτρο για την αντιμετώπιση της κλιματικής αλλαγής και του φαινομένου της αστικής θερμνησίδας. Η επέκταση του πρασίνου αποτελεί προτεραιότητα της δημοτικής αρχής της Αθήνας, η οποία διαχειρίζεται την αστική

χλωρίδα και παράλληλα αυξάνει τα τετραγωνικά μέτρα πρασίνου ανά κάτοικο δημιουργώντας «πάρκα τσέπης», αξιοποιώντας χώρους μικρής έκτασης.

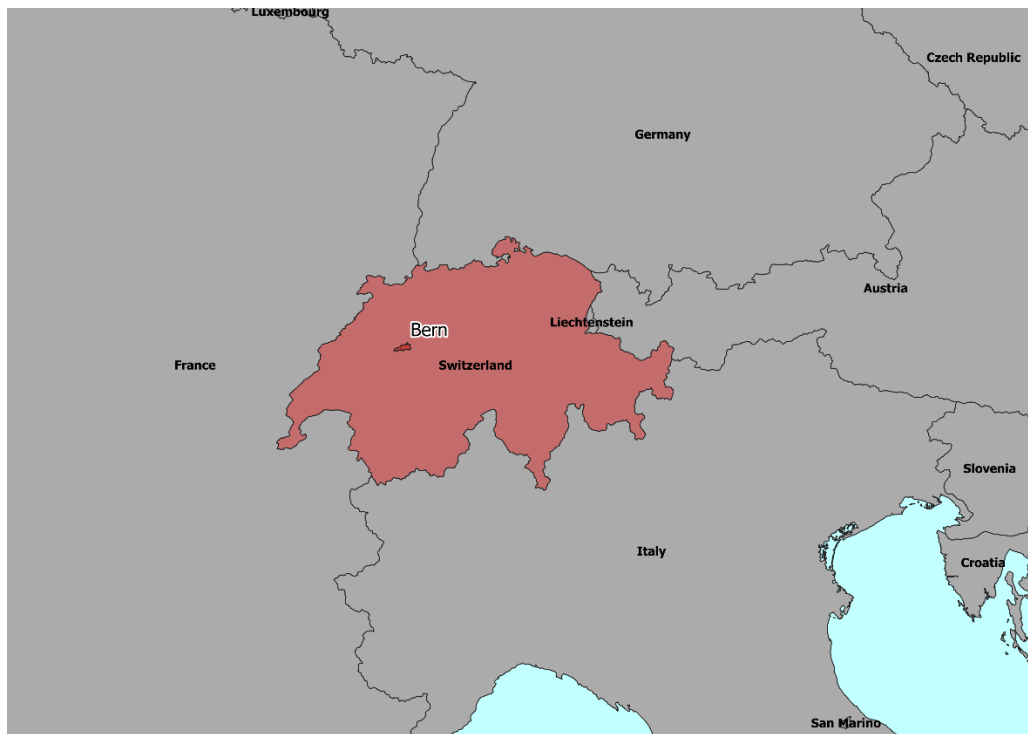
6.1.1.7.1. Δείκτης έκταση πρασίνου/κάτοικο

Σύμφωνα με την Ελληνική νομοθεσία και το ΦΕΚ 285Δ/2004 [32], η ελάχιστη τιμή του δείκτη βιωσιμότητας «χώροι πρασίνου κατά κεφαλήν» για την Αθήνα είναι **8 m² πρασίνου/κάτοικο**.

6.1.2. Βέρνη

6.1.2.1. Διοικητική θέση

Η Βέρνη αποτελεί πρωτεύουσα τόσο της Ελβετίας, όσο και του ομώνυμου Καντονιού της. Βρίσκεται στον δυτικό – κεντρικό τμήμα της Ελβετίας και έχει έκταση 51.618.797 m². Ανήκει στην διοικητική περιφέρεια Bern – Mittelland, στο Καντόνι της Βέρνης.

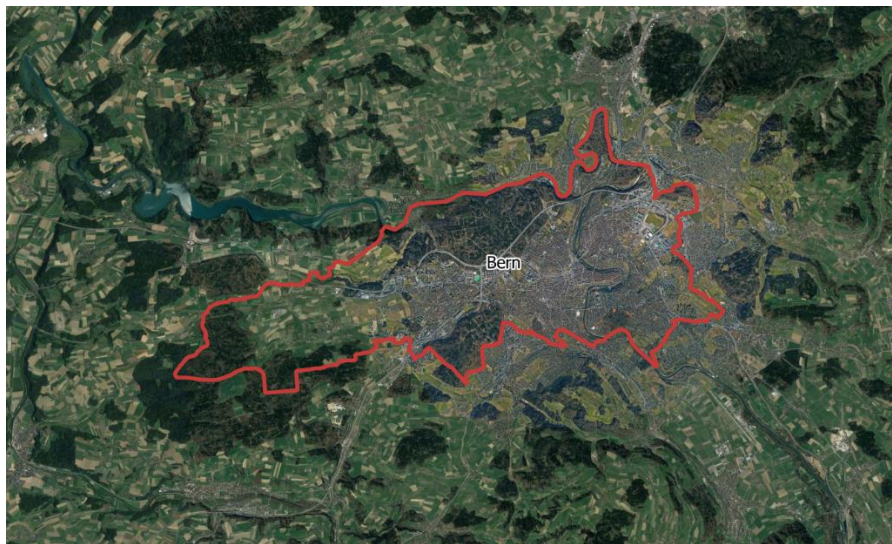


Σχήμα 26: Τοποθεσία Βέρνης
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία σε QGIS)

Η Βέρνη είναι η πέμπτη μεγαλύτερη πληθυσμιακά πόλη της Ελβετίας, μετά τη Ζυρίχη, τη Γενεύη, τη Βασιλεία και την Λωζάνη.

6.1.2.2. Γεωγραφική θέση

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες της Βέρνης είναι $46^{\circ} 56' 53''$ Β, $7^{\circ} 26' 51''$ Α (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος) σε μορφή μοιρών ή 46.948056, 7.4475 σε δεκαδική μορφή.



Σχήμα 27: Απεικόνιση Βέρνης σε δορυφορικό υπόβαθρο
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία σε QGIS)

6.1.2.3. Τοπογραφία

Η Βέρνη είναι χτισμένη σε μια λοφώδη χερσόνησο και διατρέχεται από τον ποταμό Άαρ, ο οποίος είναι παραπόταμος του Ρήνου. Βρίσκεται στο ελβετικό οροπέδιο στο καντόνι της Βέρνης και σε απόσταση 20 km βόρεια των Άλπεων της Βέρνης. Τα δύο βουνά που βρίσκονται κοντινότερα είναι το Gurten με ύψος 864 m και το Bantiger με ύψος 947 m.

Το μέσο υψόμετρο της Βέρνης είναι 546 m. Το έδαφος της είναι αρκετά ανώμαλο, με έντονες υψομετρικές διαφορές μεταξύ των συνοικιών του κέντρου της πόλης έως και 60 m. Το μέγιστο υψόμετρο που εντοπίζεται στην περιοχή είναι 674 m (Könizberg) και το ελάχιστο 481 m (Aare κοντά στο Eymatt).

6.1.2.4. Κλίμα

Σύμφωνα με την κλιματική ταξινόμηση Köppen, η Βέρνη κατατάσσεται στην κατηγορία του ωκεάνιου κλίματος (Cfb), σε συνδυασμό με έντονα χαρακτηριστικά του υγρού ηπειρωτικού

κλίματος (Dfb)¹⁵ [59]. Αυτό συνεπάγεται η Βέρνη να έχει αρκετά κρύους χειμώνες με μεγάλη πιθανότητα εμφάνισης χιονοπτώσεων και ήπια ζεστά καλοκαίρια.

6.1.2.4.1. Θερμοκρασία

Η μέση ετήσια θερμοκρασία της Βέρνης είναι 9,3 °C και είναι 0,97% υψηλότερη από την αντίστοιχη της Ελβετίας. Ο θερμότερος μήνας είναι ο Ιούλιος και ο ψυχρότερος ο Ιανουάριος. Τον Ιούλιο η μέση θερμοκρασία είναι περίπου στους 19 °C ενώ τον Ιανουάριο, η θερμοκρασία αυτή μόλις τους 0 °C. Αναλυτικότερα, τον Ιούλιο η θερμοκρασία κυμαίνεται από περίπου 8 °C έως 22 °C και τον Ιανουάριο από – 5 °C έως 4 °C.

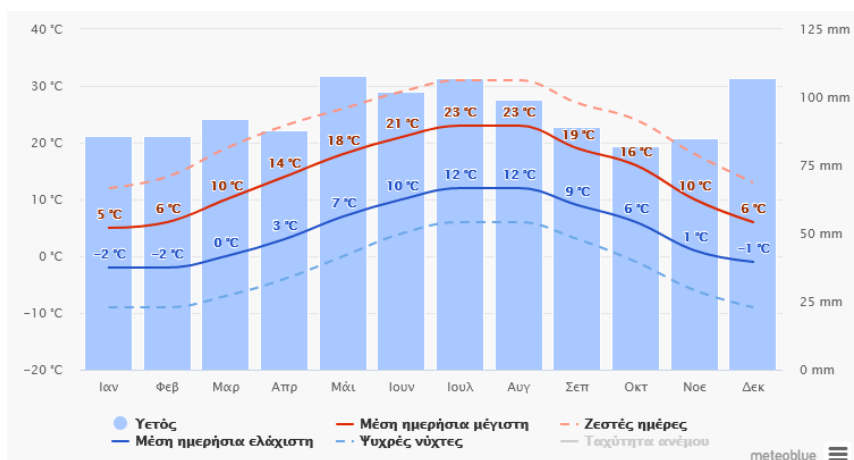
Πίνακας 6: Κλιματολογικά δεδομένα Βέρνης σε °C (1991 – 2020)

	Ιαν	Φεβ	Μαρ	Απρ	Μαι	Ιουν	Ιουλ	Αυγ	Σεπ	Οκτ	Νοε	Δεκ	Έτος
Μέση	0.2	1.1	5.2	9.0	13.2	16.9	18.8	18.4	14.1	9.5	4.2	0.9	9.3
Μέγιστη	3.4	5.2	10.3	14.5	18.6	22.5	24.6	24.2	19.4	14.0	7.7	3.8	14.0
Ελάχιστη	-2.9	-2.8	0.3	3.4	7.6	11.3	13.0	12.9	9.2	5.5	1.0	-2.1	4.7

(Πηγή: MeteoSwiss – ίδια επεξεργασία)

6.1.2.4.2. Βροχόπτωση

Η Βέρνη δέχεται κατά μέσο όρο περίπου 85 mm βροχόπτωσης και έχει 157,81 βροχερές ημέρες ετησίως. Συνεπώς, περίπου τις μισές μέρες του χρόνου βρέχει. Ο πιο ξηρός μήνας θεωρείται ο Μάρτιος με περίπου 60 mm βροχόπτωσης ενώ ο πιο υγρός είναι ο Μάιος, κατά τον οποίο η βροχόπτωση ξεπερνάει τα 121 mm.



Σχήμα 28: Μέσες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων Βέρνης (1991 – 2020)
(Πηγή: meteoblue.com [60])

¹⁵ C: warm temperate, D: snow, f: fully humid, b: warm summer.

6.1.2.4.3. Υγρασία

Στη Βέρνη επικρατούν υψηλά επίπεδα υγρασία καθόλη τη διάρκεια του έτους. Η μέση υγρασία είναι περίπου 81%. Η υγρασία συνδέεται σε μεγάλο βαθμό από τις βροχοπτώσεις γι' αυτό και οι μέγιστες και οι ελάχιστες μέσες τιμές παρατηρούνται τους ίδιους μήνες με αυτούς των βροχοπτώσεων. Έτσι, τα υψηλότερα ποσοστά υγρασία καταγράφονται τον Ιανουάριο (84,66%) και τα χαμηλότερα τον Ιούλιο (76,68%).

6.1.2.5. Χλωρίδα

Στη Βέρνη εντοπίζεται υψηλός αριθμός χώρων πρασίνου και πολλά αστικά δάση. Στην περιοχή παρατηρούνται κυρίως φυλλοβόλα δέντρα. Κυρίαρχα είδη είναι η βελανιδιά, η οξιά και το πεύκο. Όσον αφορά στα λουλούδια, την άνοιξη ανθίζουν οι κρόκοι και οι νάρκισσοι και το καλοκαίρι τα ροδόδεντρα, τα σαξιφράγια, η γεντιανή και το εντελβάις.

6.1.2.6. Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά

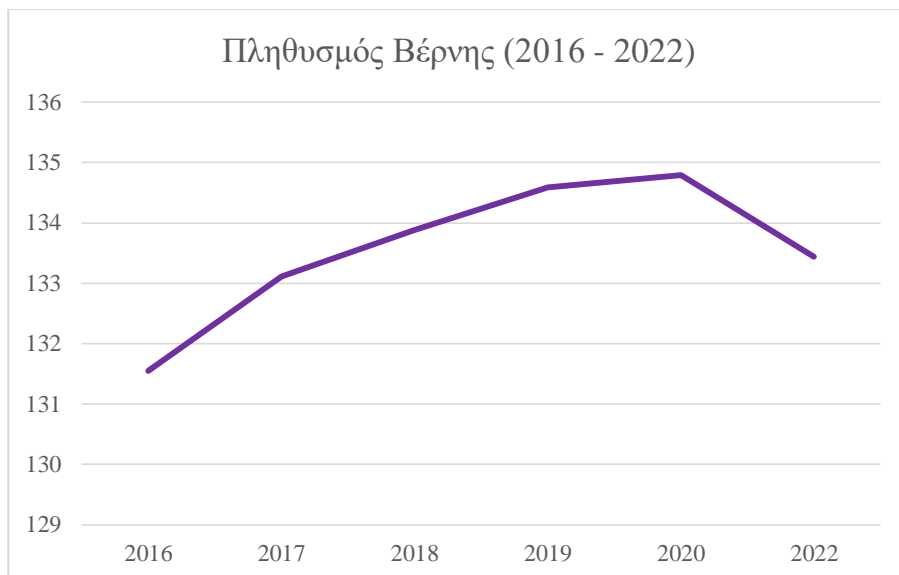
Για τη Βέρνη διατίθενται πληθυσμιακά στοιχεία που αντιστοιχούν σχεδόν ανά χρόνο [61]. Τα τελευταία στοιχεία αφορούν στο 2022, σύμφωνα με τα οποία ο πληθυσμός της Βέρνης είναι 133.441 μόνιμοι κάτοικοι. Όπως φαίνεται και στο ακόλουθο διάγραμμα από το 2016 έως το 2020 υπάρχει μια μικρή αύξηση το πληθυσμού, που άλλες φορές είναι μεγαλύτερη και άλλες μικρότερη. Για παράδειγμα, από το 2016 έως το 2017 ο πληθυσμός αυξήθηκε κατά 1,19% ενώ από το 2019 έως το 2020 αυξήθηκε κατά 0,15%.

Από το 2020 έως το 2022 παρατηρείται μια μικρή μείωση του πληθυσμού της τάξεως του 1% [62]. Αυτό συνεπάγεται, η πυκνότητα του πληθυσμού [63] το 2022 να είναι μικρότερη από αυτή του 2020. Συγκεκριμένα, το 2022 ήταν 2.604 κάτοικοι/km² και το 2020 ήταν 2.643 κάτοικοι/km².

Πίνακας 7: Πληθυσμιακά στοιχεία Βέρνης (1980 – 2022)

Έτος	Πληθυσμός	Έτος	Πληθυσμός	Έτος	Πληθυσμός
2022	133.441	2015	130.015	2007	122.256
2020	134.794	2012	126.598	2006	122.178
2019	134.591	2011	125.681	2001	122.427
2018	133.883	2010	124.381	2000	128.634
2017	133.115	2009	122.746	1990	136.338
2016	131.554	2008	122.496	1980	145.254

(Πηγή: Swiss Federal Statistical Office - Schweizerische Eidgenossenschaft)



Σχήμα 29: Διαχρονική εξέλιξη πληθυσμού Βέρνης (2016 – 2022)
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

6.1.2.7. Βιωσιμότητα

Η πόλη της Βέρνης αποτελεί μια από τις τρεις πόλεις (Βέρνη, Βίντερτουρ, Λουκέρνη) της Ελβετίας με την υψηλότερη διαθεσιμότητα αστικού πρασίνου [64]. Έχει θέσει ως στόχο να παρέχει στους κατοίκους της και στους ανθρώπους που εργάζονται σε αυτή ένα κατάλληλο δημόσιο ανοιχτό χώρο σε επίπεδο γειτονιάς που να χαρακτηρίζεται από εύκολη προσβασιμότητα με τα πόδια και να εξυπηρετεί την καθημερινή αναψυχή. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, η Βέρνη έχει ορίσει ως ελάχιστη τιμή του δείκτη βιωσιμότητας «έκταση πρασίνου ανά κάτοικο» (σταθερότυπο) τα **8 m² πρασίνου/κάτοικο**, σε απόσταση 400 m από κάθε κάτοικο.

6.1.3. Βρυξέλλες

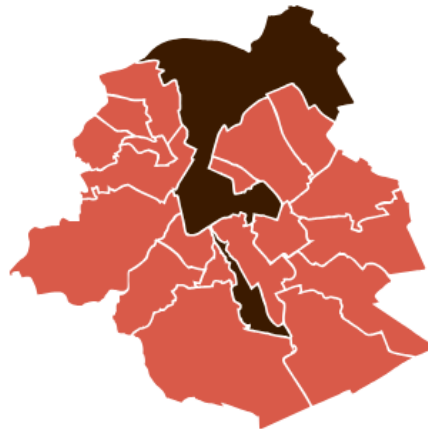
6.1.3.1. Διοικητική θέση

Η πόλη των Βρυξελλών βρίσκεται στο βόρειο – κεντρικό Βέλγιο και είναι μια από τις 19 κοινότητες της περιφέρειας των Βρυξελλών. Αποτελεί τον μεγαλύτερο δήμο της περιφέρειας των Βρυξελλών – πρωτεύουσας και έχει έκταση 33.069.627 m².



Σχήμα 30: Τοποθεσία Βρυξελλών
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία σε QGIS)

Με επίκεντρο τη μεσαιωνική καρδιά της πόλης, σταδιακά επεκτάθηκε μέσω διαφόρων προσαρτήσεων προς τα βόρεια, τα νότια και τα ανατολικά της περιφέρειας, έχοντας στη σημερινή εποχή το παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 31: Κοινότητα Βρυξελλών
(Πηγή: ibsa – institut bryxellois de statistique et d'analyse [63])

6.1.3.2. Γεωγραφική θέση

Οι γεωγραφικές συντεταγμένες των Βρυξελλών είναι $50^{\circ} 50' 48''$ Β, $4^{\circ} 21' 9''$ Α (γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος) σε μορφή μοιρών ή 50.846667, 4.3525 σε δεκαδική μορφή.



Σχήμα 32: Απεικόνιση Βρυξελλών σε δορυφορικό υπόβαθρο
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία σε QGIS)

6.1.3.3. Τοπογραφία

Το μέσο υψόμετρο των Βρυξελλών είναι 70 m και γενικότερα εμφανίζει αρκετές υψομετρικές διαφορές. Οι διαφορές αυτές οφείλονται κυρίως στους ποταμούς και παραποτάμους που υπάρχουν οι οποίοι παρουσιάζουν χαμηλά υψόμετρα (όπως για παράδειγμα η κοιλάδα του σχεδόν πλήρως καλυμμένου ποταμού Senne) και επηρεάζουν σημαντικά το μέσο υψόμετρο της περιοχής.

6.1.3.4. Κλίμα

Στις Βρυξέλλες [65] επικρατεί υπο – ωκεάνιο κλίμα με ήπια, ζεστά καλοκαίρια και κρύους, αλλά όχι παγωμένους χειμώνες (κατά σύστημα Köppen: Cfb¹⁶). Η εγγύτητα με τις παράκτιες περιοχές στα βόρεια του Βελγίου επηρεάζει το κλίμα της περιοχής με την αποστολή θαλάσσιων αέριων μαζών από τον Ατλαντικό Ωκεανό. Έτσι, το κλίμα των Βρυξελλών χαρακτηρίζεται κυρίως ως υγρό και βροχερό.

Συγκεκριμένα, οι άνεμοι πνέουν συχνά και τείνουν να είναι ελαφρώς ισχυρότεροι το χειμώνα, ιδίως από τον Νοέμβριο έως το Μάρτιο ενώ οι βροχοπτώσεις καθόλη τη διάρκεια του έτους

¹⁶ C: warm temperate, f: fully humid, b: warm summer.

αποτελούν συχνό φαινόμενο. Σε επόμενη υποενότητα της εργασίας γίνεται εκτενέστερη αναφορά σχετικά με τις βροχοπτώσεις.

Η ομίχλη είναι συχνή το φθινόπωρο και το χειμώνα, σε αντίθεση με τις χιονοπτώσεις που είναι σπάνιες.

6.1.3.4.1. Θερμοκρασία

Η μέση ετήσια θερμοκρασία της είναι 10,8 °C. Τον θερμότερο μήνα, τον Ιούλιο, η μέση θερμοκρασία είναι στους 18,5 °C ενώ τον ψυχρότερο, τον Ιανουάριο, είναι μόλις στους 3,7 °C. Η θερμή περίοδος διαρκεί τρεις μήνες από τα μέσα Ιουνίου έως τα μέσα Σεπτεμβρίου και η ψυχρή από τα μέσα Νοεμβρίου έως τα μέσα Μαρτίου.

Πίνακας 8: Κλιματολογικά δεδομένα Βρυξελλών (1991 – 2020)

Μήνας	Min (°C)	Max (°C)	Mean (°C)
Ιανουάριος	1,2	6,3	3,7
Φεβρουάριος	1,3	7,2	4,2
Μάρτιος	3,1	10,8	7
Απρίλιος	5,2	14,8	10
Μάιος	8,4	18,4	13,4
Ιούνιος	11,3	21,3	16,3
Ιούλιος	13,4	23,5	18,5
Αύγουστος	13,3	23,3	18,3
Σεπτέμβριος	10,7	19,8	15,2
Οκτώβριος	7,7	15	11,4
Νοέμβριος	4,4	10	7,2
Δεκέμβριος	1,8	6,7	4,3
Έτος	6,9	14,8	10,8

(Πηγή: *Climatestotravel.com* [65])

6.1.3.4.2. Βροχόπτωση

Οι Βρυξέλλες, όπως προαναφέρθηκε, χαρακτηρίζεται ως υγρή πόλη. Οι βροχοπτώσεις είναι σχετικά άφθονες σε όλη τη διάρκεια του έτους και εμφανίζονται συχνά με χαμηλή ένταση ως σύντομη βροχή ή ψιλόβροχο.

