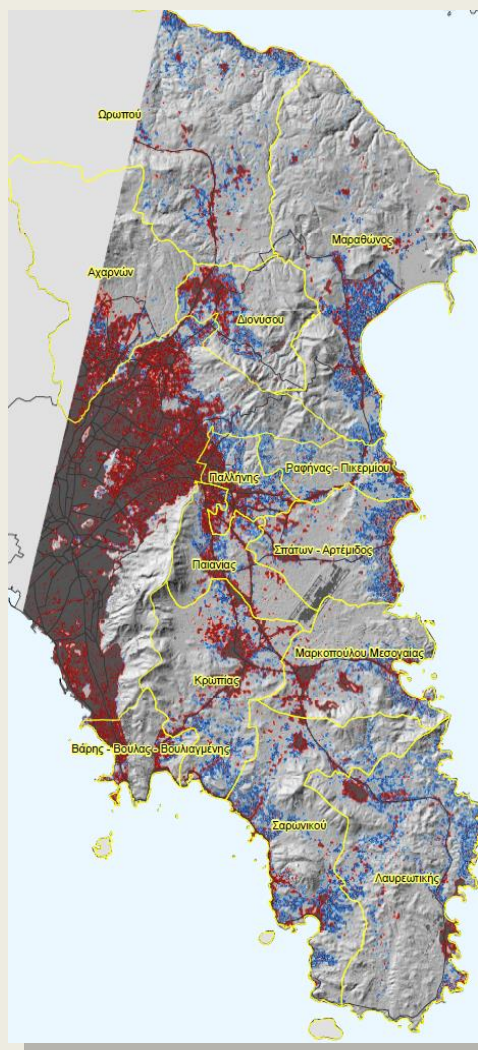


Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

**«Υπολογιστική προσομοίωση της μελλοντικής
επέκτασης αστικών περιοχών με χρήση Κυψελοειδών
Αυτομάτων και GIS: Εφαρμογή του υποδείγματος
SLEUTH στην ανατολική Αττική για δύο τύπους
αστικότητας»**



Μαρία Ν. Σκιαδά

Επιβλέπων

Γεώργιος Ν. Φώτης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2016



Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία

«Υπολογιστική προσομοίωση της μελλοντικής επέκτασης
αστικών περιοχών με χρήση Κυψελοειδών Αυτομάτων
και GIS: Εφαρμογή του υποδείγματος SLEUTH στην
ανατολική Αττική για δύο τύπους αστικότητας»

Μαρία Ν. Σκιαδά

Τριμελής Εξεταστική Επιτροπή

Γ. Φώτης

Δ. Μέλισσας

Α. Σιόλας

.....

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Καθηγητής Ε.Μ.Π.

.....

Ομ. Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αφιερώνεται

*στους γονείς μου
Νίκο και Λένα,*

*στον αδερφό μου
Σπύρο,*

στην Κλεοπάτρα και την Ελευθερία

ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Το παρόν τεύχος με τίτλο «Υπολογιστική προσομοίωση της μελλοντικής επέκτασης αστικών περιοχών με χρήση Κυψελοειδών Αυτομάτων και GIS: Εφαρμογή του υποδείγματος SLEUTH στην ανατολική Αττική για δύο τύπους αστικότητας» αποτελεί μεταπτυχιακή εργασία που εκπονήθηκε στο πλαίσιο ολοκλήρωσης του μεταπτυχιακού προγράμματος «Γεωπληροφορική» της Σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Η ανάθεση του θέματος της διπλωματικής πραγματοποιήθηκε από τον κ. Γιώργο Φώτη, καθηγητή του τομέα Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών Ε.Μ.Π..

Ο Αγρονόμος και Τοπογράφος Μηχανικός ασχολείται με ένα ευρύ φάσμα επιστημονικών πεδίων, ανάμεσα στα οποία συγκαταλέγεται η γεωδαισία, η φωτογραμμετρία, η τηλεπισκόπηση, ο χωρικός σχεδιασμός, το περιβάλλον, η διαχείριση των υδατικών πόρων, το κτηματολόγιο, τα συγκοινωνιακά και πλήθος άλλων. Στο πλαίσιο αυτό, η διείσδυση των σύγχρονων τεχνολογιών στα αντικείμενα ενασχόλησης του Τοπογράφου Μηχανικού, έχει συντελέσει σημαντικά στη διεύρυνση των αντικειμένων αυτών και έχει προσδώσει σε αυτά νέες ενδιαφέρουσες διαστάσεις. Όσον αφορά στον τομέα της διαχείρισης των φυσικών πόρων και το χωρικό σχεδιασμό, η ενσωμάτωση των νέων τεχνολογιών και μεθόδων παρατήρησης γης στο επιστημονικό φάσμα του Αγρονόμου και Τοπογράφου Μηχανικού συνεισφέρουν σημαντικά στη δυνατότητα διαμόρφωσης μιας ολοκληρωμένης προσέγγισής τους και στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων με σκοπό την ορθολογική διαχείριση των φυσικών πόρων και το βιώσιμο αστικό και περιφερειακό σχεδιασμό.

Στο σημείο αυτό, θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους όσους συνέβαλλαν στην επιτυχή ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας. Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέπων καθηγητή μου κ. Γιώργο Φώτη για την καθοδήγηση που μου παρείχε καθώς και για τις καίριες παρατηρήσεις και επισημάνσεις του σε όλα τα στάδια εκπόνησης της εργασίας. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω τον Στέλιο Μαθιουλάκη, Τοπογράφο Μηχανικό, ο οποίος με βοήθησε να αντιμετωπίσω τεχνικά ζητήματα που ανέκυψαν στην πορεία εκπόνησης της διπλωματικής και αφορούσαν δυσκολίες του μοντέλου που εφαρμόστηκε στο πλαίσιο της εργασίας. Τέλος, ευχαριστώ θερμά τους γονείς μου για την αμέριστη στήριξή τους, που με συνοδεύει από την αρχή των σπουδών μου και αποτελεί το θεμέλιο όλων των αποφάσεων και προσπαθειών μου.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	
ΠΡΟΛΟΓΟΣ – ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ	7
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	8
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ	9
Περίληψη	10
Abstract.....	11
1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	12
1.1. Καθορισμός Στόχου	12
1.2. Διάρθρωση Εργασίας	13
2. ΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΧΥΣΗ	15
2.1. Ορισμός Αστικής Διάχυσης	15
2.2. Ατίες Αστικής Διάχυσης.....	20
2.3. Συνέπειες Αστικής Διάχυσης	23
2.4. Τύποι Αστικής Διάχυσης.....	25
3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ	28
3.1. Πολυπλοκότητα και Συστήματα.....	28
3.2. Σημασία Αστικών Μοντέλων.....	29
3.3. Θεωρητικές Προσεγγίσεις Αστικών Μοντέλων	30
3.4. Μέθοδοι Μοντελοποίησης της Αστικής Ανάπτυξης.....	32
3.5. Κυψελοειδή Αυτόματα.....	36
3.5.1. Χαρακτηριστικά και μαθηματική αναπαράσταση των ΚΑ.....	38
3.5.2. Πλεονεκτήματα Κυψελοειδών Αυτομάτων στην Αστική Μοντελοποίηση.....	40
3.5.3. Μοντέλο αστικής διάχυσης Sleuth	41
4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	44
4.1. Περιγραφή και Καθορισμός Περιοχής Μελέτης.....	44
4.2. Καταγραφή Φυσικού Περιβάλλοντος.....	46
4.2.1. Μορφολογία.....	46
4.2.2. Υδρογραφικό δίκτυο	46
4.2.3. Ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά	46
4.2.4. Χλωρίδα - Πανίδα.....	48
4.3. Καταγραφή Ανθρωπογενούς Περιβάλλοντος.....	48
4.3.1. Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά	48
4.3.2. Οικονομική δομή.....	53
5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SLEUTH ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ	55
5.1. Συλλογή Πρωτογενών Δεδομένων	56
5.1.1. Τοπογραφική κλίση	57

5.1.2.	Οδικό δίκτυο	58
5.1.3.	Περιοχές αστικής χρήσης	59
5.1.4.	Εξαιρούμενες περιοχές	65
5.1.5.	Σκίαση αναγλύφου	65
5.2.	Δοκιμή Μοντέλου.....	66
5.3.	Βαθμονόμηση Μοντέλου	66
5.3.1.	Στάδιο Coarse	69
5.3.2.	Στάδιο fine	69
5.3.3.	Στάδιο final	70
5.3.4.	Στάδιο derive coefficient values	70
5.4.	Πρόγνωση Μοντέλου	70
6.	ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ.....	72
6.1.	Αποτελέσματα Βαθμονόμησης Μοντέλου	73
6.1.1.	Συμπεριφορά των δεικτών.....	73
6.1.2.	Εύρη παραμέτρων βαθμονόμησης	76
6.1.3.	Συμπεριφορά παραμέτρων.....	80
6.2.	Αποτελέσματα Πρόβλεψης Μοντέλου	83
6.2.1.	Συμπεριφορά των δεικτών.....	84
6.2.2.	Συμπεριφορά των παραμέτρων κατά την πρόγνωση.....	87
6.2.3.	Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων	90
7.	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	101
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	104
	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΡΤΩΝ	111

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1-1: Διάρθρωση της εργασίας	14
Διάγραμμα 4-1: Πληθυσμιακή εξέλιξη περιφέρειας Αττικής.....	49
Διάγραμμα 4-2: Πληθυσμιακή κατανομή Αττικής σε περιφερειακές ενότητες.....	50
Διάγραμμα 4-3: Κατανομή πληθυσμού π.ε. Ανατολικής Αττικής ανά δήμο.....	52
Διάγραμμα 4-4: Οικονομικά ενεργός και μη ενεργός πληθυσμός π.ε. Ανατολικής Αττικής	53
Διάγραμμα 5-1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας της εργασίας.....	55
Διάγραμμα 6-1: Εξαγόμενοι δείκτες για τη βαθμονόμηση πυκνής αστικής δόμησης	74
Διάγραμμα 6-2: Εξαγόμενοι δείκτες για τη βαθμονόμηση αραιής αστικής δόμησης	75
Διάγραμμα 6-3: Εξαγόμενοι δείκτες για τη βαθμονόμηση ενιαίας αστικής δόμησης	76
Διάγραμμα 6-4: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη πυκνής αστικής δόμησης... ..	85
Διάγραμμα 6-5: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη αραιής αστικής δόμησης	86
Διάγραμμα 6-6: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη ενιαίας αστικής δόμησης... ..	87
Διάγραμμα 6-7: Χωρικό πρότυπο επιπλέον πρόβλεψης (ενιαία πρόβλεψη)	99
Διάγραμμα 6-8: Χωρικό πρότυπο επιπλέον πρόβλεψης (σύνθεση προβλέψεων)... ..	99
Διάγραμμα 6-9: Χωρικό πρότυπο κοινής πρόβλεψης.....	99

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2-1: Πρότυπα αστικής διάχυσης	26
Εικόνα 2-2: Τύποι αστικής διάχυσης με βάση τη μορφή.....	27
Εικόνα 3-1: Το μοντέλο των ομόκεντρων ζωνών των Park και Burgess	30
Εικόνα 3-2: Το τομεακό μοντέλο του Hoyt	30
Εικόνα 3-3: Το μοντέλο των πολλαπλών πυρήνων των Chauncy και Ullman	30
Εικόνα 3-4: Παράδειγμα εφαρμογής του game of life	37
Εικόνα 3-5: Γειτονιά Von Neumann και γειτονιά Moore σε δισδιάστατα ΚΑ	39
Εικόνα 4-1: Γεωγραφική θέση της ευρύτερης περιοχής μελέτης.....	44
Εικόνα 4-2: Περιοχή μελέτης.....	45
Εικόνα 5-1: Επίπεδο κλίσεων	58
Εικόνα 5-2: Επίπεδο οδικού δικτύου 1995	59
Εικόνα 5-3: Επίπεδο οδικού δικτύου 2016	59
Εικόνα 5-4: Δορυφορική εικόνα για το έτος 1995	60
Εικόνα 5-5: Αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνας 1995.....	60
Εικόνα 5-6: Δορυφορική εικόνα για το έτος 2002	61
Εικόνα 5-7: Αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνας 2002.....	61
Εικόνα 5-8: Δορυφορική εικόνα για το έτος 2009	61
Εικόνα 5-9: Αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνας 2009.....	61
Εικόνα 5-10: Δορυφορική εικόνα για το έτος 2016,	62
Εικόνα 5-11: Αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνας 2016.....	62
Εικόνα 5-12: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πυκνής αστικής δομησης έτους 1995	63
Εικόνα 5-13: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αραιής αστικής δομησης έτους 1995.....	63
Εικόνα 5-14: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ενιαίας αστικής δομησης έτους 1995	63
Εικόνα 5-15: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πυκνής αστικής δομησης έτους 2002	63
Εικόνα 5-16: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αραιής αστικής δομησης έτους 2002.....	63
Εικόνα 5-17: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ενιαίας αστικής δομησης έτους 2002	63

Εικόνα 5-18: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πυκνής αστικής δομησης έτους 2009	64
Εικόνα 5-19: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αραιής αστικής δομησης έτους 2009.....	64
Εικόνα 5-20: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ενιαίας αστικής δομησης έτους 2009	64
Εικόνα 5-21: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πυκνής αστικής δομησης έτους 2016	64
Εικόνα 5-22: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αραιής αστικής δομησης έτους 2016.....	64
Εικόνα 5-23: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ενιαίας αστικής δομησης έτους 2016	64
Εικόνα 5-24: Επίπεδο εξαιρούμενων περιοχών από την αστικοποίηση (άσπρο χρώμα)	65
Εικόνα 5-25: Επίπεδο σκίασης αναγλύφου	66
Εικόνα 6-1: Πρόβλεψη ανάπτυξης πυκνής αστικής δόμησης	91
Εικόνα 6-2: Πρόβλεψη ανάπτυξης αραιής αστικής δόμησης.....	92
Εικόνα 6-3: Σύνθεση προβλέψεων ανάπτυξης πυκνής και αραιής αστικής δόμησης	94
Εικόνα 6-4: Πρόβλεψη ανάπτυξης ενιαίας αστικής δόμησης	97

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2-1: Ορισμοί «Αστικής Διάχυσης»	17
Πίνακας 2-2: Βασικές αιτίες της αστικής διάχυσης	21
Πίνακας 2-3: Βασικές συνέπειες της αστικής διάχυσης	23
Πίνακας 2-4: Τύποι της αστικής διάχυσης	25
Πίνακας 4-1: Περιοχές προστασίας περιοχής μελέτης.....	47
Πίνακας 4-2: Βιότοποι Αττικής	47
Πίνακας 4-3: Καταφύγια άγριας ζωής Αττικής	48
Πίνακας 4-4: Πληθυσμιακή εξέλιξη π.ε. Ανατολικής Αττικής ανά δήμο	51
Πίνακας 4-5: Πληθυσμιακή πυκνότητα δήμων π.ε. Ανατολικής Αττικής	52
Πίνακας 4-6: Οικονομικώς ενεργός πληθυσμός π.ε. Ανατολικής Αττικής και παραγωγικοί τομείς	54
Πίνακας 5-1: Απαιτούμενα επίπεδα πληροφορίας εισόδου	56
Πίνακας 5-2: Υπολογιστικοί χρόνοι σταδίου βαθμονόμησης.....	69
Πίνακας 6-1: Συμπεριφορά δεικτών στη βαθμονόμηση πυκνής αστικής δόμησης... 73	
Πίνακας 6-2: Συμπεριφορά δεικτών στη βαθμονόμηση αραιής αστικής δόμησης... 74	
Πίνακας 6-3: Συμπεριφορά δεικτών στη βαθμονόμηση ενιαίας αστικής δόμησης .. 75	
Πίνακας 6-4: Αποτελέσματα παραμέτρων βαθμονόμησης πυκνής αστικής δόμησης	77
Πίνακας 6-5: Αποτελέσματα παραμέτρων βαθμονόμησης αραιής αστικής δόμησης	78
Πίνακας 6-6: Αποτελέσματα παραμέτρων βαθμονόμησης ενιαίας αστικής δόμησης	79
Πίνακας 6-7: Συμπεριφορά παραμέτρων βαθμονόμησης πυκνής αστικής δόμησης 81	
Πίνακας 6-8: Τελικές τιμές παραμέτρων αραιής αστικής δόμησης	81
Πίνακας 6-9: Συμπεριφορά παραμέτρων βαθμονόμησης αραιής αστικής δόμησης 82	
Πίνακας 6-10: Τελικές τιμές παραμέτρων αραιής αστικής δόμησης	82
Πίνακας 6-11: Συμπεριφορά παραμέτρων βαθμονόμησης ενιαίας αστικής δόμησης	83
Πίνακας 6-12: Τελικές τιμές παραμέτρων αραιής αστικής δόμησης	83
Πίνακας 6-13: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη πυκνής αστικής δόμησης	85
Πίνακας 6-14: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη Αραιής Αστικής Δόμησης	86
Πίνακας 6-15: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη ενιαίας αστικής δόμησης	87

Πίνακας 6-16: Συμπεριφορά παραμέτρων πρόβλεψης πυκνής αστικής δόμησης	88
Πίνακας 6-17: Συμπεριφορά παραμέτρων πρόβλεψης αραιής αστικής δόμησης	89
Πίνακας 6-18: Συμπεριφορά παραμέτρων πρόβλεψης ενιαίας αστικής δόμησης	90
Πίνακας 6-19: Πιθανότητες αστικοποίησης για την πυκνή αστική δόμηση	91
Πίνακας 6-20: Πιθανότητες αστικοποίησης για την αραιή αστική δόμηση.....	92
Πίνακας 6-21: Πιθανότητες αστικοποίησης για την πυκνή και την αραιή αστική δόμηση.....	95
Πίνακας 6-22: Μεταβολή αστικής κάλυψης (σύνθεση προβλέψεων)	95
Πίνακας 6-23: Μεταβολή αραιής αστικής κάλυψης (σύνθεση προβλέψεων).....	96
Πίνακας 6-24: Πιθανότητες μεταβολής αραιής σε πυκνή αστική δόμηση (σύνθεση προβλέψεων).....	96
Πίνακας 6-25: Πιθανότητες αστικοποίησης για την ενιαία αστική δόμηση	97
Πίνακας 6-26: Μεταβολή αστικής κάλυψης (ενιαία πρόβλεψη)	98
Πίνακας 6-27: Σύγκριση αστικής κάλυψης ενιαίας πρόβλεψης-σύνθεσης προβλέψεων	98

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 1: Πρόβλεψη ανάπτυξης πυκνής αστικής δόμησης	112
Χάρτης 2: Πρόβλεψη ανάπτυξης αραιής αστικής δόμησης	113
Χάρτης 3: Σύνθεση προβλέψεων ανάπτυξης πυκνής και αραιής αστικής δόμησης	114
Χάρτης 4: Πρόβλεψη ανάπτυξης ενιαίας αστικής δόμησης.....	115

Περίληψη

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη του φαινομένου της αστικής διάχυσης και συγκεκριμένα στην υπολογιστική προσομοίωση της μελλοντικής επέκτασης αστικών περιοχών. Ο στόχος της μελέτης αφορά στη μοντελοποίηση και τη πρόγνωση της αστικής ανάπτυξης στην περιοχή της ανατολικής Αττικής (case study) και στην δημιουργία μιας μεθοδολογικής προσέγγισης ικανής να διαχειρίζεται διαφορετικούς τύπους αστικότητας, κατά τη μελέτη του φαινομένου της αστικής διάχυσης.

Πιο συγκεκριμένα, μέσω της συνδυαστικής χρήσης του κυψελοειδούς αυτόματου μοντέλου αστικής ανάπτυξης SLEUTH και των GIS, μοντελοποιήθηκε η αστική ανάπτυξη και εκτιμήθηκαν οι μελλοντικές τάσεις εξάπλωσης του αστικού ιστού στην περιοχή για το έτος 2036. Πιο αναλυτικά, πραγματοποιήθηκε μοντελοποίηση και πρόβλεψη της ανάπτυξης για δύο αστικούς τύπους στην ανατολική Αττική (πυκνή και αραιή αστική δόμηση) και στη συνέχεια οι δύο προβλεψεις συνδυάστηκαν κατάλληλα μεταξύ τους, ώστε να προκύψει τελικά ένα συνολικό αποτέλεσμα, στο οποίο να εμπεριέχεται το σύνολο της χωρικής πληροφορίας σχετικά με την αστική ανάπτυξη στην περιοχή.

Τέλος, προκειμένου να διαπιστωθεί η πιστότητα του συνολικού αυτού αποτελέσματος, πραγματοποιήθηκε αλληλεπίθεση και σύγκρισή του με τα αποτελέσματα του μοντέλου SLEUTH για την ενιαία αστική δόμηση στην περιοχή. Από τη σύγκριση αυτή, προέκυψε ότι το παραγόμενο συνολικό αποτέλεσμα είναι ικανοποιητικά αξιόπιστο, γεγονός που αναδεικνύει τα πλεονεκτήματα της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε. Τα τελικά αποτελέσματα αποτελούν χάρτες, στους οποίους απεικονίζονται οι περιοχές που πιθανολογείται να μετατραπούν σε περιοχές πυκνής ή αραιής αστικής δόμησης, με τις αντίστοιχες πιθανότητες αστικοποίησης σε κάθε περίπτωση.

Εν κατακλείδι, τα Κυψελοειδή Αυτόματα αποδείχθηκαν ιδιαίτερα χρήσιμα στο πλαίσιο της προσέγγισης του φαινομένου της αστικής εξάπλωσης, σε όρους χωρικής μοντελοποίησης και πρόβλεψης, ενώ καθοριστικό ρόλο διαδραμάτισαν τα GIS, αναδεικνύοντας έτσι τα οφέλη που μπορούν να αποκομιστούν από τη συνδυαστική χρήση τους με ένα μοντέλο αστικής ανάπτυξης, όπως εν προκειμένω είναι το SLEUTH.

Λέξεις Κλειδιά: αστική διάχυση, αστικά μοντέλα, Κυψελοειδή Αυτόματα, μοντέλο SLEUTH, GIS, χωρική μοντελοποίηση, χωρική ανάλυση, τύποι αστικότητας.

Abstract

The current thesis is focusing on the computational simulation and modeling of urban areas future expansion. The aim of the study concerns the modeling and prediction of urban development in the region of Eastern Attica (case study) and the construction of a methodological approach capable of managing different types of urbanization.

More specifically, through the combined use of the SLEUTH model and GIS, the urban development has been modeled respectively and the future spreading trends have been estimated for the year 2036. Particularly, the urban growth of two types in Eastern Attica (high and low urban growth) has been modeled and predicted. Eventually, these forecasts were combined appropriately to produce a final prediction, which included the set of spatial information of urban development in this region.

Finally, in order to verify the validity of the overall prediction, this forecast was compared with the results of SLEUTH model for the unified urban growth in the area. From this comparison, it has been revealed that the resulting overall information is sufficiently reliable, which highlights the advantages of the methodology applied. The final results consist of maps, which demonstrate the most likely areas to be converted into high or low urban areas, followed with the corresponding probability in each case.

In conclusion, the cellular automatic model appeared particularly accurate in terms of spatial modeling and forecasting of urban sprawl, whilst the implementation of GIS enhanced the degree of validity and led in more reliable results, indicating the benefits that can be derived from their combined use.

Keywords: urban sprawl, urban models, cellular automata, SLEUTH model, GIS, spatial modeling, spatial analysis, urbanization types.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αστική διάχυση αποτελεί μια από τις πιο εντυπωσιακές ανθρωπογενείς διεργασίες μετατροπής της φυσικής γης σε τεχνητή, γεγονός που την καθιστά ιδιαίτερα ενδιαφέρον ερευνητικό αντικείμενο, κυρίως στους τομείς των γεωγραφικών επιστημών. Η γνώση και η κατανόηση της εξέλιξης των πολύπλοκων αστικών συστημάτων συνιστούν αναγκαίες παραμέτρους του αστικού σχεδιασμού. Έτσι, η ανάγκη για μοντελοποίηση, προσομοίωση και πρόβλεψη των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα κατά την εξέλιξη μίας πόλης, οδήγησε στην ανάπτυξη και την εξέλιξη υπολογιστικών μεθόδων μοντελοποίησης αυτών των μοτίβων. Στο πλαίσιο αυτό, τα μοντέλα αστικής ανάπτυξης (urban growth models) αποτελούν την αναπαράσταση των διαδικασιών και λειτουργιών που παράγουν τις αστικές δομές σε όρους χρήσης γης, πληθυσμού, εργασίας και μεταφορών και υλοποιούνται συνήθως μέσω προγραμμάτων σε ηλεκτρονικό υπολογιστή, δίνοντας την δυνατότητα αφενός να τεσταριστούν θεωρίες χωρικής ανάλυσης έναντι δεδομένων εισόδου και αφετέρου να προκύψουν προβλέψεις μελλοντικών εικόνων (Batty, 2009). Η χρήση των κατάλληλων μοντέλων για την προσομοίωση της αστικής διάχυσης είναι ένα από τα εργαλεία που μπορούν να αξιοποιηθούν με στόχο τη βιώσιμη διαχείρισή της και για το λόγο αυτό τείνουν να διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στη διαδικασία λήψης αποφάσεων κατά τον αστικό σχεδιασμό.

Η Αθήνα αποτελεί μια σύγχρονη πόλη, που τις τελευταίες δεκαετίες διαχέεται προς τα προάστια της με ρυθμούς εντατικούς, στο πλαίσιο κοινωνικοοικονομικών και περιβαλλοντικών αλληλεπιδράσεων. Η διάχυση της Αθήνας συνεπάγεται αστικές πιέσεις, που ασκούνται στα πέριξ αστικά συστήματα. Η ανατολική Αττική αποτελεί περιφερειακή ενότητα της Αττικής, η οποία γεννήθηκε και αναπτύχθηκε στη βάση της απορρόφησης αυτών των αστικών πιέσεων, ενώ πλέον συνιστά μια αυτόνομη οντότητα που επεκτείνεται και διαχέεται με τη σειρά της στον αστικό χώρο. Στην παρούσα εργασία, μελετάται η αστική διάχυση στην ανατολική Αττική, ύπο το πρίσμα της μοντελοποίησης και της πρόγνωσης της δομής των δυναμικών φαινομένων που εξελίσσονται χωρικά και χρονικά στην περιοχή μελέτης.

1.1. Καθορισμός Στόχου

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη της αστικής διάχυσης στην ανατολική Αττική. Για τους σκοπούς της μοντελοποίησης και της πρόγνωσης της αστικής διάχυσης στην περιοχή μελέτης, γίνεται χρήση μιας κατηγορίας αστικών μοντέλων, των Κυψελοειδών Αυτομάτων και πιο συγκεκριμένα του μοντέλου αστικής ανάπτυξης SLEUTH. Καθώς μία σημαντική αδυναμία του SLEUTH είναι ότι αντιλαμβάνεται την κατάσταση κάθε στοιχείου που μελετάται ως δυαδική, δηλαδή μπορεί να είναι είτε αστικό είτε μη αστικό στοιχείο, δε δύναται να αντιμετωπίσει και να διαχειριστεί περισσότερους από έναν τύπους αστικότητας και επομένως να

μοντελοποιήσει την συμπεριφορά διαφορετικών αστικών τύπων στο μέλλον. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε η συνδυαστική χρήση του μοντέλου SLEUTH με τα GIS, τα οποία προσφέρουν δυνατότητες περαιτέρω ενσωμάτωσης, χωρικής ανάλυσης και οπτικοποίησης, ώστε να πραγματοποιηθεί η μοντελοποίηση δύο διαφορετικών αστικών τύπων (πυκνή και αραιή αστική δόμηση) και να προβλεφθεί πιο ρεαλιστικά η αστική ανάπτυξή τους στην περιοχή μελέτης.

Στο πλαίσιο αυτό, ο στόχος της μελέτης αποκτά διττή διάσταση: αφενός επιχειρείται η μοντελοποίηση και η πρόγνωση της αστικής ανάπτυξης στην περιοχή της ανατολικής Αττικής και αφετέρου αναπτύσσεται μια μεθοδολογική προσέγγιση ικανή να διαχειρίζεται διαφορετικούς τύπους αστικότητας, κατά τη μελέτη του φαινομένου της αστικής διάχυσης.

1.2. Διάρθρωση Εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε επτά βασικά κεφάλαια, καθένα από τα οποία αποτελείται από επιμέρους ενότητες.

Πιο συγκεκριμένα, στο πρώτο κεφάλαιο πραγματοποιείται μια μικρή εισαγωγή στο αντικείμενο της εργασίας, καθορίζεται ο στόχος της και καταγράφεται η διάρθρωσή της σε κεφάλαια.

Στο δεύτερο κεφάλαιο, πραγματοποιείται η καταγραφή και η ανάλυση των βασικών θεωρητικών εννοιών που σχετίζονται με το αντικείμενο της εργασίας. Συγκεκριμένα, ορίζεται η αστική διάχυση, ενώ παράλληλα καταγράφονται τα αίτια και οι συνέπειες του φαινομένου. Επίσης, περιγράφονται οι τύποι της αστικής διάχυσης.

Ακολούθως, το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανάλυση των αστικών μοντέλων, αναφέρεται στη σημασία τους στη μοντελοποίηση της αστικής διάχυσης, καταγράφονται οι θεωρητικές προσεγγίσεις και οι μέθοδοι μοντελοποίησης που ακολουθούνται, ενώ τέλος ιδιαίτερη έμφαση δίνεται στην περιγραφή των χαρακτηριστικών και των πλεονεκτημάτων των Κυψελοειδών Αυτομάτων και ειδικότερα του μοντέλου αστικής ανάπτυξης SLEUTH.

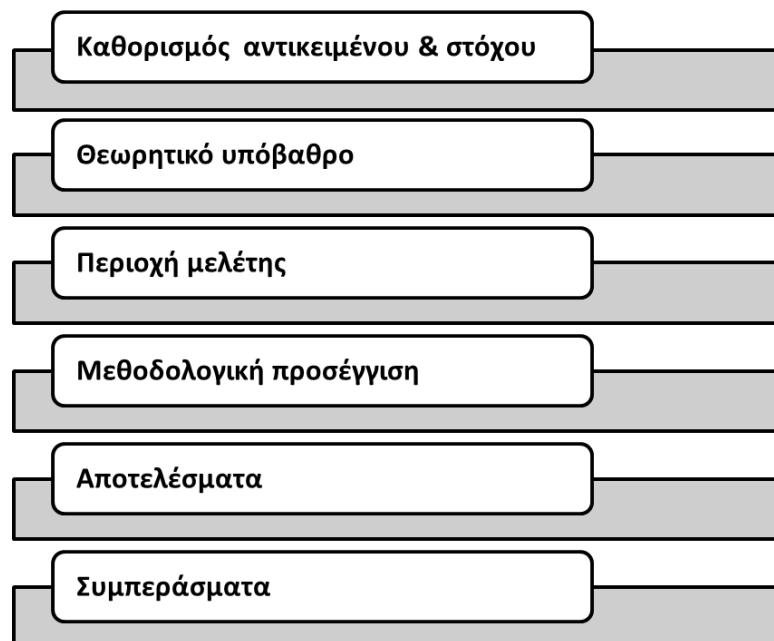
Στη συνέχεια, το τέταρτο κεφάλαιο της εργασίας αφορά στην περιγραφή της περιοχής μελέτης. Στο κεφάλαιο αυτό, περιγράφεται και αναλύεται η υφιστάμενη κατάσταση του φυσικού και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος της ανατολικής Αττικής, ώστε να καταστεί σαφές το προφίλ της περιοχής.

Στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μοντελοποίηση και η

πρόγνωση της ανάπτυξης των δύο αστικών τύπων στην περιοχή της ανατολικής Αττικής. Για το σκοπό αυτό, περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία μοντελοποίησης και πρόγνωσης, όπως αυτή εκτελέσθηκε, με τη βοήθεια διαγραμμάτων και εικόνων.

Στο έκτο κεφάλαιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, πραγματοποιείται ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν μετά την εκτέλεση της μεθοδολογικής προσέγγισης που εφαρμόσθηκε. Η ανάλυση αυτή έχει δύο βασικές κατευθύνσεις, την ανάλυση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης και την ανάλυση των αποτελεσμάτων της πρόγνωσης.

Τέλος, στο έβδομο κεφάλαιο καταγράφονται τα συμπεράσματα που προέκυψαν με την ολοκλήρωση της παρούσας μελέτης καθώς και προτάσεις για μελλοντική περαιτέρω εξέλιξη της σχετικής έρευνας.



Διάγραμμα 1-1: Διάρθρωση της εργασίας

2. ΑΣΤΙΚΗ ΔΙΑΧΥΣΗ

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζεται και αναλύεται το φαινόμενο της αστικής διάχυσης, η οποία αποτελεί τον βασικό όρο – άξονα της παρούσας εργασίας. Αρχικά, καταγράφονται οι ορισμοί του όρου που απαντώνται στη βιβλιογραφία και ακολούθως αναλύονται οι κυριότερες αιτίες και συνέπειες της αστικής διάχυσης. Στη συνέχεια, γίνεται καταγραφή των τύπων της, όπως αυτοί καταγράφονται στη σχετική βιβλιογραφία. Το παρόν κεφάλαιο έχει ιδιαίτερη σημασία, προκειμένου να αποσαφηνιστούν βασικές θεωρητικές έννοιες που συνιστούν το θεωρητικό υπόβαθρο, πάνω στο οποίο βασίζεται η μελέτη.

2.1. Ορισμός Αστικής Διάχυσης

Ο όρος «αστική διάχυση» χρησιμοποιείται στις επιστήμες της πολεοδομίας, της χωροταξίας και του περιβάλλοντος περσοσότερο από μισό αιώνα. Πράγματι, ο όρος «διάχυση» (sprawling) χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά το 1937, από τον αρχιτέκτονα Earl Draper, στα πλαίσια ενός συνεδρίου πολεοδομίας στις Η.Π.Α. και αναφερόταν σε μια «μορφή εγκαταστάσεων οικονομικά ασύμφορη και χωρίς αισθητική» ορισμένων πόλεων της Β. Αμερικής (Nechyba & Randall, 2004, Wassmer, 2002). Ωστόσο, στην προσπάθεια καταγραφής του ορισμού της «αστικής διάχυσης», διαπιστώθηκε πως δεν συναντάται στη διεθνή βιβλιογραφία ένας κοινά αποδεκτός και ακριβής ορισμός. Αντίθετα, απαντάται πληθώρα ορισμών του φαινομένου, οι οποίοι προσεγγίζουν κάθε φορά τον όρο της «αστικής διάχυσης» από διαφορετικές οπτικές και περιγράφουν την έννοια στη βάση διαφορετικών κάθε φορά χαρακτηριστικών. Αυτό εξηγείται κυρίως από την πολυπλοκότητα του φαινομένου, καθώς κάθε πόλη συνιστά μια ξεχωριστή οντότητα, στην οποία το φαινόμενο της «αστικής διάχυσης» εκδηλώνεται με διαφορετικό τρόπο, ένταση και μοτίβο, καθιστώντας έτσι δυσχερή την εξαγωγή ενιαίων συμπερασμάτων και επομένως ενός κοινού ορισμού. Δεδομένης της έλλειψης ενός κοινά αποδεκτού ορισμού, πραγματοποιείται στην παρούσα ενότητα η καταγραφή μερικών από τους ορισμούς της διεθνούς βιβλιογραφίας, οι οποίοι έχουν τύχει σχετικά ευρείας αποδοχής (Πίνακας 2-1).

Ορισμός «Αστικής Διάχυσης»	Πηγή
Αφενός, η εξάπλωση των αστικού τύπου κτηρίων στα προάστια και την αγροτική γη και αφετέρου, η μη οργανωμένη ανάπτυξη των εγκαταστάσεων της αγροτικής γης (φάρμες, κατοικίες των εργατών, βοηθητικές εγκαταστάσεις), όπως και στις πρώιμες βιομηχανικές ή εμπορικές περιοχές, όπου σιδηρουργία, χυτήρια και ορυχεία υπήρξαν τα αρχικά σημεία τέτοιων διαχύσεων. Επιπλέον, ο όρος ανταποκρίνεται και στη μη οργανωμένη ανάπτυξη της β' κατοικίας εκτός αστικού ιστού.	Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 1970
Η διαδικασία της εξάπλωσης του αστικού ιστού και της υπερβολικής χρήσης του ανοικτού χώρου από μη οργανωμένη, ασθενώς συμπυκνωμένη επέκταση του αστικού ιστού στις παρυφές αυτού.	Ermer K., Mohrmann R., Sukopp H., 1994
Η διάχυση αναγνωρίζεται ως ο συνδυασμός τριών χαρακτηριστικών: 1. Μη συνεχής, σποραδική ανάπτυξη, 2. Γραμμική εμπορική ανάπτυξη, 3. Μεγάλες επεκτάσεις χαμηλής πυκνότητας ή αποκλειστικής χρήσης εγκαταστάσεων, καθώς και από δείκτες όπως χαμηλή προσβασιμότητα και η έλλειψη λειτουργικών ανοικτών χώρων.	Ewing, 1997
Η ανάπτυξη συνοικισμών δίχως έλεγχο.	Leser and Huber-frohli, 1997
Χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη πέραν των υπηρεσιών και της απασχόλησης με ξεχωριστές περιοχές για κάθε χρήση γης και απαραίτητη τη χρήση του αυτοκινήτου.	Sierra Club, 1999
Τρόπος προαστιοποίησης ο οποίος χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλές πυκνότητες σε όλες τις χρήσεις, κυριαρχία της κίνησης με ιδιωτικό αυτοκίνητο, ανεξέλεγκτη εξάπλωση νέων υποδοχέων και διαχωρισμό των χρήσεων γης κατά δραστηριότητα.	USHUD, 1999
Η διατάραξη ή καταστροφή του τοπίου και του οικοσυστήματος από τη διάχυτη ανάπτυξη συνοικισμών εκτός των ορίων των οικισμών.	Akademie für Raumforschung und Landesplanung, 1999
Η υπερβολική χωρική ανάπτυξη των πόλεων.	Brueckner, 2000
Η μη σχεδιασμένη, μη οργανωμένη, εντατική επέκταση προς τα έξω του αστικού ιστού στον αγροτικό χώρο.	Landscape Gesellschaft für Geo-Kommunikation, 2000-2002
Ένα μοτίβο χρήσης σε μια αστική περιοχή, το οποίο παρουσιάζει χαμηλά επίπεδα κάποιου συνδυασμού οχτώ ξεχωριστών κατευθύνσεων: πυκνότητα, συνέχεια, συγκέντρωση, ομαδοποίηση, κεντρικότητα, πυρηνικότητα, μίξη χρήσεων γης και εγγύτητα.	Galster et al., 2001
Ο όρος χρησιμοποιείται ποικιλοτρόπως για να περιγράψει την αδηφάγο χρήση της γης, τη συνεχή μονότονη ανάπτυξη, μη συνεχή ανάπτυξη και αναποτελεσματική χρήση της γης.	Peiser, 2001
Απλωμένη, χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη πέραν των ορίων της πόλης, όπου οι κάτοικοι εξαρτώνται από το αυτοκίνητο για τις μετακινήσεις, καθώς κατοικούν μακριά από την εργασία τους, τα καταστήματα, τα σχολεία, τα εργαστήρια και τους χώρους για αναψυχή.	Macionis and Parillo, 2001
Ένα πρότυπο αστικής και μητροπολιτικής ανάπτυξης που αναφέρεται σε χαμηλής πυκνότητας, εξαρτημένη από το αυτοκίνητο, αποκλειστικά νέων συγκροτημάτων στις παρυφές των υφιστάμενων εγκαταστάσεων, συχνά περιμετρικά μιας παρηκμασμένης πόλης.	Squires, 2002

Το φυσικό μοτίβο της χαμηλής πυκνότητας επέκτασης μεγάλων αστικών περιοχών βάσει των επιταγών της αγοράς, κυρίως στις περιβάλλουσες αγροτικές περιοχές.	EEA, 2006
Η μη σχεδιασμένη και δίχως έλεγχο εξάπλωση της αστικής ανάπτυξης σε περιοχές στα όρια της πόλης. Ο όρος χρησιμοποιείται επίσης για να καθορίσει την εκτεταμένη, γρήγορη και μερικές φορές ριψοκίνδυνη ανάπτυξη των μητροπολιτικών περιοχών. Η αστική διάχυση χαρακτηρίζεται από διαφορετικά μοτίβα χρήσεων γης (ζωνοποίηση, συνοικισμοί εξαρτώμενοι από το αυτοκίνητο, χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη), αλλά μεγαλύτερης κλίμακας ανάπτυξη από τις ήδη υπάρχουσες περιοχές (μεγαλύτερες οδοί, μεγαλύτερα καταστήματα με χώρους στάθμευσης) και έλλειψη ποικιλίας στο σχεδιασμό, που μερικές φορές δημιουργεί την αίσθηση ομοιόμορφου αστικού περιβάλλοντος.	CEMAT, 2006
Χαμηλής πυκνότητας επέκταση μιας πόλης στην περιβάλλουσα ύπαιθρο, προωθημένη από την επιθυμία απόκτησης μονοκατοικίας.	ECP & ACE, 2010
Το φαινόμενο που μπορεί να αναγνωρισθεί οπτικά στο τοπίο. Όσο περισσότερο διαχέεται το τοπίο από κτίσματα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αστική διάχυση. Η αστική διάχυση υποδηλώνει τα όρια μιας έκτασης η οποία είναι οικοδομημένη και διασκορπισμένη στο τοπίο. Όσο μεγαλύτερη η οικοδομημένη επιφάνεια, τόσο μεγαλύτερος ο διασκορπισμός των κτηρίων, τόσο μεγαλύτερος και ο βαθμός της αστικής διάχυσης. Ο όρος χρησιμοποιείται για να περιγράψει μια κατάσταση (βαθμός διάχυσης του τοπίου), είτε μια διαδικασία (η συνεχής αύξηση της διάχυσης σε ένα τοπίο).	Jaeger et al., 2010

Πίνακας 2-1: Ορισμοί «Αστικής Διάχυσης»

Από τον πίνακα 2-1, καθίσταται σαφής η διττή διαπίστωση ότι αφενός δεν υπάρχει ένας κοινός ορισμός και αφετέρου ότι κάθε ορισμός επηρεάζεται από τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του φαινομένου στις εκάστοτε περιοχές μελέτης. Για παράδειγμα, αναφορά στο ζήτημα της εξάρτησης από τη χρήση αυτοκινήτου γίνεται σε πλήθος ορισμών της «αστικής διάχυσης» στην αμερικάνικη βιβλιογραφία (Sierra Club, 1999, USHUD, 1999, Macionis and Parillo, 2001, Squires, 2002), αλλά σε κανέναν από τους ορισμούς που αντλήθηκαν από την ευρωπαϊκή, μιας και η εξάρτηση από το αυτοκίνητο αποτέλεσε παράγοντα μείζονος σημασίας στο φαινόμενο της διάχυσης των πόλεων στην Αμερική, ενώ λιγότερο καθοριστικό ρόλο διαδραμάτισε στη διάχυση των ευρωπαϊκών πόλεων. Εξίσου χαρακτηριστικό είναι το γεγονός ότι δύο όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (CEMAT, 2006 και ECP&ACE, 2010) χρησιμοποιούν διαφορετικούς ορισμούς του ίδιου όρου σε διάστημα τετραετίας.

Από τους ορισμούς αυτούς, η πλέον απλή απόδοση του όρου της «αστικής διάχυσης» είναι αυτή του Brueckner, σύμφωνα με την οποία «αστική διάχυση είναι η υπερβολική χωρική ανάπτυξη των πόλεων», όπου η χρήση του όρου «υπερβολική» αποσκοπεί αφενός στο να επισημάνει ότι οι πόλεις μεγαλώνουν πολύ περισσότερο από όσο μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτό και λογικό και αφετέρου στο να υποδείξει ότι η ανάπτυξη των πόλεων μπορεί να συμβαίνει πιο συγκεντρωμένα και συνεκτικά (Brueckner, 2000).

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει, επίσης, ο ορισμός που αποδίδει στην έννοια της «αστικής διάχυσης» η Ευρωπαϊκή Περιβαλλοντική Υπηρεσία (ΕΕΑ) ως «το φυσικό μοτίβο της χαμηλής πυκνότητας επέκτασης μεγάλων αστικών περιοχών βάσει των επιταγών της αγοράς, κυρίως στις περιβάλλουσες αγροτικές περιοχές» (European Environmental Agency, 2000).

Το πλήθος των ορισμών της «αστικής διάχυσης» αποπειράθηκαν να κατηγοριοποιήσουν οι Longley et al το 2002, επισημαίνοντας την ύπαρξη διαφορετικών κάθε φορά χαρακτηριστικών. Έτσι κατηγοριοποίησαν τους ορισμούς με βάση:

α) τη μορφή, θεωρώντας ότι η εξάπλωση αποτελεί ζήτημα βαθμού και όχι συγκεκριμένου αστικού προτύπου. Τέτοιου είδους ορισμοί αν και έχουν υποστηριχθεί, παρουσιάζουν δυσκολίες, καθώς όλα τα φαινόμενα με όμοια χαρακτηριστικά δύνανται να κατηγοριοποιηθούν ως διάχυση.

β) τις χρήσεις γης, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα πρότυπα καλύψεων γης. Η προσέγγιση αυτή είναι υπερβολικά ευρεία και λιγότερο σύνθητης σε σχέση με την προηγούμενη.

γ) τις επιπτώσεις της διάχυσης, χρησιμοποιώντας ως παραδείγματα την έλλειψη λειτουργικού αστικού χώρου καθώς και τη μικρή προσβασιμότητα συνδεόμενων μεταξύ τους χρήσεων. Ωστόσο στην προσέγγιση αυτή ενέχεται ο κίνδυνος το σύνολο των αρνητικών συνεπειών των αστικών σχηματισμών να αποδίδονται στο φαινόμενο της διάχυσης.

δ) την πυκνότητα, θεωρώντας ότι η διάχυση συνδέεται με χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη. Ωστόσο, ο όρος χαμηλή πυκνότητα είναι σχετικός και είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί.

Ένα άλλο είδος κατηγοριοποίησης των ορισμών της διάχυσης, βάσει οικονομικών κινήτρων είναι η ακόλουθη:

α) η διάχυση ορίζεται ως μια χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη με οικιστικές χρήσεις, περιοχές αγοράς και εργασίας, που είναι αυστηρά διαχωρισμένες και χαρακτηρίζεται από την έλλειψη κέντρων δραστηριοτήτων και εναλλακτικών επιλογών στις οδικές διαδρομές (Ewing το 1997).

β) η διάχυση ορίζεται ως η χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη πέρα από τα όρια των υπηρεσιών και της εργασίας, που διαχωρίζει το που ζουν οι άνθρωποι σε σχέση με το που εργάζονται, εξ' ου και απαιτείται η χρήση μεταφορικού μέσου (Wassmer, 1998).

γ) η διάχυση ορίζεται ως μια δίχως όρια εξάπλωση της νέας ανάπτυξης προς τα έξω ή μια χαμηλής πυκνότητας επέκταση προς νέες περιοχές ανάπτυξης, καθώς και η ανάπτυξη κατά μήκος οδικών αρτηριών (Downs, 1998).

Ανάλογη προσπάθεια κατηγοριοποίησης των ορισμών της αστικής διάχυσης επιχείρησε και ο Siedentrop, επισημαίνοντας πέντε διαφορετικούς τύπους ορισμών σε σχέση με (Siedentrop, 2005):

α) τα χαρακτηριστικά της πυκνότητας ενός οικιστικού συστήματος, οπότε ως διάχυση ορίζονται οι οικιστικές μορφές χαμηλής ή μειούμενης πυκνότητας καθώς και η λειτουργική αποκέντρωση των πόλεων.

β) τις διαδικασίες αποκέντρωσης των αστικών λειτουργιών, συνδυαζόμενες με τη χωρική εξάπλωση των αστικών χρήσεων σε αγροτικές περιοχές.

γ) τα χαρακτηριστικά της μορφής και της δομής ενός οικιστικού συστήματος, οπότε ως διάχυση ορίζεται μια διαδικασία αστικής μορφής, η οποία μετατρέπει μια πρώην μονοκεντρική, συνεκτική κατασκευή σε μια ασυνεχή, πολυκεντρική και διάσπαρτη οικιστική κατασκευή.

δ) το σχεδιασμό εντός συγκεκριμένων πλαισίων και κανόνων, οπότε ως διάχυση ορίζεται η χωρίς σχεδιασμό αστική ανάπτυξη που αντιτίθεται στους στόχους και στο σκοπό της χωρικής ανάπτυξης.

ε) τα κοινωνικά χαρακτηριστικά, όπως η ανεξέλεγκτη προς τα έξω εξάπλωση της ανάπτυξης, η επικράτηση των Ι.Χ. αυτοκινήτων έναντι των μέσων μαζικής μεταφοράς, ο κατακερματισμός της γης καθώς και οι μεγάλες δημοσιονομικές ανισότητες μεταξύ μεμονωμένων κοινοτήτων. Η διάχυση ορίζεται ως μια συγκεκριμένη μορφή αστικής ανάπτυξης που χαρακτηρίζεται από την αποσπασματική, διάσπαρτη και κατά μήκος των οδικών αρτηριών ανάπτυξη, την ύπαρξη ασυνεχών και μεμονωμένων χρήσεων γης καθώς και την έλλειψη λειτουργικών ανοικτών χώρων.

Συμπερασματικά, η «αστική διάχυση» συνιστά ένα ιδιαίτερα πολυδιάστατο χωρικό φαινόμενο που δύναται να ορισθεί υπό διαφορετικές οπτικές και προσεγγίσεις. Τα χαρακτηριστικά της μελετώμενης κάθε φορά περίπτωσης υπεισέρχονται συνήθως στον ορισμό του όρου και μπορούν να διαφοροποιούν το νόημα που λαμβάνει η έννοια. Άλλωστε, κάθε πόλη αποτελεί μια ξεχωριστή οντότητα, φέρει τα δικά της χαρακτηριστικά και η διάχυσή της δύναται να πραγματοποιείται με διαφορετικό τρόπο, σε διαφορετική ένταση, για διαφορετικούς λόγους και να επιφέρει ποικίλες συνέπειες.

Επισημαίνεται ότι η διαχρονική μελέτη του φαινομένου της αστικής διάχυσης, αποδεικνύει ότι αυτή εκδηλώνεται ήδη από την απαρχή της ιστορίας των πόλεων. Έτσι, στις αρχαίες πόλεις, το κέντρο βρισκόταν εντός των τειχών και επεκτεινόταν στην περιφέρεια. Στην επέκταση αυτή, οι πυκνότητες ήταν συγκριτικά χαμηλότερες και οι εκτάσεις μεγαλύτερες αναλογικά με τον πληθυσμό.

Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα και ιδίως κατά τον 20^ο αιώνα το φαινόμενο αποκτά μεγαλύτερες διαστάσεις. Στις Η.Π.Α. και στα μεγάλα αστικά κέντρα κυρίως της Δυτικής Ευρώπης, το φαινόμενο γίνεται αισθητό στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, ενώ στην υπόλοιπη Ευρώπη η κλιμάκωση του φαινομένου λαμβάνει χώρα μετά τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. Στην περίοδο μετά από τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο, είναι πλέον δυνατό να διακριθούν διαφορετικά μοτίβα εκδήλωσης της αστικής διάχυσης στην Ευρώπη και στις Η.Π.Α.. Στην Αμερική, εντοπίζονται ως επί το πλείστον περιοχές αποκλειστικής χρήσης κατοικίας, μεγάλη ανάπτυξη του οδικού δικτύου και παράλληλη έντονη εξάρτηση από το αυτοκίνητο. Στην Ευρώπη, διακρίνονται τέσσερις διαφορετικοί τύποι, η εκδήλωση των οποίων συναρτάται από το χρόνο, την οικονομική ανάπτυξη, το μοντέλο πολιτικής και τα γεωμορφολογικά και πολιτιστικά χαρακτηριστικά της κάθε πόλης (Ντριάκος Ι., 2015).

2.2. Αιτίες Αστικής Διάχυσης

Αναγκαία κρίνεται για την περαιτέρω κατανόηση του φαινομένου της αστικής διάχυσης η καταγραφή και η ανάλυση των αιτιών της, οι οποίες παρουσιάζονται στην παρούσα ενότητα. Καθώς το φαινόμενο της αστικής διάχυσης έχει απασχολήσει διαχρονικά πολλούς μελετητές, οι αιτίες του φαινομένου έχουν καταγραφεί σε πλήθος εργασιών, χωρίς ωστόσο να παρατηρείται πλήρης ομοφωνία. Η αστική διάχυση θεωρείται ότι συναρτάται από πλήθος παραγόντων, οι οποίοι δύνανται να διαφοροποιούνται σημαντικά μεταξύ των πόλεων. Οι συσχετισμοί ανάμεσά στους εν λόγω παράγοντες ποικίλουν και συχνά ετεροκαθορίζονται από τις εκάστοτε πολιτικές, κοινωνικές και οικονομικές δομές της κάθε πόλης.

Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Περιβαλλοντική Υπηρεσία έχει προτείνει την οργάνωση των αιτιών που απαντώνται στη βιβλιογραφία σε δύο διαστάσεις: οριζόντια σε τομείς και κάθετα βάσει της χωρικής κλίμακας (Πίνακας 2-2).

Κοινωνία	Αύξηση πληθυσμού Ηλικία Μειούμενο μέγεθος κατοικιών αστικών κέντρων Ιδεολογία	Αποφάσεις ατόμων Προτιμήσεις στέγασης Ποιότητα ζωής Προβλήματα πόλεων	
Οικονομία	Παγκοσμιοποίηση Οικονομική ανάπτυξη Ευρωπαϊκή ενοποίηση Φθηνή ενέργεια	Αυξανόμενο επίπεδο ζωής Τιμή της γης Ανταγωνισμός μεταξύ των δήμων Αγορά ακινήτων	
Διακυβέρνηση	Πολιτικές Ε.Ε Διεθνείς οργανισμοί	Νομοθεσία-κανονισμοί Αδύναμος αστικός σχεδιασμός Κρατικές επιδοτήσεις αγοράς εργασίας	Μηδαμινή εφαρμογή υπάρχοντων σχεδίων
	Έλλειψη συντονισμού		
Μεταφορές	Χρήση Ι.Χ. αυτοκινήτου Διαθεσιμότητα οδικού δικτύου Ελλειμματικές δημόσιες μεταφορές		
Γη	Τοπική γεωγραφία και περιβάλλον		
	Μίκρο-κλίμακα	Μέσο-κλίμακα	Μάκρο-κλίμακα

Πίνακας 2-2: Βασικές αιτίες της αστικής διάχυσης
Πηγή: European Environmental Agency

Η οριζόντια διάσταση αφορά στους τομείς της κοινωνίας, της οικονομίας, της διακυβέρνησης, των μεταφορών και της γης, ενώ η κάθετη διάσταση κατηγοριοποιεί τα αίτια της διάχυσης με βάση την χωρική κλίμακα.

Όσον αφορά στον τομέα της κοινωνίας, κύρια αιτία θεωρείται η αύξηση του πληθυσμού (Glaeser et al. 2001, Glaeser 2005). Η αύξηση αυτή εντείνεται σε όλη την Ευρώπη, ιδιαίτερα την περίοδο μετά τον Β' παγκόσμιο πόλεμο. Όταν ο αστικός πληθυσμός αυξανεται, η πόλη αναγκαστικά πρέπει να επεκτείνει τα όρια της και συχνά η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται εις βάρος των όμορων αγροτικών περιοχών (Torrens, 2006). Άλλες αιτίες θεωρούνται το διαρκώς μειούμενο μέγεθος των κατοικιών στα αστικά κέντρα, η ηλικία και η ιδεολογία των ατόμων (EEA, 2009). Σε χαμηλότερο επίπεδο, βρίσκονται οι προσωπικές αποφάσεις και προτιμήσεις στέγασης των ατόμων, όπως επίσης και η αναζήτηση ποιότητας ζωής, συνεκτιμώντας τα διάφορα υφιστάμενα προβλήματα των πόλεων, όπως είναι ο θόρυβος, η κυκλοφοριακή συμφόρηση, η ρύπανση και η εγκληματικότητα (Couch & Karecha 2006).

Σε σχέση με τον τομέα της οικονομίας, η οικονομική ανάπτυξη αναγνωρίζεται ως ένας από τους κύριους παράγοντες της αστικής διάχυσης, που συνδέεται με την παγκοσμιοποίηση αλλά και τις διαδικασίες της Ευρωπαϊκής ενοποίησης. Έχει υποστηριχθεί ότι η αστική διάχυση μπορεί να θεωρηθεί ως ένα παραπροϊόν του μη ελεγχόμενου καπιταλιστικού συστήματος, καθώς σύμφωνα με το οικονομικό αυτό σύστημα, η αγορά κινείται με στόχο το κέρδος, ανεξάρτητα από τις επιπτώσεις στην κοινωνία ή το περιβάλλον. Πολλοί αναλυτές υποστηρίζουν ότι αυτή η επιλογή παράγει μοτίβα τα οποία είναι αντιαισθητικά, μη βιώσιμα και μη φιλικά προς το περιβάλλον (Bruegmann, 2005). Σε επίπεδο μέσο και μικρο – κλίμακας, βασικές αιτίες της αστικής διάχυσης θεωρούνται η υψηλή αξία της γης στους πυρήνες των πόλεων σε σχέση με τη συγκριτικά χαμηλότερη αξία της αγροτικής γης, ο ανταγωνισμός μεταξύ των δήμων, που συνεπάγεται νέες θέσεις εργασίας και υπηρεσιών αλλά και η διαμορφωμένη αγορά ακινήτων.

Αναφορικά με τον τομέα της διακυβέρνησης, είναι σαφές ότι οι πολιτικές της κυβέρνησης μίας χώρας δύνανται να επιφέρουν σημαντικές μεταβολές στην μορφή του αστικού ιστού. Συγκεκριμένα, μία σειρά από πολιτικές δύνανται να δημιουργήσει τα αντίστοιχα κίνητρα και τις απαιτούμενες ευκαιρίες για ανάπτυξη νέων θυλάκων κατοικιών μακριά από τις κεντρικές πόλεις ή να δημιουργήσει φραγμούς στην συμπαγή ανάπτυξη των πόλεων (Lawrence, 2005). Επισημαίνεται ότι κύριος λόγος αποτυχίας ύπαρξης ενός οργανωμένου συστήματος ελέγχου της αστικής διάχυσης συνιστά η έλλειψη συντονισμού μεταξύ των πολιτικών που ασκούνται σε επίπεδο μακρο, μέσο και μικρο – κλίμακας. Παρατηρείται έντονη αδυναμία ενσωμάτωσης των πολιτικών της Ε.Ε. αλλά και εφαρμογής των κρατικών νομοθεσιών σε επίπεδο πόλης και συνακόλουθα, η λήψη αποφάσεων και τα μέτρα πολιτικής αποκτούν αποσπασματικό χαρακτήρα και συνιστούν συνήθως αναποτελεσματικές ad-hoc παρεμβάσεις.

Όσον αφορά στον τομέα των μεταφορών, η ολοένα και εντονότερη εξάρτηση από τη χρήση ιδιωτικού αυτοκινήτου και η κατασκευή νέων συστημάτων μεταφορών συγκαταλέγονται στις βασικές αιτίες της αστικής διάχυσης. Καθώς οι αυτοκινητόδρομοι και τα μέσα μεταφοράς έχουν αναπτυχθεί, οι πολίτες πλέον μπορούν να ζουν άνετα στα προάστια (Rui, 2013). Μάλιστα, με την παραδοχή ότι η διάχυση γεννήθηκε στην Αμερική, μία από τις πλέον βασικές αιτίες της αποτελεί το γεγονός ότι η ίδια η κουλτούρα των Αμερικάνων επιτάσσει να μένουν σε περιοχές εκτός του κύριου αστικού ιστού, καθώς στη συνείδησή τους τα προάστια συνιστούν ιδανικότερο μέρος για να ζεις, ενώ το μητροπολιτικό κέντρο προσφέρεται περισσότερο για χρήσεις γης που αφορούν σε αναψυχή και κατανάλωση. Έτσι, προκύπτει η ανάγκη για απομάκρυνση από τον πυρήνα της πόλης και η γέννηση της διάχυσης (Bruegmann, 2005). Παράλληλα, οι πληθυσμιακές πυκνότητες τείνουν να αυξάνονται γύρω από νέα σημεία πρόσβασης (Handy, 2005) και όταν τα κόστη μεταφοράς πέσουν κάτω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι και τα εισοδήματα

φθάσουν σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο, ο ρυθμός της διάχυσης επιταχύνεται, καθώς η διάχυση είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο σε περιοχές όπου τα εισοδήματα είναι υψηλά και τα μεταφορικά κόστη χαμηλά (Wu, 2006). Σημειώνεται επίσης η συμβολή της ανάπτυξης των μέσων μαζικής μεταφοράς στην εξέλιξη του φαινομένου της αστικής διάχυσης, ιδίως σε Ευρωπαϊκές χώρες, όπως η Βρετανία (Chin, 2002, Batty, Besussi & Chin 2003).