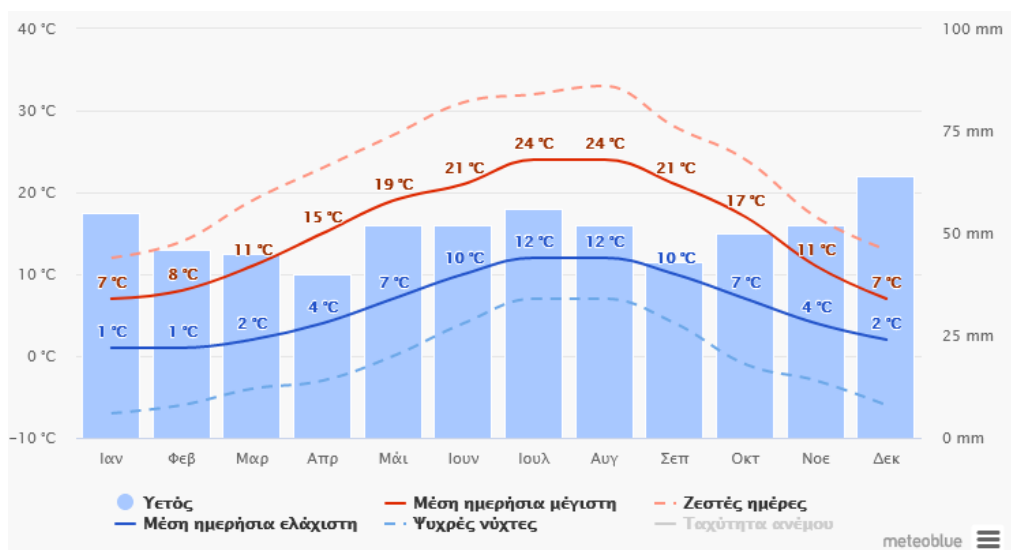
Η πόλη βιώνει επίσης συχνά βίαιες καταιγίδες κατά τους καλοκαιρινούς μήνες. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από τον παρακάτω πίνακα στον οποίο φαίνεται ότι οι πιο βροχερές εποχές είναι το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

Πίνακας 9: Δεδομένα νετού Βρυξελλών (1991 – 2020)

Μήνας	Χιλιοστά (mm)	Μέρες
Ιανουάριος	75	13
Φεβρουάριος	65	12
Μάρτιος	60	11
Απρίλιος	45	9
Μάιος	65	10
Ιούνιος	65	10
Ιούλιος	80	10
Αύγουστος	90	10
Σεπτέμβριος	60	10
Οκτώβριος	65	10
Νοέμβριος	75	12
Δεκέμβριος	85	13
Έτος	825	131

(Πηγή: *Climatestotravel.com* [65])

Η πιο υγρή περίοδος διαρκεί περίπου οχτώ (8) μήνες και προσδιορίζεται από μέσα Μαΐου έως μέσα Ιανουαρίου. Την περίοδο αυτή υπάρχει πιθανότητα μεγαλύτερη από 28% μια δεδομένη ημέρα να βρέξει [66]. Ο μήνας με τις λιγότερες υγρές ημέρες είναι ο Απρίλιος.



Σχήμα 33: Μέσες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων Βρυξέλλες (1991 – 2020)

(Πηγή: *meteoblue.com* [67])

6.1.3.4.3. Υγρασία

Λόγω των πολλών βροχοπτώσεων, η υγρασία στις Βρυξέλλες βρίσκεται σε αρκετά υψηλά επίπεδα (77%). Ο Δεκέμβριος είναι ο μήνας στον οποίον εμφανίζονται τα υψηλότερα ποσοστά υγρασίας (86%) και ο Απρίλιος στον οποίον εμφανίζονται τα χαμηλότερα (69%).

6.1.3.5. Χλωρίδα

Παρά την μεγάλη αστικοποίηση, στην πόλη των Βρυξελλών υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις χώρων πρασίνου. Σε πάρκα, κήπους, δρόμους και κατά μήκος των αυτοκινητόδρομων εντοπίζονται παντού δέντρα και φυτά [68]. Το μεγαλύτερο σε έκταση πάρκο είναι το Parc de Laeken – Royal Parc, το οποίο προσφέρει σημαντικό πράσινο στην πόλη. Στους χώρους αυτούς επικρατούν τα φυλλοβόλα δέντρα όπως πεύκα, οξιές, φτελιές, σημύδες και ιδιαίτερος οι βελανιδιές. Επίσης, έχουν εντοπιστεί περισσότερα από 700 διαφορετικά είδη φυτών, τα μισά από τα οποία ανήκουν στη βέλγικη χλωρίδα.

6.1.3.6. Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά

Ο πληθυσμός των Βρυξελλών [69] σύμφωνα με στοιχεία του 2022 είναι 188.737 μόνιμοι κάτοικοι. Το 2019 ο πληθυσμός αυτός αντιστοιχούσε σε 185.103 κατοίκους. Συνεπώς, από το 2019 έως το 2022 παρατηρήθηκε μια ελάχιστη αύξηση του πληθυσμού κατά περίπου 1,9%.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται τα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά για την πόλη των Βρυξελλών από το 1990 έως το 2022. Σε βάθος τριάντα (30) ετών ο πληθυσμός έχει αυξηθεί συνολικά κατά 50.000 κατοίκους. Αναλυτικότερα, από το 1990 έως το 2000 παρατηρείται μια ελάχιστη μείωση ενώ από το 2000 και στο εξής μια ραγδαία αύξηση. Η μεγαλύτερη αύξηση εντοπίζεται από το 2005 έως το 2010.

Πίνακας 10: Πληθυσμιακά στοιχεία Βρυξελλών (1990 – 2022)

Έτος	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2017	2019	2022
Πληθυσμός	136.706	135.681	133.859	142.853	157.673	175.534	176.545	185.103	188.737

(Πηγή: *citypopulation.de* [69], *Region of Brussels – Ιδία επεξεργασία*)

Η πυκνότητα του πληθυσμού [63] για το 2022 είναι 5.704 κάτοικοι ανά km², ενώ το 2019 ήταν 5.678 κάτοικοι/km² και το 2017 ήταν 5.336 κάτοικοι/km².

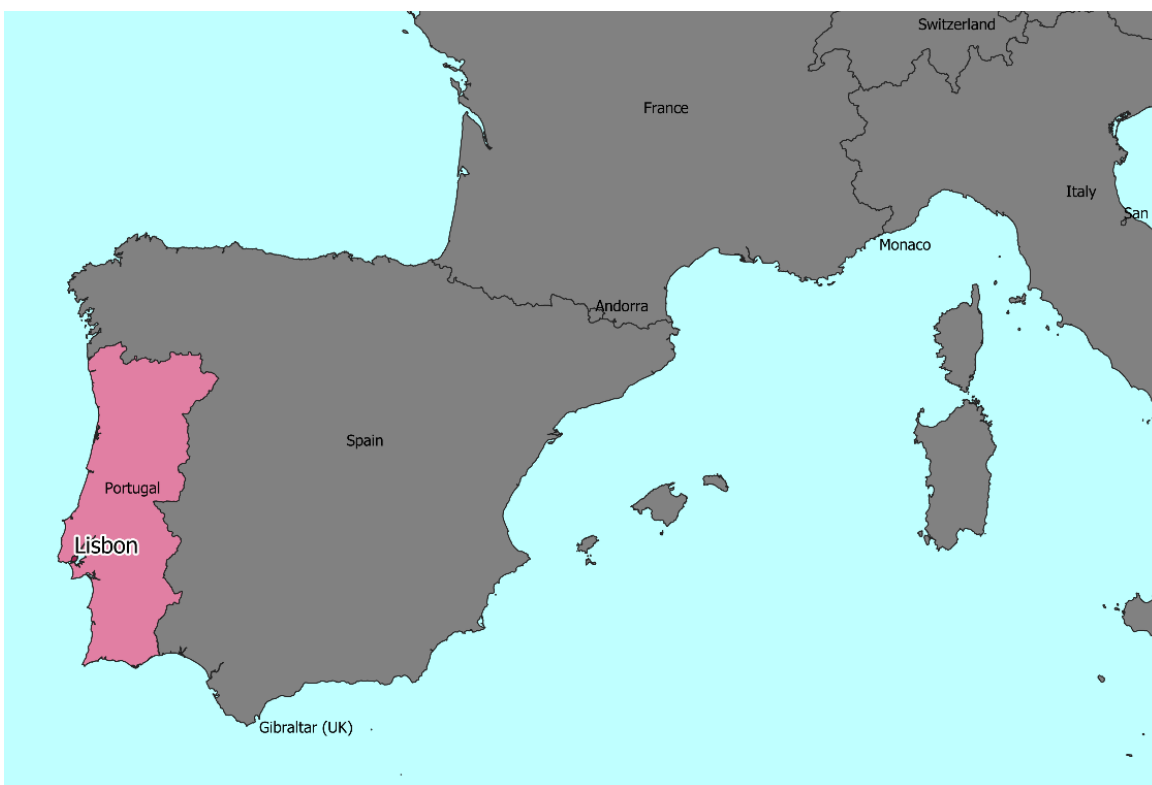
6.1.3.7. Βιωσιμότητα

Οι Βρυξέλλες έχουν ορίσει μια ελάχιστη απαίτηση για την πρόσβαση σε δημόσιους ανοιχτούς χώρους πρασίνου. Συγκεκριμένα, στις Βρυξέλλες [70] προκειμένου η πόλη να θεωρείται βιώσιμη πρέπει οι χώροι πρασίνου να βρίσκονται σε απόσταση μικρότερη των 400 m από κάθε κατοικία και να αντιστοιχούν τουλάχιστον **10 m² πρασίνου/κάτοικο**.

6.1.4. Λισαβόνα

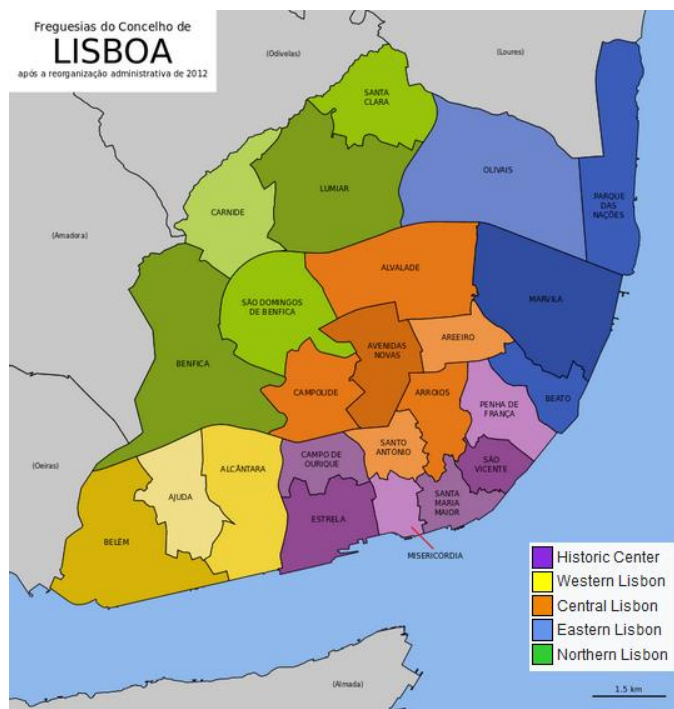
6.1.4.1. Διοικητική θέση

Η Λισαβόνα πρόκειται για την μεγαλύτερη πόλη της Πορτογαλίας, το μεγαλύτερο εμπορικό, πολιτικό και τουριστικό κέντρο και το κύριο λιμάνι της χώρας. Βρίσκεται στη δυτική Πορτογαλία, στις εκβολές του ποταμού Τάγου και αποτελεί τη δυτικότερη πρωτεύουσα της ηπειρωτικής Ευρώπης.



Σχήμα 34: Τοποθεσία Λισαβόνας
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία σε QGIS)

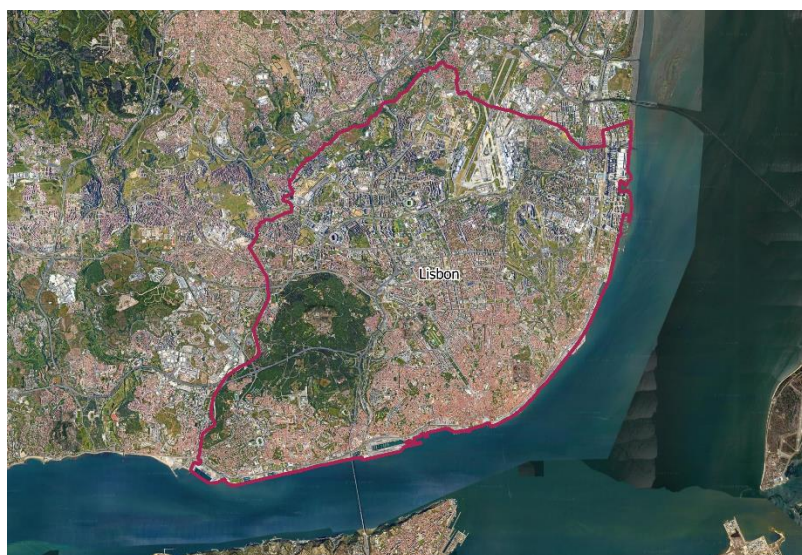
Υπάγεται στην περιφέρεια της Λισαβόνας, έχει έκταση 84.744.422 m² και περιλαμβάνει είκοσι τέσσερις (24) ενορίες/φρεγεσίες (freguesias), σύμφωνα με τον Ν.56/2012.



Σχήμα 35: Ενορίες Λισαβόνας
(Πηγή: *Diário da República*, 2013)

6.1.4.2. Γεωγραφική θέση

Η Λισαβόνα [71] έχει γεωγραφικό πλάτος $38^{\circ} 42' 49.75''$ Β και γεωγραφικό μήκος $9^{\circ} 8' 21.79''$ Δ (συντεταγμένες εκφρασμένες σε μοίρες) ή αλλιώς 38.713819, - 9.139386 (σε δεκαδική μορφή).



Σχήμα 36: Απεικόνιση Λισαβόνας σε δορυφορικό υπόβαθρο
(Πηγή: Ίδια επεξεργασία σε QGIS)

6.1.4.3. Τοπογραφία

Όσον αφορά στα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της Λισαβόνας, το μέγιστο υψόμετρο κυμαίνεται από 160 m στην αστικοποιημένη περιοχή έως 226 m στο λόφο Monsanto, που βρίσκεται στο δυτικό τμήμα της πόλης. Ο λόφος αυτός είναι ένα τεράστιο δασικό πάρκο το οποίο αποτελεί σημαντικό εμπόδιο για τη διείσδυση του αέρα από τη θάλασσα. Το μέσο υψόμετρο είναι 100 m καθώς πρόκειται για μια παραθαλάσσια πόλη.

6.1.4.4. Κλίμα

Η γειτνίαση με τον Ατλαντικό Ωκεανό και τις εκβολές του Τάγου καθώς και η επίδραση του ρεύματος του Κόλπου μεσολαμβάν στο κλίμα της περιοχής και στις καιρικές συνθήκες σε όλη τη διάρκεια του έτους [72]. Η Λισαβόνα χαρακτηρίζεται από ήπιο εύκρατο και ισορροπημένο μεσογειακό κλίμα με σύντομους και ήπιους βροχερούς χειμώνες και ζεστά, έως θερμά, ξηρά καλοκαίρια (κατά σύστημα Köppen: Csa¹⁷). Έτσι, τα χαρακτηριστικά αυτά συνδυαστικά με τη γεωγραφική θέση, προσδίδουν στην πόλη ορισμένες θερμικές ανέσεις.

6.1.4.4.1. Θερμοκρασία

Η θέση της στη δυτικότερη πλευρά της ηπειρωτικής Ευρώπης την καθιστά πολύ λιγότερο ευάλωτη τόσο σε καύσωνες όσο και σε ψυχρά κύματα. Η μέση ετήσια θερμοκρασία της είναι περίπου 17 °C. Οι χειμώνες είναι ήπιοι ειδικά για το γεωγραφικό της πλάτος και αυτό επιβεβαιώνεται αφού τον Ιανουάριο, τον ψυχρότερο μήνα, η μέση θερμοκρασία της είναι 10 °C.

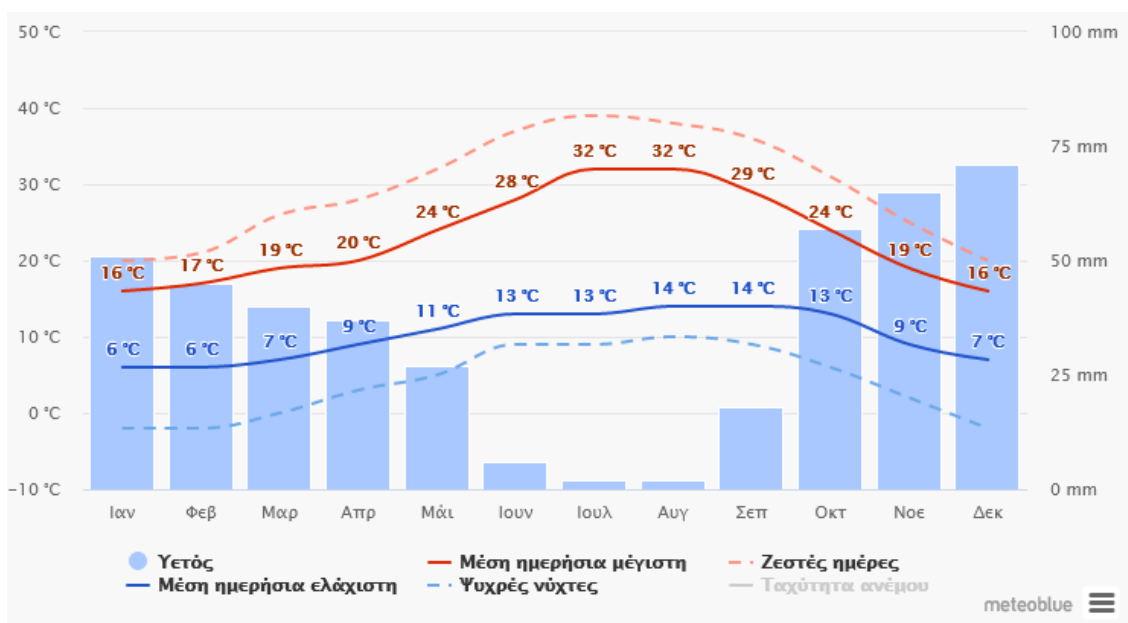
Τα καλοκαίρια είναι θερμά έως καυτά κάποιες φορές. Σε ορισμένες περιπτώσεις επηρεάζεται από θερμά αέρια σώματα της Σαχάρας, γεγονός που την ωθεί σε καύσωνες και θερμοκρασίες πάνω από τους 40 °C. Ωστόσο, τον Αύγουστο, τον θερμότερο μήνα, η θερμοκρασία σπανίως υπερβαίνει τους 28 °C. Σημαντικό είναι ότι οι μέγιστες τιμές το καλοκαίρι επηρεάζονται από την τοποθεσία. Παραδείγματος χάριν, οι περιοχές κατά μήκος των εκβολών του Τάγου συνήθως έχουν μέση μέγιστη τιμή γύρω στους 30 °C, ενώ οι περιοχές δυτικά της Λισαβόνας που είναι κοντά στην ακτή γύρω στους 23 – 25 °C. Οι νυχτερινές χαμηλές θερμοκρασίες κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού κυμαίνονται στους 16 – 19 °C. Οι θερμοκρασίες αυτές είναι ανεξάρτητες συχνά από την τοποθεσία αλλά εξαρτώνται από το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας που μπορεί να τις αυξήσει σημαντικά συγκριτικά με τις αντίστοιχες των αγροτικών περιοχών της περιφέρειας.

¹⁷ C: warm temperate, s: summer dry, a: hot summer.

6.1.4.4.2. Βροχόπτωση

Η Λισαβόνα μπορεί να χαρακτηριστεί τόσο ως υγρή όσο και ως ξηρή πόλη, ανάλογα με την εποχή αναφοράς. Οι βροχοπτώσεις συγκεντρώνονται από τον Οκτώβριο έως και τον Απρίλιο, με μεγαλύτερη συχνότητα το φθινόπωρο και το χειμώνα. Τα καλοκαίρια τείνουν να είναι ξηρά αλλά κοντά στις παράκτιες περιοχές τα πρωινά είναι ομιχλώδη, γεγονός που συνήθως οδηγεί σε ψιλόβροχο.

Σύμφωνα με τον NOAA [73], η μέση μηνιαία βροχόπτωση κυμαίνεται από 3 mm το καλοκαίρι έως περίπου 100 mm το χειμώνα.



Σχήμα 37: Μέσες τιμές θερμοκρασιών και βροχοπτώσεων Λισαβόνας (1991 – 2020)
(Πηγή: meteoblue.com [74])

6.1.4.4.3. Υγρασία

Όπως οι μέσες βροχοπτώσεις έτσι και η μέση σχετική υγρασία παρουσιάζει σημαντικές εποχιακές μεταβολές και διαφέρει από μήνα σε μήνα. Η Λισαβόνα εμφανίζει πολύ υγρούς χειμώνες, με μέση υγρασία 78 – 80%. Το καλοκαίρι η υγρασία του αέρα είναι ξηρή και η μέση τιμή της είναι 60 – 65%. Ωστόσο παρουσιάζει ιδιαίτερη μεταβλητότητα αφού συχνά πέφτει κατά τη διάρκεια της μέρας κάτω από το 40% ενώ το βράδυ ξεπερνά το 70%.

6.1.4.5. Χλωρίδα

Η Λισαβόνα είναι χτισμένη σε μια διαδοχή από αναβαθμίδες στις πλαγιές μιας σειράς χαμηλών λόφων που υψώνονται από τις όχθες του ποταμού Τάγου και του Mar de Palha

βορειοδυτικά προς τα βουνά Sintra, των οποίων η κάλυψη από πλούσια μεσογειακή και ατλαντική ευρωπαϊκή χλωρίδα παρέχει ένα ελκυστικό καταφύγιο για τον πληθυσμό της. Ο Τάγος αποτελεί ένα προστατευόμενο φυσικό καταφύγιο στο πλαίσιο του Natura 2000.

Διαθέτει πάνω από 120 τοπικά πάρκα και κήπους και 13 αστικά δάση με πυκνότερη βλάστηση. Το σημαντικότερο είναι ο λόφος Monsanto ο οποίος καλύπτει σχεδόν το 10% της πόλης αφού έχει έκταση μεγαλύτερη των 10 km². Αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα αστικά δάση της Ευρώπης και το πρώτο που έλαβε πιστοποίηση αειφόρου δασικής διαχείρισης από το Συμβούλιο Διαχείρισης Δασών (FSC). Ουσιαστικά πρόκειται για μια προσπάθεια αποκατάστασης του αστικού οικοσυστήματος καλύπτοντας προ 85 ετών παλιά λατομεία, βοσκοτόπια και χωράφια δημητριακών.