Τέλος, στον τομέα των γεωγραφικών χαρακτηριστικών, η τοπική γεωγραφία και το περιβάλλον αποτελούν παράγοντες που επηρεάζουν τη διάχυση των πόλεων σε μέσο και μικρο – κλίμακα. Για παράδειγμα, είναι σαφές ότι οι παράκτιες ή οι ορεινές περιοχές έχουν πολύ διαφορετικές επιλογές ανάπτυξης από ότι οι πεδινές, λόγω των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών τους (Kasanko et al., 2006).

2.3. Συνέπειες Αστικής Διάχυσης

Αναγκαία κρίνεται για την περαιτέρω κατανόηση του φαινομένου της «αστικής διάχυσης» η καταγραφή και η ανάλυση των συνεπειών της, οι οποίες αναπτύσσονται στην παρούσα ενότητα. Οι επιπτώσεις της αστικής διάχυσης διακρίνονται σε περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (Πίνακας 2-3).

Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις	
Ρύπανση της ατμόσφαιρας και του νερού	Κοινωνικό-οικονομικός διχασμός	Κοινωνικό επίπεδο
Διασπάθιση των φυσικών πόρων	Αύξηση των δαπανών των νοικοκυριών για μετακινήσεις	Οικονομικό επίπεδο
Διατάραξη ή απώλεια περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών	Κόστος επέκτασης των αστικών υποδομών	
	Αναστολή ανάπτυξης των δημόσιων μεταφορών	Ψυχολογικό επίπεδο
	Αποξένωση ατόμων	
	Κρούσματα επιθετικότητας	

Πίνακας 2-3: Βασικές συνέπειες της αστικής διάχυσης

Σε ότι αφορά στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις, σε αυτές συγκαταλέγονται η ρύπανση της ατμόσφαιρας και του νερού, η διασπάθιση των φυσικών πόρων και η

διατάραξη ή η απώλεια περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών (Kahn, 2000). Επισημαίνεται ότι οι συνέπειες στο περιβάλλον δύνανται να γίνουν αισθητές σε τοπική, περιφερειακή, εθνική αλλά και παγκόσμια κλίμακα.

Πιο αναλυτικά, η εξάρτηση από το αυτοκίνητο έχει συντελέσει καθοριστικά σε μειώσεις στην ποιότητα του αέρα. Η εξάρτηση από τη χρήση του ιδιωτικού αυτοκινήτου σε καθημερινή βάση από τους κατοίκους των προαστίων προς τα μητροπολιτικά κέντρα, οδηγεί σωρευτικά σε αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα, που αποδεδειγμένα αποτελεί μία από τις βασικές αιτίες όξυνσης του φαινομένου του θερμοκηπίου, επομένως πρόκειται για συνέπεια παγκόσμιας κλίμακας (Nechyba & Walsh, 2004).

Ταυτόχρονα, η διάχυση συνεπάγεται αναγκαστικά κατανάλωση γης. Η γη όμως αποτελεί πεπερασμένο, μη ανανεώσιμο φυσικό πόρο, ενώ η διαδικασία μετατροπής της φυσικής γης σε αστική είναι μόνιμη και μη αντιστρέψιμη ή αντιστρέψιμη μόνο με πολύ υψηλά κόστη. (Porter, 2000). Μάλιστα, συχνά η διάχυση πραγματοποιείται σε βάρος των εγγύς προστατευόμενων περιοχών, οι οποίες επηρεάζονται αρνητικά σε ολόένα και μεγαλύτερο βαθμό, δεδομένης της αυξανόμενης προσβασιμότητας των αστικών δραστηριοτήτων σε αυτές, του παραγόμενου θορύβου, της ρύπανσης της ατμόσφαιρας και του νερού. Πράλληλα, ο κατακερματισμός μεγάλων φυσικών εκτάσεων μπορεί να αναστείλει τις κινήσεις της άγριας ζωής. Τέλος, σημειώνεται ότι η απώλεια της γης, των οικοτόπων και των ενδιαιτημάτων αποτελούν άμεσες και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις στο περιβάλλον (Peck, 1998).

Σε ό,τι αφορά στις κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις, σε αυτές συγκαταλέγονται κοινωνικές, οικονομικές, αλλά και ψυχολογικές επιπτώσεις (Barnes, Morgan, Roberge & Lowe, 2001). Σε κοινωνικό επίπεδο, η διάχυση οδηγεί σε έντονους διαχωρισμούς κατά την οικιστική ανάπτυξη, με αποτέλεσμα τον κοινωνικό και οικονομικό διχασμό μεταξύ των διαφόρων πληθυσμιακών ομάδων. Η κοινωνική πόλωση που συνδέεται με τη διάχυση είναι σε ορισμένες πόλεις, τόσο εμφανής, οπότε και εμφανίζεται η έννοια «διπλή πόλη», που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαίρεση μεταξύ του εσωτερικού πυρήνα της πόλης και των προαστιακών περιχώρων: στο εσωτερικό της πόλης εδράζουν χαμηλής ποιότητας γειτονιές που στεγάζουν τους άνεργους, τα χαμηλά εισοδήματα, τους άγαμους νέους και τις εθνικές μειονότητες, ενώ ο κοινωνικοοικονομικός χαρακτήρας των προαστίων τυποποιείται από μεσαίου και υψηλού εισοδήματος οικογένειες.

Σε οικονομικό επίπεδο, η αστική διάχυση αποτελεί ιδιαίτερα κοστοβόρο μορφή ανάπτυξης, κυρώως λόγω της αύξησης των δαπανών των νοικοκυριών προκειμένου να διανυθούν ολόένα και μεγαλύτερες αποστάσεις από το σπίτι στην εργασία και του πρόσθετου κόστους της επέκτασης των αστικών υποδομών

συμπεριλαμβανομένων των επιχειρήσεων κοινής ωφελείας και των συναφών υπηρεσιών, σε ολόκληρη τη διευρυμένη αστική περιοχή. Επίσης, η αστική διάχυση αναστέλλει την ανάπτυξη των δημόσιων μεταφορών και των μέσων μαζικής μεταφοράς, που είναι σημαντική για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία του αστικού περιβάλλοντος.

Σε ψυχολογικό επίπεδο, η διάχυση θεωρείται ότι προκαλεί απώλεια της αίσθησης του «ανήκειν» σε μια τοπική κοινωνία, προκαλώντας έτσι την αποξένωση των ατόμων. Παράλληλα, καθώς αυξάνεται η κυκλοφοριακή συμφόρηση και οι χρόνοι μετακίνησης, εκδηλώνονται περισσότερα κρούσματα επιθετικότητας κατά την οδηγική συμπεριφορά.

2.4. Τύποι Αστικής Διάχυσης

Διάφοροι μελετητές στην προσπάθεια προσέγγισης της έννοιας της αστικής διάχυσης, επιχείρησαν να κατηγοριοποιήσουν τους διάφορους τύπους της, βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Στην παρούσα ενότητα, καταγράφονται οι πλέον αποδεκτές κατηγοριοποιήσεις των τύπων της αστικής διάχυσης, όπως αυτές αντλήθηκαν από τη βιβλιογραφία (Πίνακας 2-4).

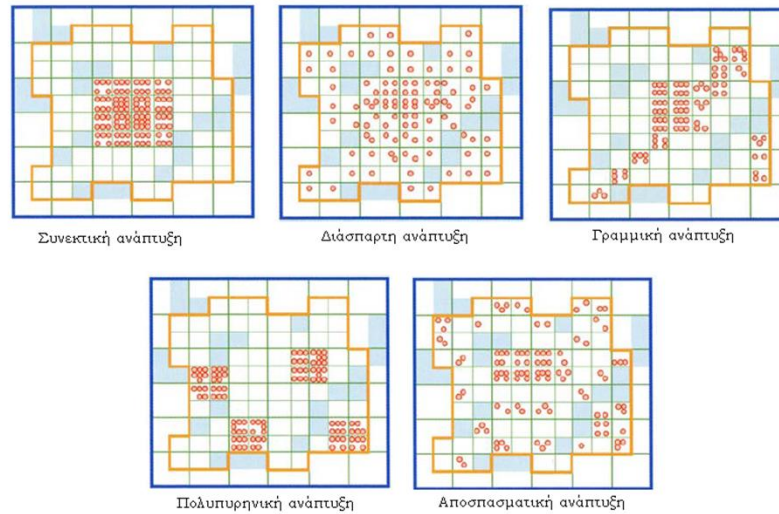
Batty et al., 2003	Camagni, Gibelli & Rigamonti, 2002	Barnes et al., 2001
Συνεκτική ανάπτυξη	Συμπληρωματική ανάπτυξη	Χαμηλής πυκνότητας συνεχής διάχυση ή προαστιακή ανάπτυξη
Διάσπαρτη ανάπτυξη	Εξάπλωση	
Γραμμική ανάπτυξη	Γραμμική ανάπτυξη	Γραμμική ή ταινιακή ανάπτυξη
Πολυπυρηνική ανάπτυξη	Διάχυση	Αποσπασματική ασυνεχής ανάπτυξη
Αποσπασματική ανάπτυξη	Σχέδια μεγάλης κλίμακας	

Πίνακας 2-4: Τύποι της αστικής διάχυσης

Συγκεκριμένα, αναφέρονται οκτώ εννοιολογικά και μορφολογικά διακριτές διαστάσεις (δείκτες) των χρήσεων γης, οι μετρήσεις των οποίων χρησιμοποιούνται προκειμένου να προσδιοριστούν οι κύριες συνιστώσες της διάχυσης. Οι διαστάσεις αυτές μπορούν να χαρακτηριστούν ως δείκτες διάχυσης μεμονωμένα ή και σε συνδυασμό μεταξύ τους και είναι οι εξής: η πυκνότητα, η συνέχεια, η συγκέντρωση, η ομοιομορφία, η κεντρικότητα, η πυρηνικότητα, ο συνδυασμός χρήσεων γης και η εγγύτητα (Galster et al., 2001).

Ακολουθώντας, οι Batty et al., βασιζόμενοι στην εργασία των Galster et al., μελέτησαν τις μορφές της αστικής διάχυσης και σκιαγράφησαν διάφορες επιφανειακές μορφές της. Κατέληξαν στους ακόλουθους απλοποιημένους αστικούς σχηματισμούς (Εικόνα 2-1), οι οποίοι εικονογραφούν μερικές από τις δομές της αστικής διάχυσης. Έτσι κατέγραψαν τους παρακάτω τύπους (Εικόνα 2-1):

- Συνεκτική ανάπτυξη,
- Διάσπαρτη ανάπτυξη,
- Γραμμική ανάπτυξη,
- Πολυπυρηνική ανάπτυξη,
- Αποσπασματική ανάπτυξη (Batty et al., 2003).

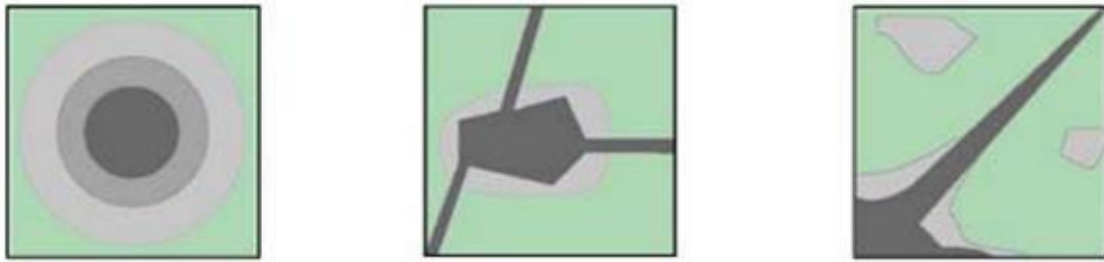


Εικόνα 2-1: Πρότυπα αστικής διάχυσης
Πηγή: Batty et al. 2003

Παράλληλα, οι Camagni, Gibelli και Rigamonti κατέληξαν σε πέντε τύπους αστικής διάχυσης, που είναι οι ακόλουθοι:

- Συμπληρωματική ανάπτυξη (infilling), η οποία χαρακτηρίζεται από την προσθήκη νέας κτισμένης επιφάνειας σε ήδη υπάρχουσες αστικές εκτάσεις που είχαν μείνει κενές κατά την διάρκεια της ανάπτυξης,
- Εξάπλωση (extension), η οποία πραγματοποιείται στις αμέσως γειτονικές αστικές παρυφές,
- Γραμμική ανάπτυξη (linear), η οποία ακολουθεί τους βασικούς άξονες των μητροπολιτικών υποδομών οδικού δικτύου,
- Διάχυση (sprawl), η οποία χαρακτηρίζει τα νέα διάσπαρτα τεμάχια
- Σχέδια μεγάλης κλίμακας (large-scale projects), τα οποία αφορούν στην ανάπτυξη μεγάλων τεμαχίων αξιοσημείωτου μεγέθους που όμως δεν εξαρτώνται από την ήδη υπάρχουσα χτισμένη επιφάνεια (Camagni et al., 2002)

Τέλος, μια ακόμη κατηγοριοποίηση της αστικής διάχυσης, ιδιαίτερα δημοφιλής, πραγματοποιείται βάσει της μορφής της ανάπτυξης των αστικών προτύπων. Έτσι προκύπτουν οι ακόλουθοι τύποι:



Εικόνα 2-2: Τύποι αστικής διάχυσης με βάση τη μορφή
Πηγή: Barnes et al., 2001

- Χαμηλής πυκνότητας συνεχής διάχυση ή προαστιακή ανάπτυξη (Low-density Sprawl): προκαλείται από την προς τα έξω εξάπλωση του οικιστικού ιστού με χαμηλής πυκνότητας χρήσεις γης. Σε αυτό το είδος, η ανάπτυξη υποστηρίζεται από αποσπασματικές επεκτάσεις των βασικών υποδομών, δηλαδή της ύδρευσης, της αποχέτευσης, της ηλεκτροδότησης και των οδικών συνδέσεων. Το παραδοσιακό πρότυπο της προαστιακής ανάπτυξης θεωρείται ο πλέον συνεκτικός τύπος αστικής διάχυσης
- Γραμμική ή ταινιακή ανάπτυξη κατά μήκος των οδικών αξόνων (Ribbon Sprawl): χαρακτηρίζεται από τη συγκέντρωση της ανάπτυξης κατά μήκος των βασικών οδικών αρτηριών και των κύριων οδικών αξόνων. Σε αυτόν τον τύπο, συνήθως αρχικά αναπτύσσεται η γη που βρίσκεται σε επαφή με τις βασικές οδούς και ακολούθως, οι εκτάσεις προς τις οποίες δεν υπάρχει πρόσβαση. Η γραμμική ή ταινιακή ανάπτυξη θα μπορούσε να θεωρηθεί περισσότερο ευνοϊκή για τη χρήση των μέσων μαζικής μεταφοράς.
- Αποσπασματική ασυνεχής ανάπτυξη (Leapfrog Development Sprawl): χαρακτηρίζεται από μια διάσπαρτη μορφή αστικοποίησης με αποσπασματικά τεμάχια αστικής γης, τα οποία βρίσκονται διάσπαρτα μεταξύ εκτάσεων πρασίνου. Η αποσπασματική διάχυση είναι πιθανό να προκαλείται και από φυσικούς περιορισμούς, όπως η τοπογραφία της περιοχής ή ακόμα και η ύπαρξη υδάτινων επιφανειών ή αντίστοιχων όγκων νερού, καθώς και από άλλα πιο ιδιαίτερα αίτια, όπως οι διαφορετικές πολιτικές ανάπτυξης μεταξύ περιοχών. Η διάσπαρτη ή αποσπασματική ανάπτυξη μπορεί σε μεγαλύτερο βαθμό να σκιαγραφήσει το είδος της ανάπτυξης ως αποτέλεσμα της χρήσης αυτοκινήτου (Barnes et al., 2001).

3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Το παρόν κεφάλαιο έχει ως αντικείμενο τη θεωρητική προσέγγιση των μοντέλων της αστικής διάχυσης. Συγκεκριμένα, αρχικά, ορίζονται οι βασικές έννοιες της πολυπλοκότητας και των συστημάτων και στη συνέχεια, αναλύονται τα αστικά μοντέλα: περιγράφεται η σημασία τους στην αστική μοντελοποίηση και καταγράφονται οι παλαιότερες και οι νεότερες θεωρητικές προσεγγίσεις των αστικών μοντέλων. Ακολούθως, αναλύονται τα μοντέλα κυψελοειδών αυτομάτων, ενώ ιδιαίτερη αναφορά γίνεται στο μοντέλο SLEUTH, το οποίο και εφαρμόζεται στο πρακτικό μέρος της παρούσας μελέτης.

3.1. Πολυπλοκότητα και Συστήματα

Η δικαιολογητική βάση της έννοιας της πολυπλοκότητας είναι η αίσθηση ανεπάρκειας που σχετίζεται με την ικανότητα του ανθρώπου να κατανοήσει και να μεταβάλλει τον κόσμο που τον περιβάλλει (Batty, 2007). Εφαλτήριο για την εξέλιξη των επιστημών που ασχολούνται με την πολυπλοκότητα αποτέλεσαν ιδέες που συνδέονται με δυναμικά συστήματα, όπως είναι η θεωρία του χάους και η μη γραμμικότητα. Στο πλαίσιο αυτό και με δεδομένο ότι οι πόλεις συνιστούν δυναμικές οντότητες και ο αστικός σχεδιασμός αποτελεί κατεξοχήν δυναμική διαδικασία, η πολυπλοκότητα αποκτά υψηλή σημασία στις επιστήμες της πολεοδομίας, της χωροταξίας και του περιβάλλοντος.

Σε ό,τι αφορά στην έννοια του συστήματος, αυτό ορίζεται ως μια συγκέντρωση αντικειμένων, κανόνων ή γεγονότων, τα οποία ενώνονται μέσω κάποιας μορφής αλληλεπίδρασης ή ανεξαρτησίας σε ένα οργανωμένο σύνολο (Roe, G. N. Soulis et al. 1992). Αντίστοιχα, ως πολύπλοκο σύστημα ορίζεται το σύστημα, για το οποίο είναι δύσκολο έως αδύνατο να περιοριστεί η περιγραφή του σε έναν μεμονωμένο αριθμό παραμέτρων ή να χαρακτηριστούν οι μεταβλητές του χωρίς να ενυπάρχει ο κίνδυνος να χαθούν σημαντικές λειτουργικές του ιδιότητες. Συνήθως, ένα σύστημα θεωρείται ότι παρουσιάζει πολύπλοκη συμπεριφορά, όταν τα επιμέρους στοιχεία του συστήματος αλληλεπιδρούν σε μια μη – γραμμική μορφή. Έτσι, τα πολύπλοκα συστήματα παρουσιάζουν συμπεριφορά, η οποία δύσκολα δυναται να προβλεφθεί, ακόμα και σε περιπτώσεις που είναι πλήρως γνωστά όλα τα στοιχεία τους (Sun, 2003).

Σε αυτή τη βάση, η πόλη μπορεί να θεωρηθεί ένα πολύπλοκο σύστημα, με κοινωνική, οικονομική και φυσικά χωρική διάσταση, που αποτελείται από δύο επίσης πολύπλοκες διαδικασίες: την αυθόρμητη ανάπτυξη και την αυτό – οργάνωση (Wu, 2000). Οι διάφορες συνιστώσες του αστικού συστήματος, όπως είναι οι χρήσεις γης, η οικονομική δομή, οι μεταφορές, ο πληθυσμός, κ.α. αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με μη – γραμμικό τρόπο. Έτσι, η πόλη συνιστά ένα πολύπλοκο σύστημα, το οποίο δεν δύναται να ερμηνευθεί ως το απλό άθροισμα των στοιχείων

που το αποτελούν (Barros & Sobreia, 2002), αλλά αντιθέτως, αποτελεί το σύνθετο χώρο – χρονικό αποτέλεσμα όλων των αλληλεπιδράσεων που συντελούνται εντός της. Επομένως, καθίσταται αναγκαία η χρήση μοντέλων, με σκοπό τόσο τη μελέτη του τρόπου που γεννώνται και αναπτύσσονται οι αλληλεπιδράσεις αυτές, όσο και τη μοντελοποίηση και την προβολή τους στο μέλλον, ώστε να είναι εφικτή η εκτίμηση της μελλοντικής εξέλιξης των αστικών συστημάτων (Batty, 1995).

3.2. Σημασία Αστικών Μοντέλων

Όλα τα συστήματα που συναντώνται στον πραγματικό κόσμο είναι αρκετά πολύπλοκα, γεγονός που αποδεικνύει την αναγκαιότητα απλοποίησής τους, με στόχο την κατανόηση, τη μελέτη αλλά και την πρόβλεψη της μελλοντικής τους εξέλιξης. Έτσι, τα αστικά μοντέλα αποτελούν απλουστεύσεις της πολύπλοκης αστικής πραγματικότητας και χρησιμοποιούνται προκειμένου να διευκολύνεται η κατανόηση των αστικών συστημάτων, η οποία προϋποτίθεται και προηγείται της προβολής τους στο μέλλον. Ο σκοπός αυτός απαιτεί την εργασία σε ένα περιβάλλον, όπου η διαχείριση των παραπάνω φαινομένων είναι ευθεία και ελεγχόμενη, γεγονός που καθιστά τα υπολογιστικά περιβάλλοντα τον κατεξοχήν χώρο εφαρμογής των αστικών μοντέλων (Batty, 2009).

Βάσει των παραπάνω, τα αστικά μοντέλα συνιστούν υπολογιστικές προσομοιώσεις του τρόπου που λειτουργούν τα αστικά συστήματα, τα οποία επεξηγούν τη θεωρία με έναν ελεγχόμενο και κατανοητό τρόπο. Οι υπολογιστές λειτουργούν ως το εργαστήριο πειραματισμού σχετικά με τα φαινόμενα που εξελίσσονται εντός των πόλεων, ενώ η αστική μοντελοποίηση αφορά στις ενέργειες ορισμού, κατασκευής και εφαρμογής τέτοιων ψηφιακών μοντέλων για συγκεκριμένους κάθε φορά σκοπούς. Σημειώνεται ότι για να είναι χρήσιμο ένα μοντέλο, δεν απαιτείται απλώς να παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις, αλλά θα πρέπει πρωτίστως να περιγράφει επαρκώς τα μελετώμενα αντικείμενα, τις σχέσεις, τις αλληλεπιδράσεις και τις υποθέσεις, με έναν τρόπο σαφή και κατανοητό (Ness and Low, 2000). Άλλωστε, η χρησιμότητα των αποτελεσμάτων που παράγει ένα μοντέλο συναρτάται πρωτίστως από το βαθμό συνέπειάς του ως προς την αναπαράσταση της πραγματικότητας. Έτσι, ένα επιτυχημένο αστικό μοντέλο ανταποκρίνεται σε δύο βασικούς σκοπούς: αφενός, αποκαλύπτει τη δομή και τους μηχανισμούς του συστήματος που αναπαριστά και αφετέρου, δύναται να παρέχει εκτιμήσεις για τη μελλοντική εξέλιξή του (Μαντέλας, 2010).

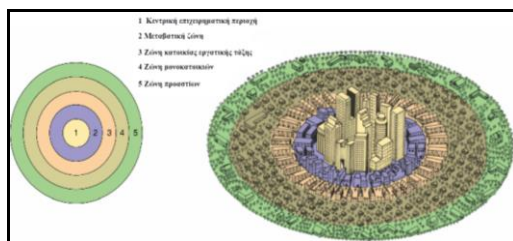
Είναι σαφές ότι τα αστικά μοντέλα διαδραματίζουν κομβικό ρόλο στις διαδικασίες χωρικού σχεδιασμού και ιδίως στον τομέα λήψης αποφάσεων. Ο ρόλος τους έγκειται στο γεγονός ότι δύνανται να αναδείξουν τις μελλοντικές θετικές ή αρνητικές συνέπειες από τάσεις εξέλιξης υφιστάμενων σεναρίων. Με αυτόν τον τρόπο, τα κέντρα λήψης αποφάσεων ανατροφοδοτούνται με τη σχετική

πληροφορία, αναδιαρθρώνοντας, όταν αυτό κρίνεται αναγκαίο, τα εφαρμοζόμενα μέτρα πολιτικής, ώστε αυτά να συνάδουν με τους επιδιωκόμενους στόχους, δημιουργώντας έτσι μία κυκλική διαδικασία ανάδρασης στην φάση του σχεδιασμού (Berglund, 2014). Θεωρείται ότι τα αστικά μοντέλα ευνοούν σε μεγάλο βαθμό τις διαδικασίες συμμετοχικού σχεδιασμού, δεδομένου ότι επιτρέπουν την καλύτερη κατανόηση των δυναμικών μίας πόλης και τον εικονικό πειραματισμό, προσδιορίζοντας τις πιθανές επιπτώσεις νέων υποδομών, τεχνολογιών ή πολιτικών (Berglund, 2014).

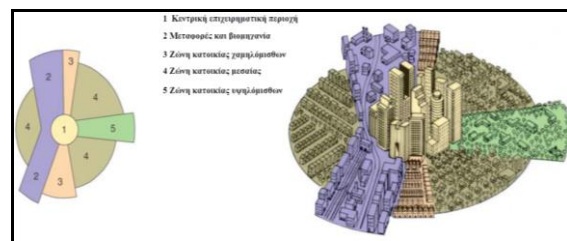
Εν κατακλείδι, η χρησιμότητα των αστικών μοντέλων δεν εξαντλείται στην παραγωγή μεμονωμένων εκτιμήσεων για το μέλλον, αλλά επί της ουσίας εντοπίζεται στην αξιολόγηση των διαφόρων εξωγενών παρεμβάσεων και στην εκτίμηση της επίδρασής τους στο σύστημα, προλαμβάνοντας έτσι τους σχετικούς κινδύνους και προετοιμάζοντας τις πόλεις για τις μελλοντικές εξελίξεις (Μαντέλας, 2010)

3.3. Θεωρητικές Προσεγγίσεις Αστικών Μοντέλων

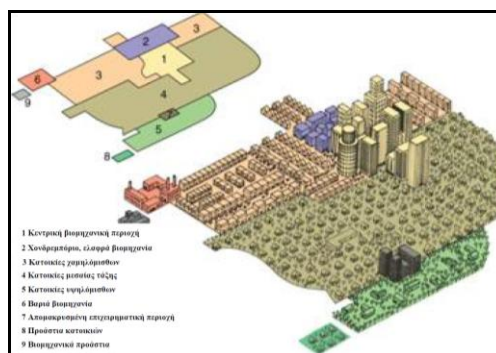
Διαχρονικά, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μοντέλα στο πλαίσιο της αστικής μοντελοποίησης. Έτσι, από τις πρώτες προσεγγίσεις, όπως είναι το μοντέλο των ομόκεντρων ζωνών του Burgess (1925), το τομεακό μοντέλο του Hoyt (1939) και το πολυκεντρικό των Harris and Ullmann (1945), έως αυτά που χρησιμοποιούνται σήμερα, υπάρχει τέτοια ποικιλομορφία στα χαρακτηριστικά τους, που καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολο να διακριθούν τα μοντέλα σε σαφείς κατηγορίες.



Εικόνα 3-1: Το μοντέλο των ομόκεντρων ζωνών των Park και Burgess
Πηγή: <http://aphug.wikispaces.com>



Εικόνα 3-2: Το τομεακό μοντέλο του Hoyt
Πηγή: <http://wps.prenhall.com>



Εικόνα 3-3: Το μοντέλο των πολλαπλών πυρήνων των Chauncy και Ullman
Πηγή: <http://wps.prenhall.com>

Ως βασικά χαρακτηριστικά όλων των αστικών μοντέλων θεωρούνται το θεωρητικό και τεχνικό τους υπόβαθρο, το πλήθος των κατηγοριών των χρήσεων γης που λαμβάνονται υπόψη στις διαδικασίες της μοντελοποίησης, η χωρική και η χρονική κλίμακά τους καθώς και οι μέθοδοι προσομοίωσης και βαθμονόμησης που χρησιμοποιούνται κάθε φορά (Liu, 2009). Δεδομένου ότι οι περισσότερες θεωρητικές προσεγγίσεις σχετικά με τα αστικά μοντέλα θεωρούν την αστική ανάπτυξη ως το αποτέλεσμα του συνδυασμού των επιλογών των ατόμων και των κοινωνικών διαδικασιών, οι προσεγγίσεις αυτές τείνουν να παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες. Έτσι, τα περισσότερα αστικά μοντέλα μπορούν να ενταχθούν σε μια από τις παρακάτω θεωρητικές προσεγγίσεις (Liu, 2009):

- Αστική Οικολογική προσέγγιση (Urban Ecological Approach): σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η ανθρώπινη συμπεριφορά προσδιορίζεται βάσει συγκεκριμένων οικολογικών (βιολογικών) αρχών, όπως είναι ο ανταγωνισμός, η επιλογή, η διαδοχή και η κυριαρχία. Η πιο ισχυρή ομάδα ατόμων θα υπερισχύσει των υπολοίπων και θα αποκτήσει την πλεονεκτικότερη θέση εντός ενός δοσμένου αστικού περιβάλλοντος, καθ' ομοίωση με ό,τι ισχύει για τα οικοσυστήματα. Τα μοντέλα της κλασικής αστικής οικολογίας απαξιώθηκαν στο παρελθόν ως υπεραπλουστευτικά και δέχθηκαν έντονη κριτική, καθώς θεωρήθηκε ότι δεν ελάμβαναν υπόψη τις κοινωνικές και πολιτιστικές διαστάσεις της αστικής ζωής, αλλά ούτε και τις πολιτικο-οικονομικές επιπτώσεις λόγω της εκβιομηχάνισης στην αστική γεωγραφία, αποτυγχάνοντας να περιγράψουν με λεπτομέρεια τα υπάρχοντα αστικά πρότυπα. (<http://www.csiss.org>, 2016).
- Κοινωνικο – φυσική προσέγγιση (Social Physical Approach): σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση και σε αναλογία με το νόμο του Νεύτωνα, οι κινήσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων είναι ανάλογες με τη «μάζα» των δραστηριοτήτων και αντιστρόφως ανάλογη με το κόστος μετακίνησης (Hambury & Sharkey 1961). Η κοινωνικο – φυσική προσέγγιση εφαρμόστηκε ευρέως στο παρελθόν, ωστόσο παρουσιάζει σαφείς περιορισμούς, φαίνεται να δίνει περισσότερο βαρύτητα στη συμπεριφορά των ομάδων αντί των ατόμων μεμονωμένα, ενώ υποστηρίζεται ότι οι σχεδιαστές των μοντέλων αυτών ενδιαφέρθηκαν κυρίως για τεχνικά ζητήματα, παρά για τις αντίστοιχες επιπτώσεις των πολιτικών (Batty, 1982).
- Νεοκλασική προσέγγιση (Neoclassical Approach): σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση η διαδικασία της αστικής ανάπτυξης είναι ένα αμιγώς οικονομικό φαινόμενο, το οποίο ετεροκαθορίζεται από τους μηχανισμούς της αγοράς και τις φυσικές διεργασίες του ανταγωνισμού μεταξύ των διαφόρων οικονομικών δραστηριοτήτων και των κοινωνικών ομάδων εντός μιας αστικής περιοχής (Von Thunen 1826, Weber 1909, Losch 1943). Καθώς τα εν λόγω μοντέλα δε

συνυπολογίζουν τον παράγοντα της ανθρώπινης συμπεριφοράς, η νεοκλασική προσέγγιση εν τέλει απορρίφθηκε.