Σχετικά με τη χλωρίδα, υπάρχουν περίπου 200 διαφορετικά είδη, τα περισσότερα των οποίων είναι εξωτικά και αυτοφυή [75], γεγονός που σχετίζεται με τον τύπο κλίματος της περιοχής και κατά συνέπεια με τη γεωγραφική της θέση. Στην περιοχή εντοπίζονται κυρίως φυλλοβόλα δέντρα αλλά και πολυετή δέντρα, θάμνοι, ποώδη κ.ά..

6.1.4.6. Δημογραφικά – κοινωνικά χαρακτηριστικά

6.1.4.6.1. Πληθυσμιακά

Ο πληθυσμός της Λισαβόνας [76] βάσει της απογραφής του 2011 ήταν 547.733 μόνιμοι κάτοικοι ενώ το 2021 ήταν 544.851. Συνεπώς, από το 2011 έως το 2021 παρατηρείται μια ελάχιστη μείωση του πληθυσμού της τάξεως του 0,5%.

Η πυκνότητα του πληθυσμού για το 2011 ήταν 6.452 κάτοικοι ανά km².

6.1.4.6.2. Επαγγελματική απασχόληση

Στην περιφέρεια της Λισαβόνας, οι οικονομικές δραστηριότητες αφορούν κυρίως στον τριτογενή τομέα παραγωγής, στον οποίο εργάζεται η πλειονότητα του απασχολούμενου πληθυσμού. Σημαντικά συμβάλει στην οικονομία επίσης ο δευτερογενής τομέας και οι βιομηχανίες ιδιαιτέρως η αλιευτική, η τεχνολογική και η φαρμακευτική.

6.1.4.7. Βιωσιμότητα

Η Λισαβόνα ανακηρύχθηκε ως η Πράσινη Ευρωπαϊκή Πρωτεύουσα (European Green Capital) για το 2020, μετατρέποντάς την έτσι σε μια βιώσιμη νότια Ευρωπαϊκή πόλη [77]. Αποτελεί πρότυπο για το συνδυασμό της βιωσιμότητας και της οικονομικής ανάπτυξης καθώς από

το 2008 επενδύει σημαντικά στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα και έχει πραγματοποιήσει πολλά νέα πράσινα έργα.

Για την σηματοδότηση της έναρξης του 2020, κατά το οποίο η πόλη ανακηρύχθηκε ως πράσινη πρωτεύουσα, στις 12 Ιανουαρίου 2020, μέσα σε μία μέρα φυτεύτηκαν 20.000 δέντρα και θάμνοι [78].

Επίσης, είναι η πρώτη ευρωπαϊκή πρωτεύουσα που υπέγραψε το 2016 το νέο σύμφωνο των δημάρχων για το κλίμα και την ενέργεια, καθώς πέτυχε μείωση των εκπομπών του CO₂ κατά 42% από το 2002 έως το 2014 και μειώνοντας την κατανάλωση ενέργειας κατά 28% από το 2012 έως το 2017. Αυτό συνέβαλε στην κατάλληλη ρύθμιση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου της για την υλοποίηση πράσινων διαδρόμων. Από το 2008 έως το 2020 επετεύχθη αύξηση των χώρων πρασίνου κατά 18% μέσω ενός δικτύου εννέα νέων πράσινων διαδρόμων. Ακόμη, από το 2017 και έπειτα φυτεύτηκαν πάνω από 80.000 δέντρα και συνολικά πάνω από περισσότερα από 100.000 μέχρι το 2021.

Μέσα από τον σχεδιασμό αυτό, στόχος της Λισαβόνας είναι η αύξηση της ποιότητας ζωής της, η προσέλκυση ανθρώπων για να ζήσουν σε αυτή, η προώθηση και η ανακαίνιση των δημόσιων χώρων υψηλής ποιότητας σε όλες τις γειτονιές και η μείωση των αυτοκινήτων με την ενίσχυση καλύτερων επιλογών μεταφοράς (βιώσιμες δημόσιες συγκοινωνίες, ποδηλασία, περπάτημα).

6.1.4.7.1. Δείκτης έκταση πρασίνου/κάτοικο

Η Λισαβόνα, πρωτοπόρος στον καθορισμό στόχων και στρατηγικών για το αστικό πράσινο έχει επιτύχει το 85,3% του πληθυσμού της να ζει σε ακτίνα 300 m από έναν μεγάλης έκτασης χώρο πρασίνου. Στόχος της είναι η αύξηση του ποσοστού αυτού στο 93%.

Καθώς δεν βρέθηκε σταθερότυπο όσον αφορά στη Λισαβόνα, χρησιμοποιήθηκε αυτό όπως ορίζεται από τον WHO και έτσι θεωρείται ότι η πόλη στοχεύει στην παροχή τουλάχιστον **9 m² πρασίνου/κάτοικο**.

6.2. Ανάλυση διαδικασιών

Στο παρόν Κεφάλαιο αναλύονται οι διαδικασίες που ακολουθήθηκαν στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης. Επισημαίνεται ότι, η διαδικασία που περιγράφεται εκτελέστηκε για κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά και έτσι ο κώδικας προσπελάστηκε τέσσερις (4) φορές.

6.2.1. Άδεια άντλησης δεδομένων από Google Earth Engine

Πρωταρχική διαδικασία αποτέλεσε η εξασφάλιση άδειας πρόσβασης για τη μεταφόρτωση δορυφορικών εικόνων Sentinel – 2 από το Google Earth Engine. Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 4.1, το GEE είναι μια τεράστια αποθήκη δεδομένων με μεγάλες χρονοσειρές αρχείων παρατήρησης της γης, με μετρήσεις που χρονολογούνται πριν από περίπου 40 χρόνια. Έτσι, στο GEE περιέχονται δεδομένα από τους δορυφόρους της αποστολής Sentinel – 2 τα οποία αξιοποιήθηκαν στην παρούσα μελέτη. Τα δεδομένα αυτά χρονολογούνται από το 2015 έως και σήμερα και είναι ομαδοποιημένα σε μια συλλογή. Η ύπαρξη της συλλογής αυτής διευκολύνει σημαντικά την αναζήτηση, αυξάνοντας έτσι την ταχύτητα εκτέλεσης των διαδικασιών.

6.2.2. Καθορισμός περιοχής μελέτης

Στη συνέχεια, για κάθε μια από τις περιοχές μελέτης ορίστηκε ένα ορθογώνιο με μέγεθος τέτοιο ώστε όλη η πόλη να βρίσκεται εντός αυτού. Ο ορισμός του ορθογωνίου/πλαisiού πραγματοποιήθηκε με τη βοήθεια των συντεταγμένων των δύο σημείων της μιας διαγώνιου. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν οι γεωγραφικές συντεταγμένες της κάτω αριστερής και της πάνω δεξιάς κορυφής του πλαisiού. Οι συντεταγμένες αυτές δηλώθηκαν στο παγκόσμιο σύστημα WGS' 84 σε δεκαδική μορφή και προσδιορίστηκαν μέσω του Google Maps. Για παράδειγμα, στην περίπτωση της Λισαβόνας οι συντεταγμένες των σημείων ήταν (38.676908, -9.242551) και (38.805405, -9.077016) αντίστοιχα.



Σχήμα 38: Ορισμός ορθογωνίου στην περιοχή της Λισαβόνας
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

6.2.3. Καθορισμός περιόδου μελέτης

Αφού επιλέχθηκε η περιοχή, επόμενο βήμα ήταν ο καθορισμός της περιόδου μελέτης των πόλεων. Η περίοδος μελέτης ορίστηκε να είναι επτά (7) έτη. Συγκεκριμένα το εύρος της χρονοσειράς μελέτης αντιστοιχεί από την 1^η Ιανουαρίου 2016 έως και την 31^η Δεκεμβρίου 2022 (01/01/2016 – 31/12/2022). Κι αυτό γιατί από τα μέσα του 2015 που εκτοξεύτηκε ο πρώτος δορυφόρος Sentinel – 2 έως και το 2023 που βρίσκεται σε εξέλιξη μεσολαβούν 7 ολόκληρα έτη. Έτσι, το διάστημα αυτό επιλέχθηκε ώστε σε κάθε έτος της χρονοσειράς να υπάρχουν δεδομένα από όλες τις εποχές (βέλτιστα – χειρίστα σενάρια βλάστησης).

6.2.4. Καθορισμός μάσκας νεφοκάλυψης

Τελευταίο κριτήριο για την επιλογή των δορυφορικών εικόνων ήταν η νεφοκάλυψη. Προκειμένου να μην δημιουργούνται προβλήματα από την ύπαρξη νεφών στον εντοπισμό της βλάστησης των αστικών περιοχών ακολουθήθηκε μια αλγοριθμική διαδικασία (masking) για την αποφυγή της.

6.2.5. Δημιουργία εικόνων NDVI

Οι δορυφορικές εικόνες που πληρούν τα παραπάνω κριτήρια χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία νέων εικόνων με υπολογισμένο το δείκτη NDVI. Για τη διαδικασία αυτή αξιοποιήθηκαν μόνο τα κανάλια B8 και B4, δηλαδή τα κανάλια Nir1 και Red. Τα συγκεκριμένα κανάλια έχουν 10 m ανάλυση και ο συνδυασμός τους συμβάλει στον προσδιορισμό της βλάστησης. Οι εικόνες με υπολογισμένο τον NDVI αποθηκεύτηκαν στο Google Drive στο φάκελο με τίτλο την αντίστοιχη ονομασία της πόλης.

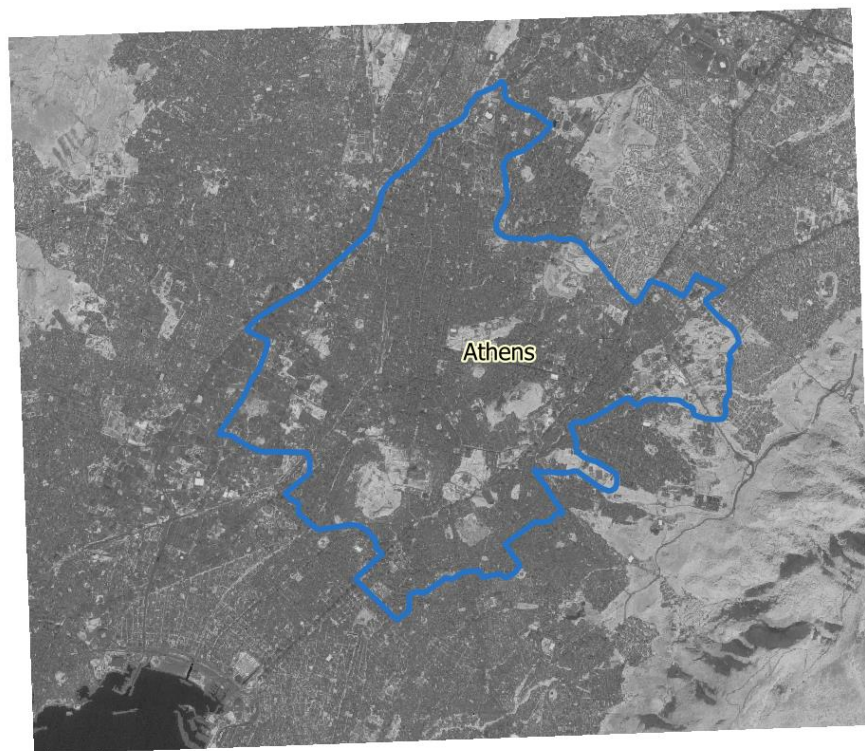
Οι νέες εικόνες ή αλλιώς οι εικόνες NDVI δεν είναι πολυφασματικές. Κάθε pixel τους έχει κανονικοποιημένες τιμές μεταξύ -1 και +1. Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 3.1.6.3. όσο οι τιμές πλησιάζουν το +1 τόσο πυκνότερη χαρακτηρίζεται η βλάστηση ενώ όσο πλησιάζουν στο 0 τόσο αραιή θεωρείται. Πιο συγκεκριμένα, οι τιμές 0,1 – 0,5 περιγράφουν την αραιή βλάστηση και οι τιμές >0,6 την πυκνή πράσινη βλάστηση. Οι αρνητικές τιμές και η τιμή 0 εκφράζουν την απουσία βλάστησης και την ύπαρξη άλλων καλύψεων γης. Έτσι, οι αρνητικές τιμές πιθανόν περιγράφουν την ύπαρξη νερού ή χιονιού (ή ακόμα και την ύπαρξη σύννεφων) ενώ οι θετικές τιμές κοντά στο 0 την ύπαρξη γυμνού εδάφους ή αστικοποιημένης περιοχής (ανθρωπογενών κατασκευών).

Το αποτέλεσμα της αναζήτησης στα αρχεία δεδομένων του GEE, σύμφωνα με τα κριτήρια που τέθηκαν, οδήγησε στη μεταφόρτωση του ακόλουθου πλήθους εικόνων για κάθε περιοχή μελέτης.

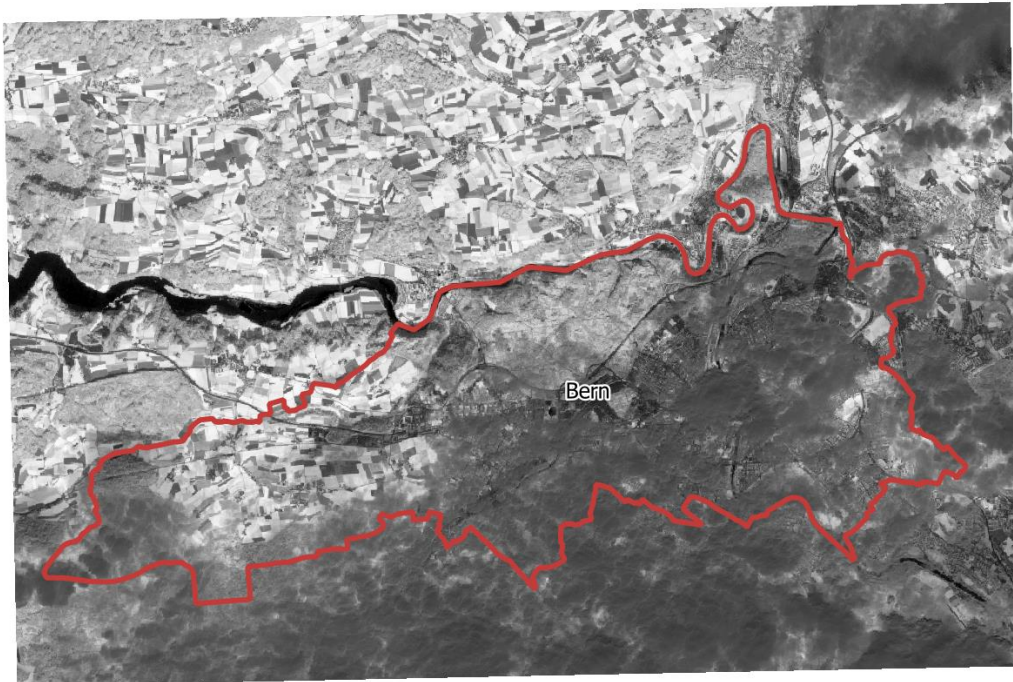
- Αθήνα: 365 εικόνες,
- Βέρνη: 70 εικόνες,
- Βρυξέλλες: 136 εικόνες,
- Λισαβόνα: 287 εικόνες.

Έτσι, οι εικόνες της Βέρνης και των Βρυξελλών είναι λιγότερες από της Αθήνας και της Λισαβόνας. Το γεγονός αυτό οφείλεται καθώς οι δύο πρώτες πόλεις εμφανίζουν υψηλότερα ποσοστά νεφοκάλυψης περισσότερες μέρες του έτους, σε σχέση με τις άλλες, με αποτέλεσμα να απορρίπτονται από την επεξεργασία. Η περισσότερη νεφοκάλυψη σχετίζεται με τη θέση της Βέρνης και των Βρυξελλών, αφού βρίσκονται σε υψηλότερο γεωγραφικό πλάτος, καθώς και με το κλίμα τους. Στην περίπτωση της Βέρνης στο γεγονός αυτό συμβάλει και το μεγάλο υψόμετρο της πόλης.

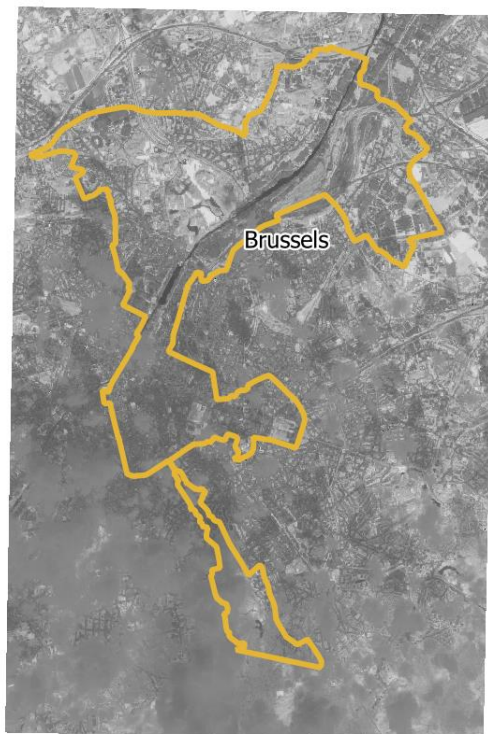
Παρακάτω παρουσιάζονται ενδεικτικά οι τελευταίες εικόνες NDVI της περιόδου μελέτης που μεταφορτώθηκαν για κάθε μια από τις πόλεις.



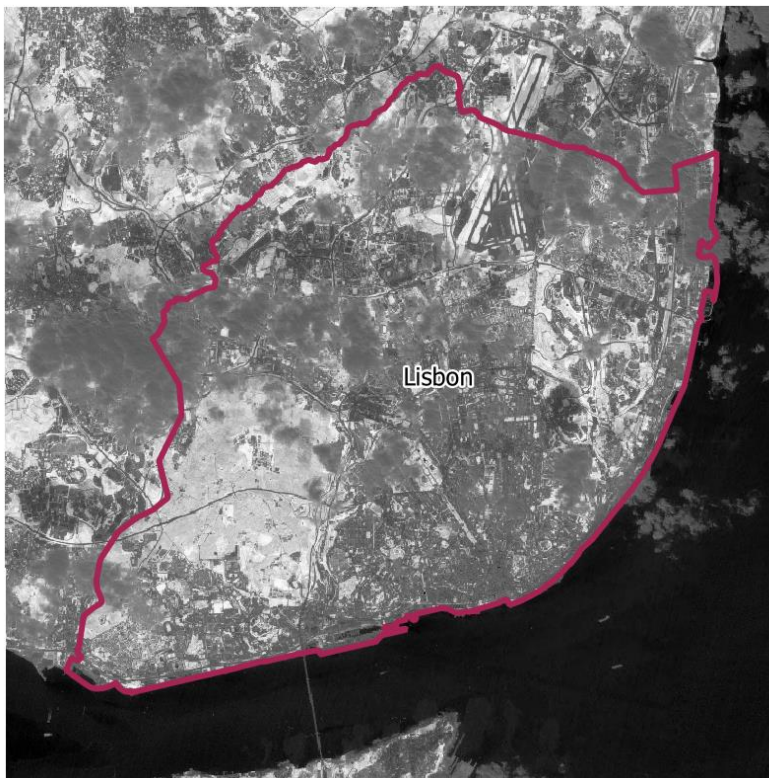
Σχήμα 39: Εικόνα NDVI Αθήνας με ημερομηνία λήψης την 26/12/2022
(Πηγή: Ίδια επεξεργασία)



Σχήμα 40: Εικόνα NDVI Βέρνης με ημερομηνία λήψης την 10/11/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



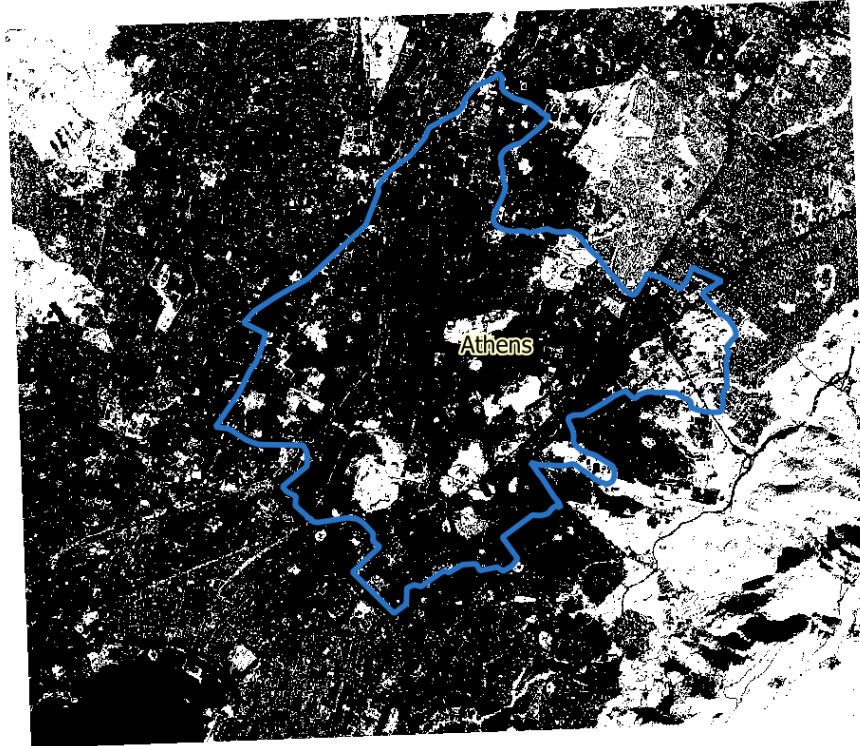
Σχήμα 41: Εικόνα NDVI Βρυξελλών με ημερομηνία λήψης την 06/12/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



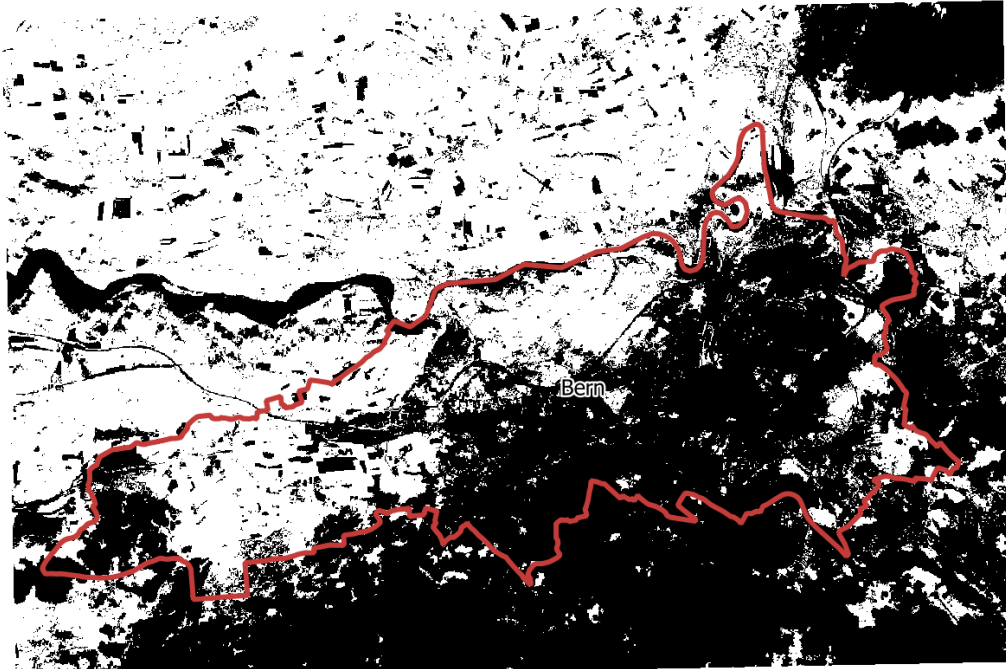
Σχήμα 42: Εικόνα NDVI Λισαβόνας με ημερομηνία λήψης την 20/11/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

6.2.6. Δημιουργία εικόνων με κατώφλι

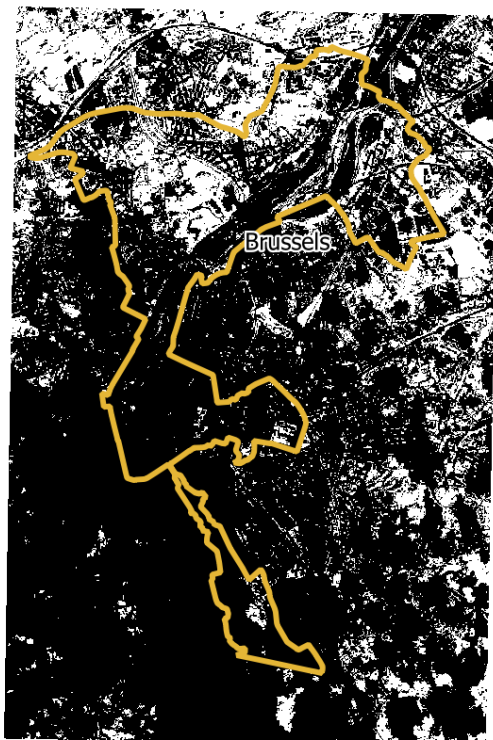
Επόμενη διαδικασία ήταν η επεξεργασία των εικόνων με δεδομένα NDVI και η μετατροπή τους σε δυαδικές εικόνες (binary) με τη χρήση κατάλληλου ορίου διάκρισης τιμών (κατώφλι – threshold). Ουσιαστικά πραγματοποιήθηκε διάκριση των εικονοστοιχείων που χαρακτηρίζονται από βλάστηση και εκείνων που χαρακτηρίζονται από άλλες χρήσεις γης. Προκειμένου να μην γίνει υπερεκτίμηση ή υποεκτίμηση της βλάστησης, ύστερα από δοκιμές, δηλαδή από δειγματοληψία στα ιστογράμματα των εικόνων και από έλεγχο των μέγιστων τιμών αυτών, ως κατώφλι επιλέχθηκε η τιμή 0,25. Άλλωστε, σύμφωνα με τη βιβλιογραφία (Κεφάλαιο 3.1.6.3) προτείνεται κατώφλι $> 0,5$ για pixel που θεωρούνται πλήρως φυτικά και κατώφλι μεταξύ 0,2 έως 0,5 για pixel που θεωρούνται ως μείγμα γυμνού εδάφους και βλάστησης. Συνεπώς, στις νέες εικόνες στις οποίες εφαρμόστηκε το κατώφλι, τα pixel που περιγράφουν την βλάστηση έλαβαν την τιμή 1 ενώ τα υπόλοιπα χαρακτηρίστηκαν ως “No data value”. Οι εικόνες αυτές αποθηκεύτηκαν σε ξεχωριστό φάκελο στο Google Drive και η ονομασία του ήταν “(Περιοχή μελέτης)_Thresh”.



Σχήμα 43: Δορυφορική εικόνα Αθήνας με ημερομηνία λήψης την 26/12/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 44: Δορυφορική εικόνα Βέρνης με ημερομηνία λήψης την 10/11/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 45: Δυαδική εικόνα Βρυξελλών με ημερομηνία λήψης την 06/12/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



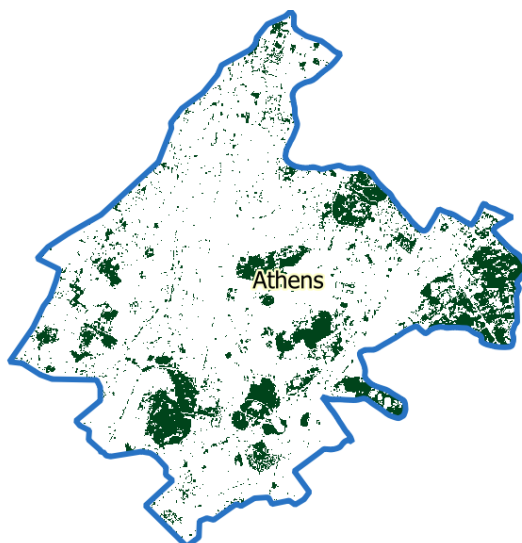
Σχήμα 46: Δυαδική εικόνα Λισαβόνας με ημερομηνία λήψης την 20/11/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

6.2.7. Δημιουργία εικόνων με αποκοπή

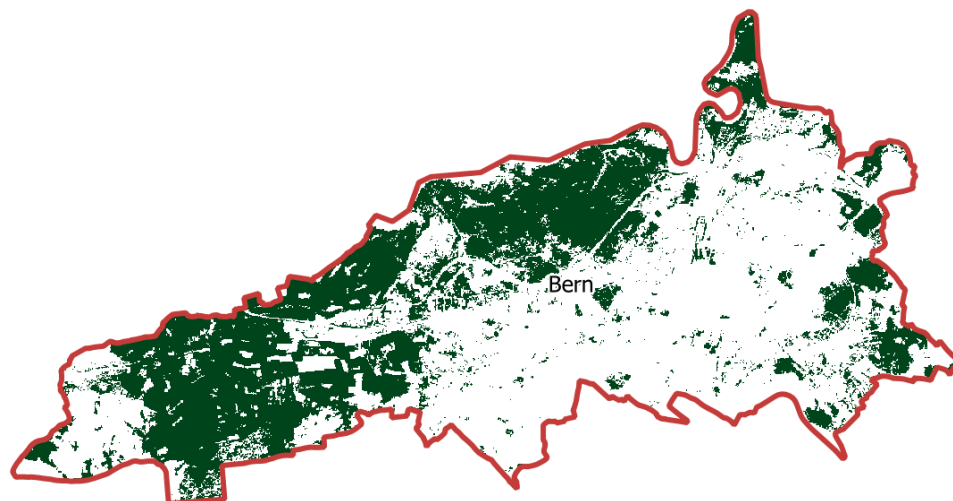
Έπειτα, πραγματοποιήθηκε αποκοπή (clip) των εικόνων που εφαρμόστηκε το κατόφλι με γνώμονα την περιοχή μελέτης. Η διαδικασία αυτή έγινε με τη βοήθεια μιας μάσκας για την εκάστοτε περιοχή. Η μάσκα ήταν ένα διανυσματικό αρχείο (αρχείο vector μορφής shapfile) που περιείχε τα όρια της περιοχής. Οι πληροφορίες των αρχείων που περιγράφουν τα όρια των πόλεων μελέτης παρουσιάζονται παρακάτω.

- Αθήνα
Πηγή: GEODATA.gov.gr [79],
Ονομασία αρχείου: “dadimkoin.shp”,
- Βέρνη
Πηγή: Πλατφόρμα γεωπληροφοριών της Ελβετικής Συνομοσπονδίας [80],
Ονομασία αρχείου: “swissboundaries3d_2023-01_2056_5728.shp”,
- Βρυξέλλες
Πηγή: Metabolism of Cities Data Hub [81],
Ονομασία αρχείου: “UrbAdm_MUNICIPALITY.shp”,
Δήμος: “Bruxelles”
- Λισαβόνα
Πηγή: Câmara Municipal Lisboa [82],
Ονομασία αρχείου: “CartografiaBase.shp”.

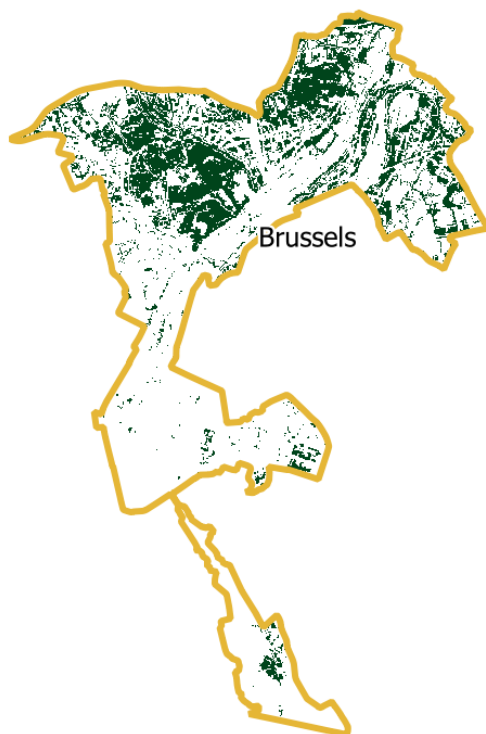
Η αποκοπή πραγματοποιήθηκε ώστε να απορριφθεί η πληροφορία εκτός της περιοχής ενδιαφέροντος η οποία ήταν περιττή για την παρούσα μελέτη. Οι αποκομμένες εικόνες, με τη βοήθεια των οποίων έγινε ο υπολογισμός των δεικτών βιωσιμότητας για κάθε πόλη, αποθηκεύτηκαν σε ένα φάκελο στο Google Drive με τίτλο “(Περιοχή μελέτης)_clipped”.



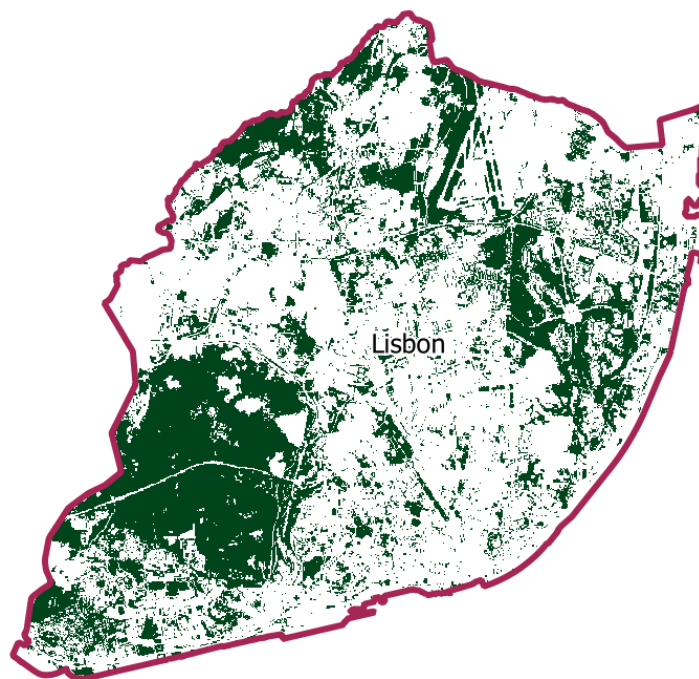
Σχήμα 47: Βλάστηση Αθήνας στις 26/12/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 48: Βλάστηση Βέρνης στις 10/11/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 49: Βλάστηση Βρυξελλών στις 06/12/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 50: Βλάστηση Λισαβόνας στις 20/11/2022
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

6.2.8. Υπολογισμός δεικτών βιωσιμότητας

Τελευταίο στάδιο της διαδικασίας αποτελεί ο υπολογισμός δύο δεικτών βιωσιμότητας των πόλεων που αφορούν στο πράσινο. Συγκεκριμένα, για όλες τις εικόνες των τεσσάρων (4) πόλεων μελέτης από το 2016 έως το 2022 υπολογίστηκε ο δείκτης χώρων πρασίνου και ο δείκτης χώρων πρασίνου κατά κεφαλήν. Ο πρώτος δείκτης υπολογίζεται από την έκταση του αστικού πρασίνου της πόλης συγκριτικά με την συνολική έκταση της πόλης. Ο δεύτερος υπολογίζει την έκταση του αστικού πρασίνου που αντιστοιχεί σε κάθε κάτοικο, επομένως προκύπτει από το αποτέλεσμα του πηλίκου της έκτασης του πρασίνου προς το συνολικό πληθυσμό της πόλης.

Η έκταση του αστικού πρασίνου υπολογίστηκε από το γινόμενο του εμβαδού του εικονοστοιχείου σε πραγματικές διαστάσεις εδάφους (εδαφοψηφίδα) με το πλήθος των εικονοστοιχείων που έχουν χαρακτηριστεί ως βλάστηση. Επισημαίνεται ότι, αφού η ανάλυση των καναλιών του NDVI είναι 10 m, η εδαφοψηφίδα είναι 100 m² και άρα μικρότερες εκτάσεις πρασίνου δεν αναγνωρίστηκαν από τον αλγόριθμο και δεν αξιοποιήθηκαν στον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας.

Η συνολική έκταση της πόλης προσδιορίστηκε από τα διανυσματικά αρχεία με τα όρια των περιοχών μελέτης. Ο συνολικός πληθυσμός δηλώθηκε από τα στοιχεία των απογραφών των πόλεων της περιόδου μελέτης (βλ. Κεφάλαιο 6.1, Δημογραφικά στοιχεία πόλεων).

Παραδείγματος χάριν, στην περίπτωση της Αθήνας διατίθενται πληθυσμιακά στοιχεία μόνο για το 2021 που έγινε η απογραφή ενώ τα προηγούμενα στοιχεία αφορούν στο 2011. Επομένως, για τα έτη 2016, 2017, 2018, 2019 και 2020, ο υπολογισμός του δείκτη χώρων πρασίνου κατά κεφαλήν πραγματοποιήθηκε βάσει των στοιχείων του πληθυσμού του 2011, ενώ για τα έτη 2021 και 2022 χρησιμοποιήθηκαν αυτά του 2021. Συνεπώς, στην περίπτωση αυτή ο κώδικας προσπελάστηκε δύο (2) φορές (πρώτη περίοδος μελέτης: 01/01/2016 – 31/12/2020 και δεύτερη περίοδος μελέτης: 01/01/2021 – 31/12/2022).

Για τη Βέρνη, όπου τα πληθυσμιακά δεδομένα αντιστοιχούν σχεδόν σε όλα τα έτη της περιόδου μελέτης (εκτός του 2021), ο υπολογισμός του δείκτη έγινε με διαφορετικά πληθυσμιακά στοιχεία ανά έτος. Άρα, στην περίπτωση της Βέρνης, ο κώδικας προσπελάστηκε έξι (6) φορές (εύρος ημερομηνιών: 01/01/2016 – 31/12/2016, 01/01/2017 – 31/12/2017, 01/01/2018 – 31/12/2018, 01/01/2019 – 31/12/2019, 01/01/2020 – 31/12/2021 και 01/01/2022 – 31/12/2022).

6.2.9. Εξαγωγή αποτελεσμάτων

Τα αποτελέσματα εξήχθησαν σε αρχείο μορφής csv (comma – separated values). Μετέπειτα, τα αρχεία αυτά επεξεργάστηκαν και μετατράπηκαν σε υπολογιστικά φύλλα (xlsx) με σκοπό την ανάλυση των πινακοποιημένων αποτελεσμάτων και τη δημιουργία και αξιολόγηση γραφημάτων. Στα αρχεία αυτά αναγράφονται οι δείκτες χώρων πρασίνου βάσει της έκτασης της πόλης και του πληθυσμού της και η έκταση των χώρων πρασίνου για όλες τις εικόνες που μεταφορτώθηκαν, εκφρασμένη σε m².

Κεφάλαιο 7

Παρουσίαση και αξιολόγηση αποτελεσμάτων

Στο παρόν κεφάλαιο αξιολογούνται τα πειραματικά αποτελέσματα που προέκυψαν από τις διαδικασίες επεξεργασίας των αρχικών δεδομένων μέσω της αναπαράστασής τους σε γραφήματα. Η ανάλυση των αποτελεσμάτων πραγματοποιήθηκε τόσο για κάθε περιοχή μελέτης ξεχωριστά όσο και συνολικά ώστε να γίνει σύγκριση των πόλεων όσον αφορά στη βιωσιμότητα.

7.1. Αξιολόγηση αποτελεσμάτων κάθε περιοχής μελέτης

Όπως αναφέρθηκε και στο Κεφάλαιο 6.2, από τη διαδικασία που ακολουθήθηκε προέκυψαν τα αποτελέσματα, δηλαδή οι δείκτες χώρων πρασίνου με βάση την έκταση της πόλης και τον πληθυσμό της και η έκταση των χώρων πρασίνου που εντοπίστηκε σε όλες τις εικόνες που μεταφορτώθηκαν (σε m^2).

Για την αξιολόγηση των πινακοποιημένων αποτελεσμάτων δημιουργήθηκαν γραφήματα. Στα γραφήματα αυτά απεικονίζονται οι μέσες ετήσιες τιμές του δείκτη χώρων πρασίνου ανά κάτοικο για κάθε πόλη μελέτης ξεχωριστά. Η σχηματική απόδοση του δείκτη «έκταση πρασίνου κατά κεφαλήν» σε συνδυασμό με τα σταθερότυπα, βοήθησαν στη μελέτη και στην αξιολόγηση της βιωσιμότητας κάθε πόλης.

Επισημαίνεται ότι δεν θεωρήθηκε αναγκαία η δημιουργία των γραφημάτων που αφορούν στο δείκτη χώρων πρασίνου ανά έκταση πόλης καθώς οι διαφορές με το δείκτη χώρων πρασίνου ανά κάτοικο ήταν ανεπαίσθητες. Οι μικρές αυτές διαφορές οφείλονται στην αρκετά σταθερή πορεία που εμφανίζει ο μόνιμος πληθυσμός σε κάθε έτος. Έτσι, δεν υπάρχουν σημαντικές πληθυσμιακές εναλλαγές ώστε να επηρεαστεί αισθητά το οπτικό αποτέλεσμα.

7.1.1. Αθήνα

Όπως φαίνεται στο ακόλουθο διάγραμμα, στην Αθήνα από το 2016 έως το 2022 δεν παρατηρούνται έντονες εναλλαγές στην έκταση της βλάστησης που αντιστοιχεί στον κάθε κάτοικο. Κατά μέσο όρο αντιστοιχούν $10,5 m^2$ πρασίνου/κάτοικο. Η ελάχιστη τιμή του δείκτη είναι $9,5 m^2$ πρασίνου/κάτοικο και εμφανίζεται το 2016 και η μέγιστη είναι $11,7 m^2$ πρασίνου/κάτοικο το 2020.

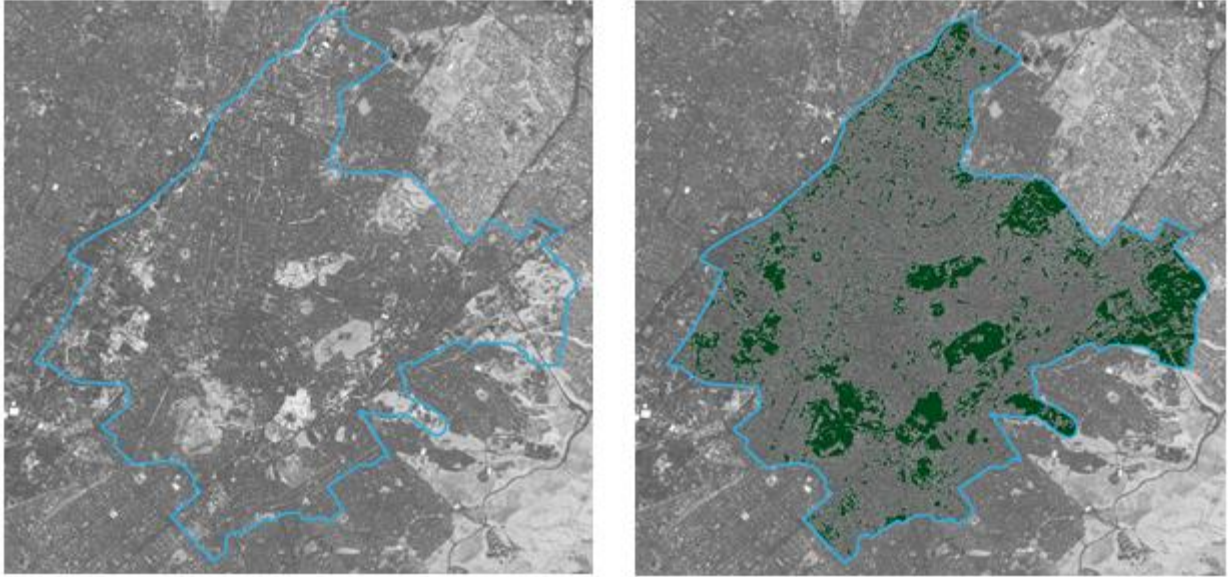


Σχήμα 51: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στην Αθήνα
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

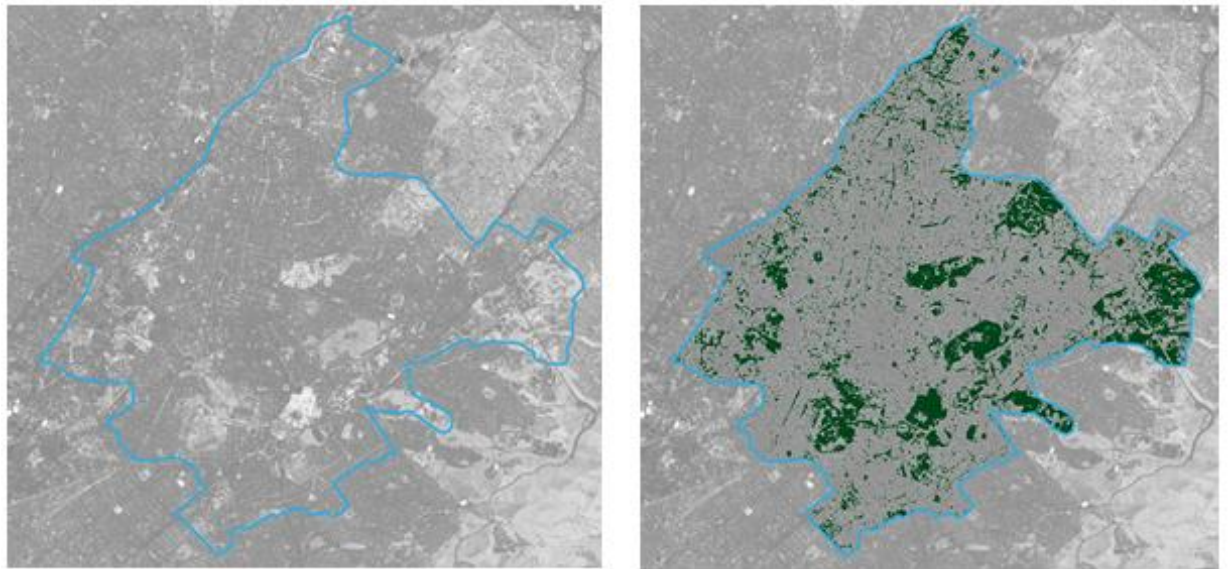
Παρατηρώντας τα πινακοποιημένα αποτελέσματα της Αθήνας για όλους τους μήνες, όλες τις εποχές και όλα τα έτη (Παράρτημα II), διαπιστώνεται διακύμανση της ποσότητας της βλάστησης κατά την εναλλαγή των εποχών. Το γεγονός αυτό συνάδει άρτια με το είδος της βλάστησης που υπάρχει στην πόλη, όπως αναλύθηκε στο Κεφάλαιο 6.1.1.5.