- Προσέγγιση συμπεριφοράς (Behavioral Approach): σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η οποία αναπτύχθηκε λόγω της αποτυχίας των αστικών οικολογικών και νεοκλασικών προσεγγίσεων να λάβουν υπόψιν την ανθρώπινη συμπεριφορά, δίνεται έμφαση στα κίνητρα των ατόμων και στις διαδικασίες λήψης αποφάσεων (Johnston & Wrigley 1981). Ωστόσο, η αποκλειστική έμφαση στη συμπεριφορά των ατόμων μεμονωμένα, αντί των ανθρώπινων ομάδων, αλλά και στη βάση άλλων αδυναμιών, η προσέγγιση αυτή τέθηκε υπό έντονη αμφισβήτηση.
- Συστημική προσέγγιση (Systems Approach): σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση, η οποία βασίζεται στις έννοιες της Γενικής Θεωρίας των Συστημάτων, όλα τα στοιχεία του συστήματος είναι αλληλένδετα και συνδέονται με το περιβάλλον του συστήματος. Έτσι, βρίσκονται σε διαρκή αλληλεπίδραση τόσο μεταξύ τους μέσω των κοινωνικών, οικονομικών και χωρικών μηχανισμών, όσο και με τα στοιχεία του περιβάλλοντος. Τελικά, σημασία κάθε στοιχείου δεν εξαρτάται από το ίδιο το στοιχείο, αλλά από τις σχέσεις που αναπτύσσει με τα υπόλοιπα και είναι οι σύνδεσμοι αυτοί μεταξύ των διαφόρων στοιχείων του συστήματος που εν τέλει καθορίζουν την εξέλιξή του (von Bertalanffy 1968).

3.4. Μέθοδοι Μοντελοποίησης της Αστικής Ανάπτυξης

Η αστική μοντελοποίηση ορίζεται ως «η χρήση της κατάλληλης θεωρίας, η μετάφρασή της σε μαθηματικό μοντέλο, η ανάπτυξη του σχετικού λογισμικού και η είσοδος δεδομένων στο μοντέλο, προκειμένου να υποστεί βαθμονόμηση και αξιολόγηση πριν την φάση της πρόβλεψης» (Batty, 2009).

Γενικά, τα μοντέλα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις τύπους, ανάλογα με το βαθμό απλούστευσης και αφαιρετικότητας που τα χαρακτηρίζει. Έτσι προκύπτουν: α) μοντέλα κλίμακας, όπου ο πραγματικός κόσμος αλλάζει μόνο από την άποψη της κλίμακας και κατηγοριοποιούνται σε εικονικά, που συνιστούν μικρά αντίγραφα της πραγματικότητας και σε αναλογικά, στα οποία η σμίκρυνση συνοδεύεται από το μετασχηματισμό συγκεκριμένων ιδιοτήτων, όπως είναι οι χάρτες β) εννοιολογικά μοντέλα, όπου δίνεται έμφαση στις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων της πραγματικότητας και διαφοροποιούνται μεταξύ τους, ανάλογα με το αν είναι σε διαγραμματική ή λεκτική μορφή και γ) μαθηματικά μοντέλα, που είναι τα πλέον διαδεδομένα στην επιστημονική έρευνα (Robinson 1998, Batty 1976).

Συγκεκριμένα και σε ό,τι αφορά στα αστικά μοντέλα, αυτά διακρίνονται σε διάφορες κατηγορίες, ωστόσο, συνήθως στην πράξη εφαρμόζεται συνδυασμός

τεχνικών και μεθόδων, ώστε να αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματα των περισσότερων μεθόδων και να ελαχιστοποιούνται τα μειονεκτήματα κάθε μεθόδου. Με γνώμονα το εάν βασίζονται κυρίως σε θεωρητικό υπόβαθρο ή εάν αποτελούν πιο πρακτικές εφαρμογές, τα αστικά μοντέλα κατηγοριοποιούνται ως εξής:

- Μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης (Spatial Interaction Models): σύμφωνα με τα μοντέλα αυτά, κάθε κίνηση στο χώρο είναι αποτέλεσμα των ανθρώπινων διαδικασιών, όπως είναι η μετακίνηση προς την εργασία, η μετανάστευση, η αξιοποίηση των δημόσιων και ιδιωτικών εγκαταστάσεων, ακόμα και η μετάδοση της γνώσης. Στην κατηγορία αυτή, τα πιο γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης είναι τα μοντέλα βαρύτητας, που συνιστούν μαθηματικές τυποποιήσεις και χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και την πρόβλεψη χωρικών προτύπων αλληλεπίδρασης (Haynes & Fotheringham, 1984). Τα μοντέλα αυτά υποθέτουν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο οντοτήτων εξαρτάται από τη μάζα τους, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη μεταξύ τους απόσταση και έχουν χρησιμοποιηθεί σε μελέτες μετανάστευσης και εμπορίου (Young, 1925, Reilly, 1931). Η βασική υπόθεση είναι ότι το μέγεθος της αλληλεπίδρασης εξαρτάται αφενός από το μέγεθος των πόλεων και αφετέρου από την απόσταση μεταξύ τους. Έτσι, αναλογικά μεγαλύτερος αριθμός μεταναστών ή επιχειρήσεων εμπορίου προσελκύεται από τις μεγαλύτερες πόλεις και η ροή αυτή είναι πιο έντονη όταν η απόσταση είναι μικρότερη. Στην εν λόγω κατηγορία ανήκουν το μοντέλο του Lowry, το MEPLAN και το Tranus (Vichiensan et. al 2003).
- Μοντέλα καλύψεων γης – μεταφορών (Land Use-Transportation Models): πρόκειται κυρίως για μοντέλα οικονομικής και χωρικής αλληλεπίδρασης. Η θεωρητική τους υπόσταση βασίζεται στις τοπικές οικονομίες, στη γεωγραφική θέση της οικονομικής δραστηριότητας, στις αστικές οικονομίες που αντιπροσωπεύουν τα χωρικά ισοδύναμα της κλασικής μικρό και μακρό οικονομίας και στην κοινωνική φυσική ως τμήμα των κοινωνικών θεωριών. Τα μοντέλα αυτά ενσωματώνουν τις πιο σημαντικές διαδικασίες της χωρικής ανάπτυξης στις αστικές περιοχές, ενώ δύνανται να προβλέπουν τις αστικές καλύψεις γης (Wegener, 2005). Παρότι σταδικά τα μοντέλα αυτά έχουν επιχειρήσει να προσαρμοστούν στην προσομοίωση δυναμικών αλλαγών θεωρείται ότι παραμένουν φειδωλά, δεδομένου ότι βασίζονται κυρίως στην υπόθεση ότι τα εξαγόμενα του μοντέλου αφορούν στο πόσο καλά προσαρμόζονται στο σετ των δεδομένων. Στην εν λόγω κατηγορία, το πιο ανεπτυγμένο μοντέλο είναι το UrbanSim (Waddell, 2002).
- Μοντέλα αστικής δυναμικής (Urban Dynamics models): τα μοντέλα αυτής της κατηγορίας εστιάζουν στο πως οι θεωρίες πολυπλοκότητας δύνανται να συμπεριλάβουν την πληθώρα των στοιχείων και των διαδικασιών που

υπεισέρχονται στα αστικά συστήματα. Στην εν λόγω κατηγορία μοντέλων, δίνεται ιδιαίτερη έμφαση στη θεωρητική ανάπτυξη της μη γραμμικής εξέλιξης. Παράλληλα, έχει επιχειρηθεί η σύνδεση των μοντέλων αυτών με την οικολογική δυναμική (Dendrinos & Mullally, 1985). Ωστόσο, οι παραπάνω προσπάθειες αποδείχτηκαν σχετικά ανεπαρκείς στις αστικές διαδικασίες. Έτσι τα μοντέλα αστικής δυναμικής αποτέλεσαν κυρίως τον προθάλαμο για τα μοντέλα μικροπροσομοίωσης, καθώς επισκιάστηκαν από χωρικές προσομοιώσεις δυναμικών διαδικασιών, των οποίων η κλίμακα αναφέρεται σε πιο εξατομικευμένο επίπεδο (Batty, 2009).

- Μοντέλα μικροπροσομοίωσης (Micro-simulation Models): στα μοντέλα αυτά γίνεται χρήση ενός συνόλου υπολογιστικών αναλυτικών εργαλείων που εκτελούν λεπτομερειακές αναλύσεις των δραστηριοτήτων, επιδιώκοντας την προσομοίωσή τους σε μικροσκοπικό επίπεδο. Τα εν λόγω μοντέλα ξεχωρίζουν, γιατί εξετάζουν την αλληλεπίδραση μεμονωμένων, αυτόνομων μονάδων, ενώ η μεταξύ τους αλληλεπίδραση διαφοροποιείται στηριζόμενη σε τυχαιοποιημένες παραμέτρους που αντιπροσωπεύουν μεμονωμένες προτιμήσεις και τάσεις, ωστόσο μειονεκτούν στη βάση του ότι απαιτούν μεγάλο όγκο δεδομένων. Το πιο γνωστό μοντέλο μικροπροσομοίωσης είναι το μοντέλο Dortmund (Wegener, 1985).
- Συστημικά Μοντέλα (System Models): Τα μοντέλα αυτά αναφέρονται στα αστικά συστήματα με όρους ροών και αποθεμάτων και εστιάζουν στην περιγραφή των πρώτων υλών, της πληροφορίας και της ενέργειας. Οι μεταβολές στο χρόνο χωρίζονται σε διακριτά βήματα και μέσω των μοντέλων αναδεικνύονται ανθρώπινες και οικολογικές αλληλεπιδράσεις. Ενδεικτικά συστημικά μοντέλα είναι αυτά των Forrester (1969) και Sanders (2004) (Gilber & Troitzch, 1999).
- Μοντέλα πρακτόρων και πολλαπλών πρακτόρων (Agents and Multi- Agents Models): πρόκειται για μια κατηγορία υπολογιστικών μοντέλων που στοχεύει στην προσομοίωση των ενεργειών και των αλληλεπιδράσεων των αυτόνομων πρακτόρων, με απώτερο στόχο την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων για το σύστημα στο σύνολό του. Αυτόνομοι πράκτορες καλούνται οι μεμονωμένες ή συλλεκτικές οντότητες, όπως είναι οι οργανισμοί ή οι ομάδες. Η εν λόγω κατηγορία μοντέλων αναπτύχθηκε στα τέλη του 1940, αλλά εξαιτίας της υπολογιστικής απαίτησης δεν κατέστη εφικτή η διάδοσή της έως το 1990. Τα μοντέλα πολλαπλών πρακτόρων έχουν σχεδιαστεί ως μια συλλογή της αλληλεπίδρασης των αυτόνομων πρακτόρων, καθένας από τους οποίους έχει τις δικές του ικανότητες και στόχους, αλλά μαζί συσχετίζονται με ένα κοινό περιβάλλον. Ο τύπος αυτών των μοντέλων λειτουργεί με τις ίδιες αρχές όπως τα ΚΑ μοντέλα, με κάθε πράκτορα να θεωρείται ως ένα μεμονωμένο αυτόνομο πράκτορα- αυτόματο (Torrens, 2003). Η διάκριση με τα ΚΑ μοντέλα εντούτοις, αφορά αφενός στο ότι στα μοντέλα πρακτόρων η βασική μονάδα είναι μια

συλλογή πρακτόρων, όπως μεμονωμένα άτομα, σχεδιαστές, πολεοδόμοι ή λήπτες αποφάσεων, καθώς και το ότι οι πράκτορες είναι αυτόνομοι υπό την έννοια ότι έχουν την ικανότητα να προβαίνουν σε ανεξάρτητες δράσεις, οι οποίες ορίζονται μέσω της επιτυχίας σκοπών και στόχων, ενώ η επίδρασή τους στο περιβάλλον πραγματοποιείται σε διάφορες κλίμακες (Niazi, Muaz, Hussain & Amir, 2011).

- Μοντέλα Κυψελοειδών Αυτόματων (Cellular Automata Models): πρόκειται για απλά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων (Waldrop 1992). Αποτελούνται από κελιά ή ένα πλέγμα κελιών, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω απλών κανόνων. Η χρήση κυψελοειδών αυτομάτων για τη μοντελοποίηση των αστικών συστημάτων έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία, ενώ σημειώνεται ότι για πρώτη φορά σχετίστηκε με το σχεδιασμό στη δεκαετία του 1980. Τα μοντέλα αυτά στοχεύουν στη μοντελοποίηση ανοιχτών, πολύπλοκων, αυτό-οργανωμένων συστημάτων, που εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο οι τοπικές αποφάσεις μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία παγκόσμιων προτύπων (Wu, 1998). Τα κυψελοειδή αυτόματα επιτυγχάνουν τη μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων, που απαρτίζονται από πλήθος μεμονωμένων στοιχείων τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω μη γραμμικών συνδέσεων. Για το λόγο αυτό έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στη μελέτη της αστικής ανάπτυξης (Clarke & Gaydos, 1998, Clarke et al., 1997).
- Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (Geographical Information Systems): πρόκειται για πληροφοριακά συστήματα που ενσωματώνουν, αποθηκεύουν, και αναλύουν τη γεωγραφική πληροφορία. Οι εφαρμογές ΓΣΠ επιτρέπουν στους χρήστες να θέτουν ερωτήματα, να πραγματοποιούν χωρικές και να οπτικοποιούν τα αποτελέσματα όλων αυτών των εφαρμογών. Η αστική μοντελοποίηση με τη χρήση ΓΣΠ, αναπτύχθηκε κυρίως τις τελευταίες δύο δεκαετίες (Sui, 1998). Το 1990, οι χρήστες ΓΣΠ και οι σχεδιαστές αστικών μοντέλων επιχείρησαν την ενσωμάτωση των δύο τεχνικών, αναγνωρίζοντας ότι τα ΓΣΠ προσφέρουν νέες πλατφόρμες για τη διαχείριση και την επιτυχή οπτικοποίησή των δεδομένων (Nyerges, 1995). Οι μέθοδοι για τη σύνδεση των αστικών μοντέλων με τα ΓΣΠ, διακρίνονται σε χαλαρές και δυνατές συνδέσεις: η χαλαρή διασύνδεση βασίζεται συνήθως στην εισαγωγή ή εξαγωγή κοινών δεδομένων που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο και στα ΓΣΠ, ενώ η δυνατή διασύνδεση βασίζεται στην προσθήκη της λειτουργικότητας του ενός συστήματος στο άλλο, ενσωματώνοντας το μοντέλο εντός του ΓΣΠ και αντιστρόφως (Batty & Xie 1994). Πιο αναλυτικά, η σύνδεση μπορεί να πραγματοποιηθεί: α) με την ενσωμάτωση λειτουργιών ΓΣΠ εντός πακέτων αστικής μοντελοποίησης (Birkin et al. 1996, Clarke 1990), β) με τη χρήση λογισμικών τρίτων, όπως αυτά των πακέτων TransCAD και το ArcGIS Spatial Analyst Extension για την ενσωμάτωση της αστικής μοντελοποίησης σε

ένα ΓΣΠ (ESRI 2004a), γ) με τη συνεχή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των δύο συστημάτων (Clarke & Gaydos, 1998), δ) με τη χρήση προγραμματισμού (Batty & Xie, 1994). Διαχρονικά, έχει αποδειχθεί ότι οι μέθοδοι χαλαρής διασύνδεσης, όπως των Clarke & Gaydos έχουν κυριαρχήσει σε σχέση με τις υπόλοιπες.

Στην παρούσα εργασία, πραγματοποιείται συνδυασμός της μεθόδου των Κυψελοειδών Αυτομάτων, τα οποία περιγράφονται εκτενώς στην επόμενη ενότητα και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών. Ο στόχος του συνδυασμού αυτού είναι η αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων και των δύο μεθόδων αλλά και ο περιορισμός των αντίστοιχων μειονεκτημάτων της κάθε μεθόδου.

3.5. Κυψελοειδή Αυτόματα

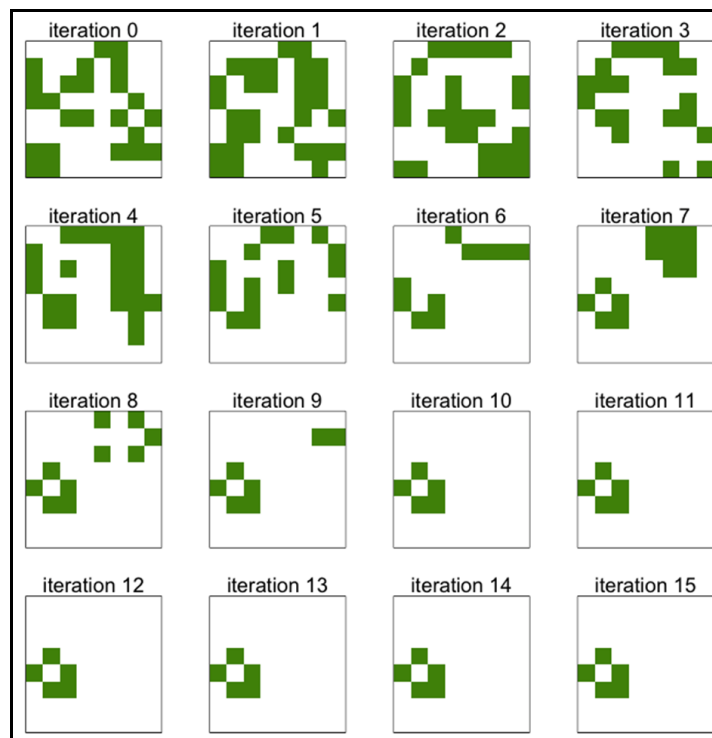
Τα Κυψελοειδή Αυτόματα (Cellular Automata) ορίζονται ως απλά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων. Η ονομασία τους προέρχεται από το γεγονός ότι αφενός αποτελούνται από κελιά ή ένα πλέγμα κελιών (cells) και αφετέρου ότι μπορούν να εξελιχθούν σύμφωνα με έναν απλό κανόνα μετάβασης ή αλλιώς αυτόματα (Engelen, 1995).

Πιο συγκεκριμένα, σε ένα ΚΑ καθένα από τα κελιά μπορεί να βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη κατάσταση. Το πλήθος των πιθανών καταστάσεων στις οποίες μπορεί να βρίσκεται ένα κελί καθορίζεται κάθε φορά από το εκάστοτε αυτόματο. Οι τιμές των κελιών μεταβάλλονται ταυτόχρονα, σε καθορισμένα χρονικά βήματα. Οι τιμές αυτές συναρτώνται από τοπικούς κανόνες, την κατάσταση του κελιού τη δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά και την κατάσταση των γειτονικών του κελιών στα προηγούμενα χρονικά βήματα. Το κύριο χαρακτηριστικό των ΚΑ μοντέλων είναι ότι η συμπεριφορά τους δημιουργείται από την επαναλαμβανόμενη εφαρμογή των κανόνων, πέρα από τις αρχικές συνθήκες (Wolfram, 1984).

Τα ΚΑ εμφανίσθηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1940 από τους φυσικούς Stanislan Marcin Ulam, κατά την έρευνα ανάπτυξης των κρυστάλλων, και John von Neumann, κατά τη μελέτη των αυτοαναπαραγόμενων συστημάτων (Schiff, 2011). Στα τέλη του 1950, οι Ulam και Neumann δημιούργησαν μια μέθοδο υπολογισμού των υγρών σε κίνηση, θεωρώντας το υγρό ως ένα σύμπλεγμα διακριτών κελιών και υπολογίζοντας την κίνηση καθενός, βάσει της συμπεριφοράς των γειτονικών του κελιών. Η μέθοδος αυτή αποτέλεσε το πρώτο σύστημα ΚΑ (Bialinicki, Birula, 2004). Σημειώνεται ότι βασικός σταθμός στην εξέλιξη των ΚΑ, αποτέλεσε το παιχνίδι της ζωής (Game of Life) το οποίο εφευρέθηκε από το Βρετανό μαθηματικό John Horton Conway το 1970, και έγινε ευρέως γνωστό στην κοινότητα της πληροφορικής. Το παιχνίδι της ζωής αποτελεί ένα ΚΑ, η εξέλιξη του οποίου καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από την αρχική του κατάσταση (Gardner, 1970). Πρόκειται για ένα παιχνίδι

σε διδιάστατο κάναβο, όπου η γειτονιά του κάθε κελιού ορίζεται σύμφωνα με το πρότυπο Moore. Οι κανόνες μετάβασης είναι απλοί, σε αντίθεση με αυτούς του Von Neumann, καθώς ο Conway ήθελε να πετύχει συμπεριφορές παρόμοιες με αυτές της πραγματικής ζωής (Shiffman, 2012). Οι κανόνες μετάβασης του Conway είναι:

- Ο κανόνας επιβίωσης: κάθε ενεργό κελί που έχει δύο ή τρία ενεργά κελία εντός της γειτονιάς του, παραμένει ενεργό και στην επόμενη γενιά.
- Ο κανόνας θανάτου: κάθε ενεργό κελί με τέσσερις ή παραπάνω ενεργούς γείτονες γίνεται ανενεργό στην επόμενη γενιά, λόγω υπερπληθυσμού, ενώ κάθε ενεργό κελί με ένα μόνο ή κανένα ενεργό γειτονικό κελί θα γίνει ανενεργό στην επόμενη γενιά, λόγω απομόνωσης.
- Ο κανόνας γεννησης: εάν ένα ανενεργό κελί που έχει στην γειτονιά του ακριβώς 3 ενεργά κελιά, θα γίνει και αυτό ενεργό στην επόμενη γενιά (Gardner, 1970).



Εικόνα 3-4: Παράδειγμα εφαρμογής του game of life
 Πηγή: <https://bmscblog.files.wordpress.com, 15/9/2016>

Ο Conway επέλεξε τους κανόνες αυτούς, με στόχο να μην είναι προβλεψιμή η συμπεριφορά του μοντέλου και να πληρούνται τα ακόλουθα τρία κριτήρια:

- να μην υπάρχει αρχικό πρότυπο για το οποίο να υπάρχει απόδειξη ότι ο πληθυσμός μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς όρια.
- να μην υπάρχουν αρχικά πρότυπα που αναπτύσσονται προφανώς χωρίς όρια.
- να υπάρχουν απλά αρχικά πρότυπα, τα οποία μεγαλώνουν και αλλάζουν για μία συγκεκριμένη χρονική περίοδο, πριν «πεθάνουν», εξαιτίας του υπερπληθυσμού ή της απομόνωσης ή με το να βρεθούν σε μια σταθερή κατάσταση η οποία δεν αλλάζει περαιτέρω ή να εισέλθουν σε μια φάση κατά την οποία

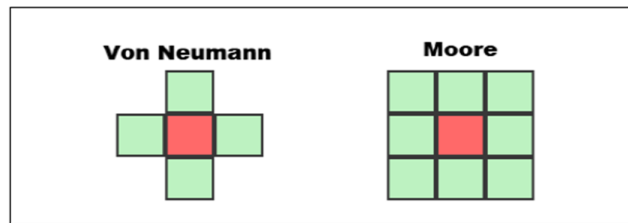
επαναλαμβάνουν έναν ακατάπαυστο κύκλο δύο ή τριών περιόδων (Gardner, 1970).

Το 1981, πραγματοποιήθηκαν μελέτες σχετικές με τα ΚΑ και την προσομοίωση των νευρωνικών δικτύων από τον Wolfram, οποίος το 2002, παρουσίασε μια μεγάλη συλλογή αποτελεσμάτων αναφορικά με τα ΚΑ, υποστηρίζοντας ότι συνιστούν ισχυρά συστήματα, με μεγάλη σημασία για πληθώρα επιστημονικών κλάδων (Wolfram, 2002).

3.5.1. Χαρακτηριστικά και μαθηματική αναπαράσταση των ΚΑ

Τα βασικά χαρακτηριστικά ενός τυπικού ΚΑ αποτελούν το κύτταρο (cell), η κατάσταση (state), η γειτονιά (neighbourhood), οι κανόνες μετάβασης (transition rules) και ο χρόνος (time). Πιο συγκεκριμένα:

- Το κύτταρο ή κελί (cell) αποτελεί την βασική χωρική μονάδα σε έναν κανάβο. Στη μοντελοποίηση τις αστικής ανάπτυξης και της μεταβολής των χρήσεων γης, η πιο συνηθισμένη μορφή είναι αυτή του διδιάστατου ψηφιδωτού ή κανάβου. Άλλες μορφές που μπορούν να εμφανιστούν είναι αυτές των κυψελών που αποτελούνται από εξάγωνα ή ακόμα και τριδιάστατες διατάξεις όπου η τρίτη διάσταση μπορεί να αναπαριστά το ύψος των κτιρίων του αστικού μοντέλου.
- Η κατάσταση (state) αφορά στην κατάσταση που μπορεί να βρίσκεται το κάθε κελί, η οποία μπορεί να αντιπροσωπεύεται από μία τιμή, όπως στο μονοδιάστατο αυτόματο του Wolfram. Στα αστικά μοντέλα, συνήθως το κάθε κελί δέχεται και ένα αντίστοιχο χρώμα ανάλογα με την χρήση γης που αντιπροσωπεύει.
- Η γειτονιά (neighborhood), που είναι ουσιαστικά το σύνολο των κελιών, που γειρνιάζουν μεταξύ τους και με τα οποία αλληλεπιδρά κάθε μεμονωμένο κελί. Η γειτονιά δύναται να οριστεί με διάφορους τρόπους, ωστόσο τα πλέον σύνηθη πρότυπα σε ορθογωνικούς καννάβους με τετράγωνα κελιά είναι οι γειτονιές Von Neumann και Moore. Η γειτονιά Von Neumann περιλαμβάνει τα τέσσερα ορθογωνικά (4) κελιά που περικλείουν το κεντρικό, ορίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο τους Βόρειους, Νότιους, Ανατολικούς και Δυτικούς γείτονές του, ενώ η γειτονιά Moore περιλαμβάνει συνολικά οκτώ (8) γείτονες του κεντρικού κελιού, προσαυξάνοντας τον αριθμό που έχει οριστεί από τον Neumann με τα τέσσερα εφαπτόμενα σε αυτό. Με αυτό τον τρόπο συμμετέχουν οι νέοι γείτονες κατά την Βόρειο-ανατολική, τη Βόρειο-δυτική, τη Νότιο-ανατολική και Νότιο-δυτική κατεύθυνση (Εικόνα 3-5).



Εικόνα 3-5: Γειτονιά Von Neumann και γειτονιά Moore σε διδιάστατα ΚΑ
Πηγή: Σταυράκου

- Οι κανόνες μετάβασης (transition rule) ορίζουν τον τρόπο με τον οποίο κάθε κελί αλλάζει τιμή, σε συνάρτηση με την τωρινή του κατάσταση αλλά και την κατάσταση των γειτονικών κελιών (γειτονιά). Οι κανόνες μετάβασης είναι ομοιόμορφοι για όλα τα κελιά του συστήματος και η εφαρμογή τους πραγματοποιείται ταυτόχρονα σε καθορισμένα χρονικά βήματα. Η γενική διατύπωση τους περιλαμβάνει προτάσεις του τύπου IF, THEN και ELSE.
- Ο χρόνος (time), δεδομένου ότι κάθε μετάβαση αντιπροσωπεύει το πέρας συγκεκριμένου χρόνου εντός του οποίου καθορίζεται η χρονική του διάσταση, όπως για παράδειγμα ένα έτος, ανά μετάβαση. Σε ένα τυπικό ΚΑ οι καταστάσεις όλων των κελιών ενημερώνονται ταυτόχρονα εντός διακριτών χρονικών βημάτων (Liu, 2008).

Προκειμένου να αναπαρασταθεί ένα ΚΑ μαθηματικά, λαμβάνεται υπόψιν ότι ένα ΚΑ ορίζεται από:

- ένα πλέγμα κελιών, ή έναν κυψελοειδή χώρο, έστω L ,
- ένα πεπερασμένο σύνολο καταστάσεων $S = \{S_0, S_1, S_2, \dots, S_n\}$
- ένα πεπερασμένο σύνολο γειτονιών $N = \{N_0, N_1, N_2, \dots, N_n\}$ και
- μια συνάρτηση μετάβασης T , η οποία καθορίζει την επόμενη κατάσταση κάθε κελιού ξεχωριστά.

Έτσι, εάν $S^t_{x_{ij}}$: η κατάσταση ενός κελιού x_{ij} στη θέση i, j το χρονικό διάστημα t , και $S^{t+1}_{x_{ij}}$: η κατάσταση του κελιού x_{ij} στη θέση i, j τη χρονική στιγμή $t+1$,

Τότε,

$$S^{t+1}_{x_{ij}} = f(S^t_{x_{ij}}, S^{N_{x_{ij}}}) \quad (1)$$

όπου το $N_{x_{ij}}$ αντιπροσωπεύει μια σειρά κελιών που βρίσκονται στη γειτονιά του κελιού x_{ij} , το $S^{N_{x_{ij}}}$ μια σειρά καταστάσεων των κελιών $N_{x_{ij}}$ και το f μια συνάρτηση μετάβασης.

Θεωρώντας κάθε κελί ως μέλος της γειτονιάς του, η παραπάνω σχέση μπορεί να μετασχηματιστεί σε:

$$S^{x_{ij}}_{t+1} = f(S^{x_{ij}}_t) \quad (2)$$

Τελικά ένα ΚΑ ορίζεται ΚΑ:=(L,S,N,f) (3)

Η εξίσωση (3) μπορεί να πάρει και τη λεκτική μορφή:

«(IF) συμβεί κάτι στη γειτονιά του κελιού

(THEN) θα συμβεί κάτι άλλο στο κελί στο επόμενο χρονικό βήμα»

Ένα μοντέλο ΚΑ συνήθως συνίσταται από μια σειρά εντολών τύπου EAN-TOTE (IFTTHEN), οι οποίες εκφράζουν συγκεκριμένους κανόνες μετασχηματισμού (Batty, 1997).