Η έκταση πρασίνου σύμφωνα με τον ορισμό της βιωσιμότητας δεν επηρεάζεται από τις διακυμάνσεις της βλάστησης κάθε εποχής. Στην παρούσα μελέτη επιδιώκεται ο υπολογισμός του δείκτη βιωσιμότητας μέσω του υπολογισμού χώρων πρασίνου. Συνεπώς λαμβάνοντας υπόψη την ακρίβεια λήψης του δορυφορικού δέκτη (εδαφοψηφίδα), οι διακυμάνσεις που παρουσιάζει ο δείκτης στη χρονοσειρά δε θεωρούνται αξιόλογες μελέτης και χαρακτηρίζονται ως μικρών μεταβολών, όπως φαίνεται και στις παρακάτω εικόνες.

Βάσει της Ελληνικής Νομοθεσίας (Κεφάλαιο 3.2.2.1.), προκειμένου να επιτυγχάνεται η βιωσιμότητα της Αθήνας απαιτούνται τουλάχιστον 8 m² πρασίνου/κάτοικο. Επομένως, ο Δήμος Αθηναίων χαρακτηρίζεται ως βιώσιμη πόλη καθώς βρίσκεται εντός των ορίων, παρόλο που εμφανίζει χαμηλές τιμές, αρκετά κοντά στο κατώτατο όριο του δείκτη βιωσιμότητας.



Σχήμα 52: Εντοπισμός βλάστησης Αθήνας σε εικόνα NDVI 05/05/2020
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 53: Εντοπισμός βλάστησης Αθήνας σε εικόνα NDVI 10/05/2021
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

7.1.2. Βέρνη

Στη Βέρνη κατά μέσο όρο αντιστοιχούν 296,2 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο. Η τιμή αυτή ξεπερνάει κατά πολύ τόσο το κατώτατο όριο που ορίζει η πόλη βάσει νομοθεσίας προκειμένου να θεωρείται η πόλη βιώσιμη (8 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο) όσο και το αντίστοιχο ιδανικό που ορίζεται από τον WHO (50 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο).

Στο διάγραμμα που προέκυψε από τα δεδομένα της Βέρνης παρατηρήθηκε μια έντονη σταδιακή πτώση της τιμής του δείκτη χώρων πρασίνου ανά κάτοικο από το 2016 έως και το 2022.



Σχήμα 54: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στην Βέρνη
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Συγκεκριμένα, από το 2016 έως το 2018 ο δείκτης είναι σχεδόν σταθερός, όπως και το 2019 και το 2020 που διατηρεί μια σταθερότητα ενώ συγκριτικά με τα προηγούμενα έτη μειώνεται. Η μείωση του δείκτη είναι της τάξεως των 20 m² πρασίνου/κάτοικο. Η μείωση αυτή, αναλογικά με την έκταση του πρασίνου δεν θεωρείται μεγάλη. Το 2021 ο δείκτης παρουσιάζει μια μικρή αύξηση ενώ το 2022 παρατηρείται μια τεράστια πτώση του δείκτη της τάξεως των 40 m² πρασίνου/κάτοικο. Ουσιαστικά, από το 2016 έως και το 2022, η βλάστηση της Βέρνης μειώθηκε κατά περίπου 60 m² ανά κάτοικο.

Η μέγιστη τιμή του δείκτη είναι 313,1 m² πρασίνου/κάτοικο και εμφανίζεται το 2018 και η ελάχιστη είναι 258 m² πρασίνου/κάτοικο το 2022. Για την αξιολόγηση των απότομων μεταβολών κρίθηκε αναγκαία η εκτενέστερη μελέτη των αποτελεσμάτων και της περιοχής τα έτη που διαπιστώνονται οι διακυμάνσεις.

Σε πρώτη φάση εξετάστηκε εάν στη Βέρνη το 2022 υπήρξε κάποιο ακραίο φαινόμενο (extreme event όπως πυρκαγιά ή αλλαγή χρήσης γης – εν προκειμένω παύση χρήσεως γης πρασίνου), που να δικαιολογεί την πτώση του δείκτη βιωσιμότητας. Μελετώντας δεδομένα που αφορούν στην πόλη διαπιστώθηκε ότι, το συγκεκριμένο έτος δεν παρατηρήθηκε κάποιο έντονο γεγονός.

Στη συνέχεια μελετήθηκαν σε βάθος τα πινακοποιημένα αποτελέσματα. Τα τρία πρώτα έτη της περιόδου μελέτης, οι εικόνες που μεταφορτώθηκαν αφορούν κυρίως στους ανοιξιάτικους και

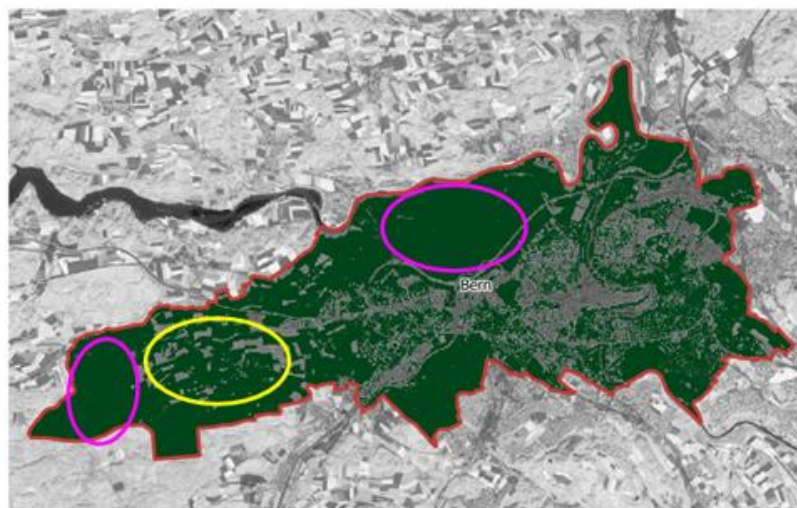
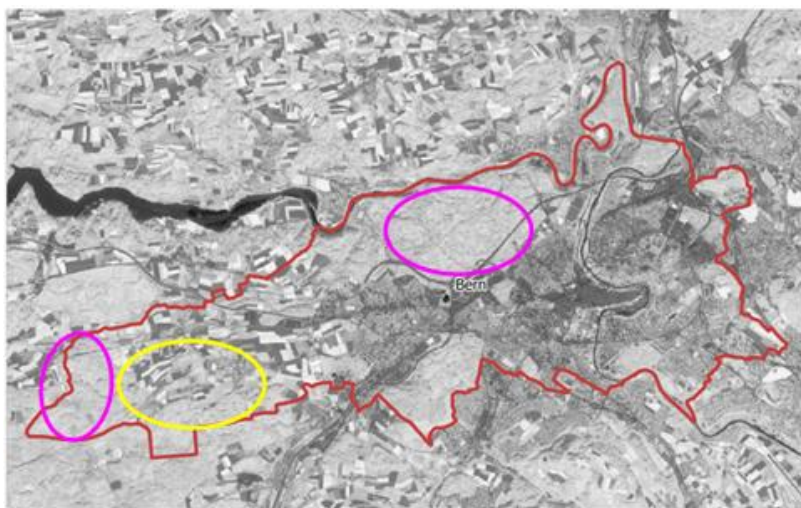
στους καλοκαιρινούς μήνες (Απρίλιο έως Αύγουστο) με αποτέλεσμα η βλάστηση, λόγω του είδους της, να εμφανίζει τις υψηλότερες τιμές της.

Έπειτα παρατηρήθηκαν φωτοερμηνευτικά ορισμένες εικόνες στις οποίες παρουσιάζονται χαμηλές τιμές του δείκτη. Για παράδειγμα, από φωτοερμηνεία των δορυφορικών εικόνων με ημερομηνίες λήψης στις 22/10/2018 και στις 14/02/2019 διαπιστώθηκε ότι την περίοδο αυτή οι εναλλαγές στη βλάστηση παρατηρούνται για δύο λόγους. Αρχικά, στο δυτικό τμήμα της Βέρνης (κίτρινος κύκλος και πέριξ αυτού), υπάρχουν αρκετές καλλιεργήσιμες εκτάσεις, πολλές από τις οποίες δεν είναι καλλιεργημένες τον Φεβρουάριο του 2019, σε αντίθεση με τον Οκτώβριο του 2018. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, τον Φεβρουάριο να παρατηρείται λιγότερη βλάστηση συγκριτικά με τον Οκτώβριο.

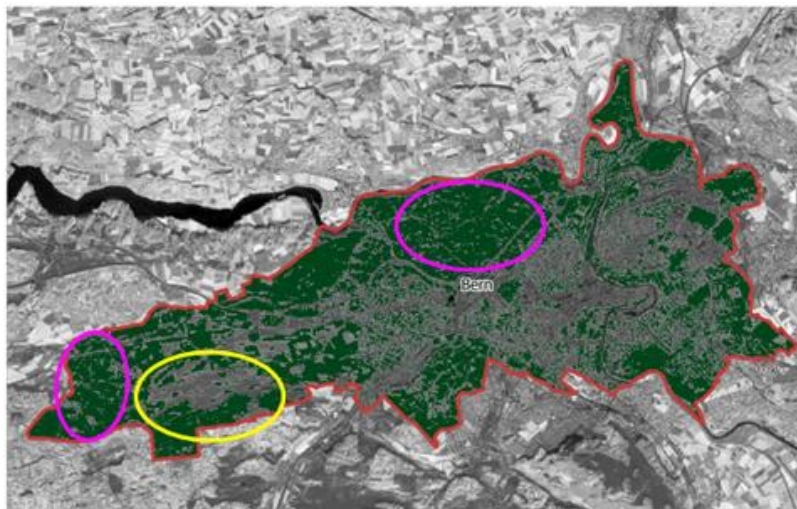
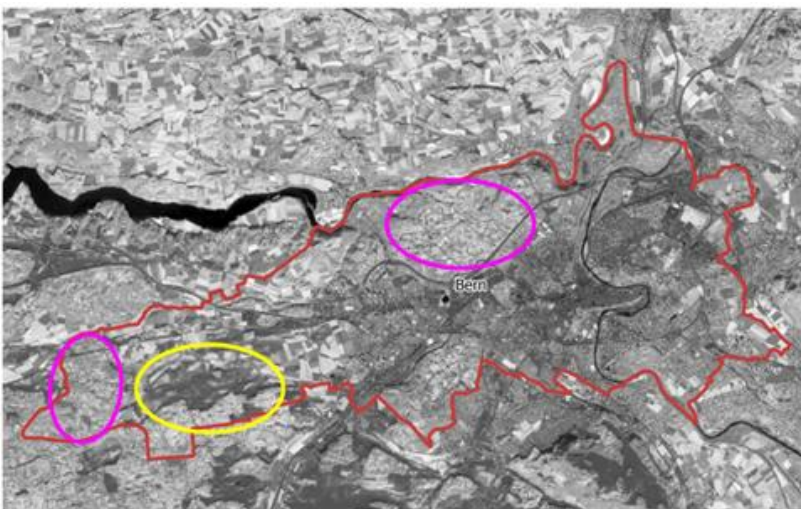
Επιπλέον, στη δεύτερη εικόνα εντοπίζονται χιονοσκεπείς περιοχές, συγκριτικά με την πρώτη, κυρίως στο βόρειο και κεντρικό τμήμα της πόλης (ροζ κύκλος). Το χιόνι εντοπίζεται λόγω των πιο σκούρων αποχρώσεων του γκρι που εμφανίζονται στις ίδιες περιοχές στις εικόνες με διαφορετικές ημερομηνίες λήψης. Κι αυτό γιατί το χιόνι απορροφά σημαντικά το τμήμα της ακτινοβολίας που αντιστοιχεί στο εγγύς υπέρυθρο (Nir). Επομένως, η αλγοριθμική διαδικασία για τον εντοπισμό των χώρων πρασίνου παρεμποδίζεται από την ύπαρξη χιονιού.

Συνεπώς, οι έντονες διακυμάνσεις στον υπολογισμό του δείκτη βιωσιμότητας, ιδιαίτερα τα τελευταία έτη μελέτης, οφείλονται στην αδυναμία του αλγορίθμου να εντοπίσει τη βλάστηση των χιονοσκεπών περιοχών καθώς επίσης και στο γεγονός ότι το δείγμα των εικόνων δεν είναι αντιπροσωπευτικό. Κι αυτό γιατί σε κάθε έτος δεν υπάρχει μια αναλογία των εικόνων με βάση την εποχή λήψης. Έτσι, σε κάποια έτη, π.χ. το 2022, συγκεντρώνονται περισσότερες εικόνες που αφορούν κυρίως στους ψυχρούς μήνες (Νοέμβριο έως Μάρτιο), όπου η πιθανότητα ύπαρξης χιονοσκεπών περιοχών αυξάνεται σημαντικά.

Έτσι, η αλγοριθμική διαδικασία χαρακτηρίζεται ως ανακριβής στον αριθμητικό υπολογισμό του δείκτη βιωσιμότητας. Όμως, ποιοτικά προέκυψε ότι η Βέρνη χαρακτηρίζεται ως βιώσιμη πόλη πληρώντας τόσο τους στόχους που έχει θέσει η ίδια για τη βιωσιμότητα (8 m^2 χώρων πρασίνου/κάτοικο) όσο και αυτούς που ορίζει ο WHO για την ιδανική τιμή (50 m^2 χώρων πρασίνου/κάτοικο).



Σχήμα 55: Εντοπισμός βλάστησης Βέρνης σε εικόνα NDVI 22/10/2018
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 56: Εντοπισμός βλάστησης Βέρνης σε εικόνα NDVI 14/02/2019
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

7.1.3. Βρυξέλλες

Στην περίπτωση των Βρυξελλών κατά μέσο όρο αντιστοιχούν $69,3 \text{ m}^2$ πρασίνου/κάτοικο. Από το ακόλουθο διάγραμμα παρατηρείται ότι υπάρχουν έντονες διακυμάνσεις του δείκτη από το 2018 και έπειτα.



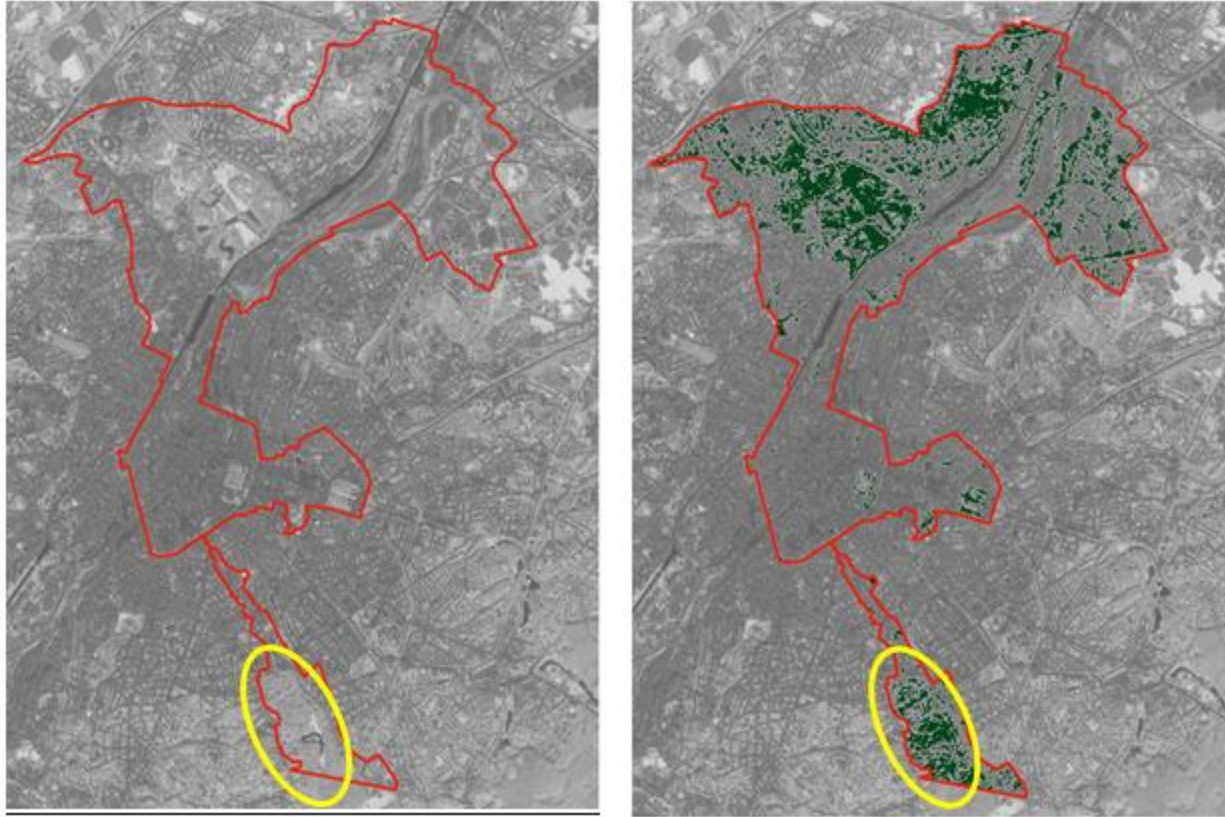
Σχήμα 57: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στις Βρυξέλλες
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Αναλυτικότερα, το 2019 ο δείκτης εμφανίζει τη μικρότερη τιμή που είναι $67,9 \text{ m}^2$ πρασίνου/κάτοικο ενώ το 2020 τη μεγαλύτερη που είναι $71,3 \text{ m}^2$ πρασίνου/κάτοικο. Ουσιαστικά, από το 2019 έως το 2020, σε διάστημα ενός έτους, σε κάθε κάτοικο αντιστοιχούν σχεδόν 4 m^2 πρασίνου επιπλέον. Ακόμη, το 2021 ο δείκτης εμφανίζει πτώση δύο (2) μονάδων, σε σχέση με αυτόν του προηγούμενου έτους. Παρόμοια πτώση εμφανίζεται και το 2022. Για την αξιολόγηση των μεταβολών, όπως και στην περίπτωση της Βέρνης, κρίθηκε αναγκαία η εκτενέστερη μελέτη των αποτελεσμάτων και της περιοχής τα έτη που διαπιστώνονται οι διακυμάνσεις.

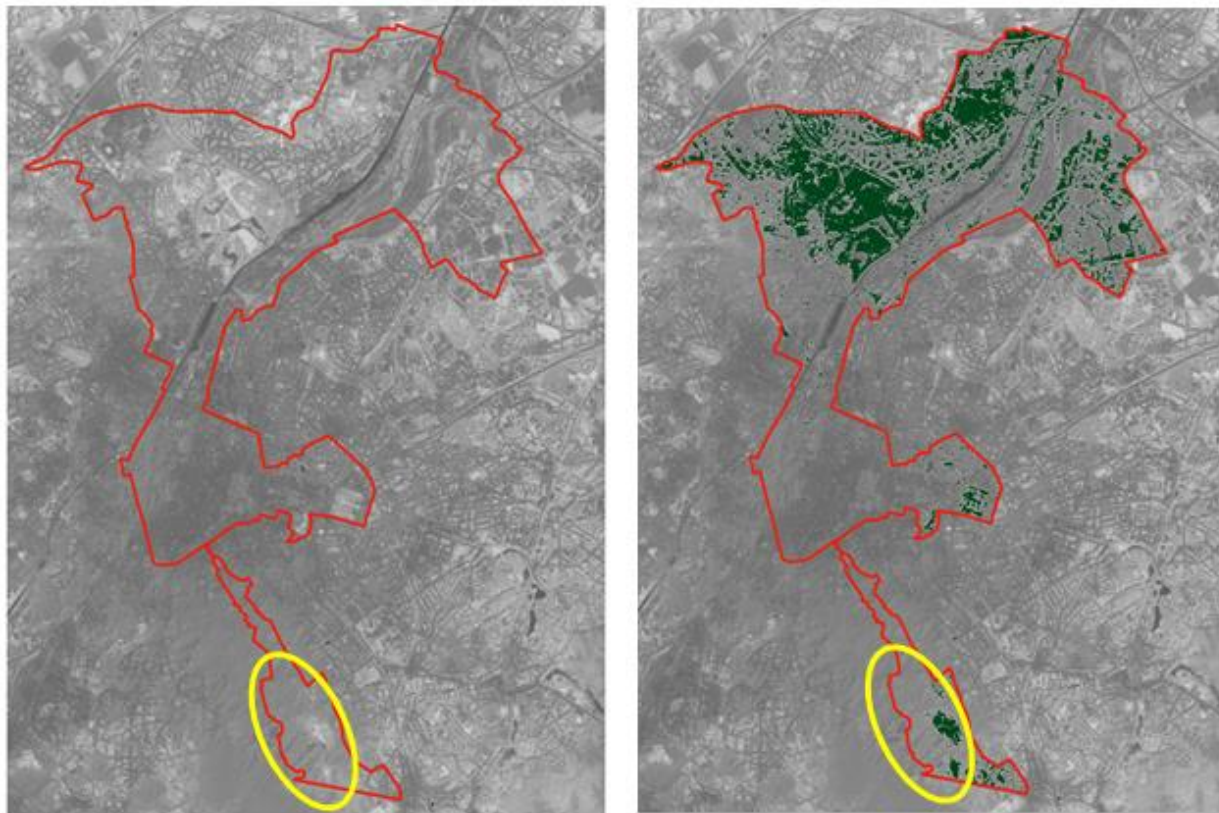
Αρχικά εξετάστηκε εάν στις Βρυξέλλες το 2019 υπήρξε κάποιο ακραίο φαινόμενο (extreme event όπως πυρκαγιά ή αλλαγή χρήσης γης – εν προκειμένω παύση χρήσεως γης πρασίνου), που να δικαιολογεί την πτώση του δείκτη βιωσιμότητας. Γενικότερα, το συγκεκριμένο έτος δεν παρατηρήθηκε κάποιο έντονο γεγονός.