Τα σημαντικότερα μοντέλα ΚΑ είναι τα ακόλουθα:

- Το μοντέλο SLEUTH: προσομοιώνει την αστική διάχυση και τη γενικότερη μεταβολή των χρήσεων γης. Συνολικά αναγνωρίζει τέσσερις μορφές εξέλιξης, οι οποίες εφαρμόζονται κυκλικά και ελέγχονται από πέντε παραμέτρους ανάπτυξης, τη διάχυση, αναπαραγωγή, διάδοση, οδική βαρύτητα και κλίση. Είναι ευρέως διαδεδομένο μοντέλο, με πλήθος εφαρμογών σε όλο τον κόσμο. Αποτελεί το μοντέλο το οποίο εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη και για το λόγο αυτό στην επόμενη ενότητα γίνεται εκτενέστερη αναφορά στα χαρακτηριστικά και τον τρόπο λειτουργίας του.
- Τα μοντέλα Moland/ Murbandy: προσομοιώνουν τη μεταβολή των χρήσεων γης. Χρησιμοποιούν την κατηγοριοποίηση χρήσεων γης Corine, σε ορθοκανονικό πλέγμα κελιών με διαστάσεις 100 μ. Τα μοντέλα αυτά εξελίχθηκαν κυρίως στα πλαίσια Ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων.
- Το μοντέλο Obeus: εφαρμόζει λειτουργικά το παράδειγμα των Γεωγραφικών Αυτόματων Συστημάτων (Geographic Automata System-GAS). Τα Γεωγραφικά Αυτόματα θεωρούν ότι τα αστικά συστήματα αποτελούνται από ενιαία σχετικά αντικείμενα, τα οποία είναι είτε καθορισμένες (fixed) οντότητες, που συνήθως δεν αλλάζουν θέση από τη στιγμή που καθορίζονται, είτε μη καθορισμένες (non-fixed) οντότητες, που δύνανται να αλλάξουν θέσεις (Benenson & Torrens 2004).
- Το μοντέλο O' Sullivan: ενεργοποιεί την έρευνα μεταξύ χωρικής δομής και αστικής δυναμικής, αξιοποιώντας τη θεωρία γραφημάτων (Γιώτη, 2012).

3.5.2. Πλεονεκτήματα Κυψελοειδών Αυτομάτων στην Αστική Μοντελοποίηση

Το 1979, τα ΚΑ χρησιμοποιήθηκαν για πρώτη φορά στην επιστήμη της γεωγραφίας, περιγράφοντας πέντε μοντέλα καλύψεων γης (Tobler, 1979). Η σύνδεση των ΚΑ με

το σχεδιασμό, έλαβε χώρα κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 (Batty & Longley, 1994) και γνωρίζει ιδιαίτερη ανάπτυξη από το 2000 και έπειτα (Li & Yeh, 2001, Ward et al, 2000).

Η μοντελοποίηση των αστικών συστημάτων, με τη χρήση ΚΑ αποτελεί μια σχετικώς πρόσφατη εξέλιξη (Silva & Clarke, 2002). Αξίζει να σημειωθεί ότι βασικά πλεονεκτήματα των ΚΑ είναι ότι επιτρέπουν τη σύνδεση του τοπικού με το παγκόσμιο, καθώς τα παγκόσμια πρότυπα μπορούν να απεικονιστούν μέσω τοπικών διαδικασιών. Έτσι παρόλο που η προσομοίωση μεγάλων αστικών συστημάτων σε μικρο-κλίμακα είναι ακόμα δυσχερής, η κατανόηση των διαδικασιών αυτών σε μικρότερο χωρικό επίπεδο καθιστά πιο εύληπτη και πιο εφικτή τη διαδικασία μοντελοποίησης σε μεγαλύτερη κλίμακα (Batty, M., Xie, Y, 1994).

Παράλληλα, τα ΚΑ πλεονεκτούν, καθώς δίνουν τη δυνατότητα μελέτης της αστικής ανάπτυξης σε στάδια και όχι απλώς σε αρχική και τελική φάση. Έτσι, θέτοντας τα στάδια σε μικρή χρονική απόσταση μεταξύ τους, μπορεί να επιτευχθεί ένα αποτέλεσμα στο οποίο να εμφανίζεται με συνέχεια η εξέλιξη του μοντέλου στο χρόνο. Επίσης, τα ΚΑ, παρότι δρουν εντός μιας εντοπισμένης γειτονιάς δημιουργώντας δυναμικές μικροκλίμακας, προσφέρουν και δυνατότητα μελέτης του μακροσκοπικού προτύπου, όταν η συνολική συμπεριφορά του συστήματος θεωρείται αθροιστικά (Dietzel & Clarke, 2004).

Σημειώνεται, ακόμη, ότι η δομή μορφής καννάβου των τηλεπισκοπικών και γεωγραφικών δεδομένων είναι ίδια με τη δομή που παρουσιάζεται στα ΚΑ μοντέλα, καθιστώντας τα έτσι ιδανικές πηγές για τα ΚΑ. Η σύνδεση αυτή με τα γεωγραφικά και τηλεπισκοπικά δεδομένα δίνει στο χρήστη την παράλληλη δυνατότητα της οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του μοντέλου, προσφέροντας περαιτέρω δυνατότητες στην ανάλυση των αποτελεσμάτων αλλά και τη μελέτη της δυναμικής διαδικασίας ανάπτυξής του. Συμπερασματικά, τα μοντέλα ΚΑ διευκολύνουν την εκτέλεση διαδικασιών σε πολλαπλές κλίμακες, δίνουν αποτελέσματα με χρονική συνέχεια, ενσωματώνουν κοινές μορφές γεωγραφικών και τηλεπισκοπικών δεδομένων, αξιοποιώντας τις δυνατότητες για οπτικοποίηση και τελικά δύνανται να παράξουν εποπτικά και αξιόπιστα αποτελέσματα (Dietzel & Clarke, 2004).

3.5.3. Μοντέλο αστικής διάχυσης Sleuth

Το μοντέλο SLEUTH, το οποίο εφαρμόστηκε στο πλαίσιο της παρούσας διπλωματικής εργασίας, συνιστά ένα ευρέως διαδεδομένο μοντέλο υπολογιστικής προσομοίωσης που καταλαμβάνει υψηλή θέση στην παγκόσμια κατάταξη μοντέλων αστικής ανάπτυξης. Ο κύριος στόχος του μοντέλου είναι η μοντελοποίηση της αστικής ανάπτυξης (Dietzel & Clarke, 2004). Το μοντέλο SLEUTH βασίζεται στα ΚΑ, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα πολλά διαφορετικά επίπεδα πληροφορίας για

παραμετροποίηση (Dietzel & Clarke, 2007). Ωστόσο, οι κανόνες μετάβασης του SLEUTH είναι πιο σύνθετοι από ένα απλο ΚΑ. Αποτελείται από δύο υπομοντέλα, εκ των οποίων το πρώτο αφορά την πρόβλεψη της αστικής διάχυσης (Urban Growth Model-UGM) και το δεύτερο χρησιμοποιείται προαιρετικά για την μοντελοποίηση των διαφόρων χρήσεων γης (Deltatron) (Clarke et al., 1997, Dietzel & Clarke, 2004). Πρόκειται για λογισμικό ανοιχτού κώδικα (open-source), που είναι γραμμένο στην γλώσσα προγραμματισμού C. Είναι διαθέσιμο στην ιστοσελίδα του Project Gigalopolis (<http://www.ncgia.ucsb.edu>).

Το μοντέλο SLEUTH αναπτύχθηκε από τον Keith Clarke στο ερευνητικό κέντρο της NASA το 1991. Η πρώτη λειτουργική έκδοση του Sleuth, που ονομάστηκε Μοντέλο Αστικής Ανάπτυξης (Urban Growth Model), αποτέλεσε μέρος ενός ερευνητικού προγράμματος για την αστική δυναμική και υλοποιήθηκε στο Γεωλογικό Ινστιτούτο των Ηνωμένων Πολιτειών (Kirtland et al., 1994). Το SLEUTH αποτελεί ακρώνυμο των δεδομένων εισόδου που απαιτούνται προκειμένου να εφαρμοστεί το μοντέλο σε μια περιοχή μελέτης: Τοπογραφική κλίση (Slope), Κάλυψη γης (Landuse), Εξαιρούμενες περιοχές (Excluded), Αστική επέκταση (Urban), Οδικό δίκτυο (Transportation) και Σκίαση αναγλύφου (Hillshade).

Η εφαρμογή του μοντέλου διακρίνεται σε δύο διαδοχικές φάσεις. Η πρώτη φάση της εφαρμογής είναι η βαθμονόμηση (calibration) του μοντέλου, κατά την οποία το μοντέλο εκπαιδεύεται στην επιτυχή αναπαραγωγή των προτύπων ανάπτυξης και των ιστορικών τάσεων της περιοχής. Πιο συγκεκριμένα, στη φάση αυτή επιχειρείται να βρεθεί ο βέλτιστος συνδυασμός των πέντε παραμέτρων του μοντέλου [διάχυση (diffusion), αναπαραγωγή (breed), διάδοση (spread), αντίσταση στην κλίση του εδάφους (slope resistance) και οδική βαρύτητα (road gravity)], προκειμένου να μοντελοποιηθεί όσο το δυνατόν πιστότερα η εξελικτική διαδρομή μεταξύ των παλαιότερων και των νεότερων δεδομένων εισόδου (Clarke et al., 1997). Η φάση της βαθμονόμησης του μοντέλου αποτελείται από τρία επιμέρους διαδοχικά βήματα (coarse, fine, final). Σε κάθε επιμέρους στάδιο, λαμβάνει χώρα ο εξευγενισμός του σετ των παραμέτρων ελέγχου, διαπιστώνοντας κατά αυτό τον τρόπο την ικανότητά τους να αναπαράγουν τα πρότυπα της ιστορικής ανάπτυξης της περιοχής. Τα δεδομένα εισαγωγής στη φάση αυτή χρησιμοποιούνται ως σημεία ελέγχου στην αξιολόγηση της απόδοσης κάθε σετ παραμέτρων στην αναπαραγωγή των ιστορικών αστικών τάσεων ανάπτυξης. Με την σειρά τους οι πέντε παράμετροι επηρεάζουν τέσσερις τύπους ανάπτυξης που ορίζει το μοντέλο, δηλαδή την αυθόρμητη ανάπτυξη (spontaneous growth), η οποία προάγει την ανάπτυξη σε περιοχές με κατάλληλη κλίση και ελέγχεται από την παράμετρο διάχυση, την διαχέουσα ανάπτυξη και δημιουργία νέων κέντρων ανάπτυξης (diffusive growth and creation of new growth centers), την οργανική (organic growth), η οποία προσομοιώνει την ανάπτυξη των προαστίων και των κενών περιοχών εντός της πόλης και τέλος η επηρεαζόμενη από το οδικό δίκτυο (road influenced growth), η

οποία εκφράζει την τάση για αστικοποίηση κοντά σε περιοχές με προσβασιμότητα (Silva & Clarke, 2002). Ωστόσο, επισημαίνεται ότι ακόμα ενυπάρχουν διαφωνίες επί της διαδικασίας: ο αλγόριθμος που περιορίζει το εύρος των παραμέτρων, προκειμένου να βρεθεί τελικά ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός τους, αποτελεί ζήτημα αμφισβήτησης, χωρίς να έχει συμφωνηθεί ένας καθολικά αποδεκτός τρόπος, ενώ επίσης αμφιλεγόμενο ζήτημα αποτελεί η επιλογή του αριθμού των αποτελεσμάτων που χρησιμοποιούνται στην εύρεση του εύρους των τιμών των παραμέτρων. Επισημαίνεται ότι η ικανότητα ενός μοντέλου να προβλέπει με ικανοποιητική ακρίβεια την αστική ανάπτυξη, συναρτάται του βαθμού επιτυχίας της προηγηθείσας βαθμονόμησης, γεγονός που αναδεικνύει τη σημασία του σταδίου αυτού για τη συνολική διαδικασία μοντελοποίησης (Clarke et al., 1996). Επίσης, σε κάθε εφαρμογή του SLEUTH, η πιο χρονοβόρος διαδικασία είναι αυτή της βαθμονόμησης του μοντέλου. Η δεύτερη φάση συνιστά την πρόγνωση (predict), η οποία πραγματοποιείται με την προβολή των ιστορικών τάσεων στο μέλλον. Σε αυτή τη φάση, αξιοποιείται ο καλύτερος συνδυασμός των παραμέτρων ελέγχου που προέκυψαν κατά τη φάση της βαθμονόμησης, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η πρόγνωση του μοντέλου στο μέλλον.

Το μοντέλο έχει χρησιμοποιηθεί σε πλήθος εφαρμογών σε όλο τον κόσμο, που στην πλειονότητα τους αφορούσαν σε πόλεις της Β. Αμερικής. Επίσης, έχει εφαρμοσθεί σε Ευρωπαϊκές πόλεις, με χαρακτηριστικότερα παραδείγματα το Πόρτο και τη Λισαβώνα της Πορτογαλίας, που απέδειξαν ότι το μοντέλο μπορεί να βρει εφαρμογή και σε πόλεις με διαφορετικά γνωρίσματα από αυτά των πόλεων της Β. Αμερικής. Παρατηρείται, μάλιστα, ότι οι παλαιότερες εφαρμογές του SLEUTH αφορούσαν αποκλειστικά στη μοντελοποίηση της αστικής ανάπτυξης, ενώ η μεταγενέστερη προσθήκη του υπο-μοντέλου Deltatron, του προσέδωσε την ικανότητα να αναπαριστά επιτυχώς πολλαπλές αλλαγές στις χρήσεις γης, πέραν της αστικής. Οι σύγχρονες εξελίξεις αφορούν στη σύνδεση του SLEUTH με άλλα χωροχρονικά μοντέλα. Μερικές από τις εφαρμογές αυτές περιλαμβάνουν τη διασύνδεση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων του μοντέλου με άλλες προσπάθειες μοντελοποίησης, ενώ άλλες εμμένουν στον τομέα της φυσικής μοντελοποίησης. Σε ό,τι αφορά στην οτικοποίηση των εξαγόμενων από το SLEUTH αποτελεσμάτων, εντοπίζεται πλήθος των σχετικών τεχνικών, ωστόσο τονίζεται ότι η κατανόηση αλλά και η ανάλυση των προβλέψεων προσομοίωσης παραμένει ερευνητικό ζήτημα εν εξελίξει. Μέχρι σήμερα έχουν δημοσιευθεί τέσσερα review-papers για το SLEUTH (Clarke, Gazulis, Dietzel & Goldstein, 2007, Clarke, 2008, Clarke, 2008, Chaudhuri & Clarke, 2013).

4. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στο κεφάλαιο αυτό, καταγράφεται και αναλύεται η υφιστάμενη κατάσταση της ευρύτερης περιοχής της Ανατολικής Αττικής, η οποία συνιστά την περιοχή μελέτης της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Η καταγραφή της υφιστάμενης κατάστασης της περιοχής μελέτης γίνεται τόσο ως προς τα φυσικά, όσο και ως προς το ανθρωπογενή χαρακτηριστικά της.

4.1. Περιγραφή και Καθορισμός Περιοχής Μελέτης

Η Αττική, ως ενιαία φυσικογεωγραφική ηπειρωτική ενότητα, βρίσκεται στο κεντρικό τμήμα της χώρας, καταλαμβάνει το Νοτιοανατολικό τμήμα της Στερεάς Ελλάδας και εκτείνεται μεταξύ των Β. παραλλήλων $38^{\circ} 20' 28''$ και $37^{\circ} 38' 54''$ και μεταξύ των Α. μεσημβρινών $24^{\circ} 04' 48''$ και $22^{\circ} 50' 54''$. Η Αττική οριοθετείται στα βόρεια από τον κόλπο των Αλκυονίδων και τη Βοιωτία, ανατολικά από το Ν. Ευβοϊκό κόλπο και τον κόλπο των Πεταλιών, νότια από το Μυρτώο πέλαγος και το Σαρωνικό κόλπο και δυτικά από τον Ισθμό της Κορίνθου και τον Κορινθιακό κόλπο. Η Αττική καλύπτει συνολική έκταση ίση με 3.808 τ.χλμ, η οποία αναλογεί στο 2,9% της συνολικής έκτασης της χώρας (Ελληνική Εταιρία Τοπικής Ανάπτυξης και Αυτοδιοίκησης Α.Ε., 2011).



Εικόνα 4-1: Γεωγραφική θέση της ευρύτερης περιοχής μελέτης

Διοικητικά, η περιφέρεια Αττικής, σύμφωνα με το πρόγραμμα «Καλλικράτης» διαιρείται διοικητικά σε 8 περιφερειακές ενότητες (π.ε.) και συνολικά 65 καλλικρατικούς δήμους. Συγκεκριμένα:

- Η π.ε. Κεντρικού Τομέα Αθηνών περιλαμβάνει τους δήμους: Αθηναίων, Φιλαδελφείας – Χαλκηδόνας, Γαλατσίου, Ζωγράφου, Καισαριανής, Βύρωνος, Ηλιούπολης και Δάφνης – Υμηττού.
- Η π.ε. Νοτίου Τομέα Αθηνών περιλαμβάνει τους δήμους: Γλυφάδας, Ελληνικού - Αργυρούπολης, Αλίμου, Νέας Σμύρνης, Μοσχάτου – Ταύρου, Καλλιθέας, Παλαιού Φαλήρου και Αγίου Δημητρίου.

- Η π.ε. Βορείου Τομέα Αθηνών περιλαμβάνει τους δήμους: Πεντέλης, Κηφισιάς, Μεταμορφώσεως, Πεύκης – Λυκόβρυσης, Αμαρουσίου, Ψυχικού – Φιλοθέης, Χολαργού – Παπάγου, Νέας Ιωνίας, Βριλησίων, Αγ. Παρασκευής και Χαλανδρίου.
- Η π.ε. Δυτικού Τομέα Αθηνών περιλαμβάνει τους δήμους: Αιγάλεω, Περιστερίου, Πετρούπολης, Χαϊδαρίου, Αγίας Βαρβάρας και Ίλιου / Καματερού ή Αγ. Αναργύρων –Καματερού.
- Η π.ε. Πειραιώς περιλαμβάνει τους δήμους: Πειραιώς, Κορυδαλλού, Νίκαιας-Αγίου Ιωάννη Ρέντη, Κερατσινίου-Δραπετσώνας και Περάματος.
- Η π.ε. Δυτικής Αττικής περιλαμβάνει τους δήμους: Ελευσίνος, Άνω Λιοσίων, Ασπροπύργου, Βιλίων, Ερυθρών, Ζεφυρίου, Μάνδρας, Μεγαρέων και Νέας Περάμου.
- Η π.ε. Ανατολικής Αττικής περιλαμβάνει τους δήμους: Παλλήνης, Αγίου Στεφάνου, Αναβύσσου, Αρτέμιδος, Αυλώνος, Αχαρνών, Βάρης, Βούλας, Βουλιαγμένης, Γέρακα, Γλυκών Νερών, Καλυβίων Θορικού, Κερατέας, Κρωπίας, Λαυρεωτικής, Μαραθώνος, Μαρκοπούλου Μεσογαίας, Νέας Μάκρης, Παιανίας, Ραφήνας και Σπάτων-Λούτσας.
- Η π.ε. Νήσων περιλαμβάνει τους δήμους: Αίγινας, Τροιζηνίας, Κυθήρων, Αγκιστριού, Σαλαμίνας, Σπετσών και Ύδρας Πόρου. (<http://www.attiki.gov.gr/>, 2016).

Ως ευρύτερη περιοχή μελέτης ορίζεται η περιφέρεια Αττικής, συνολικής έκτασης 3.808 τ.χλμ, ενώ ως περιοχή μελέτης ορίστηκε η π.ε. της Ανατολικής Αττικής με συνολική έκταση 1513 τ.χλμ (Εικόνα 4-2).



Εικόνα 4-2: Περιοχή μελέτης

4.2. Καταγραφή Φυσικού Περιβάλλοντος

Στην παρούσα ενότητα, καταγράφονται τα βασικά στοιχεία του φυσικού περιβάλλοντος της περιοχής μελέτης. Συγκεκριμένα, μελετώνται η μορφολογία, το υδρογραφικό δίκτυο, τα ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά, η χλωρίδα και η πανίδα της περιοχής.

4.2.1. Μορφολογία

Η συνολική έκταση του λεκανοπεδίου της Αττικής είναι 3.808 τ.χλμ. Η περιοχή μελέτης καταλαμβάνει έκταση περίπου ίση με 1.513 τ.χλμ. Η περιοχή μελέτης χαρακτηρίζεται στη μεγαλύτερη έκτασή της ως πεδινή και η γενική κατεύθυνσή της είναι βορειοανατολικά – νοτιοδυτικά. Στην περιοχή εδράζουν τρεις κύριοι ορεινοί όγκοι: ο Υμηττός, με υψηλότερη κορυφή τα 1026 μ., η Πεντέλη, με υψηλότερη κορυφή τα 1109 μ. και η Πάρνηθα, με υψηλότερη κορυφή τα 1413 μ. (Ελληνική Εταιρία Τοπικής Ανάπτυξης και Αυτοδιοίκησης Α.Ε., 2011)..

4.2.2. Υδρογραφικό δίκτυο

Στην Αττική, οι επικρατούσες κλιματολογικές συνθήκες σε συνδυασμό με τη μορφή και τη σύσταση του αναγλύφου της, δεν επέτρεψαν τη δημιουργία και την ανάπτυξη ιδιαίτερα μεγάλων ποταμών. Ο κύριος υδροκρίτης που ορίζει το λεκανοπέδιο της Αττικής ακολουθεί την κορυφογραμμή των όρεων Αιγάλεω – Πάρνηθας – Πεντέλης – Υμηττού.

Το νοτιοανατολικό τμήμα του λεκανοπεδίου διατρέχεται από τον Ιλισό ποταμό, οι πηγές του οποίου τοποθετούνται στα νότια του Λυκαβηττού. Ο Ιλισός στο μεγαλύτερο τμήμα του χρησιμοποιείται πλέον ως αποχετευτικός αγωγός που εξυπηρετεί τις ανάγκες του πληθυσμού της περιοχής. Το υδάτινο σύστημα της περιοχής μελέτης ολοκληρώνεται με την τεχνητή λίμνη στο δήμο Μαραθώνα (Ελληνική Εταιρία Τοπικής Ανάπτυξης και Αυτοδιοίκησης Α.Ε., 2011).

4.2.3. Ιδιαίτερα φυσικά χαρακτηριστικά

Ως ορεινές περιοχές στην περιοχή μελέτης θεωρούνται οι ορεινοί όγκοι του Υμηττού, της Πεντέλης και της Πάρνηθας, καθώς και οι ορεινοί όγκοι της Λαυρεωτικής. Οι ορεινοί αυτοί όγκοι αποτελούν αναμφισβήτητα από τους σημαντικότερους φυσικούς πόρους της Αττικής, τόσο από την άποψη των αξιόλογων οικοσυστημάτων που αναπτύσσονται στις εν λόγω περιοχές, όσο και για τον καθοριστικό ρόλο που έχουν στη διαμόρφωση των κλιματικών συνθηκών, τη συμβολή τους στην αντιμετώπιση της ατμοσφαιρικής ρύπανσης και στην αντιπλημμυρική προστασία. Κατόπιν ειδικής μελέτης, έχουν οριοθετηθεί και θεσμοθετηθεί ζώνες χρήσεων γης και όρων και περιορισμών στην δόμησή τους, ώστε να αποκλείονται οι ασύμβατες δραστηριότητες και να αναδεικνύονται τα

ιδιαίτερα χαρακτηριστικά κάθε ορεινού όγκου. Συγκεκριμένα, μέχρι σήμερα έχουν θεσμοθετηθεί (<http://www.minenv.gr>, 2016):

- Ο ορεινός όγκος του Υμηττού με το από 16.6.11 Π. Δ. (ΦΕΚ 187 Δ)
- Ο ορεινός όγκος της Λαυρεωτικής με το από 24.1.03 Π. Δ. (ΦΕΚ 121Δ)
- Ο ορεινός όγκος της Πάρνηθας με το από 19.07.07 Π. Δ. (ΦΕΚ 336Δ)

Παράλληλα, στην περιοχή καταγράφονται αξιόλογοι τόποι οικολογικού ενδιαφέροντος, πολλοί εκ των οποίων περιλαμβάνονται στους καταλόγους της Ευρωπαϊκής Ένωσης ως Τοπία Ιδιαίτερου Φυσικού Κάλλους, Βιότοποι του προγράμματος CORINE, Βιότοποι του προγράμματος NATURA 2000 και δύο Εθνικοί Δρυμοί. Οι περιοχές που έχουν ενταχθεί στο πρόγραμμα NATURA 2000 παρουσιάζονται στον πίνακα 4-1:

Περιοχή προστασίας	Κωδικός
Όρος Πάρνηθα	GR3000001
Εθνικό Πάρκο Σχοινιά – Μαραθώνα	GR3000003
Σούνιο – Νησίδα Πατρόκλου και Παράκτια θαλάσσια Ζώνη	GR3000005
Υμηττός – Αισθητικό Δάσος Καισαριανής – Λίμνη Βουλιαγμένης	GR3000006

Πίνακας 4-1: Περιοχές προστασίας περιοχής μελέτης
Πηγή: <http://www.minenv.gr>

Επιπλέον, σημειώνεται ότι στην περιοχή εδράζουν και ορισμένοι σημαντικοί βιότοποι. Η Περιφέρεια περιλαμβάνει αρκετούς σημαντικούς βιότοπους σύμφωνα με τον κατάλογο που συνέταξε η Ελληνική Εταιρία Προστασίας της Φύσης το 1992. Στον πίνακα 4-2 που ακολουθεί, καταγράφονται όλοι οι σημαντικοί βιότοποι της περιοχής μελέτης.

Κωδικός	Βιότοποι
182	Έλος και Δάσος Σχοινιά Μαραθώνα
184	Εθνικός Δρυμός Πάρνηθας
190	Όρος Αγριλίκι Μαραθώνα
191	Κορυφές Όρους Υμηττός
192	Αττικό Άλσος
195	Εθνικός Δρυμός Σουνίου
200	Άρμα και φαράγγι Γκούρας (Πάρνηθα)

Πίνακας 4-2: Βιότοποι Αττικής

Πηγή: Έκδοση της Ελληνικής Εταιρίας Προστασίας της Φύσης σε συνεργασία με το Πρόγραμμα ΦΙΛΟΤΗΣ του Ε.Μ.Π.

Στην περιοχή, εντοπίζονται τα ακόλουθα καταφύγια άγριας ζωής (Πίνακας 4-3) καθώς και οι εθνικοί δρυμοί Πάρνηθας και Σουνίου.

Περιοχές Καταφυγίων Άγριας Ζωής
Μαρμαροξέρα Λαυρίου
Πάρνηθα
Βούτημα Καπανδριτίου
Μαυροσουβάλα Καπανδριτίου
Ραπεντώσα Πεντέλης
Υμηττός

Πίνακας 4-3: Καταφύγια άγριας ζωής Αττικής
Πηγή: <http://www.minenv.g>

4.2.4. Χλωρίδα - Πανίδα

Η χλωρίδα της περιοχής μελέτης που παρουσιάζει ιδιαίτερο οικολογικό ενδιαφέρον συγκεντρώνεται ως επί το πλείστον στις περιοχές του ορεινού όγκου της Πάρνηθας. Στην Πάρνηθα απαντώνται 1.116 είδη και ποικιλίες χλωρίδας, από τα οποία 13 αναφέρεται ότι έχουν φυτευτεί τεχνητά, ενώ 10 θεωρούνται ξενικά για την Πάρνηθα. Τα ελληνικά ενδημικά είδη που υπάρχουν στην Πάρνηθα παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Συνολικά, έχει καταγραφεί η παρουσία 92 ελληνικών ενδημικών ειδών (<http://www.parnitha.net/>, 2016).

Όμοια με τη χλωρίδα, η Πάρνηθα περιλαμβάνεται στις περιοχές της Αττικής με την πλουσιότερη πανίδα αφενός λόγω της σημαντικής έκτασής της, της ευνοϊκής γεωγραφικής της θέσης, του σχετικά ήπιου κλίματός της, του ιδιόμορφου ανάγλυφου, του γεωλογικού πλούτου αλλά και αφετέρου λόγω του ότι ως Εθνικός Δρυμός, ως Καταφύγιο Θηραμάτων, ως Ειδική Περιοχή Προστασίας για τα Πουλιά (SPA) και ως περιοχή του Δικτύου «NATURA 2000» απολαμβάνει υψηλή προστασία. Στο συγκεκριμένο οικοσύστημα φιλοξενούνται πλήθος από ενδημικά, σπάνια και απειλούμενα είδη της ελληνικής πανίδας. Αξίζει επίσης να αναφερθεί ότι η Πάρνηθα περιλαμβάνει πληθώρα βιοτόπων και αποτελεί ασφαλές καταφύγιο για την ορνιθοπανίδα, λόγω της ανακήρυξης της περιοχής ως Εθνικό Δρυμό. Πολλά είδη πτηνών και ιδίως αρπακτικών, τα οποία προστατεύονται από διάφορες συνθήκες και είναι απειλούμενα, απαντώνται στην περιοχή (<http://www.parnitha.net/>, 2016).

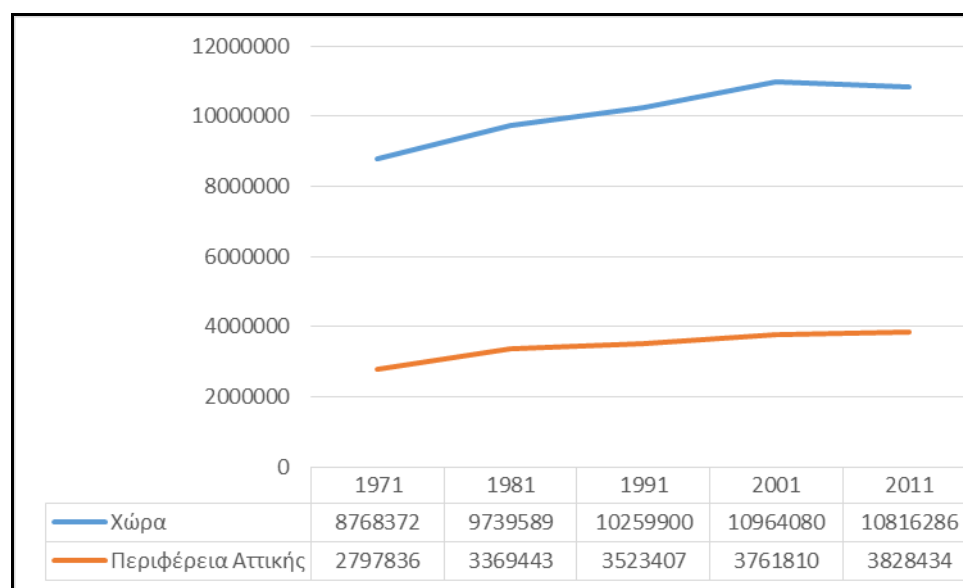
4.3. Καταγραφή Ανθρωπογενούς Περιβάλλοντος

Στην ενότητα αυτή, καταγράφονται τα στοιχεία του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος, τα οποία αφορούν στα πληθυσμιακά χαρακτηριστικά, την οικονομική δομή και τα δίκτυα μεταφορών της περιοχής μελέτης.