Στη συνέχεια μελετήθηκαν τα πινακοποιημένα αποτελέσματα για τα έτη 2018 και 2019. Την περίοδο αυτή, η έντονη μείωση της έκτασης της βλάστησης και κατά συνέπεια του δείκτη βιωσιμότητας εντοπίστηκε μεταξύ του Δεκέμβριου 2018 και του Ιανουαρίου 2019 και ιδιαιτέρως από τα μέσα του Δεκέμβριου του 2018 έως και τα τέλη του Ιανουαρίου του 2019. Αυτούς τους μήνες, το υετόγραμμα παρουσιάζει μέγιστες τιμές (Σχήμα 33).

Παρατηρώντας φωτοερμηνευτικά τις δορυφορικές εικόνες με ημερομηνίες λήψης στις 12/12/2018 και στις 28/01/2019, διαπιστώνεται ότι την περίοδο αυτή εντοπίζονται χιονοσκεπείς περιοχές. Το χιόνι εντοπίζεται λόγω των πιο σκούρων αποχρώσεων του γκρι που εμφανίζονται στις ίδιες περιοχές στις εικόνες με διαφορετικές ημερομηνίες λήψης. Επομένως, η ύπαρξη χιονιού εμποδίζει τον εντοπισμό της βλάστησης από την αλγοριθμική διαδικασία.



Σχήμα 58: Εντοπισμός βλάστησης σε εικόνα NDVI 12/12/2018
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)



Σχήμα 59: Εντοπισμός χιονοσκεπών περιοχών σε εικόνα NDVI 28/01/2019
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Συνεπώς, οι έντονες διακυμάνσεις στον υπολογισμό του δείκτη βιωσιμότητας οφείλονται λόγω αδυναμίας του αλγορίθμου στον εντοπισμό της βλάστησης σε χιονοσκεπείς περιοχές. Επίσης, καθώς σε κάθε έτος δεν υφίστανται τα ίδια επίπεδα χιονόπτωσης, δεν υπάρχει καθολική τήρηση του νετογράμματος, στο οποίο παρουσιάζονται ετήσια στοιχεία από δεδομένα 30 ετών.

Έτσι, η αλγοριθμική διαδικασία χαρακτηρίζεται ως ανακριβής στον αριθμητικό υπολογισμό του δείκτη βιωσιμότητας. Όμως, ως ποιοτικό συμπέρασμα εξάγεται ότι σύμφωνα με τη νομοθεσία για τα σταθερότυπα, η πόλη των Βρυξελλών πληροί τις προϋποθέσεις της βιωσιμότητας σε ικανοποιητικό βαθμό, αφού για να επιτυγχάνεται αυτή απαιτούνται τουλάχιστον 10 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο ενώ παράλληλα ξεπερνιέται και το όριο που ορίζει ο WHO για την ιδανική τιμή (50 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο).

7.1.4. Λισαβόνα

Στη Λισαβόνα κατά μέσο όρο αντιστοιχούν 55,3 m² χώρων πρασίνου σε κάθε κάτοικο. Ο δείκτης εμφανίζει ελάχιστη τιμή το 2017 όπου την περίοδο αυτή αντιστοιχούν 51,8 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο και μέγιστη το 2020, με 58,2 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο.

Παρατηρώντας το διάγραμμα που προέκυψε από τα δεδομένα της Λισαβόνας διαπιστώνεται ότι υπάρχει μια σημαντική διακύμανση των τιμών του δείκτη βιωσιμότητας. Οι μεταβολές αυτές είναι άξιες σχολιασμού καθώς υφίστανται αυξομειώσεις από έτος σε έτος που ορισμένες φορές αγγίζουν τα 5 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο. Τέτοια μεταβολή εντοπίζεται το 2017, όπου σε κάθε κάτοικο αντιστοιχούν 5 m² χώρων πρασίνου λιγότερα σε σχέση με το 2016. Από το 2018 φαίνεται πως η κατά κεφαλήν έκταση πρασίνου αυξάνεται, η οποία συνεχίζεται με πιο αργό ρυθμό τα έτη 2019 και 2020. Συγκεκριμένα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, το 2020 ο δείκτης εμφανίζει μέγιστο ακρότατο. Το 2021 και το 2022 παρατηρείται ξανά σταδιακή πτώση του δείκτη.

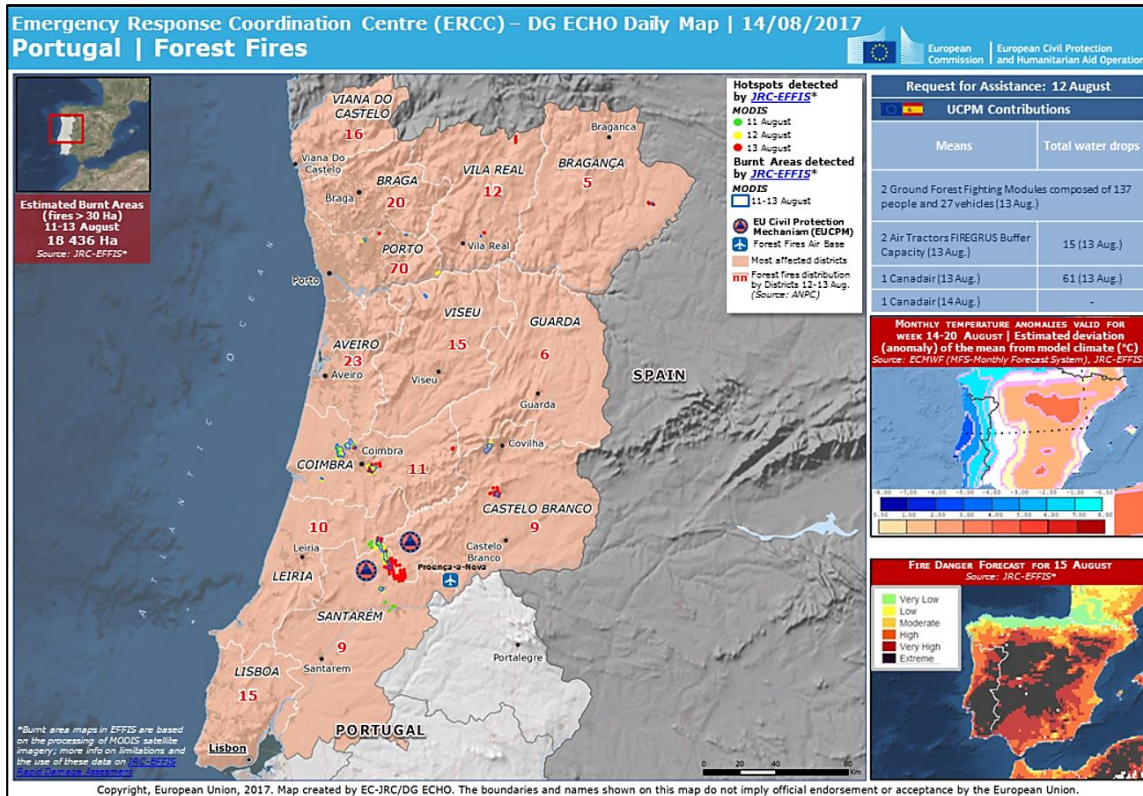


Σχήμα 60: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στη Λισαβόνα
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Προκειμένου να αξιολογηθούν οι μεταβολές θεωρήθηκε αναγκαίο να μελετηθεί εκτενέστερα τόσο το προφίλ της Λισαβόνας όσο και τα πινακοποιημένα αποτελέσματα που προέκυψαν τις περιόδους που εμφανίζει ακραίες τιμές ο δείκτης.

Αρχικά εξετάστηκε εάν στη Λισαβόνα το 2017, το 2020 και το 2022 υπήρξαν ακραία φαινόμενα (extreme events όπως πυρκαγιά ή αλλαγή χρήσης γης – εν προκειμένω παύση χρήσεως γης πρασίνου), ώστε να δικαιολογείται η απότομη αυξομείωση του δείκτη βιωσιμότητας. Ύστερα από εκτενή έρευνα διαπιστώθηκε ότι το 2017 και το 2022 όλη η Πορτογαλία επλήγη από πυρκαγιές.

Ιδιαίτερος τον Αύγουστο του 2017, όπως φαίνεται και στην ακόλουθη εικόνα, η Περιφέρεια της Λισαβόνας βρίσκεται εντός της κατηγορίας των πιο πληγείσων περιοχών. Την περίοδο εκείνη στην περιφέρεια της Λισαβόνας ήταν σε εξέλιξη 15 δασικές πυρκαγιές [83]. Ακόμη, στα τέλη του Ιουλίου του 2022, ξέσπασε πυρκαγιά, η οποία παρόλο που απείχε περίπου 33 km μακριά από το κέντρο της Λισαβόνας, δημιούργησε προβλήματα στην περιοχή [84]. Συνεπώς, πιθανότατα η απότομη μείωση της τιμής του δείκτη το 2017 και το 2022 οφείλεται στις πυρκαγιές.



Σχήμα 61: Πυρκαγιές στην Πορτογαλία στις 14/08/2017 (Πηγή: Copernicus [85])

Τα δύο συμβάντα των πυρκαγιών συνάδουν άρτια με τα αριθμητικά αποτελέσματα που προέκυψαν από την αλγοριθμική διαδικασία που ακολουθήθηκε (Παράρτημα II). Επίσης σε συνδυασμό με το γεγονός ότι τους καλοκαιρινούς μήνες η βλάστηση της πόλης δεν είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη λόγω του είδους της, είναι απολύτως λογικό να υπάρχει επιπλέον μείωση της βλάστησης που αντιστοιχεί σε κάθε κάτοικο.

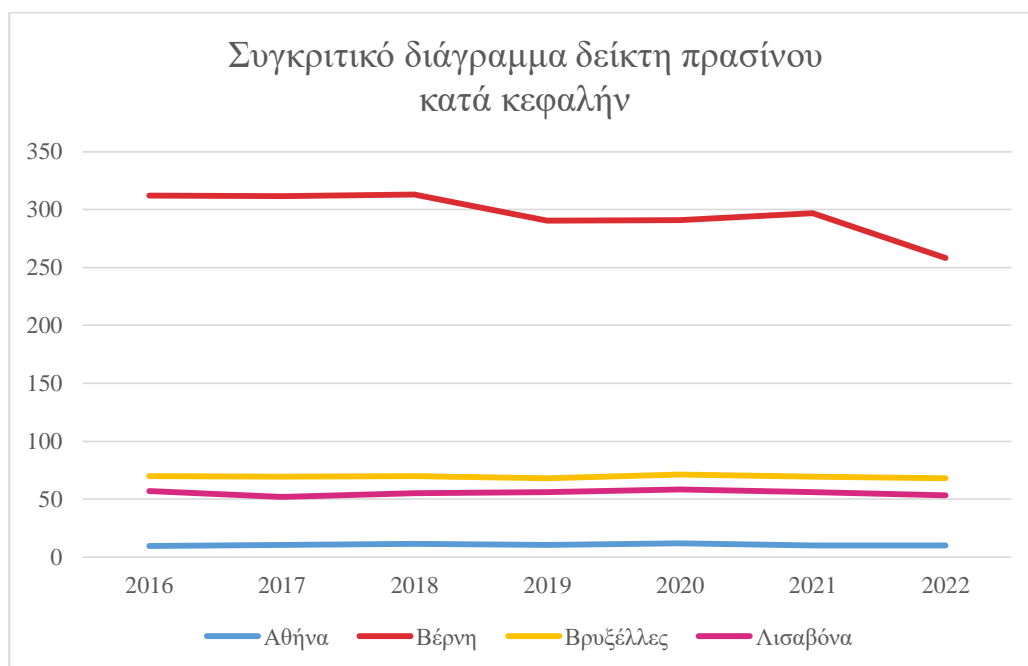
Η σταδιακή αύξηση του δείκτη τα έτη 2018 και 2019 πιθανόν σχετίζεται με τα μέτρα πολιτικής γης που εφαρμόστηκαν στην Λισαβόνα, για την ανασυγκρότηση της περιοχής από τις πυρκαγιές. Από το 2017 και έπειτα φυτεύτηκαν πάνω από 80.000 δέντρα και συνολικά περισσότερα από 100.000 μέχρι το 2021. Όσον αφορά στο 2020, η αύξηση του δείκτη πιθανότατα συνδέεται με το γεγονός ότι την χρονιά αυτή η Λισαβόνα ανακηρύχθηκε ως η Πράσινη Ευρωπαϊκή Πρωτεύουσα, στηρίζοντας περισσότερο την περιβαλλοντική βιωσιμότητα και πραγματοποιώντας πολλά νέα πράσινα έργα. Συγκεκριμένα, μόνο στις 12 Ιανουαρίου 2020 φυτεύτηκαν 20.000 δέντρα και θάμνοι (Κεφάλαιο 6.1.4.7.).

Από όλα τα παραπάνω διαπιστώνεται ότι οι έντονες διακυμάνσεις του δείκτη βιωσιμότητας στο γράφημα οφείλονται λόγω των ακραίων γεγονότων που επικράτησαν στη Λισαβόνα την περίοδο μελέτης. Έτσι, η αλγοριθμική διαδικασία χαρακτηρίζεται ως μη επαρκής στον ακριβή αριθμητικό υπολογισμό του δείκτη βιωσιμότητας όταν επικρατούν ιδιαίτερα φαινόμενα.

Τέλος, ποιοτικά συμπεραίνεται ότι η Λισαβόνα πληροί τις προϋποθέσεις της βιωσιμότητας σε ικανοποιητικό βαθμό, αφού ο δείκτης ξεπερνάει τόσο το κατώτατο όριο που ορίζει ο WHO (9 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο), όσο και την ιδανική τιμή (50 m² χώρων πρασίνου/κάτοικο).

7.2. Σύγκριση αποτελεσμάτων περιοχών μελέτης

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζονται συγκεντρωτικά οι μεταβολές του δείκτη βιωσιμότητας «χώροι πρασίνου ανά κάτοικο» για τις τέσσερις (4) περιοχές μελέτης από το 2016 έως το 2022. Οι ακριβείς τιμές του διαγράμματος αναγράφονται στον ακόλουθο πίνακα.



Σχήμα 62: Συγκεντρωτικό διάγραμμα δείκτη βιωσιμότητας «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» στις περιοχές μελέτης
(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Πίνακας 11: Ολικός μέσος όρος έτους δείκτη πρασίνου κατά κεφαλήν των περιοχών για την περίοδο μελέτης

	Αθήνα	Βέρνη	Βρυξέλλες	Λισαβόνα
2016	9.5	312.3	69.7	56.8
2017	10.5	311.9	69.5	51.8
2018	11.4	313.1	69.7	55.2
2019	10.6	290.3	67.9	56.2
2020	11.7	290.7	71.3	58.2
2021	9.8	297.1	69.3	55.8
2022	10.0	258.0	68.0	53.1

(Πηγή: Ιδία επεξεργασία)

Από το διάγραμμα διαπιστώνεται ότι στη βέλτιστη θέση όσον αφορά στους χώρους πρασίνου που αντιστοιχούν σε κάθε κάτοικο βρίσκεται η Βέρνη, ενώ ακολουθούν οι Βρυξέλλες, η Λισαβόνα και η Αθήνα. Όλες οι πόλεις εκτός της Αθήνας, άλλες περισσότερο και άλλες λιγότερο, ξεπερνούν την ιδανική τιμή των 50 m² χώρων πρασίνου ανά κάτοικο που ορίζει ο Παγκόσμιος Οργανισμός Υγείας (WHO) προκειμένου να επιτυγχάνεται η βιωσιμότητα. Στην περίπτωση της Αθήνας, συγκριτικά με τις άλλες πόλεις, ο δείκτης βρίσκεται οριακά πάνω από τον ελάχιστο στόχο που έχει τεθεί τόσο από τη Νομοθεσία της χώρας (8 m² χώρων πρασίνου ανά κάτοικο) όσο και από τον WHO (9 m² χώρων πρασίνου ανά κάτοικο).

Τα αποτελέσματα των δεικτών που προέκυψαν σχετίζονται άμεσα με το προφίλ της εκάστοτε πόλης καθώς και με τους στόχους και τα μέτρα πολιτικής γης που έχουν τεθεί όσον αφορά στην περιβαλλοντική βιωσιμότητα. Παραδείγματος χάριν, παρόλο που η Αθήνα και η Λισαβόνα παρουσιάζουν αρκετά κοινά χαρακτηριστικά και βρίσκονται σε παρόμοιο γεωγραφικό πλάτος, στη Λισαβόνα οι χώροι πρασίνου που αντιστοιχούν σε κάθε κάτοικο είναι περίπου 5 φορές μεγαλύτεροι σε έκταση από τους αντίστοιχους στην Αθήνα. Κι αυτό γιατί η Λισαβόνα έχει στραφεί προς την ανάπτυξη των πράσινων χώρων.

Τονίζεται πως οι μικρές αυξομειώσεις του δείκτη στην περίοδο μελέτης στις Βρυξέλλες, στη Λισαβόνα και στην Αθήνα δεν είναι αισθητές στο συγκεντρωτικό διάγραμμα (Σχήμα 62), καθώς στη Βέρνη οι διαφορές αφορούν σε πολύ μεγαλύτερη έκταση πρασίνου. Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω (Κεφάλαιο 7.1), οι έντονες διακυμάνσεις του δείκτη οφείλονται στην αδυναμία της αλγοριθμικής διαδικασίας στον ακριβή αριθμητικό εντοπισμό του πράσινου όταν επικρατούν ακραίες συνθήκες (extreme events) όπως χιονοσκεπείς περιοχές, πυρκαγιές κ.λπ.. Όμως, τα αποτελέσματα αυτά βοηθούν στην εξαγωγή ποιοτικών συμπερασμάτων για το επίπεδο της βιωσιμότητας.

Κεφάλαιο 8

Συμπεράσματα

8.1. Γενικά

Με το πέρας των διαδικασιών επεξεργασίας, ανάλυσης και αξιολόγησης των δεδομένων για τον εντοπισμό των χώρων πρασίνου και τον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας κρίθηκε σκόπιμο να αναδειχθούν οι δυσχέρειες και να διατυπωθούν τα τελικά συμπεράσματα που προέκυψαν. Τέλος, παρουσιάζονται ορισμένες προτάσεις που η εφαρμογή τους θα οδηγούσε στη βελτίωση και στην περαιτέρω επέκταση της παρούσας μελέτης.

8.2. Δυσχέρειες

Οι δυσχέρειες που προέκυψαν αφορούν τόσο σε θεωρητικό επίπεδο όσο και σε τεχνικό. Οι θεωρητικές δυσχέρειες σχετίζονται με το πλαίσιο και την έκταση της μελέτης και τον χρονικό περιορισμό αυτής. Για την επίλυση των δυσχερειών αυτών εφαρμόστηκαν ορισμένες παραδοχές. Οι τεχνικές δυσχέρειες σχετίζονται με την υλοποίηση του κώδικα, τη διαδικασία απόκτησης και επεξεργασίας των δεδομένων και την ανάλυση των αποτελεσμάτων.

8.2.1. Θεωρητικές δυσχέρειες

8.2.1.1. Χώροι πρασίνου

Το αστικό πράσινο διακρίνεται στο δημόσιο και στο ιδιωτικό. Το δημόσιο αστικό πράσινο είναι αυτό στο οποίο οι κάτοικοι έχουν πρόσβαση και θεωρητικά μόνο αυτό αξιοποιείται στην εκτίμηση των δεικτών βιωσιμότητας. Για τον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας η παρούσα μελέτη βασίστηκε στον εντοπισμό χώρων πρασίνου με χρήση δείκτη βλάστησης NDVI. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μην γίνει διαχωρισμός ιδιωτικών και δημόσιων χώρων πρασίνου. Συνεπώς, το σύνολο της βλάστησης που εντοπίστηκε θεωρήθηκε ως υπολογίσιμο για την εκτίμηση των δεικτών βιωσιμότητας. Η παραδοχή αυτή κρίθηκε αναγκαία καθώς η περαιτέρω ανάλυση και εμβάθυνση ξεπερνούσε τα όρια της παρούσας μελέτης.

8.2.1.2 Χρήση κατάλληλου ορίου διάκρισης τιμών (κατώφλι)

Με τη χρήση κατάλληλου ορίου διάκρισης των τιμών (κατώφλι) στις εικόνες NDVI πραγματοποιήθηκε διάκριση των εικονοστοιχείων που χαρακτηρίζονται από βλάστηση και εκείνων που χαρακτηρίζονται από άλλες χρήσεις γης. Προκειμένου να μην γίνει υπερεκτίμηση ή

υποεκτίμηση της βλάστησης, ύστερα από δοκιμές, δηλαδή από δειγματοληψία στα ιστογράμματα των εικόνων και από έλεγχο των μέγιστων τιμών αυτών, ως κατώφλι επιλέχθηκε η τιμή 0,25. Τονίζεται ότι εξαιτίας της εφαρμογής κατωφλίου είναι λογικό να μην αναγνωριστεί όλο το πράσινο σε κάποιες εικόνες. Ωστόσο, έγινε η καλύτερη δυνατή προσέγγιση ώστε να μην υπάρξει σύγχυση των αμιγών χώρων πρασίνου με άλλες παρεμφερείς καλύψεις γης.

8.2.2. Τεχνικές δυσχέρειες

8.2.2.1. Σύνταξη στη γλώσσα προγραμματισμού Python

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η γλώσσα προγραμματισμού που χρησιμοποιήθηκε για την δημιουργία του αλγορίθμου, είναι η Python. Ως γλώσσα υψηλού επιπέδου, επιτρέπει την έκφραση πολύπλοκων λειτουργιών σε μια μόνο εντολή. Όμως αυτό το πλεονέκτημα σε συνδυασμό με τη δυναμική τυποποίηση της γλώσσας, κάποιες φορές οδηγεί σε δυσλειτουργίες και σφάλματα. Πιο συγκεκριμένα, υπάρχει η περίπτωση μια εντολή να αλλάξει σύνταξη, για λόγους βελτιστοποίησης (π.χ. οικονομία μνήμης, επίσπευση υπολογιστικών διαδικασιών κ.λπ.), καθιστώντας τον κώδικα μη λειτουργικό, με αποτέλεσμα την απαίτηση παρέμβασης από τον μελετητή για επίλυση των σφαλμάτων.

Χαρακτηριστικό παράδειγμα η αλλαγή σύνταξης της εντολής «gdal.warp», η οποία χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα μελέτη για την αποκοπή της δυαδικής εικόνας με το θεματικό επίπεδο της περιοχής μελέτης. Το σφάλμα εντοπίστηκε καθώς η μεταφόρτωση των εικόνων και η επεξεργασία τους είχε ολοκληρωθεί τον Φεβρουάριο του 2023, όμως στην περίπτωση που χρειάστηκε να γίνουν κάποιες επαληθεύσεις τον Μάιο του ίδιο έτους, δεν ήταν δυνατή η προσπέλαση της εντολής αποκοπής λόγω αλλαγής σύνταξης της εντολής.

Επισημαίνεται πως η παρούσα δυσχέρεια δεν είναι αρκετή για να χαρακτηριστεί η γλώσσα προγραμματισμού Python ως δυσλειτουργική. Η αναφορά της εν λόγω δυσλειτουργίας γίνεται καθαρά στο πλαίσιο της ανάδειξης σφαλμάτων και δυσκολιών που αντιμετωπίστηκαν κατά την διεκπεραίωση της παρούσας μελέτης.

8.2.2.2. Αλλαγή περιοχών μελέτης

Σημαντικό κρίνεται να σημειωθεί ότι αρχικά είχαν επιλεγεί διαφορετικές πόλεις μελέτης. Αρχικός στόχος ήταν η μελέτη, μέσω των δεικτών βιωσιμότητας για το πράσινο, της βιωσιμότητας της Αθήνας, της Μαδρίτης, της Ρώμης και του Παρισιού. Στην περίπτωση της Αθήνας, η διαδικασία ολοκληρώθηκε με επιτυχία. Το μέγεθος κάθε αρχικής εικόνας ήταν περίπου 8 Mb.

Επομένη πόλη μελέτης ήταν η Μαδρίτη. Στην περίπτωση της Μαδρίτης, μεταφορτώθηκε περίπου ίσος αριθμός δορυφορικών εικόνων όπως στην Αθήνα, ωστόσο το μέγεθός τους ήταν

περίπου 73 Mb, δηλαδή περίπου εννιά (9) φορές μεγαλύτερο. Το γεγονός αυτό προέκυψε αφού η έκταση της Μαδρίτης (604 km²) είναι πολύ μεγαλύτερη από αυτή της Αθήνας (39 km²). Άρα, η Μαδρίτη είναι περίπου δεκαπέντε (15) φορές μεγαλύτερη σε έκταση από την Αθήνα. Κατά συνέπεια, μόνο για την περίπτωση της Μαδρίτης ο δωρεάν διαθέσιμος αποθηκευτικός χώρος στο Google Drive (15 Gb) δεν θα ήταν αρκετός. Αντίστοιχο πρόβλημα θα υπήρχε και για τη Ρώμη που έχει έκταση σχεδόν διπλάσια της Μαδρίτης (1.300 km²). Ως αποτέλεσμα, καθώς πρόκειται για μεγάλο όγκο δεδομένων κρίθηκε ότι η διαδικασία αυτή ξεφεύγει από τα όρια της παρούσας μελέτης.

Για αυτό το λόγο έγινε επαναπροσδιορισμός των πόλεων μελέτης, επιλέγοντας τις μικρότερες σε έκταση και όσο το δυνατόν ισομεγέθους ευρωπαϊκές πρωτεύουσες¹⁸ καταλήγοντας έτσι στην Αθήνα, στη Βέρνη, στις Βρυξέλλες και στη Λισαβόνα.

8.2.2.3. Μέγεθος εικόνων και αποθηκευτικός χώρος

Μετά τη μεταφόρτωση των αρχικών εικόνων από το GEE παρατηρήθηκε από το μέγεθός τους ότι ορισμένες από αυτές δεν περιλαμβάνουν όλη την περιοχή μελέτης. Συγκεκριμένα, οι εικόνες που δεν αποτύπωναν όλη την περιοχή είχαν μέγεθος περίπου τρεις (3) φορές μικρότερο ή και λιγότερο (της τάξεως Kb) συγκριτικά με τις εικόνες που την περιείχαν (της τάξεως Mb).

Για την Αθήνα από το 2016 έως και το 2022 μεταφορτώθηκαν 373 εικόνες Sentinel – 2, με μέγεθος περίπου 8 Mb έκαστην. Από τις εικόνες αυτές αξιοποιήθηκαν οι 365 διότι 8 από αυτές ήταν ελλιπείς.

Από τη Βέρνη για το διάστημα αυτό μεταφορτώθηκαν 134 εικόνες. Ωστόσο οι 64 από αυτές δεν περιείχαν όλη την πόλη, αλλά μόνο ένα τμήμα αυτής. Έτσι, τελικά επεξεργάστηκαν 70 εικόνες από τις οποίες προέκυψαν οι δείκτες βιωσιμότητας. Κάθε μια από τις εικόνες αυτές είχε μέγεθος περίπου 8 Mb.

Αντίστοιχο πρόβλημα υπήρξε και στις Βρυξέλλες όπου για την περίοδο μελέτης μεταφορτώθηκαν 253 εικόνες, εκ των οποίων οι 117 ήταν ελλιπείς. Τελικά, στη διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν 136 εικόνες, με αρχικό μέγεθος περίπου 7 Mb.

Τέλος, για τη Λισαβόνα αρχικά μεταφορτώθηκαν 565 εικόνες, με μέγεθος περίπου 9 Mb η κάθε μία, από τις οποίες αξιοποιήθηκαν οι 287, καθώς οι 278 δεν περιλάμβαναν όλη την περιοχή μελέτης.

¹⁸ Από την επιλογή εξαιρέθηκε η πρωτεύουσα της Μάλτας, η Βαλέτα, της οποίας η έκταση είναι πολύ μικρότερη από αυτή των πόλεων που εν τέλει έγινε η μελέτη.

8.2.2.4. Ακραία φαινόμενα και εντοπισμός βλάστησης

Οι δείκτες βιωσιμότητας που υπολογίστηκαν από την αλγοριθμική διαδικασία φαίνεται να υστερούν σε περίπτωση που στην περιοχή μελέτης υφίσταται κάποιο ακραίο φαινόμενο (extreme event). Το γεγονός αυτό διαπιστώθηκε από τις απότομες μεταβολές του γραφήματος του «δείκτη βιωσιμότητας έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» σε συγκεκριμένα έτη. Συνεπώς, εξαιτίας της αδυναμίας του αλγορίθμου στον εντοπισμό της βλάστησης σε ακραίες συνθήκες, από τη χρήση των δεικτών εξάγονται με ασφάλεια μόνο ποιοτικά συμπεράσματα και όχι ποσοτικά.

8.2.2.5. Ανάλυση εικόνων

Η έκταση του αστικού πρασίνου υπολογίστηκε από το γινόμενο του εμβαδού του εικονοστοιχείου σε πραγματικές διαστάσεις εδάφους (εδαφοψηφίδα) με το πλήθος των εικονοστοιχείων που έχουν χαρακτηριστεί ως βλάστηση. Ωστόσο, αφού τα φασματικά κανάλια Red και Nir1 του Sentinel – 2 που αξιοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του NDVI έχουν χωρική ανάλυση 10 m, η εδαφοψηφίδα θα έχει μέγεθος 100 m². Συνεπώς, εκτάσεις πρασίνου που καταλαμβάνουν έκταση μικρότερη από 100 m², δεν μπόρεσαν να αναγνωριστούν από τον αλγόριθμο και να αξιοποιηθούν στον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας.

8.3. Πορίσματα

Η βιωσιμότητα και η αειφόρος ανάπτυξη αποτελούν καίριους στόχους των σύγχρονων πόλεων καθώς πάνω από το ήμισυ του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές τη σημερινή εποχή, με το ποσοστό αυτό να αναμένεται να αυξηθεί τα επόμενα έτη. Η παρούσα μελέτη βοήθησε στον έλεγχο της βιωσιμότητας (αξιοποιώντας δεδομένα τεσσάρων πόλεων – της Αθήνας, της Βέρνης, των Βρυξελλών και της Λισαβόνας) μέσα από τον υπολογισμό δυο περιβαλλοντικών δεικτών.

Έτσι, κρίνεται σημαντική η συστηματική παρατήρηση της υφιστάμενης κατάστασης κάθε πόλης μέσω των δεικτών προκειμένου οι στόχοι και τα μέτρα πολιτικής γης για τη βιωσιμότητα να είναι συγκεκριμένοι.

Στη συγκεκριμένη περίπτωση, εξαιτίας των παραδοχών που τέθηκαν και της ακρίβειας των αρχικών δεδομένων, οι δείκτες που υπολογίστηκαν δεν έχουν άμεση εφαρμογή για την τυπική αξιολόγηση της βιωσιμότητας της περιοχής. Εν προκειμένω, ο συνδυασμός αλγορίθμων και αυτοματοποιημένων διαδικασιών (NDVI, υπολογισμός δείκτης χώρων πρασίνου με βάση την έκταση και με βάση τον πληθυσμό) για εξαγωγή συμπερασμάτων είχε περισσότερο ερευνητικό ενδιαφέρον, όπως άλλωστε είναι και το πλαίσιο της παρούσας μελέτης. Ουσιαστικά, η παρούσα εργασία βοήθησε στην ύπαρξη μιας αρχικής εκτίμησης του επιπέδου βιωσιμότητας των πόλεων μέσω των αστικών χώρων πρασίνου.

Πέραν του υπολογισμού των δεικτών βιωσιμότητας, μέσω της αλγοριθμικής διαδικασίας που ακολουθήθηκε διαπιστώθηκε ότι είναι δυνατός ο εντοπισμός ακραίων φαινομένων (extreme events) στη μελέτη χρονοσειρών χώρων πρασίνου, όπως χαρακτηριστικά παρουσιάστηκε στην περίπτωση της Λισαβόνας. Το φαινόμενο των δασικών πυρκαγιών στην Πορτογαλία το 2017 εντοπίστηκε λόγω της έντονης μετάπτωσης του δείκτη την περίοδο αυτή στη χρονοσειρά που μελετήθηκε.

Τέλος, επισημαίνεται ότι οι διαδικασίες εντοπισμού των αστικών χώρων πρασίνου και υπολογισμού των δεικτών βιωσιμότητας ήταν σχεδόν μηδενικού κόστους. Το γεγονός αυτό σχετίζεται τόσο με το είδος των δεδομένων, όσο και με τα εργαλεία που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση. Πιο συγκεκριμένα, τα δεδομένα αντλήθηκαν από το Google Earth Engine στο οποίο η πρόσβαση είναι ελεύθερη και επεξεργάστηκαν με την προσπέλαση ενός κώδικα που συντάχθηκε σε γλώσσα προγραμματισμού Python μέσω του Google Colab. Το Google Colab αποτελεί επίσης ένα περιβάλλον ελεύθερης πρόσβασης και η Python είναι ανοιχτού κώδικα, παρέχοντας τρομερές δυνατότητες και διαθέτοντας άπειρα εργαλεία και βιβλιοθήκες δωρεάν. Επί της ουσίας, το κόστος σχετίζεται μόνο με την υπολογιστική μονάδα που χρησιμοποιήθηκε στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, το οποίο αναλογιζόμενοι του είδους της, της έκτασής της και της συνεισφοράς της είναι εξαιρετικά χαμηλό.

8.4. Μελλοντικές επεκτάσεις

Πέραν από την παράθεση των συμπερασμάτων, θεωρείται απαραίτητη η παρουσίαση ορισμένων προτάσεων που θα οδηγούσαν στη βελτίωση και στην επέκταση της παρούσας εργασίας. Οι προτάσεις αυτές σχετίζονται με τουλάχιστον πέντε (5) διαφορετικές κατευθύνσεις και προέκυψαν ως ιδέες ύστερα από την ενδελεχή ενασχόληση με τον εντοπισμό των χώρων πρασίνου από τις δορυφορικές εικόνες και από τη διαδικασία υπολογισμού των δεικτών βιωσιμότητας.

8.4.1. Διάκριση ιδιωτικού πρασίνου

Στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης έγινε η παραδοχή ότι όλο το πράσινο που εντοπίστηκε από τις δορυφορικές εικόνες μέσω του δείκτη βλάστησης NDVI, αποτελούσε εκτάσεις δημόσιων χώρων πρασίνου. Στην πραγματικότητα, για τους δείκτες βιωσιμότητας απαιτείται ο υπολογισμός των εκτάσεων των χώρων πρασίνου στους οποίους έχουν πρόσβαση οι πολίτες, δηλαδή των δημόσιων χώρων πρασίνου. Επομένως, σε επόμενη φάση θα ήταν χρήσιμος ο διαχωρισμός των ιδιωτικών από τους δημόσιους χώρους. Η διάκριση αυτή θα μπορούσε να επιτευχθεί με τη βοήθεια του ρυμοτομικού σχεδίου των πόλεων και με τη χρήση βάσεων δεδομένων. Με τον τρόπο αυτό, ο υπολογισμός των δεικτών βιωσιμότητας θα ήταν πιο ακριβής και ορθός.

8.4.2. Εικόνες καλύτερης ανάλυσης

Τα φασματικά κανάλια Red και Nir1 των εικόνων του Sentinel – 2 που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό της βλάστησης μέσω του NDVI έχουν χωρική ανάλυση 10 m. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα, ο εντοπισμός των εκτάσεων πρασίνου που ήταν μικρότερες των 100 m², δεν μπόρεσε να επιτευχθεί από τον αλγόριθμο και έτσι αρκετό πράσινο δεν αξιοποιήθηκε στον υπολογισμό των δεικτών βιωσιμότητας. Για την επίλυση του προβλήματος αυτού, θα ήταν χρήσιμη η αξιοποίηση εικόνων πολύ υψηλής ανάλυσης, όπως εικόνες Quickbird ή Ikonos των οποίων η διακριτική ικανότητα των καναλιών ενδιαφέροντος είναι 2,5 m και 4 m αντίστοιχα [86].

8.4.3. Σύνδεση με άλλους δείκτες

Προκειμένου να υπάρξει μια πιο ολοκληρωμένη εκτίμηση της βιωσιμότητας των πόλεων, θα μπορούσε να γίνει σύνδεση των δεικτών βιωσιμότητας που υπολογίστηκαν με άλλους δείκτες και την παραγωγή σύνθετων δεικτών. Οι συνδεδεμένοι δείκτες θα μπορούσαν να είναι είτε περιβαλλοντικοί (π.χ. δείκτης προσβασιμότητας στους χώρους πρασίνου) όπως είναι αυτοί που προέκυψαν στην παρούσα μελέτη είτε ακόμα οικονομικοί (π.χ. ποσοστό ανεργίας, ποσοστό πράσινων θέσεων εργασίας στην τοπική οικονομία) και κοινωνικοί (π.χ. πληθυσμιακή πυκνότητα, ποσοστό εγκληματικότητας, δείκτης ανθρώπινης ανάπτυξης).

8.4.4. Απόσταση από χώρους πρασίνου

Σύμφωνα με τον Παγκόσμιο Οργανισμό Υγείας σε κάθε πόλη οφείλουν να αντιστοιχούν τουλάχιστον 9 m² χώρων πρασίνου ανά κάτοικο και η έκταση αυτή να απέχει έως 15 λεπτά με τα πόδια από τις κατοικίες. Βεβαίως, για κάθε πόλη και κάθε χώρα υπάρχουν διαφορετικά σταθερότυπα, τα οποία ωστόσο δεν διαφέρουν ιδιαίτερα από τους στόχους που ορίζονται από τον WHO. Συνεπώς, για την περαιτέρω βελτίωση των αποτελεσμάτων που προσέφερε ο δείκτης «έκταση χώρων πρασίνου ανά κάτοικο» θα μπορούσε να γίνει έλεγχος της εγγύτητας των κατοικιών από τους χώρους πρασίνου. Ο έλεγχος αυτός απαιτεί δεδομένα πολύ υψηλής ανάλυσης, ώστε στη συνέχεια να γίνει τοπολογία με βάση την τοποθεσία.

8.4.5. Συσχέτιση με άλλα δεδομένα

Τέλος, χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την αλγοριθμική διαδικασία της παρούσας μελέτης θα μπορούσε να γίνει επιπλέον μελέτη συσχέτισης με άλλου είδους δεδομένα που πραγματεύονται την ανθρώπινη υγεία. Κι αυτό γιατί, θα ήταν χρήσιμη η αξιολόγηση

της πιθανότητας αιτιώδους σχέσης μεταξύ της φύσης και της υγείας σε ένα αστικό περιβάλλον αφού σε παγκόσμια κλίμακα πάνω από τον μισό πληθυσμό ζει στις πόλεις. Για παράδειγμα, δεδομένα των οποίων θα μπορούσε να ελεγχθεί η συσχέτιση με το αστικό πράσινο είναι αυτά που αφορούν στις καρδιαγγειακές ασθένειες (CVD), στις νόσους του αναπνευστικού (respiratory diseases), στον μεταβολισμό (metabolic) και στην παχυσαρκία (obesity).

Αναφορές

- [1] “Sustainability | Free Full-Text | Exploring the Quality of Urban Green Spaces Based on Urban Neighborhood Green Index—A Case Study of Guangzhou City.” <https://www.mdpi.com/2071-1050/11/19/5507> (accessed Jun. 25, 2023).
- [2] J. Maas, R. A. Verheij, P. P. Groenewegen, S. de Vries, and P. Spreeuwenberg, “Green space, urbanity, and health: how strong is the relation?,” *J. Epidemiol. Community Health*, vol. 60, no. 7, pp. 587–592, Jul. 2006, doi: 10.1136/jech.2005.043125.
- [3] A. E. Van Den Berg, T. Hartig, and H. Staats, “Preference for Nature in Urbanized Societies: Stress, Restoration, and the Pursuit of Sustainability,” *J. Soc. Issues*, vol. 63, no. 1, pp. 79–96, 2007, doi: 10.1111/j.1540-4560.2007.00497.x.
- [4] R. L. Coley, W. C. Sullivan, and F. E. Kuo, “Where Does Community Grow?: The Social Context Created by Nature in Urban Public Housing,” *Environ. Behav.*, vol. 29, no. 4, pp. 468–494, Jul. 1997, doi: 10.1177/001391659702900402.
- [5] P. Bolund and S. Hunhammar, “Ecosystem services in urban areas,” *Ecol. Econ.*, vol. 29, no. 2, pp. 293–301, May 1999, doi: 10.1016/S0921-8009(99)00013-0.
- [6] O. Gilbert, *The Ecology of Urban Habitats*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [7] R. A. Fuller and K. J. Gaston, “The scaling of green space coverage in European cities,” *Biol. Lett.*, vol. 5, no. 3, pp. 352–355, Feb. 2009, doi: 10.1098/rsbl.2009.0010.
- [8] D. L. Badiu *et al.*, “Is urban green space per capita a valuable target to achieve cities’ sustainability goals? Romania as a case study,” *Ecol. Indic.*, vol. 70, pp. 53–66, Nov. 2016, doi: 10.1016/j.ecolind.2016.05.044.
- [9] “Green Areas, the Most Significant Indicator of the Sustainability of Cities: Research on Their Utility for Urban Planning | Journal of Urban Planning and Development | Vol 137, No 3.” https://ascelibrary.org/doi/full/10.1061/%28ASCE%29UP.1943-5444.0000060?casa_token=aEnfscMdjrIAAAAA%3AMorqygAvJWI5hqsx8EpSp1ZsCdxN0318Xke2hHdA2U7IDRv_j2TjkZ8A2yy0_dWd66LSFjrZW6 (accessed Jun. 23, 2023).
- [10] T. T. Van, N. D. H. Tran, H. D. X. Bao, D. T. T. Phuong, P. K. Hoa, and T. T. N. Han, “Optical Remote Sensing Method for Detecting Urban Green Space as Indicator Serving City Sustainable Development,” *Proceedings*, vol. 2, no. 3, Art. no. 3, 2017, doi: 10.3390/ecsa-4-04932.
- [11] Α. Γλαντζή, Α. Glantzi, Β. Ράμφου, and V. Ramfou, “Αστικοί πράσινοι χώροι: ιστορική διερεύνηση της εξέλιξής τους και εισαγωγή στην έννοια της βιωσιμότητας,” *Urban green spaces: historical investigation of their evolution and introduction to the concept of sustainability*, Sep. 2012, doi: 10.26240/heal.ntua.241.
- [12] B. Biggs and E. H. published, “What is a satellite?,” *Space.com*, Jan. 17, 2022. <https://www.space.com/24839-satellites.html> (accessed May 02, 2023).
- [13] S. May, “What Is a Satellite?,” *NASA*, Jun. 16, 2015. <http://www.nasa.gov/audience/forstudents/5-8/features/nasa-knows/what-is-a-satellite-58.html> (accessed May 02, 2023).
- [14] “Components of a Satellite,” *Space Foundation*. https://www.spacefoundation.org/space_brief/satellite-components/ (accessed May 03, 2023).
- [15] InformationQ.com, “What is Satellite? | Types of Satellite | Components of Satellite | InforamtionQ.com,” Jun. 02, 2021. <https://informationq.com/satellite-overview/> (accessed May 03, 2023).