4.3.1. Πληθυσμιακά χαρακτηριστικά

Συνολικά, η περιφέρεια Αττικής συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού της χώρας. Συγκεκριμένα, ο πληθυσμός της περιφέρειας Αττικής, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 της Ελ.Στατ., ανέρχεται σε 3.828.434 κατοίκους και καλύπτει

περίπου το 36% του συνολικού πληθυσμού της χώρας. Στο διάγραμμα 4-1, παρουσιάζεται η διαχρονική εξέλιξη του πληθυσμού της περιφέρειας Αττικής.



Διάγραμμα 4-1: Πληθυσμιακή εξέλιξη περιφέρειας Αττικής

Πηγή: Ελ.Στατ.

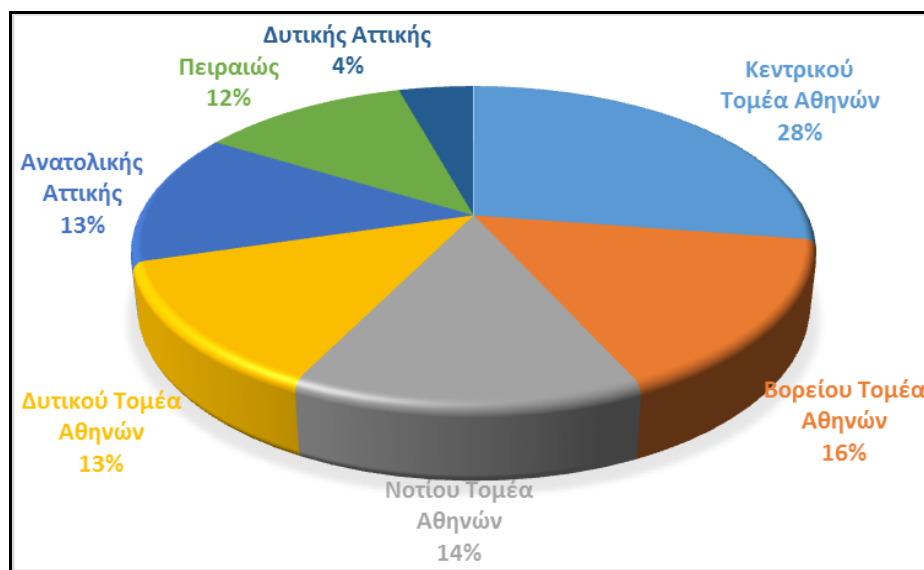
Βάσει των στοιχείων αυτών, παρατηρείται διαχρονικά αύξηση του πληθυσμού τόσο σε επίπεδο χώρας, όσο και σε επίπεδο περιφέρειας. Σημειώνεται ότι η ανακοπή της ραγδαίας πληθυσμιακής συγκέντρωσης στην Αττική, η οποία παρατηρείται από τη δεκαετία του 1980 και έπειτα, οφείλεται κυρίως στις τάσεις κορεσμού και συμφόρησης του πληθυσμού και των δραστηριοτήτων στην περιφέρεια Αττικής, καθώς και στις εφαρμοζόμενες πολιτικές περιφερειακής ανάπτυξης. Ωστόσο, παρά την σταθεροποίηση του ρυθμού αύξησης του πληθυσμού σε επίπεδα $< 10\%$, αναμένεται περαιτέρω αύξηση του πληθυσμού κατά τις επόμενες δεκαετίες.

Επισημαίνεται, επίσης, ότι ο αστικός πληθυσμός της περιφέρειας Αττικής καλύπτει περίπου το 50% του συνολικού αστικού πληθυσμού της χώρας. Σε επίπεδο περιφέρειας, ο αστικός πληθυσμός καλύπτει το 94% του συνολικού πληθυσμού της περιφέρειας, ο ημιαστικός το 5%, ενώ ο αγροτικός μόλις το 1% του συνολικού πληθυσμού της περιφέρειας (www.statistics.gr, 2016).

Η καταγραφόμενη αυξητική τάση του αστικού πληθυσμού μεταφράζεται χωρικά με την απόλυτη κυριαρχία του πολεοδομικού συγκροτήματος της πρωτεύουσας, γεγονός που δημιουργεί εσωτερικές μετακινήσεις και πληθυσμιακές πιέσεις στην ενδοχώρα και τις εσωτερικές ζώνες της περιφέρειας, με τις ανάλογες οικιστικές πιέσεις, καθώς και την ανάγκη ενίσχυσης των υποδομών στις περιοχές αυτές.

Πιο αναλυτικά ανά περιφερειακή ενότητα της Αττικής, ο πληθυσμός της π.ε. Κεντρικού Τομέα Αθηνών σύμφωνα με την απογραφή του 2011 ανέρχεται σε

1.029.520 κατοίκους, της π.ε. Βόρειου Τομέα Αθηνών σε 591.680 κατοίκους, της π.ε. Νότιου Τομέα Αθηνών σε 529.826 κατοίκους, της π.ε. Δυτικού Τομέα Αθηνών σε 489.675 κατοίκους, της π.ε. Πειραιώς σε 448.997 κατοίκους, της π.ε. Δυτικής Αττικής σε 160.927 κατοίκους και τέλος της π.ε. Ανατολικής Αττικής, που αποτελεί και την περιοχή ενδιαφέροντος σε 502.348 κατοίκους. Έτσι, η Ανατολική Αττική κατατάσσεται ως η 4^η μεγαλύτερη πληθυσμιακά περιφερειακή ενότητα της Αττικής, καταλαμβάνοντας περίπου το 13% του πληθυσμού της περιφέρειας. Τα στοιχεία αυτά παρουσιάζονται και στο διάγραμμα που ακολουθεί.



Διάγραμμα 4-2: Πληθυσμιακή κατανομή Αττικής σε περιφερειακές ενότητες
Πηγή: Ελ.Στατ.

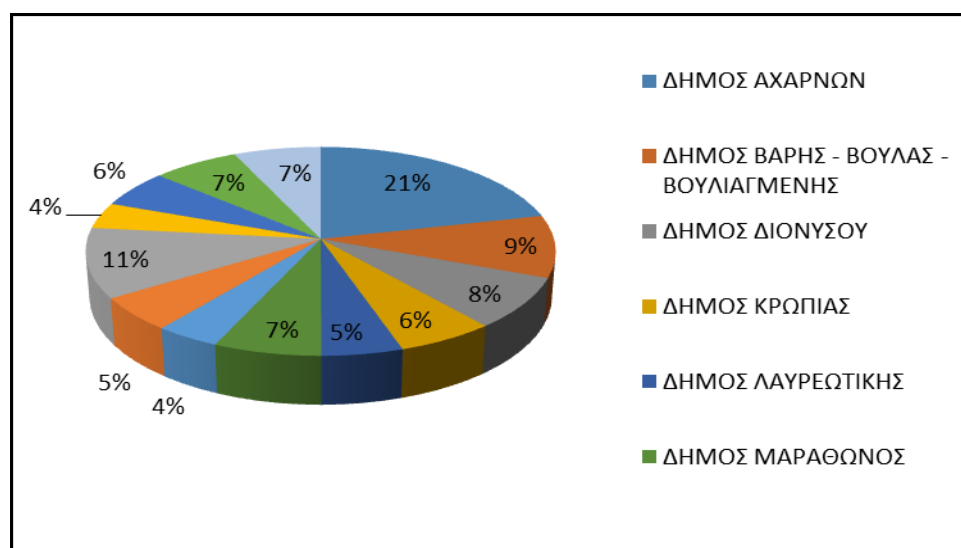
Πιο συγκεκριμένα και σε ό,τι αφορά στα πληθυσμιακά δεδομένα της π.ε. της Ανατολικής Αττικής, επισημαίνεται ότι ο πληθυσμός της περιοχής ανέρχεται σε 502.348 κατοίκους, σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Η διαχρονική κατανομή του πληθυσμού της π.ε. ανά δήμο για τις απογραφές των ετών 1991, 2001 και 2011 παρουσιάζεται στον πίνακα 4-4, που ακολουθεί.

Δήμος Π.Ε. Ανατολικής Αττικής	Πληθυσμός 1991 (κάτοικοι)	Μεταβολή (%)	Πληθυσμός 2001 (κάτοικοι)	Μεταβολή (%)	Πληθυσμός 2011 (κάτοικοι)
Π.Ε. ΑΝΑΤΟΛΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	277.207	39,3%	386.067	30,1%	502.348
ΔΗΜΟΣ ΑΧΑΡΝΩΝ	65.035	26,9%	82.555	29,5%	106.943
ΔΗΜΟΣ ΒΑΡΗΣ - ΒΟΥΛΑΣ - ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ	28.928	45,6%	42.127	14,9%	48.399
ΔΗΜΟΣ ΔΙΟΝΥΣΟΥ	17.249	88,4%	32.504	23,7%	40.193
ΔΗΜΟΣ ΚΡΩΠΙΑΣ	16.239	50,6%	24.453	23,9%	30.307
ΔΗΜΟΣ ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗΣ	18.826	18,2%	22.261	12,8%	25.102
ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ	24.901	-3,7%	23.974	39,4%	33.423
ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ ΜΕΣΟΓΑΙΑΣ	9.356	45,8%	13.644	46,9%	20.040
ΔΗΜΟΣ ΠΑΙΑΝΙΑΣ	15.518	27,4%	19.767	34,9%	26.668
ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΛΗΝΗΣ	22.035	52,5%	33.611	61,9%	54.415
ΔΗΜΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ - ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ	8.894	53,2%	13.625	48,7%	20.266
ΔΗΜΟΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ	13.008	75,8%	22.866	26,8%	29.002
ΔΗΜΟΣ ΣΠΑΤΩΝ - ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ	14.785	70,0%	25.138	34,5%	33.821
ΔΗΜΟΣ ΩΡΩΠΟΥ	22.433	31,7%	29.542	14,3%	33.769

Πίνακας 4-4: Πληθυσμιακή εξέλιξη π.ε. Ανατολικής Αττικής ανά δήμο
Πηγή: Ελ.Στατ.

Βάσει των στοιχείων του πίνακα, προκύπτει ότι για το έτος απογραφής 2011, πολυπληθέστερος δήμος της π.ε. Ανατολικής Αττικής είναι ο δήμος Αχαρνών, ενώ ακολουθούν οι δήμοι Παλλήνης, Βάρης – Βούλας – Βουλιαγμένης και Διονύσου. Αντίστοιχα, τον μικρότερο πληθυσμό εμφανίζονται να έχουν οι δήμοι Μαρκόπουλου και Ραφήνας – Πικερμίου.

Ακόμη, επισημαίνεται ότι στο διάστημα της τελευταίας εικοσαετίας (1991-2011), παρατηρούνται αμιγώς αυξητικές τάσεις του πληθυσμού των δήμων της ανατολικής Αττικής, ακολουθώντας το συνολικό μοτίβο της πληθυσμιακής αύξησης που χαρακτηρίζει το σύνολο της περιφέρειας Αττικής. Παρατηρείται, επίσης, ότι οι ποσοστιαίες αυξητικές μεταβολές είναι ως επί το πλείστον μεγαλύτερες κατά την πρώτη δεκαετία (1991-2001), σε σχέση με τη δεύτερη. Ο δήμος με τη μεγαλύτερη ποσοστιαία αύξηση κατά το διάστημα 1991-2001 είναι ο δήμος Διονύσου, ενώ για το διάστημα 2001-2011, ο δήμος Παλλήνης.



Διάγραμμα 4-3: Κατανομή πληθυσμού π.ε. Ανατολικής Αττικής ανά δήμο
Πηγή: Ελ.Στατ.

Σε ό,τι αφορά στην πληθυσμιακή πυκνότητα των δήμων της Ανατολικής Αττικής, που συνιστά χρήσιμο και αντιπροσωπευτικό δείκτη για την περιοχή μελέτης στο πλαίσιο της μελέτης, τα σχετικά στοιχεία παρουσιάζονται στον πίνακα που ακολουθεί.

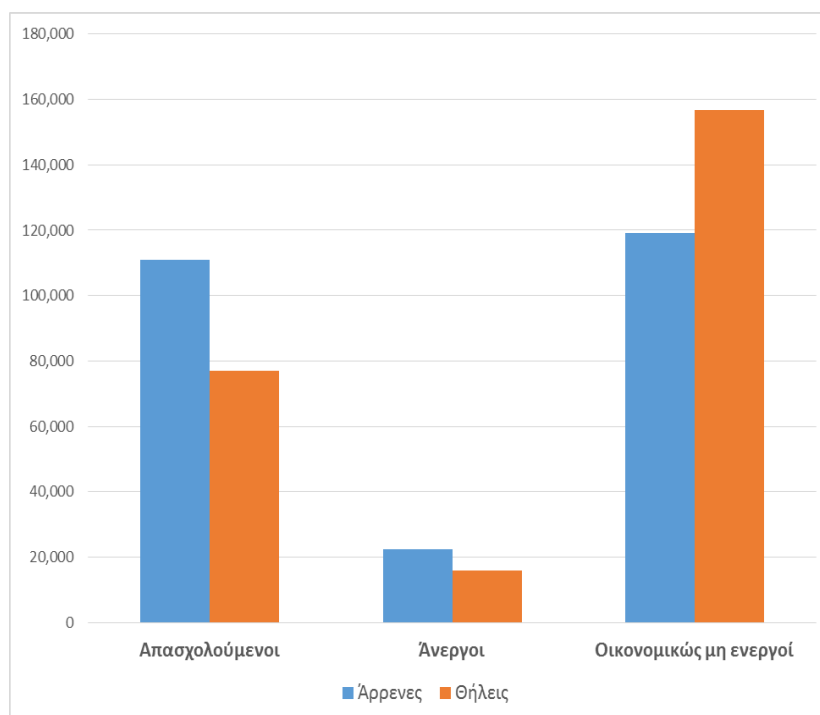
Δήμος Π.Ε. Ανατολικής Αττικής	Πληθυσμός (μόνιμοι κάτοικοι)	Έκταση (τ.χλμ)	Πληθυσμιακή πυκνότητα (κατ./τ.χλμ)
ΔΗΜΟΣ ΑΧΑΡΝΩΝ	106.943	108	990,2
ΔΗΜΟΣ ΒΑΡΗΣ - ΒΟΥΛΑΣ - ΒΟΥΛΙΑΓΜΕΝΗΣ	48.399	30	1613,3
ΔΗΜΟΣ ΔΙΟΝΥΣΟΥ	40.193	109	368,7
ΔΗΜΟΣ ΚΡΩΠΙΑΣ	30.307	102	297,1
ΔΗΜΟΣ ΛΑΥΡΕΩΤΙΚΗΣ	25.102	176	142,6
ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΑΘΩΝΟΣ	33.423	227	147,2
ΔΗΜΟΣ ΜΑΡΚΟΠΟΥΛΟΥ ΜΕΣΟΓΑΙΑΣ	20.040	82	244,4
ΔΗΜΟΣ ΠΑΙΑΝΙΑΣ	26.668	52	512,8
ΔΗΜΟΣ ΠΑΛΛΗΝΗΣ	54.415	33	1648,9
ΔΗΜΟΣ ΡΑΦΗΝΑΣ - ΠΙΚΕΡΜΙΟΥ	20.266	38	533,3
ΔΗΜΟΣ ΣΑΡΩΝΙΚΟΥ	29.002	136	213,3
ΔΗΜΟΣ ΣΠΑΤΩΝ - ΑΡΤΕΜΙΔΟΣ	33.821	74	457
ΔΗΜΟΣ ΩΡΩΠΟΥ	33.769	341	99

Πίνακας 4-5: Πληθυσμιακή πυκνότητα δήμων π.ε. Ανατολικής Αττικής
Πηγή: Ελ.Στατ.

Βάσει των στοιχείων του πίνακα, προκύπτει ότι τη μεγαλύτερη πληθυσμιακή πυκνότητα συγκεντρώνουν οι δήμοι Παλλήνης και Βάρης – Βούλας –Βουλιαγμένης και ακολουθεί ο δήμος Αχαρνών και ο δήμος Παιανίας. Σημειώνεται ότι οι δήμοι αυτοί προσφέρονται ως επι το πλείστον για πρώτη κατοικία και ο πληθυσμός τους είναι μόνιμος, σε αντίθεση με τους δήμους Ωρωπού, Λαυρεωτικής, Μαραθώνος και Σαρωνικού, που προσφέρονται κυρίως για δεύτερη/εξοχική κατοικία και στους οποίους εντοπίζονται οι χαμηλότερες πληθυσμιακές πυκνότητες της περιοχής μελέτης.

4.3.2. Οικονομική δομή

Σύμφωνα με τα στοιχεία της απογραφής του 2011, ο απασχολούμενος πληθυσμός της Αττικής ανέρχεται σε 1.452.203 κατοίκους, οι άνεργοι σε 319.359 κατοίκους, ενώ ο οικονομικώς μη ενεργός πληθυσμός ανέρχεται σε 2.056.872 κατοίκους. Πιο συγκεκριμένα και σε ό,τι αφορά στην π.ε. Ανατολικής Αττικής, ο απασχολούμενος πληθυσμός ανέρχεται σε 188.117 κατοίκους, οι άνεργοι σε 38.292 κατοίκους, ενώ ο οικονομικώς μη ενεργός πληθυσμός ανέρχεται σε 275.939 κατοίκους (Διάγραμμα 4-4).



Διάγραμμα 4-4: Οικονομικά ενεργός και μη ενεργός πληθυσμός π.ε. Ανατολικής Αττικής
Πηγή: Ελ.Στατ.

Η οικονομική διάρθρωση της π.ε. Ανατολικής Αττικής, όπως αυτή παρουσιάζεται στον πίνακα 4-6, σκιαγραφεί το προφίλ της οικονομίας της περιοχής μελέτης, η οποία φαίνεται να βασίζεται κυρίως στον τριτογενή τομέα και δευτερευόντως στον πρωτογενή και δευτερογενή τομέα παραγωγής. Συγκεκριμένα, παρατηρείται ότι ο

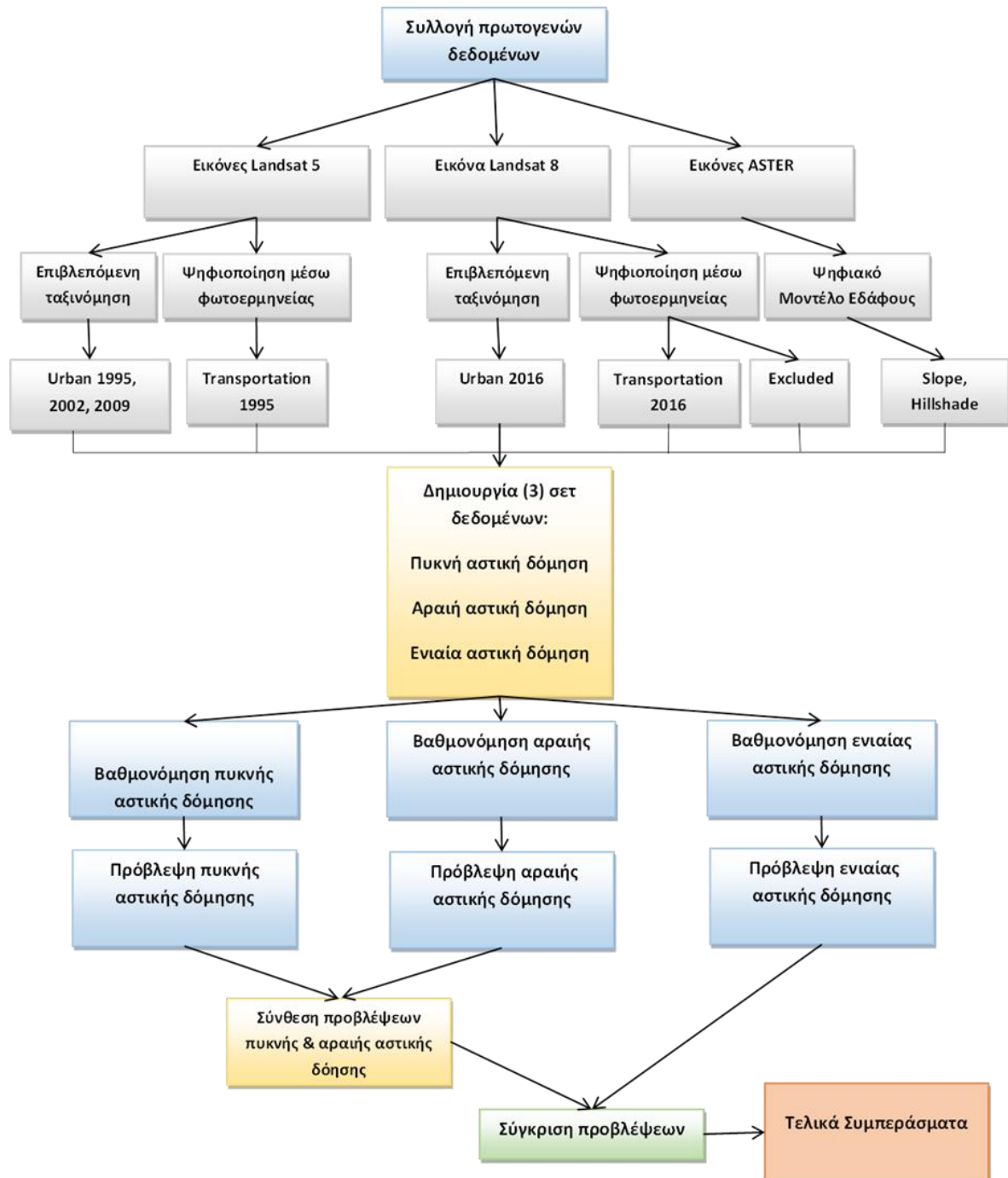
κλάδος του εμπορίου απασχολεί το μεγαλύτερο ποσοστό του πληθυσμού της περιοχής μελέτης, ενώ ακολουθούν η δημόσια διοίκηση και οι κατασκευές.

Παραγωγικοί Τομείς	Ομάδες κλάδων οικονομικής δραστηριότητας	Οικονομικά ενεργός πληθυσμός
Πρωτογενής Τομέας	Γεωργία, Κτηνοτροφία, Αλιεία	7.552
Δευτερογενής Τομέας	Κατασκευές	13.704
Τριτογενής Τομέας	Χονδρικό και λιανικό εμπόριο	36.916
	Ξενοδοχεία και εστιατόρια	10.534
	Μεταφορές, αποθήκευση και επικοινωνίες	12.263
	Δημόσια διοίκηση	23.252
	Εκπαίδευση	12.032
	Υγεία και κοινωνική μέριμνα	11.583
	Λοιποί κλάδοι	60.281

Πίνακας 4-6: Οικονομικώς ενεργός πληθυσμός π.ε. Ανατολικής Αττικής και παραγωγικοί τομείς
 Πηγή: Ελ.Στατ.

5. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SLEUTH ΣΤΗΝ ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Στο παρόν κεφάλαιο, περιγράφεται και αναλύεται η διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου SLEUTH στην περιοχή μελέτης, δηλαδή την ανατολική Αττική, το προφίλ της οποίας περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Αρχικά, περιγράφεται η διαδικασία συλλογής των πρωτογενών δεδομένων, ενώ στις ενότητες που ακολουθούν, αναλύονται οι επιμέρους διαδικασίες της μεθοδολογικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε και περιγράφεται αναλυτικά κάθε στάδιο της εφαρμογής του μοντέλου, όπως παρουσιάζεται στο ακόλουθο διάγραμμα.



Διάγραμμα 5-1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας της εργασίας

5.1. Συλλογή Πρωτογενών Δεδομένων

Όπως προαναφέρθηκε, η ονομασία του SLEUTH αποτελεί το ακρώνυμο των δεδομένων εισόδου που απαιτούνται για την εφαρμογή του μοντέλου, δηλαδή της τοπογραφική κλίσης (Slope), των χρήσεων γης (Landuse), των εξαιρουμένων περιοχών (Excluded), της αστικής γης (Urban), του οδικό δικτύου (Transportation) και της σκίασης αναγλύφου (Hillshade) της εκάστοτε περιοχής μελέτης.

Σημειώνεται ότι από το σύνολο των δεδομένων αυτών, οι χρήσεις γης, η αστική γη καθώς και το οδικό δίκτυο απαιτείται να αποτελούν διαχρονικά δεδομένα, δηλαδή να αναφέρονται σε συγκεκριμένα έτη αναφοράς του παρελθόντος. Συγκεκριμένα, για το επίπεδο της αστικής γης απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερα σύνολα, για ισάριθμες διαφορετικές χρονικές στιγμές, για τις χρήσεις γης και το οδικό απαιτούνται τουλάχιστον από δύο σύνολα, τα οποία να αφορούν τις χρονικές στιγμές του πρώτου και του τελευταίου χρονικά συνόλου της αστικής γης, ενώ για τις εξαιρούμενες περιοχές, την κλίση και τη σκίαση αναγλύφου απαιτείται από ένα σύνολο, ίδιο για όλες τις χρονικές στιγμές (Πίνακας 5-1). Στην παρούσα εργασία, καθώς δεν χρησιμοποιήθηκε το υπό – μοντέλο Deltatron που μοντελοποιεί τις λυιές χρήσεις γης πέραν της αστικής, το επίπεδο των χρήσεων γης δεν ήταν απαραίτητο για την εφαρμογή του μοντέλου.

Απαιτούμενα επίπεδα	Αριθμός συνόλων	Έτη αναφοράς	Πηγή πρωτογενών δεδομένων
Τοπογραφική κλίση	1		Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους δορυφόρου ASTER
Σκίαση αναγλύφου	1		Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους δορυφόρου ASTER
Οδικό δίκτυο	2	1995	Εικόνα δορυφόρου Landsat 5
		2016	Εικόνα δορυφόρου Landsat 8
Αστική γη	4	1995	Εικόνα δορυφόρου Landsat 5
		2002	Εικόνα δορυφόρου Landsat 8
		2009	Εικόνα δορυφόρου Landsat 8
		2016	Εικόνα δορυφόρου Landsat 8
Εξαιρούμενες περιοχές	1		Shapefile περιοχών Natura και αεροδρόμιο

Πίνακας 5-1: Απαιτούμενα επίπεδα πληροφορίας εισόδου

Μετά τη συλλογή των δεδομένων – εισόδου, απαραίτητη ήταν η επεξεργασία τους προκειμένου να αποκτήσουν την κατάλληλη μορφή, που τα καθιστά ικανά προς χρήση από το μοντέλο. Συγκεκριμένα, το μοντέλο αξιοποιεί αρχεία μορφής gif, τα οποία θα πρέπει να έχουν ίδια ανάλυση (30m x 30m) και διάσταση (8bit) και να είναι σε τόνους του γκρι (εικόνες grayscale), όπου τα εικονοστοιχεία να λαμβάνουν τιμές από 0-255. Η ανάλυση επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος της περιοχής, την εκτίμηση για τον απαιτούμενο χρόνο επεξεργασίας καθώς και την

χωρική ανάλυση των ήδη διαθέσιμων δεδομένων. Όλες οι εικόνες είχαν μέγεθος 1158 x 2506 εικονοστοιχείων και αφορούσαν στην ίδια ακριβώς περιοχή και στο ίδιο σύστημα αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Η επεξεργασία των δεδομένων πραγματοποιήθηκε σε περιβάλλον ArcGIS (έκδοση 10.1), το οποίο αποτελεί το πλέον διαδεδομένο ΓΣΠ και προσφέρει ποικίλες δυνατότητες χωρικής ανάλυσης, επεξεργασίας και οπτικοποίησης χωρικών δεδομένων. Επίσης, ορισμένες από τις επεξεργασίες των αρχείων – εικόνων πραγματοποιήθηκαν με την χρήση του λογισμικού GIMP (έκδοση 2.8). Ακολούθως, περιγράφονται αναλυτικά οι διαδικασίες επεξεργασίας που έλαβαν χώρα για κάθε ένα από τα δεδομένα εισόδου, προκειμένου τα πρωτογενή δεδομένα να αποκτήσουν την κατάλληλη για το μοντέλο SLEUTH μορφή.

5.1.1. Τοπογραφική κλίση

Για το επίπεδο της τοπογραφικής κλίσης, χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) του δορυφόρου ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer.), όπως αυτό διατίθεται στη διαδικτυακή εφαρμογή earth explorer (earthexplorer.usgs.gov) της USGS, από την οποία και μεταφορτώθηκαν συνολικά τέσσερα αρχεία, που καλύπτουν το σύνολο της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια, τα τέσσερα αυτά αρχεία συνδυάστηκαν κατάλληλα μεταξύ τους σε περιβάλλον ArcGIS, προκειμένου να δημιουργηθεί το μωσαϊκό της περιοχής μελέτης. Τελικά, το ψηφιακό μοντέλο εδάφους της περιοχής μελέτης έχει ανάλυση 30m και κάθε ρixel έχει ως τιμή το υψόμετρο του εδάφους, με αναφορά το επίπεδο της θάλασσας. Αφού δημιουργήθηκε το αρχείο mosaic_DEM για την περιοχή μελέτης, πραγματοποιήθηκε η επαναπροβολή του στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987 (ΕΓΣΑ '87). Στη συνέχεια, από το επίπεδο DEM εξήχθη το επίπεδο των κλίσεων. Στο επίπεδο των κλίσεων, κάθε ρixel έχει την ακέραια τιμή της κλίσης επί τοις εκατό (%), όπως ορίζουν οι κανόνες του μοντέλου SLEUTH.



Εικόνα 5-1: Επίπεδο κλίσεων

5.1.2. Οδικό δίκτυο

Η ενσωμάτωση των υποδομών οδικού δικτύου στο μοντέλο βελτιώνει την προσομοίωση της τάσης της αστικής εξάπλωσης, καθώς η ανάπτυξη μιας περιοχής συναρτάται σε σημαντικό βαθμό από τις υφιστάμενες υποδομές του οδικού δικτύου. Το επίπεδο του οδικού δικτύου προέκυψε μέσω ψηφιοποίησης των δορυφορικών εικόνων των δορυφόρων Landsat 5 για το έτος 1995 και Landsat 8 για το έτος 2016. Οι δορυφορικές εικόνες αντλήθηκαν από την εφαρμογή earth explorer (earthexplorer.usgs.gov). Συγκεκριμένα, για την ψηφιοποίηση του οδικού δικτύου του 1995, χρειάστηκε να εφαρμοσθεί στην αντίστοιχη δορυφορική εικόνα ο λόγος καναλιών 3 προς 5, ο οποίος τονίζει τις τεχνιές επιφάνειες. Ωστόσο, δεδομένης της ανάλυσης της εικόνας, δεν κατέστη εφικτή η ψηφιοποίηση του δευτερεύοντος οδικού δικτύου και για το λόγο αυτό ψηφιοποιήθηκε μόνο το κύριο οδικό δίκτυο. Για το οδικό δίκτυο του 2016, πραγματοποιήθηκε η προσθήκη της Αττικής οδού και άλλων τμημάτων του κύριου οδικού δικτύου μέσω φωτοερμηνείας στην δορυφορική εικόνα του 2016, η οποία λόγω καλύτερης ραδιομετρικής ανάλυσης δεν απαιτούσε την εφαρμογή λόγου καναλιών.



Εικόνα 5-2: Επίπεδο οδικού δικτύου 1995



Εικόνα 5-3: Επίπεδο οδικού δικτύου 2016

5.1.3. Περιοχές αστικής χρήσης

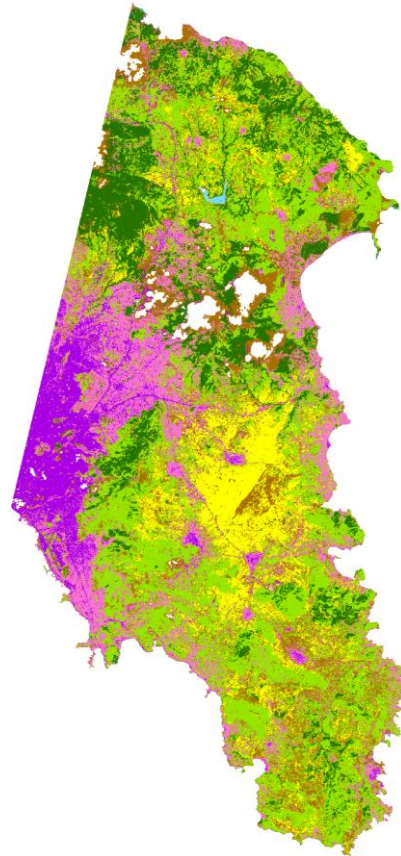
Η απεικόνιση των περιοχών αστικής χρήσης και η διαχρονική χωρική μεταβολή τους αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα δεδομένα που απαιτεί το μοντέλο. Τα δεδομένα για την εξαγωγή της πληροφορίας για την αστική γη εξήχθησαν από τις δορυφορικές εικόνες του Landsat 5, για τα έτη 1995, 2002 και 2009 και από την αντίστοιχη δορυφορική εικόνα του Landsat 8 για το έτος 2016. Απαραίτητη για τις μετέπειτα επεξεργασίες των εικόνων ήταν η ραδιομετρική διόρθωσή τους, χρησιμοποιώντας τα μεταδεδομένα που τις συνοδεύουν και τον αλγόριθμο DOS1 (Dark Object Subtraction).

Στη συνέχεια, η εξαγωγή της αστικής γης από τις δορυφορικές εικόνες έγινε με επιβλεπόμενη ταξινόμηση των τεσσάρων εικόνων σε περιβάλλον ArcGIS. Συγκεκριμένα, σε κάθε εικόνα ορίστηκαν πολύγωνα εκπαίδευσης για ορισμένες κατηγορίες χρήσεων γης (δάσος, καλλιέργιες, σκληροφυλλική βλάστηση, θάλασσα, πυκνή αστική δόμηση, αραιή αστική δόμηση, γυμνό έδαφος, χερσαία ύδατα), προκειμένου να ταξινομηθούν οι εικόνες βάσει αυτών των κατηγοριών. Σημειώνεται ότι η διαδικασία της ταξινόμησης των τεσσάρων εικόνων αποτέλεσε σημαντικό στάδιο της μεθοδολογικής προσέγγισης, δεδομένου ότι αποτελεί βασική πηγή πληροφορίας για το μοντέλο. Η ποιότητα και η πιστότητα της ταξινόμησης δύναται να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα τόσο της βαθμονόμησης όσο και της

πρόβλεψης του μοντέλου και για το λόγο αυτό δόθηκε ιδιαίτερη έμφαση στο στάδιο αυτό. Ακόμη, τα αποτελέσματα της ταξινόμησης διορθώθηκαν από κάποια προφανή σφάλματα, όπως για παράδειγμα ορισμένα σύννεφα τα οποία η ταξινόμηση αναγνώρισε ως αστικές περιοχές πυκνής δόμησης, γιατί παρουσίασαν όμοιες φασματικές υπογραφές.



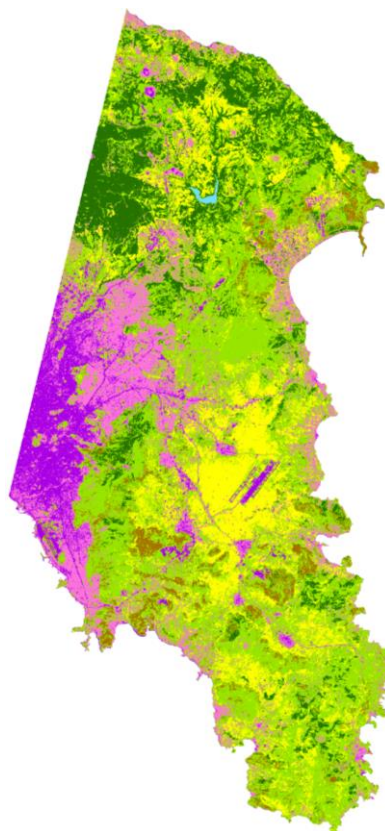
Εικόνα 5-4: Δορυφορική εικόνα για το έτος 1995
Πηγή: earthexplorer.usgs.gov



Εικόνα 5-5: Αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνας
1995



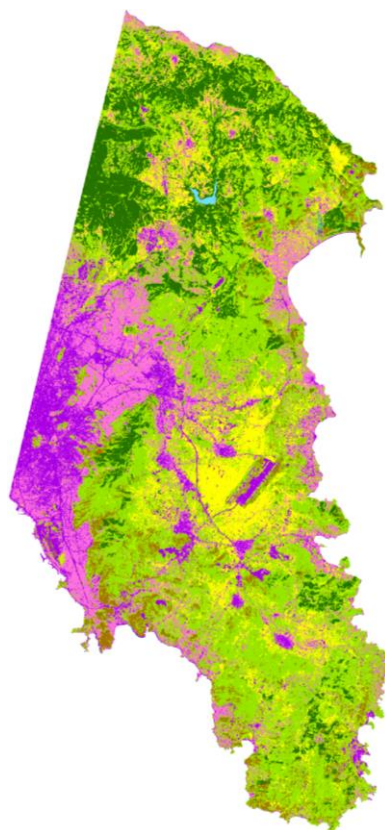
Εικόνα 5-6: Δορυφορική εικόνα για το έτος 2002
Πηγή: earthexplorer.usgs.gov



Εικόνα 5-7: Αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνας
2002



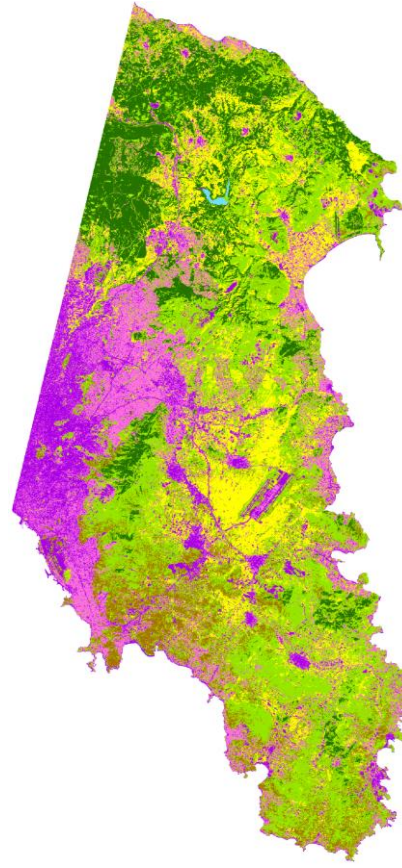
Εικόνα 5-8: Δορυφορική εικόνα για το έτος 2009
Πηγή: earthexplorer.usgs.gov



Εικόνα 5-9: Αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνας
2009

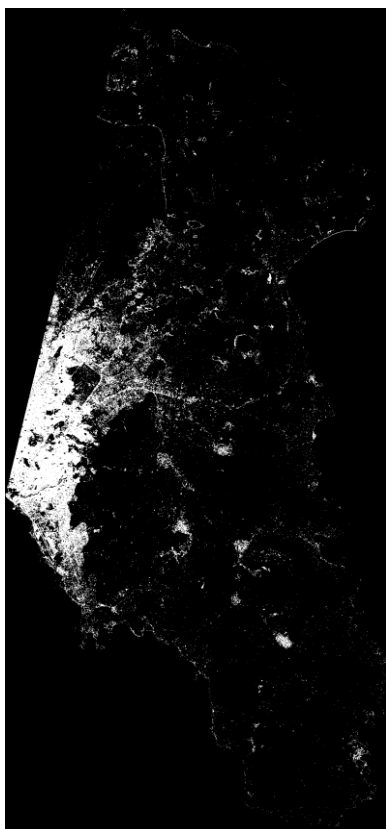


Εικόνα 5-10: Δορυφορική εικόνα για το έτος 2016,
Πηγή: earthexplorer.usgs.gov



Εικόνα 5-11: Αποτέλεσμα ταξινόμησης εικόνας
2016

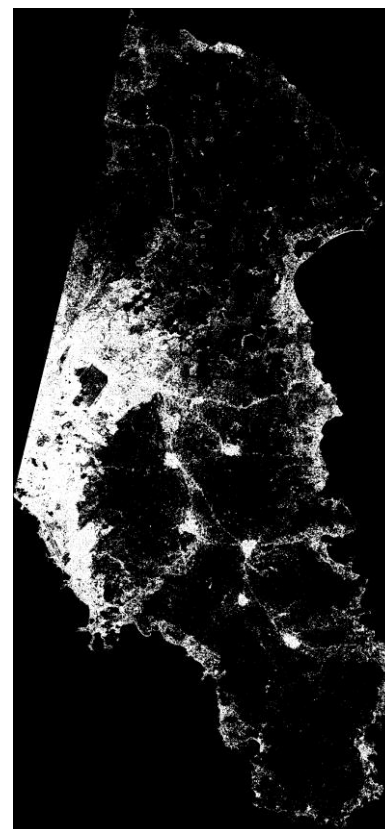
Ακολούθως, για κάθε ταξινομημένη εικόνα απομονώθηκαν οι κλάσεις που αφορούσαν την αστική γη. Έτσι, δημιουργήθηκαν τρία σετ εικόνων: ένα που απεικονίζει μόνο την πυκνή δόμηση για όλα τα έτη αναφοράς, ένα που απεικονίζει μόνο την αραιή για όλα τα έτη αναφοράς και ένα που απεικονίζει το σύνολο της αραιής και πυκνής δόμησης για την περιοχή μελέτης για όλα τα έτη αναφοράς. Τέλος, καθώς οι πρωτογενείς δορυφορικές εικόνες προέρχονται από διαφορετική χρονιά, διαφορετική λήψη και διαφορετική εποχή, ορισμένα pixel δεν ταξινομήθηκαν ως αστικά σε όλα τα έτη αναφοράς. Για το λόγο αυτό, κρίθηκε απαραίτητη η αλληλεπίθεση των ταξινομημένων εικόνων, προκειμένου να ικανοποιείται ο κανόνας του μοντέλου, σύμφωνα με τον οποίο ένα pixel το οποίο την χρονική στιγμή t είναι αστικό δεν είναι δυνατόν να μην είναι αστικό την χρονική στιγμή $t+x$, όπου x θετικός ακέραιος.



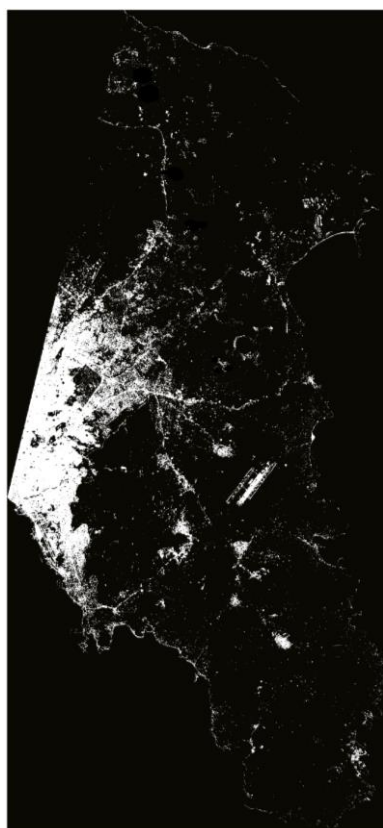
Εικόνα 5-12: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πυκνής αστικής δομησης έτους 1995



Εικόνα 5-13: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αραιής αστικής δομησης έτους 1995



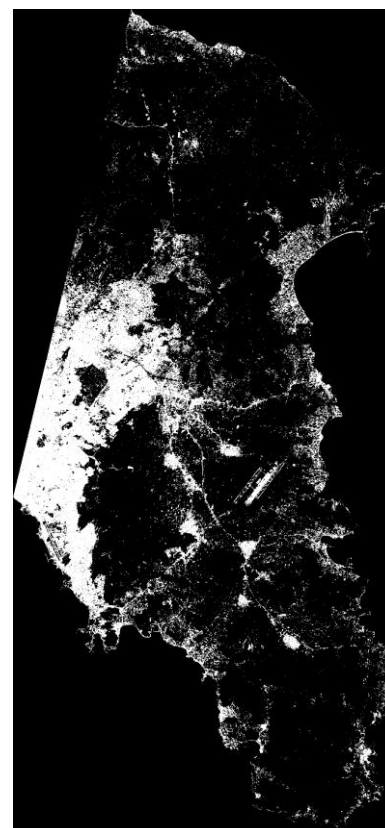
Εικόνα 5-14: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ενιαίας αστικής δομησης έτους 1995



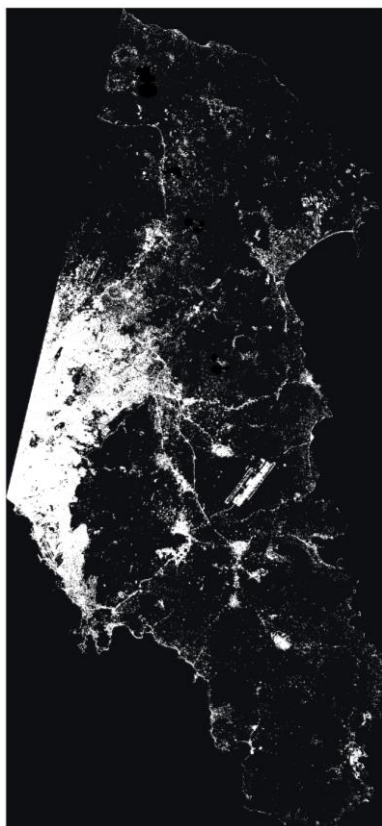
Εικόνα 5-15: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πυκνής αστικής δομησης έτους 2002



Εικόνα 5-16: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αραιής αστικής δομησης έτους 2002



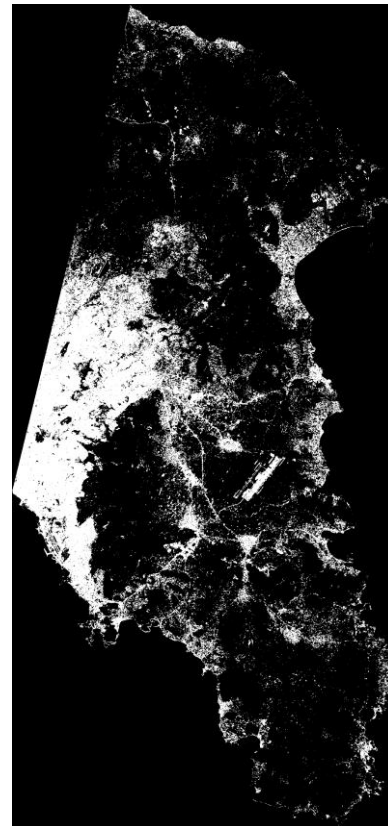
Εικόνα 5-17: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ενιαίας αστικής δομησης έτους 2002



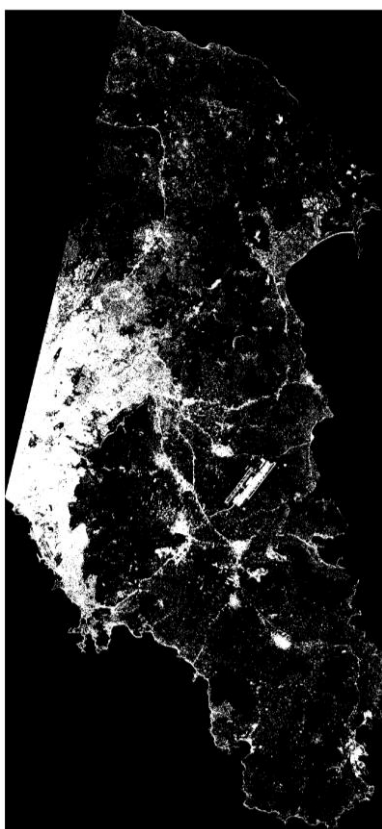
Εικόνα 5-18: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πυκνής αστικής δομησης έτους 2009



Εικόνα 5-19: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αραιής αστικής δομησης έτους 2009



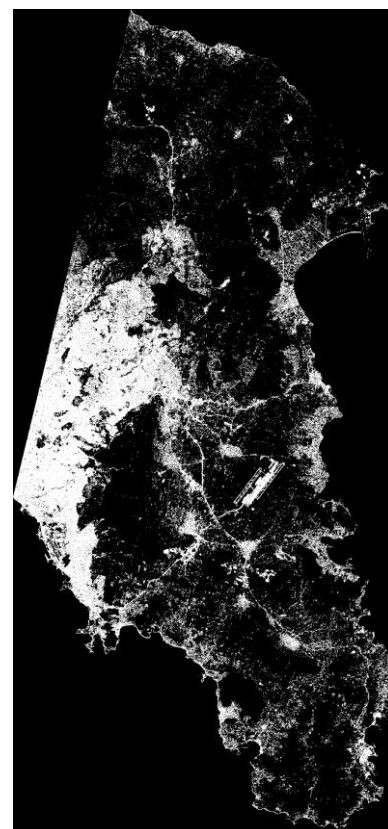
Εικόνα 5-20: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ενιαίας αστικής δομησης έτους 2009



Εικόνα 5-21: Αποτέλεσμα ταξινόμησης πυκνής αστικής δομησης έτους 2016



Εικόνα 5-22: Αποτέλεσμα ταξινόμησης αραιής αστικής δομησης έτους 2016



Εικόνα 5-23: Αποτέλεσμα ταξινόμησης ενιαίας αστικής δομησης έτους 2016

5.1.4. Εξαιρούμενες περιοχές

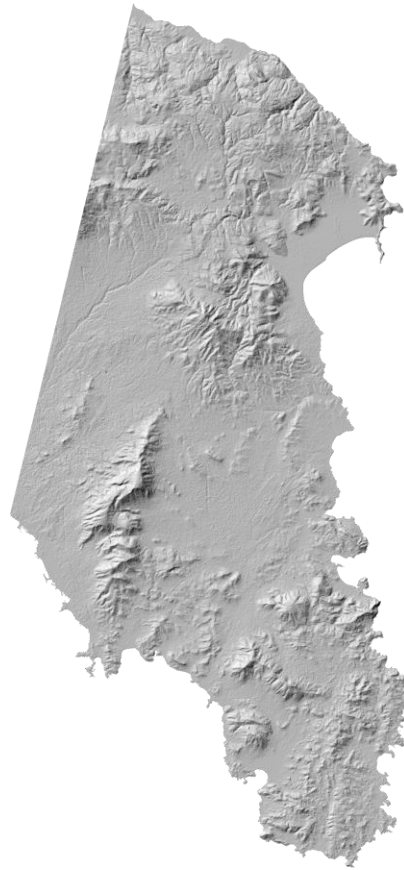
Εξαιρούμενες από την αστικοποίηση περιοχές είναι αφενός οι περιοχές που εντάσσονται στο δίκτυο Natura2000 (Εθνικό Πάρκο Σχοινιά – Μαραθώνα, Σούνιο – Νησίδα Πατρόκλου και Παράκτια θαλάσσια Ζώνη, Υμηττός – Αισθητικό Δάσος Καισαριανής – Λίμνη Βουλιαγμένης) και αφετέρου η περιοχή του αεροδρομίου (Εικόνα 5-24).



Εικόνα 5-24: Επίπεδο εξαιρούμενων περιοχών από την αστικοποίηση (άσπρο χρώμα)

5.1.5. Σκίαση αναγλύφου

Για το επίπεδο της σκίασης αναγλύφου, χρησιμοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) του δορυφόρου ASTER, όπως και για το επίπεδο των κλίσεων. Από το επίπεδο DEM εξήχθη το επίπεδο της σκίασης αναγλύφου, το οποίο χρησιμοποιήθηκε για λόγους οπτικοποίησης ως υπόβαθρο στα εξαγόμενα αποτελέσματα.



Εικόνα 5-25: Επίπεδο σκίασης αναγλύφου

5.2. Δοκιμή Μοντέλου

Η δοκιμή του μοντέλου (test) αποτελεί το πρώτο βήμα της εφαρμογής και συνιστά πρακτικά τον έλεγχο των σετ δεδομένων, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν συνάδουν με τις προδιαγραφές του μοντέλου για τα δεδομένα εισόδου. Επισημαίνεται ότι η σημασία του σταδίου της δοκιμής είναι μεγάλη, διότι κατά τη διάρκειά του δύναται να εντοπιστούν πιθανά χονδροειδή ή συστηματικά σφάλματα και έτσι μπορεί να αποφευχθεί το ενδεχόμενο το μοντέλο να εκτελείται χωρίς νόημα, κατά τη διάρκεια των επόμενων σταδίων της βαθμονόμησης και της πρόβλεψης. Μόλις ολοκληρωθεί η δοκιμή του μοντέλου, ακολουθεί η βαθμονόμησή του, η οποία αποτελεί το σημαντικότερο βήμα της όλης διαδικασίας (Silva & Clarke, 2002)

5.3. Βαθμονόμηση Μοντέλου

Η λειτουργία της βαθμονόμησης του μοντέλου αποτελεί την πιο σημαντική φάση για την επιτυχία των προβλέψεων. Στόχος της διαδικασίας της βαθμονόμησης είναι η εύρεση εκείνου του συνδυασμού παραμέτρων ελέγχου, που οδηγεί σε εκτέλεση του μοντέλου που προσομοιώνει πιστότερα την πραγματικότητα (Clarke & Gaydos,

1998). Οι παράμετροι αυτοί στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να υπολογισθούν οι τιμές των παραμέτρων της πρόβλεψης, η οποία συνιστά και το επόμενο βήμα (Silva & Clarke, 2002). Πρόκειται για το πιο χρονοβόρο στάδιο της εφαρμογής του μοντέλου.

Πιο συγκεκριμένα, οι πέντε συντελεστές που ελέγχουν τη συμπεριφορά του μοντέλου και των οποίων αναζητείται ο βέλτιστος συνδυασμός είναι:

- Diffusion: επηρεάζει την αυθόρμητη ανάπτυξη και την ανάπτυξη με βάση το οδικό δίκτυο.
- Breed: δείχνει την πιθανότητα εμφάνισης νέων κέντρων εξάπλωσης και επηρεάζει κατά έναν βαθμό την ανάπτυξη που βασίζεται στο οδικό δίκτυο.
- Spread: αφορά στην πιθανότητα για οργανική ανάπτυξη από υπάρχοντα αστικά κέντρα.
- Slope: αφορά στην κλίση του εδάφους και είναι αντιστρόφως ανάλογη της αστικοποίησης.
- Road gravity: Επηρεάζει βάσει της βαρύτητας του κάθε εικονοστοιχείου ως προς το οδικό δίκτυο, την εξωγενή απόσταση για την οποία ένα εικονοστοιχείο του οδικού δικτύου θα επηρεάσει την δημιουργία ενός αστικού εικονοστοιχείου, ως μέρος της ανάπτυξης που βασίζεται στο οδικό δίκτυο. (<http://www.ncgia.ucsb.edu>, 2016)

Η επιλογή του εύρους των παραπάνω παραμέτρων του μοντέλου σε κάθε ένα εκ των επιμέρους σταδίων της βαθμονόμησης γίνεται βάσει του αρχείου control.stats.log, το οποίο προκύπτει μετά την εκτέλεση κάθε σταδίου. Στο αρχείο αυτό, κάθε γραμμή προκύπτει ως αποτέλεσμα μιας μοναδικής εκτέλεσης του μοντέλου, ενώ οι στήλες των παραμέτρων στο τέλος κάθε γραμμής αποτελούν τις αντίστοιχες αρχικές τιμές των παραμέτρων.

Πιο συγκεκριμένα, με το πέρας κάθε σταδίου βαθμονόμησης εξάγονται στατιστικά στοιχεία για κάθε έτος ελέγχου αναφορικά με έντεκα δείκτες. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα αυτά συγκρίνονται με τους αντίστοιχους δείκτες των δεδομένων και υπολογίζονται οι διαφορές των ελαχίστων τετραγώνων τους, που καταγράφονται στο αρχείο control.stats.log. Ακολουθώντας, ταξινομώντας τις πέντε παραμέτρους του μοντέλου (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity), βάσει ενός ή περισσότερων από τους παραπάνω δείκτες, αναζητώνται τα σετ των παραμέτρων με την υψηλότερη απόδοση. Ωστόσο, επισημαίνεται ότι ακόμα ενυπάρχουν διαφωνίες επί της διαδικασίας: ο αλγόριθμος που περιορίζει το εύρος των παραμέτρων, προκειμένου να βρεθεί τελικά ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός τους, αποτελεί ζήτημα αμφισβήτησης, χωρίς να έχει συμφωνηθεί ένας καθολικά αποδεκτός τρόπος, ενώ επίσης αμφιλεγόμενο ζήτημα αποτελεί η επιλογή του αριθμού των αποτελεσμάτων που χρησιμοποιούνται στην εύρεση του εύρους των

τιμών των παραμέτρων. Οι έντεκα δείκτες που παράγονται για κάθε έτος ελέγχου είναι οι παρακάτω:

- `compare`: συγκρίνει την ποσότητα της αστικής έκτασης από το μοντέλο προς τη γνωστή αστική έκταση για το τελευταίο έτος ελέγχου.
- `pop`: πρόκειται για τη διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων της αστικής έκτασης από το μοντέλο συγκρινόμενης με την πραγματική για τα έτη ελέγχου.
- `edges`: πρόκειται για τη διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων για την ποσότητα της αστικής περιμέτρου από το μοντέλο προς την πραγματική αστική περίμετρο για τα έτη ελέγχου.
- `clusters`: η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων για τον αριθμό των αστικών συγκεντρώσεων από το μοντέλο, συγκρινόμενα με τον πραγματικό αριθμό αυτών για τα αντίστοιχα έτη ελέγχου.
- `cluster_size`: πρόκειται για τη διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων για τον μέσο όρο του μεγέθους των αστικών συγκεντρώσεων από το μοντέλο, συγκρινόμενων με το γνωστό μέσο όρο των αστικών συγκεντρώσεων για τα έτη ελέγχου.
- `leesalee`: αποτελεί χωρικό δείκτη, μια μέτρηση της χωρικής συσχέτισης μεταξύ της ανάπτυξης που προκύπτει από το μοντέλο και της γνωστής αστικής έκτασης για τα έτη ελέγχου, με την τιμή 1 να αναφέρεται στην πλήρη ταύτιση και την τιμή 0 να αντιπροσωπεύει πλήρη χωρική ασυμφωνία.
- `slope`: πρόκειται για τη διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων της μέσης κλίσης των αστικοποιημένων κελιών συγκρινόμενης με τη μέση κλίση των γνωστών αστικών κελιών για τα έτη ελέγχου.
- `%urban`: πρόκειται για τη διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων του ποσοστού των διαθέσιμων αστικοποιημένων κελιών συγκρινόμενα με τα αστικοποιημένα κελιά για τα έτη ελέγχου.
- `xmean`: πρόκειται για τη διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων του μέσου γεωγραφικού μήκους για τις μοντελοποιημένες αστικές περιοχές συγκρινόμενου με το μέσο γεωγραφικό μήκος των αστικών περιοχών για τα έτη ελέγχου.
- `ymean`: πρόκειται για τη διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων του μέσου γεωγραφικού πλάτους για τις μοντελοποιημένες αστικές περιοχές συγκρινόμενου με το μέσο γεωγραφικό πλάτος των αστικών περιοχών για τα έτη ελέγχου.
- `rad`: αφορά μια μέτρηση της αστικής διασποράς. (<http://www.ncgia.ucsb.edu>, 2016)

Την πιο ευρέως διαδεδομένη μέθοδο επιλογής του εύρους των παραμέτρων αποτελεί η επιλογή βάσει του δείκτη Leesalee, η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια, ωστόσο απαιτεί μεγάλους υπολογιστικούς χρόνους. Ωστόσο, στη διεθνή βιβλιογραφία επισημαίνεται ότι είναι δύσκολο να επιτευχθούν υψηλές τιμές χωρικής συσχέτισης μέσω του δείκτη Leesalee. Σύμφωνα με την εν λόγω μέθοδο, εκτελούνται διαδοχικές βαθμονομήσεις και σε κάθε φάση, επιλέγονται τα καλύτερα αποτελέσματα του δείκτη Leesalee, με σκοπό να βρεθεί το καλύτερο σετ

παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την πρόβλεψη. Τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά και τα εύρη των τιμών των παραμέτρων που θα τροφοδοτήσουν την επόμενη φάση της βαθμονόμησης επιλέγονται μεταξύ των χαμηλότερων και υψηλότερων τιμών των παραμέτρων, ενώ το βήμα προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ των ακραίων αυτών τιμών διαιρούμενη με έναν αριθμό μεταξύ 4-6 (Clarke & Gaydos, 1998).

Σε ό,τι αφορά στον υπολογιστικό χρόνο που απαιτήθηκε για καθένα από τα στάδια της βαθμονόμησης για τα τρία σετ δεδομένων, αυτά απεικονίζονται στον ακόλουθο πίνακα.

Σετ δεδομένων	Διάρκεια Σταδίου Coarse (h)	Διάρκεια Σταδίου Fine (h)	Διάρκεια Σταδίου Final (h)
Πυκνή Αστική Δόμηση	26	32	40
Αραιή Αστική Δόμηση	31	36	55
Ενιαία Αστική Δόμηση	30	45	61

Πίνακας 5-2: Υπολογιστικοί χρόνοι σταδίου βαθμονόμησης

5.3.1. Στάδιο Coarse

Στο πρώτο στάδιο της βαθμονόμησης (coarse calibration), ο αριθμός των επαναλήψεων Monte Carlo τίθεται σε ένα μικρό αριθμό (4-5) και τα εύρη των πέντε παραμέτρων από 0 έως 100 με βήμα 25. Στην παρούσα μελέτη, τέθηκαν 4 επαναλήψεις Monte Carlo στο πρώτο στάδιο βαθμονόμησης.