- [16] “Rockets and Satellites,” *ClassHall.com*. <https://classhall.com/lesson/rockets-and-satellites/> (accessed Jun. 04, 2023).
- [17] T. Mai, “What are passive and active sensors?,” *NASA*, May 06, 2015. http://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_passive_active.html (accessed May 09, 2023).
- [18] “Band Definition | GIS Dictionary.” <https://support.esri.com/en-us/gis-dictionary/band> (accessed May 03, 2023).
- [19] “What are spectral bands in remote sensing?,” *Quora*. <https://www.quora.com/What-are-spectral-bands-in-remote-sensing> (accessed May 04, 2023).
- [20] “Relevant Papers.” http://portal.survey.ntua.gr/main/labs/rsens/DeCETI/NTUA/papers/Metsovo_full_Greek.htm (accessed May 12, 2023).
- [21] J. W. Merchant, “Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective,” *Cartogr. Geogr. Inf. Sci.*, vol. 27, no. 4, pp. 311–311, Oct. 2000.
- [22] GISGeography, “What is NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)?,” *GIS Geography*, May 09, 2017. <https://gisgeography.com/ndvi-normalized-difference-vegetation-index/> (accessed Jun. 14, 2023).
- [23] N. Pettorelli, J. O. Vik, A. Mysterud, J.-M. Gaillard, C. J. Tucker, and N. Chr. Stenseth, “Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change,” *Trends Ecol. Evol.*, vol. 20, no. 9, pp. 503–510, Sep. 2005, doi: 10.1016/j.tree.2005.05.011.
- [24] G. Zulian, F. Marando, L. Mentaschi, C. Alzetta, B. Wilk, and J. Maes, “Green balance in urban areas as an indicator for policy support: a multi-level application,” *One Ecosyst.*, vol. 7, p. e72685, Nov. 2022, doi: 10.3897/oneeco.7.e72685.
- [25] J. W. Rouse, R. H. Haas, D. W. Deering, J. A. Schell, and J. C. Harlan, “Monitoring the Vernal Advancement and Retrogradation (Green Wave Effect) of Natural Vegetation,” E75-10354, Nov. 1974. Accessed: May 09, 2023. [Online]. Available: <https://ntrs.nasa.gov/citations/19750020419>
- [26] Α. Λέκα, “Περιβαλλοντική αστική βιωσιμότητα σε μεσαίας κλίμακας παράκτιες πόλεις: προσέγγιση με περιβαλλοντικούς δείκτες,” Διδακτορική Διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο (ΕΜΠ). Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών (ΣΑΤΜ), 2012. Accessed: Jun. 09, 2023. [Online]. Available: <http://hdl.handle.net/10442/hedi/28513>
- [27] Π. Νταϊλιάνη, *Περιβαλλοντικοί δείκτες στον Βιώσιμο Αστικό Σχεδιασμό*. 2015.
- [28] Α. Μωραΐτη, *Η χρήση δεικτών ως εργαλείο μέτρησης της βιωσιμότητας πόλεων*. 2014.
- [29] Χ. Κ. Βιλάνου, *Το αστικό πράσινο και η εκτίμηση επάρκειας σε Ευρωπαϊκές πόλεις: Η περίπτωση της πόλης της Καβάλας*. 2014.
- [30] A. Russo and G. T. Cirella, “Modern Compact Cities: How Much Greenery Do We Need?,” *Int. J. Environ. Res. Public Health*, vol. 15, no. 10, p. 2180, Oct. 2018, doi: 10.3390/ijerph15102180.
- [31] M. O. Šćitaroci and M. Marić, “Morphological characteristics of green spaces in fortified towns and cities,” *Urban Morphol.*, vol. 23, no. 1, Art. no. 1, 2019, doi: 10.51347/jum.v23i1.4079.
- [32] “ΦΕΚ 285/D, 2004,” *ΦΕΚ 285/D, 2004*. <https://yperdiavgeia.gr/laws/view/179574> (accessed Jun. 03, 2023).
- [33] O. Mutanga and L. Kumar, “Google Earth Engine Applications,” *Remote Sens.*, vol. 11, no. 5, Art. no. 5, Jan. 2019, doi: 10.3390/rs11050591.

- [34] Q. Zhao, L. Yu, X. Li, D. Peng, Y. Zhang, and P. Gong, “Progress and Trends in the Application of Google Earth and Google Earth Engine,” *Remote Sens.*, vol. 13, no. 18, Art. no. 18, Jan. 2021, doi: 10.3390/rs13183778.
- [35] “What is REST API (RESTful API)?,” *App Architecture*. <https://www.techtarget.com/searcharchitecture/definition/RESTful-API> (accessed Apr. 26, 2023).
- [36] N. Gorelick, M. Hancher, M. Dixon, S. Ilyushchenko, D. Thau, and R. Moore, “Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone,” *Remote Sens. Environ.*, vol. 202, pp. 18–27, Dec. 2017, doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.
- [37] “Sentinel-2 - Satellite Description - Sentinel Online,” *Sentinel Online*. <https://copernicus.eu/missions/sentinel-2/satellite-description> (accessed Apr. 25, 2023).
- [38] “MSI Instrument – Sentinel-2 MSI Technical Guide – Sentinel Online,” Oct. 17, 2020. <https://web.archive.org/web/20201017053209/https://earth.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/msi-instrument> (accessed May 01, 2023).
- [39] “Python (programming language) ~ Information Technology ~ 2420 ~ kelas-karyawan-bali.kurikulum.org.” http://kelas-karyawan-bali.kurikulum.org/IT/en/2420-2301/Python_3721_kelas-karyawan-bali-kurikulumngetesumum.html (accessed Jun. 24, 2023).
- [40] G. van Rossum, “Python reference manual,” Art. no. R 9525, Jan. 1995, Accessed: Apr. 28, 2023. [Online]. Available: <https://ir.cwi.nl/pub/5008>
- [41] “A Python Book: Beginning Python, Advanced Python, and Python Exercises,” Jun. 23, 2012. https://web.archive.org/web/20120623165941/http://cutter.rexx.com/~dkuhlman/python_book_01.html#part-1-beginning-python (accessed Apr. 27, 2023).
- [42] E. Bisong, “Google Colaboratory,” in *Building Machine Learning and Deep Learning Models on Google Cloud Platform: A Comprehensive Guide for Beginners*, E. Bisong, Ed., Berkeley, CA: Apress, 2019, pp. 59–64. doi: 10.1007/978-1-4842-4470-8_7.
- [43] “What is Google Colab?,” *Android Police*, Mar. 09, 2023. <https://www.androidpolice.com/google-colab-explainer/> (accessed Apr. 28, 2023).
- [44] “Libraries in Python,” *GeeksforGeeks*, Oct. 16, 2021. <https://www.geeksforgeeks.org/libraries-in-python/> (accessed Apr. 29, 2023).
- [45] “Matplotlib — Visualization with Python.” <https://matplotlib.org/> (accessed Apr. 29, 2023).
- [46] C. R. Harris *et al.*, “Array programming with NumPy,” *Nature*, vol. 585, no. 7825, Art. no. 7825, Sep. 2020, doi: 10.1038/s41586-020-2649-2.
- [47] T. Oliphant, *Guide to NumPy*. 2006.
- [48] “What is Folium? | Domino Data Science Dictionary.” <https://www.dominodatalab.com/data-science-dictionary/folium> (accessed Apr. 29, 2023).
- [49] G. Bradski and A. Kaehler, *Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library*. O’Reilly Media, Inc., 2008.
- [50] “Python bindings — GDAL documentation.” https://gdal.org/api/python_bindings.html (accessed May 18, 2023).
- [51] A. Graser and V. Olaya, “Processing: A Python Framework for the Seamless Integration of Geoprocessing Tools in QGIS,” *ISPRS Int. J. Geo-Inf.*, vol. 4, no. 4, Art. no. 4, Dec. 2015, doi: 10.3390/ijgi4042219.

- [52] “gdal_calc.py — GDAL documentation.” https://gdal.org/programs/gdal_calc.html (accessed May 18, 2023).
- [53] “ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΘΗΝΑΣ,” *ADDMA*. https://develop.thisisathens.org/el/xarakteristika-tis-athinas?fbclid=IwAR1mWBG5144P7u2VSPYG4jIFnapojO2WfQAV8GBL_GGylJ7gfPHM3iVih_U (accessed Jun. 03, 2023).
- [54] “Το κλίμα της Αττικής | Weather in Greece.” http://www.weather-in-greece.gr/Attica_climate?fbclid=IwAR3NjluCMuHxqeC2HMJ9Ro2_70I7MpcXCPaNmMGom9xlfu1K2IKA3xoYhxY (accessed Jun. 03, 2023).
- [55] “Προσομοίωση ιστορικών δεδομένων κλίματος και καιρού για Αθήνα,” *meteoblue*. https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%ce%91%ce%b8%ce%ae%ce%bd%ce%b1_%ce%95%ce%bb%ce%bb%ce%ac%ce%b4%ce%b1_264371 (accessed Jun. 04, 2023).
- [56] “Περιβάλλον,” *Δήμος Αθηναίων*. <https://www.cityofathens.gr/thema/perivallon/> (accessed Jun. 03, 2023).
- [57] “η Αθήνα σε αριθμούς,” *Δήμος Αθηναίων*. <https://www.cityofathens.gr/i-athina/i-athina-se-arithmoys/> (accessed May 18, 2023).
- [58] “Στατιστικές - ELSTAT.” <https://www.statistics.gr/el/statistics/-/publication/SAM03/2011> (accessed May 18, 2023).
- [59] “Bern, CH Climate Zone, Monthly Weather Averages and Historical Data.” <https://tckctck.org/switzerland/bern> (accessed Jun. 02, 2023).
- [60] “Προσομοίωση ιστορικών δεδομένων κλίματος και καιρού για Βέρνη,” *meteoblue*. https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%ce%92%ce%ad%cf%81%ce%bd%ce%b7_%ce%95%ce%bb%ce%b2%ce%b5%cf%84%ce%af%ce%b1_2661552 (accessed Jun. 04, 2023).
- [61] “Population of Bern 2023 — Switzerland.” <https://www.aznations.com/population/ch/cities/bern> (accessed Jun. 02, 2023).
- [62] “Bern (Verwaltungskreis Bern-Mittelland, Bern, Switzerland) - Population Statistics, Charts, Map, Location, Weather and Web Information.” https://www.citypopulation.de/en/switzerland/bern/bern/0351__bern/ (accessed Jun. 02, 2023).
- [63] “Ville de Bruxelles | IBSA.” <https://ibsa.brussels/chiffres/chiffres-cles-par-commune/ville-de-bruxelles> (accessed Jun. 01, 2023).
- [64] S. Eggimann, “Expanding urban green space with superblocks,” *Land Use Policy*, vol. 117, p. 106111, Jun. 2022, doi: 10.1016/j.landusepol.2022.106111.
- [65] “Brussels climate: weather by month, temperature, rain - Climates to Travel.” <https://www.climatestotravel.com/climate/belgium/brussels> (accessed Jun. 02, 2023).
- [66] “Brussels Climate, Weather By Month, Average Temperature (Belgium) - Weather Spark.” <https://weatherspark.com/y/51121/Average-Weather-in-Brussels-Belgium-Year-Round> (accessed Jun. 02, 2023).
- [67] “Προσομοίωση ιστορικών δεδομένων κλίματος και καιρού για Βρυξέλλες,” *meteoblue*. https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%ce%92%cf%81%cf%85%ce%be%ce%ad%ce%bb%ce%bb%ce%b5%cf%82_%ce%92%ce%ad%ce%bb%ce%b3%ce%b9%ce%bf_2800866 (accessed Jun. 04, 2023).

- [68] “Flora | Belgium.be.” <https://www.belgium.be/en/environment/flora> (accessed Jun. 04, 2023).
- [69] “Region of Brussels (Belgium): Municipalities - Population Statistics, Charts and Map.” <http://www.citypopulation.de/en/belgium/brussels/> (accessed Jun. 01, 2023).
- [70] M. Lowe *et al.*, “City planning policies to support health and sustainability: an international comparison of policy indicators for 25 cities,” *Lancet Glob. Health*, vol. 10, no. 6, pp. e882–e894, Jun. 2022, doi: 10.1016/S2214-109X(22)00069-9.
- [71] “GeoHack - Lisbon.” [https://geohack.toolforge.org/geohack.php?pagename=Lisbon¶ms=38_42_49.75_N_9_8_21.79_W_type:city\(2042326\)_region:PT](https://geohack.toolforge.org/geohack.php?pagename=Lisbon¶ms=38_42_49.75_N_9_8_21.79_W_type:city(2042326)_region:PT) (accessed May 31, 2023).
- [72] “Lisbon - Education, Cultural Renaissance, and Religious Culture in Lisbon | Britannica,” May 05, 2023. <https://www.britannica.com/place/Lisbon> (accessed May 20, 2023).
- [73] R. Adler *et al.*, “The Global Precipitation Climatology Project (GPCP) Monthly Analysis (New Version 2.3) and a Review of 2017 Global Precipitation,” *Atmosphere*, vol. 9, no. 4, p. 138, Apr. 2018, doi: 10.3390/atmos9040138.
- [74] “Προσομοίωση ιστορικών δεδομένων κλίματος και καιρού για Λισαβόνα,” *meteoblue*. https://www.meteoblue.com/el/%CE%BA%CE%B1%CE%B9%CF%81%CF%8C%CF%82/historyclimate/climatemodelled/%ce%9b%ce%b9%cf%83%ce%b1%ce%b2%cf%8e%ce%bd%ce%b1_%ce%a0%ce%bf%cf%81%cf%84%ce%bf%ce%b3%ce%b1%ce%bb%ce%af%ce%b1_2267057 (accessed Jun. 04, 2023).
- [75] C. Reis and A. Lopes, “Evaluating the Cooling Potential of Urban Green Spaces to Tackle Urban Climate Change in Lisbon,” *Sustainability*, vol. 11, no. 9, Art. no. 9, Jan. 2019, doi: 10.3390/su11092480.
- [76] “Portal do INE.” https://www.ine.pt/xportal/xmain?xpid=INE&xpgid=ine_publicacoes&PUBLICACOESpub_boui=11677508&PUBLICACOESmodo=2 (accessed May 23, 2023).
- [77] “Lisboa – Capital Verde da Europa 2020.” <https://cor.europa.eu/pt/news/Pages/Lisbon-Europe-s-Green-Capital-in-2020.aspx> (accessed Jun. 22, 2023).
- [78] “Lisboa-Capital Verde Europeia 2020 | Eurocid - Informação europeia ao cidadão.” <https://eurocid.mne.gov.pt/artigos/lisboa-capital-verde-europeia-2020> (accessed Jun. 22, 2023).
- [79] “Όρια Δημοτικών Κοινοτήτων Δήμου Αθηναίων - Όρια Δημοτικών Κοινοτήτων Δήμου Αθηναίων - GEODATA.gov.gr.” <https://geodata.gov.gr/en/dataset/op1a-anuot1kwv-ko1votntwv/resource/c3af3bce-b69e-4af8-9352-27ee0a6bfbc> (accessed Jun. 15, 2023).
- [80] “data.geo.admin.ch.” <https://data.geo.admin.ch/> (accessed Jun. 15, 2023).
- [81] “Administrative boundaries for Brussels Capital Regional municipalities | Metabolism of Cities Data Hub.” <https://data.metabolismofcities.org/library/33886/> (accessed Jun. 15, 2023).
- [82] “Limite de Concelho.” <https://geodados-cml.hub.arcgis.com/maps/limite-de-concelho> (accessed Jun. 15, 2023).
- [83] “EFFIS - Country/Regional Wildfire Maps.” <https://effis.jrc.ec.europa.eu/reports-and-publications/countryregional-wildfire-maps> (accessed Jun. 22, 2023).
- [84] Reuters, “Hundreds of firefighters battle blaze near Lisbon,” *Reuters*, Aug. 01, 2022. Accessed: Jun. 22, 2023. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/world/europe/hundreds-firefighters-battle-blaze-near-lisbon-2022-07-31/>

- [85] “20170814_Portugal_ForestFires.png (Εικόνα PNG, 1040 × 720 εικονοστοιχεία) — Σε κλίμακα (90%).” https://effis-gwis-cms.s3.eu-west-1.amazonaws.com/effis/reports-and-publications/ercc-daily-map/20170814_Portugal_ForestFires.png (accessed Jun. 22, 2023).
- [86] “EraNET - Ορθοφωτογραφίες - Δορυφόροι.” <http://www.eranet.gr/ortho/html/gsatellites.html> (accessed Jun. 23, 2023).

Παραρτήματα

I. Κώδικας σε γλώσσα προγραμματισμού Python

GEE – NDVI

```
import ee

ee.Authenticate()

ee.Initialize()

#coords = (37.97914, 23.72637) athens
coords = (38.742521, -9.148194)
# geometry = ee.Geometry.Point([23.72694781139181, 37.98330694451044])
# KATHORISMOS PERIOXHS MELETHS
geometry = ee.Geometry.Rectangle([[ -9.242551, 38.676908], [ -
9.077026, 38.805405]])

location = geometry.coordinates().getInfo()
print(location)

s2 = ee.ImageCollection('COPERNICUS/S2_HARMONIZED')
rgbVis = {
    'min':0,
    'max':3000,
    'bands':['B4', 'B3', 'B2']}
}

# PERIORISMOI NEFOKALUPSIS
def maskS2clouds(image):
    qa = image.select('QA60')
    cloudBitMask = 1 << 10
    cirrusBitMask = 1 << 11
    mask =
qa.bitwiseAnd(cloudBitMask).eq(0).And(qa.bitwiseAnd(cirrusBitMask).eq(0))
    return image.updateMask(mask).select("B.").copyProperties(image,
["system:time_start"])

# KATHORISMOS PERIODOU MELETHS
filtered = s2.filter(ee.Filter.date('2016-01-01', '2022-12-
31')).filter(ee.Filter.lt('CLOUDY_PIXEL_PERCENTAGE',
5)).filter(ee.Filter.bounds(geometry)).map(maskS2clouds)

def addNDVI(image):
```

```
    ndvi = image.normalizedDifference(['B8', 'B4']).rename('ndvi')

return image.addBands(ndvi)

withNdvi = filtered.map(addNDVI)
median = withNdvi.median()

import folium

def addLayer (self, ee_image_object, vis_params, name):
    map_id_dict = ee.Image(ee_image_object).getMapID(vis_params)
    folium.raster_layers.TileLayer(
        tiles = map_id_dict['tile_fetcher'].url_format,
        attr = 'Map Data &copy; <a
href="https://earthengine.google.com/">Google Earth Engine</a>',
        name = name,
        overlay = True,
        control = True
    ).add_to(self)

folium.Map.addLayer = addLayer

Map = folium.Map(location=coords, zoom_start = 10)

# Map.addLayer(median, rgbVis, 'Sentinel')

# Map.add_child(folium.LayerControl())

# display(Map)

# YPOLOGISMOS PLHTHOUS EIKONWN
image_ids = withNdvi.aggregate_array('system:index').getInfo()
print('Total images: ', len(image_ids))

from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

# METAFORTWSH DEDOMENWN
for i, image_id in enumerate(image_ids):
    image = ee.Image(withNdvi.filter(ee.Filter.eq('system:index',
image_id)).first())
```

```
task = ee.batch.Export.image.toDrive(**{
    'image': image.select('ndvi'),
    'description': 'Image Export {}'.format(i+1),
    'fileNamePrefix': image.id().getInfo(),
    'folder': 'Lisboa',
    'scale': 10,
    'region': geometry #image.geometry().getInfo()['coordinates'],
})
task.start()
print('Started Task: ', i+1)
```

Clip_NDVI

```
! pip install gdal

from google.colab import drive
drive.mount('/content/drive')

import subprocess
import glob
import os
import numpy
import cv2
import pandas as pd

root_path = '/content/drive/MyDrive/stella/'
city = 'Bern'

path_for_img = glob.glob(root_path+city+'/*tif')

for tile in path_for_img:

    print(tile)
    ras_out1 = tile.split("/")[6]

    ras_out = root_path+city+'_Thresh/Thresh_'+ras_out1
    print(ras_out)

# CREATE BINARY IMAGE
# Arguments.
calc_expr = '"1 * (1*(A>0.25))"'
nodata = '-999999999.0'
typeof = '"Byte"'
```

```
# Generate string of process.
gdal_calc_str = 'python {0} -A {1} --outfile={2} --calc={3} --
NoDataValue={4} --type={5}'
gdal_calc_process = gdal_calc_str.format(gdal_calc_path, tile,
ras_out, calc_expr, nodata, typeof)

# Call process.
os.system(gdal_calc_process)

! pip install GDAL

from osgeo import gdal

# CLIP AREA
path_for_Th =
glob.glob('/content/drive/MyDrive/stella/Lisboa_Thresh/*.tif')

for Thresh_tile in path_for_Th:

    shpin =
'/content/drive/MyDrive/stella/Lisboa_Shp/Lisboa_municipality.shp'

    print(Thresh_tile)
    ras_out1 = Thresh_tile.split("/")[6]
    print(ras_out1)
    ras_out2 = root_path+city+'_clipped/clipped_'+ras_out1
    print(ras_out2)
    print("")

    out = root_path+city+'_clipped/clipped_'+ras_out1

    gdal.Warp(out, Thresh_tile, cutlineDSName=shpin,
cutlineLayer='Lisboa_municipality', cropToCutline=True)

    #cmd2 = ['gdalwarp', '-of', 'GTiff', '-cutline', shpin, '-cl', city, '-
crop_to_cutline', '-dstnodata', '-999999999.0', Thresh_tile, ras_out]
    # cmd2 = ['gdalwarp', '-of', 'GTiff', '-cutline', shpin, '-cl', city, '-
crop_to_cutline', '-dstnodata', '-999999999.0', Thresh_tile, out]
    #cmd2 = ['gdalwarp', '-cutline', shpin, '-crop_to_cutline', '-dstalpha',
Thresh_tile, out]

    # outDs = gdal.Warp()

    # subprocess.call(cmd2)
```

```
# subprocess.run(cmd2)

#gdal.Warp(out, Thresh_tile, cutlineDSName=shpin, cutlineLayer='Athens',
cropToCutline=True)
```

```
path_for_cl_Th =
glob.glob('/content/drive/MyDrive/stella/Bern_clipped/*.tif')

# EMVADO PERIOXHS MELETHS
Lisboa_area = 51618797
# POP PERIOXHS MELETHS
Lisboa_pop = 133115
deikths = []
deikthspp = []
dates = []
green_area = []
for cl_tile in path_for_cl_Th:

    date1 = cl_tile.split("/") [6]
    date = date1.split("_") [2] [0:8]
    print(date)
    #read the image
    img = cv2.imread(cl_tile, -1)

    height, width = img.shape
    # print(height, width)
    print(numpy.unique(img))

    total_white_pixels = numpy.sum(img > 0)
    print(total_white_pixels)
    total_black_pixels = numpy.sum(img == 0)
    # print(total_black_pixels)
    print(height*width)
    print(total_white_pixels+total_black_pixels)
    area = 100*total_white_pixels
    print("total white pixels: ", area)
    print("Green area sum : ",area, "m^2")
    db = area/Lisboa_area
    print("deikths bioshmothtas prasinoy : ",db)
    dbpp = area/Lisboa_pop
    print("deikths bioshmothtas prasinoy pp : ",dbpp)
    print("")
```

```
deikths.append(db)
deikthspp.append(dbpp)
dates.append(date)
green_area.append(area)
# total_black_pixels = numpy.sum(img == 0)
# prs_0 = numpy.sum(img == 0) / (height * width)
# print("percentage of black pixels : ", prs_0)
# print("total black pixels: ", numpy.sum(img == 0))
# print("")
```

II. Αποτελέσματα αλγοριθμικής διαδικασίας

Παρακάτω παρατίθεται ένας υπερσύνδεσμος που αφορά στο αποθετήριο των αποτελεσμάτων των διαδικασιών. Αυτός περιλαμβάνει όλες τις εικόνες και τα csv που προέκυψαν για κάθε πόλη ξεχωριστά.

<https://drive.google.com/drive/folders/19sYwofo0vmZM8WDLrvGRGLOaCmgcs1Fn?fbclid=IwAR0kb66BCsdzQO-34vJQya4hCg-Wx2FeBcnEnWSY7vt1pRD5kUZ4ShHIGX8>

III. Χάρτες

Στο παρόν παράρτημα παρατίθενται χαρτογραφικά προϊόντα από τις περιοχές μελέτης που απεικονίζουν το αποτέλεσμα της αλγοριθμικής διαδικασίας εντοπισμού βλάστησης με την εφαρμογή του δείκτη NDVI σε πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες Sentinel – 2.