Με το πέρας του σταδίου, τα στατιστικά αποτελέσματα του coarse calibration ταξινομούνται σε φθίνουσα σειρά, βάσει των αποδόσεων του δείκτη Lee-Sallee. Ακολούθως, για τις τρεις υψηλότερες τιμές του δείκτη Leesalee, επιλέγεται η μεγαλύτερη και η μικρότερη τιμή των νέων παραμέτρων και το αντίστοιχο βήμα, το οποίο διαιρεί το εύρος των τιμών αυτών σε 4 – 5 μέρη. Στην περίπτωση ταύτισης της μικρότερης με την υψηλότερη τιμή, τότε επιλέγεται ένα μικρό εύρος τιμών που να περιέχει την τιμή αυτή και το αντίστοιχο βήμα (<http://www.ncgia.ucsb.edu>, 2016).

5.3.2. Στάδιο fine

Για το επόμενο στάδιο (fine calibration), τα νέα εύρη των τιμών των παραμέτρων προέρχονται από τα αποτελέσματα του coarse calibration. Το νέο σενάριο επεξεργάζεται κατάλληλα ώστε το πεδίο _START να έχει την μικρότερη τιμή του νέου εύρους, το πεδίο _STOP να έχει την μεγαλύτερη τιμή ενώ το πεδίο _STEP να έχει το βήμα του εύρους. Στο στάδιο fine calibration, τέθηκαν 7 Monte Carlo επαναλήψεις. Με το πέρας του σταδίου, τα στατιστικά αποτελέσματα του coarse calibration ταξινομούνται σε φθίνουσα σειρά, βάσει των αποδόσεων του δείκτη Lee-Sallee. Ακολούθως, για τις τρεις υψηλότερες τιμές του δείκτη Leesalee, επιλέγεται η μεγαλύτερη και η μικρότερη τιμή των νέων παραμέτρων και το

αντίστοιχο βήμα, το οποίο διαιρεί το εύρος των τιμών αυτών σε 4 – 5 μέρη. Στην περίπτωση ταύτισης της μικρότερης με την υψηλότερη τιμή, τότε επιλέγεται ένα μικρό εύρος τιμών που να περιέχει την τιμή αυτή και το αντίστοιχο βήμα (<http://www.ncgia.ucsb.edu>, 2016).

5.3.3. Στάδιο final

Σε αυτό το στάδιο τα αποτελέσματα ταξινομούνται και πάλι κατά τον δείκτη Lee-Sallee, όμως αυτή την φορά από τα στατιστικά αποτελέσματα του σταδίου, επιλέγεται η υψηλότερη τιμή του δείκτη – αντί για τις μέχρι τώρα τρεις επικρατέστερες – η οποία ορίζει τελικά τις παραμέτρους και το βήμα τίθεται ίσο με τη μονάδα. Στο στάδιο final calibration, τέθηκαν 7 Monte Carlo επαναλήψεις (<http://www.ncgia.ucsb.edu>, 2016).

5.3.4. Στάδιο derive coefficient values

Στο στάδιο derive coefficient values, η αρχική με την τελική τιμή ταυτίζονται και το βήμα είναι η μονάδα. Λόγω των κανόνων αυτοτροποποίησης του μοντέλου, οι τιμές των παραμέτρων κατά το τελευταίο έτος ελέγχου είναι πιθανό να μεταβληθούν σε σχέση με το πρώτο έτος. Έτσι, λόγω της τυχαίας μεταβλητότητας του μοντέλου, σε αυτό το στάδιο ο αριθμός των επαναλήψεων Monte Carlo τέθηκε ίσος με 100, δηλαδή αρκετά μεγαλύτερος σε σχέση με τα προηγούμενα στάδια, και το τελικό σετ παραμέτρων προκύπτει από τον μέσο όρο των τιμών του τελευταίου έτους ελέγχου. Οι τιμές της τελευταίας τιμής του πίνακα στρογγυλοποιούνται και έτσι προκύπτει το τελικό σετ των πέντε παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity), που θα χρησιμοποιηθεί τελικά για το στάδιο της πρόγνωσης του μοντέλου, το οποίο και ακολουθεί στη διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου. (<http://www.ncgia.ucsb.edu>, 2016).

5.4. Πρόγνωση Μοντέλου

Με την επιτυχή ολοκλήρωση του σταδίου της βαθμονόμησης του μοντέλου, ακολουθεί το στάδιο πρόβλεψης. Στο στάδιο αυτό, απαιτείται η ανάλογη τροποποίηση του αντίστοιχου σεναρίου πρόβλεψης, στο οποίο τέθηκε ένας μεγάλος αριθμός επαναλήψεων Monte Carlo και συγκεκριμένα επιλέχθηκαν οι 100 επαναλήψεις. Στο σενάριο πρόβλεψης, τέθηκαν οι τιμές των πέντε παραμέτρων που προέκυψαν από το στάδιο της βαθμονόμησης ως βέλτιστες για τη μοντελοποίηση της περιοχής μελέτης.

Η πρόβλεψη του μοντέλου πραγματοποιήθηκε για τη χρονική περίοδο 2016 – 2036, δηλαδή για διάστημα 20 ετών. Η επιλογή της εικοσαετίας ως περίοδος πρόβλεψης, επιλέχθηκε προκειμένου να επιτευχθεί κατά το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στα εξαγόμενα αποτελέσματα, δεδομένου ότι για μια μεγαλύτερη περίοδος πρόβλεψης

αυξάνονται οι πιθανότητες για εμφάνιση αστάθμητων παραγόντων, όπως είναι η οικονομική κρίση ή οι φυσικές καταστροφές, που δύνανται να μεταβάλλουν σημαντικά το μοτίβο της αστικής ανάπτυξης.

Με αυτά τα δεδομένα, το μοντέλο στο στάδιο πρόγνωσης παράγει εικόνες τύπου .gif για κάθε έτος της περιόδου πρόβλεψης, δηλαδή συνολικά είκοσι εικόνες, στις οποίες το κάθε pixel έχει ένα συγκεκριμένο χρώμα, ανάλογα με την πιθανότητα αστικοποίησής του.

6. ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο κεφάλαιο αυτό, πραγματοποιείται ανάλυση των αποτελεσμάτων της μελέτης, όπως αυτά προέκυψαν ύστερα από την εκτέλεση της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στις παρακάτω ενότητες, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης και της πρόγνωσης του μοντέλου για κάθε ένα από τα τρία σετ δεδομένων που εισήχθησαν σε αυτό, δηλαδή για το μοντέλο της πυκνής αστικής δόμησης, για το μοντέλο της αραιής αστικής δόμησης και για το μοντέλο της ενιαίας αστικής δόμησης. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών σε στατιστικό επίπεδο, χρησιμοποιήθηκαν ορισμένοι δείκτες που αντλήθηκαν από τα αρχεία που συνοδεύουν τόσο τα δεδομένα εισόδου, όσο και τα δεδομένα που εξάγονται από το SLEUTH, τα οποία και συγκρίθηκαν μεταξύ τους.

Πιο συγκεκριμένα, για την αξιολόγηση της βαθμονόμησης και της πρόβλεψης, τα αποτελέσματα συσχετίστηκαν με τα αντίστοιχα ιστορικά δεδομένα, συγκρίνοντας τους δείκτες που εξήχθησαν σε κάθε διαδικασία με τα αντίστοιχα στατιστικά βάσης των δεδομένων εισόδου στο μοντέλο. Οι δείκτες στη βάση των οποίων συγκρίθηκαν τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης και της πρόβλεψης με τα αντίστοιχα πραγματικά αρχεία είναι οι ακόλουθοι:

- ο δείκτης του αριθμού των κορυφών αστικών/μη αστικών pixels (edges)
- ο δείκτης του αριθμού των αστικών συστάδων που μοντελοποιήθηκαν (clusters)
- ο δείκτης πληθυσμού των αστικοποιημένων pixels (pop),
- ο δείκτης Leesalee της χωρικής συσχέτισης μεταξύ μοντελοποιημένης και πραγματικής κατάστασης της αστικής ανάπτυξης. Ο δείκτης Leesalee δεν υπολογίζεται στο στάδιο της πρόβλεψης, καθώς αφορά στη χωρική συσχέτιση μεταξύ μοντελοποιημένης και πραγματικής ανάπτυξης.

Στη φάση της βαθμονόμησης, η ανάλυση των αποτελεσμάτων αφορά στη μελέτη της συμπεριφοράς των παραπάνω δεικτών, στη μελέτη της διακύμανσης του εύρους των παραμέτρων της βαθμονόμησης (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) σε κάθε επιμέρους στάδιό της βαθμονόμησης για καθεμία από τις τρεις βαθμονομήσεις, καθώς και στη μελέτη της συμπεριφοράς των παραμέτρων στα αντίστοιχα έτη ελέγχου ύστερα από την εφαρμογή των κανόνων αυτοτροπής του μοντέλου.

Στη φάση της πρόγνωσης η ανάλυση των αποτελεσμάτων αφορά στη μελέτη της συμπεριφοράς των δεικτών που αναφέρθηκαν καθώς και των παραμέτρων της βαθμονόμησης, ενώ παράλληλα οι εικόνες που παράχθηκαν κατά το στάδιο της πρόγνωσης εισήχθησαν στο ArcGIS, στο περιβάλλον του οποίου ύστερα από χωρική επεξεργασία και ανάλυση, παρήχθησαν οι πιθανολογικοί χάρτες που οπτικοποιούν τις πιθανότητες της αστικής διάχυσης στην περιοχή μελέτης για το έτος 2036 για

καθένα από τα τρία σετ δεδομένων (πύκνη αστική δόμηση, αραιή αστική δόμηση, ενιαία αστική δόμηση).

6.1. Αποτελέσματα Βαθμονόμησης Μοντέλου

Η ανάλυση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων από τη λειτουργία της βαθμονόμησης του μοντέλου αφορά:

- στη μελέτη της συμπεριφοράς των δεικτών που προέκυψαν ως εξαγόμενα του μοντέλου (population, edges, clusters, Leesalee) σε σχέση με τους αντίστοιχους δείκτες στα στατιστικά βάσης
- στο εύρος των τιμών των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) σε κάθε επιμέρους στάδιο
- στη μελέτη της συμπεριφοράς των τιμών των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) για τα αντίστοιχα έτη ελέγχου.

6.1.1. Συμπεριφορά των δεικτών

Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών (population, edges, clusters, Leesalee) που αναφέρθηκαν, σε σύγκριση με τα στατιστικά βάσης για τη βαθμονόμηση της πυκνής αστικής δόμησης, της αραιής αστικής δόμησης, καθώς και για το μοντέλο της ενιαίας αστικής δόμησης. Τα στατιστικά βάσης αντλήθηκαν από το αρχείο «LOG_0», ενώ οι μέσοι όροι των δεικτών ύστερα από τη βαθμονόμηση από το αρχείο «avg.log», που αποτελούν αρχεία που εξάγονται στο τελευταίο στάδιο της βαθμονόμησης «derive_best_coefficients».

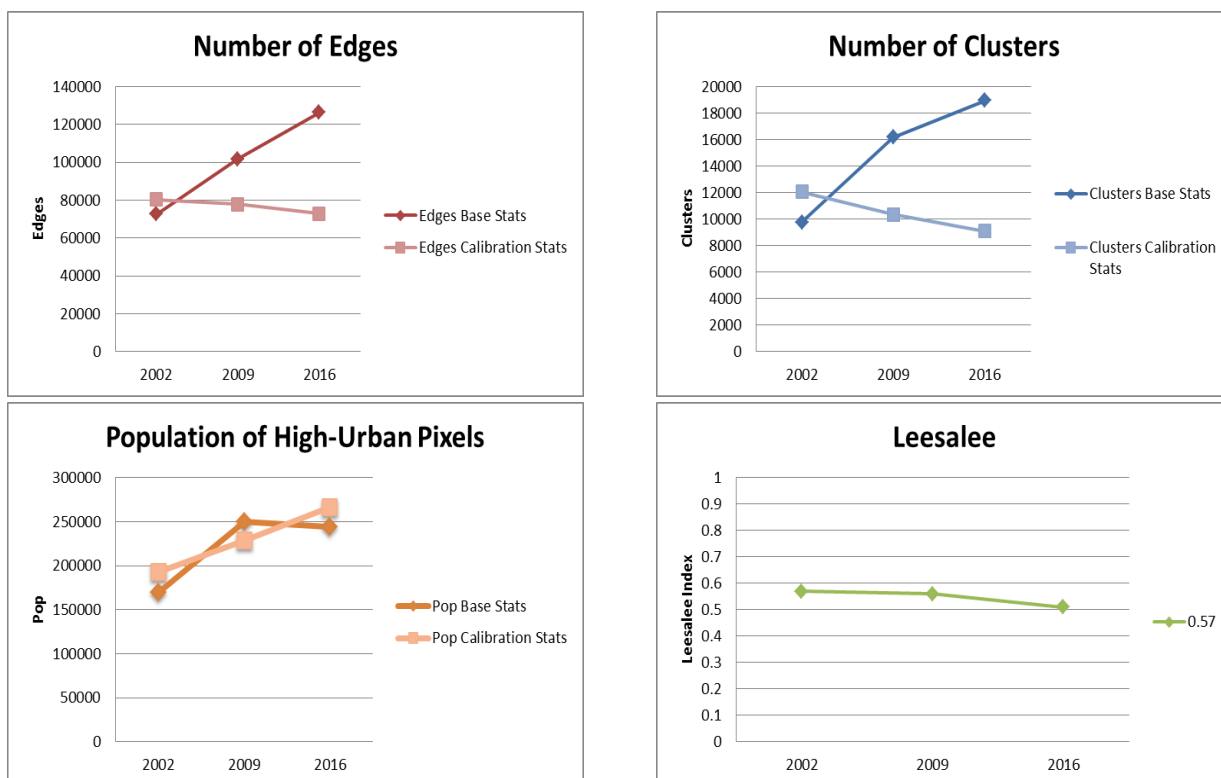
Ακολούθως, παρατίθενται οι τιμές των δεικτών αυτών στα στατιστικά βάσης και στα στατιστικά της βαθμονόμησης για κάθε σετ δεδομένων σε πίνακες και διαγράμματα.

Πυκνή Αστική Δόμηση							
	Base Statistics			Calibration Statistics			
Year	Edges	Clusters	Pop	Edges	Clusters	Pop	Leesalee
2002	72722	9758	169787	80311	12073	192320	0.57
2009	101814	16205	250332	77917	10365	228813	0.56
2016	126352	18970	243811	72961	9085	266105	0.51

Πίνακας 6-1: Συμπεριφορά δεικτών στη βαθμονόμηση πυκνής αστικής δόμησης

Σε ό,τι αφορά στο μοντέλο της πυκνής αστικής δόμησης, ο αριθμός των αστικών κορυφών (edges) υπερεκτιμήθηκε το 2002 κατά 10,4% , ενώ υποεκτιμήθηκε τα έτη 2009 και 2016 κατά 23,5% και 42,3%, αντιστοίχως. Ο αριθμός των αστικών συστάδων (clusters) υπερεκτιμήθηκε σε σχέση με τις πραγματικές τιμές το 2002 κατά 23,7% και υποεκτιμήθηκε τα έτη 2009 και 2016 κατά 36% και 52,1%,

αντιστοίχως. Ο δείκτης πληθυσμού των αστικοποιημένων pixels (pop) υπερεκτίμησε την ανάπτυξη στο πρώτο και τελευταίο έτος ελέγχου 2002 και 2016 κατά 13,3% και 9,1% αντίστοιχα, ενώ την υποεκτίμησε το 2009, κατά 8,6%. Σε ό,τι αφορά στο δείκτη χωρικής συσχέτισης Leesalee, αυτός έλαβε την καλύτερη τιμή του ίση με 0,57 το 2002, κατέγραψε μείωση σε 0,56 το 2009, ενώ το 2016 έλαβε την τιμή 0,51.



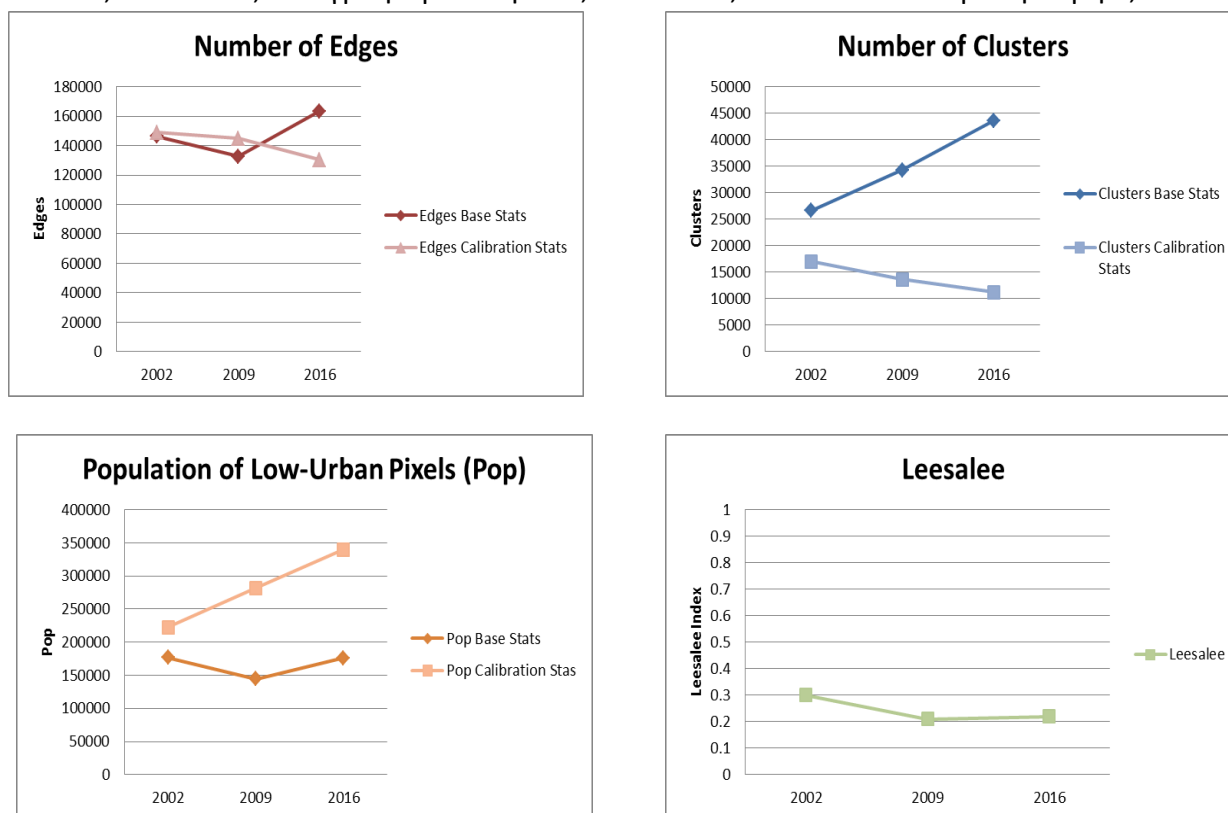
Διάγραμμα 6-1: Εξαγόμενοι δείκτες για τη βαθμονόμηση πυκνής αστικής δόμησης

Αραιή Αστική Δόμηση							
	Base Statistics			Calibration Statistics			
Year	Edges	Clusters	Pop	Edges	Clusters	Pop	Leesalee
2002	146227	26650	176667	148891	16996	222746	0.3
2009	132757	34301	144235	144699	13666	282128	0.21
2016	163347	43615	175945	130310	11223	340112	0.22

Πίνακας 6-2: Συμπεριφορά δεικτών στη βαθμονόμηση αραιής αστικής δόμησης

Σε ό,τι αφορά στο μοντέλο της αραιής αστικής δόμησης, ο αριθμός των αστικών κορυφών (edges) υπερεκτιμήθηκε το 2002 κατά 1,8% και το 2009 κατά 9%, ενώ υποεκτιμήθηκε το 2016 κατά 20,2%. Ο αριθμός των αστικών συστάδων (clusters) υποεκτιμήθηκε σε σχέση με τις πραγματικές τιμές για όλα τα έτη: το 2002 κατά 36,2%, το 2009 κατά 60,2% και το 2016 κατά 74,3%. Ο δείκτης πληθυσμού των αστικοποιημένων pixels (pop) υπερεκτίμησε την ανάπτυξη και στα τρία έτη ελέγχου, κατά 26,1%, 95,6% και 93,3% για το 2002, 2009 και 2016, αντιστοίχως. Σε ό,τι αφορά

στο δείκτη χωρικής συσχέτισης Leesalee, αυτός έλαβε την καλύτερη τιμή του ίση με 0,30 το 2002, κατέγραψε μείωση σε 0,21 το 2009, ενώ το 2016 έλαβε την τιμή 0,22.

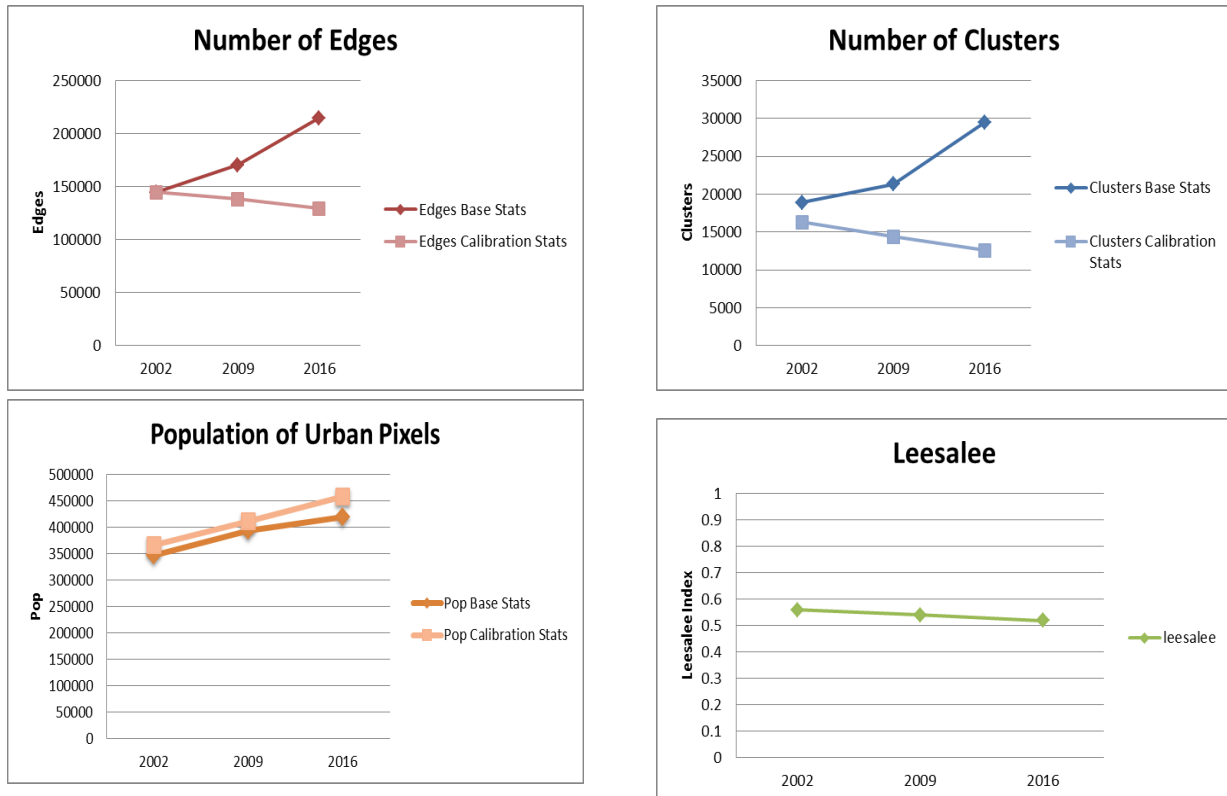


Διάγραμμα 6-2: Εξαγόμενοι δείκτες για τη βαθμονόμηση αραιής αστικής δόμησης

Ενιαία Αστική Δόμηση							
	Base Statistics			Calibration Statistics			
Year	Edges	Clusters	Pop	Edges	Clusters	Pop	Leesalee
2002	144719	18915	346454	144673	16329	366380	0.56
2009	170576	21320	394567	138480	14406	411594	0.54
2016	214905	29538	419756	129276	12612	458409	0.52

Πίνακας 6-3: Συμπεριφορά δεικτών στη βαθμονόμηση ενιαίας αστικής δόμησης

Σε ό,τι αφορά στο μοντέλο της ενιαίας αστικής δόμησης, ο αριθμός των αστικών κορυφών (edges) υποεκτιμήθηκε σε σχέση με τις πραγματικές τιμές για όλα τα έτη: το 2002 κατά μόλις 0,03%, το 2009 κατά 18,8% και το 2016 κατά 39,8%. Ο αριθμός των αστικών συστάδων (clusters) υποεκτιμήθηκε επίσης για όλα τα έτη: το 2002 κατά 13,7%, το 2009 κατά 32,4% και το 2016 κατά 57,3%. Αντίθετα, ο δείκτης πληθυσμού των αστικοποιημένων pixels (pop) υπερεκτίμησε την ανάπτυξη σε όλα τα έτη ελέγχου κατά 5,8%, 4,3% και 9,2% αντίστοιχα. Σε ό,τι αφορά στο δείκτη χωρικής συσχέτισης Leesalee, αυτός έλαβε την καλύτερη τιμή του ίση με 0,56 το 2002, κατέγραψε μείωση σε 0,54 το 2009, ενώ το 2016 έλαβε την τιμή 0,52.



Διάγραμμα 6-3: Εξαγόμενοι δείκτες για τη βαθμονόμηση ενιαίας αστικής δόμησης

6.1.2. Εύρη παραμέτρων βαθμονόμησης

Κάθε μια εκ των παραμέτρων της βαθμονόμησης (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) παίρνει τιμές από 0 έως και 100. Η επιλογή του εύρους των παραπάνω παραμέτρων του μοντέλου σε κάθε ένα εκ των επιμέρους σταδίων της βαθμονόμησης γίνεται βάσει του αρχείου «control.stats.log», το οποίο προκύπτει μετά την εκτέλεση κάθε σταδίου. Στο αρχείο αυτό, κάθε γραμμή προκύπτει ως αποτέλεσμα μιας μοναδικής εκτέλεσης του μοντέλου, ενώ οι στήλες των παραμέτρων στο τέλος κάθε γραμμής αποτελούν τις αντίστοιχες αρχικές τιμές των παραμέτρων. Πρακτικά, εκτελούνται διαδοχικές βαθμονομήσεις και σε κάθε φάση, επιλέγονται τα καλύτερα αποτελέσματα του δείκτη Leesalee, με σκοπό να βρεθεί το καλύτερο σετ παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την πρόβλεψη. Τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη Leesalee ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά, ταξινομώντας παράλληλα και τις υπόλοιπες τιμές των στοιχείων του πίνακα. Έτσι τα εύρη των τιμών των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν στην επόμενη φάση της βαθμονόμησης επιλέγονται μεταξύ των χαμηλότερων και υψηλότερων τιμών των παραμέτρων, ενώ το βήμα προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ των ακραίων αυτών τιμών διαιρούμενη με έναν αριθμό μεταξύ 4-6.

Ακολούθως, παρατίθενται οι τιμές των παραμέτρων αυτών όπως προέκυψαν με το πέρας του κάθε σταδίου βαθμονόμησης για κάθε ένα από τα τρία σετ δεδομένων σε πίνακες.

Αρχικά, για την πυκνή αστική δόμηση, με το πέρας των βαθμονομήσεων συλλέχθηκαν τα ακόλουθα στοιχεία:

Πυκνή Αστική Δόμηση						
Αποτελέσματα Σταδίου Coarse Calibration						
Αριθμός Επανάληψης	Δείκτης Ταξινόμησης	Τιμές Παραμέτρων				
Run	Leesalee	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
48	0.54408	1	1	25	100	75
45	0.54398	1	1	25	100	1
47	0.54398	1	1	25	100	50
Αποτελέσματα Σταδίου Fine Calibration						
Run	Leesalee	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
84	0.54399	1	1	25	100	1
88	0.54397	1	1	25	100	60
89	0.54397	1	1	25	100	75
Αποτελέσματα Σταδίου Final Calibration						
Run	Leesalee	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
1134	0.54437	1	5	23	98	1

Πίνακας 6-4: Αποτελέσματα παραμέτρων βαθμονόμησης πυκνής αστικής δόμησης

Πιο αναλυτικά και σε ό,τι αφορά στην παράμετρο diffusion (διάχυση), η οποία επηρεάζει την αυθόρμητη ανάπτυξη μέσω της τυχαίας επιλογής υποψήφιων κελιών προς αστικοποίηση, το εύρος της κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα σε όλα τα στάδια της βαθμονόμησης της πυκνής αστικής δόμησης. Έτσι για το στάδιο fine, πήρε τιμές από 0 έως 20 με βήμα 5, στο στάδιο final, πήρε τιμές από 0 έως 5 με βήμα 1, καταλήγοντας εν τέλει στην τιμή 1 κατά το στάδιο derive. Η χαμηλή τιμή της παραμέτρου diffusion υποδηλώνει την πολύ μικρή επίδραση της διαχεόμενης ανάπτυξης στα παρατηρούμενα πρότυπα της διάχυσης της πυκνής αστικής δόμησης στην περιοχή μελέτης.

Αντίστοιχα, το εύρος τιμών της παραμέτρου breed (ανάπτυξη νέων αστικών κέντρων), που δείχνει την πιθανότητα εμφάνισης νέων κέντρων εξάπλωσης, κυμάνθηκε σε εξίσου χαμηλά επίπεδα σε όλα τα στάδια της βαθμονόμησης της πυκνής αστικής δόμησης, ξεκινώντας με τιμές από 0 έως 20 με βήμα 5 στο στάδιο fine, τιμές από 0 έως 5 με βήμα 1, στο στάδιο final, ενώ τελικά κατέληξε στην τιμή 5 στο στάδιο derive της βαθμονόμησης. Είναι προφανές ότι ούτε αυτή η παράμετρος θεωρείται καθοριστική για την διάχυση της πυκνής δόμησης στην περιοχή μελέτης.

Σε ό,τι αφορά στις τιμές της παραμέτρου spread (εξάπλωση), που αφορά στην πιθανότητα για οργανική ανάπτυξη από υπάρχοντα αστικά κέντρα, αυτές κυμάνθηκαν σε συγκριτικά υψηλότερες τιμές. Έτσι, στο στάδιο fine, το εύρος τιμών

ορίσθηκε από 15 έως 35 με βήμα 5, στο στάδιο fine από 17 έως 22 με βήμα 1 και τελικά η παράμετρος κατέληξε στην τιμή 23 στο στάδιο derive.

Η παράμετρος slope (κλίση), που αφορά στην κλίση του εδάφους και είναι αντιστρόφως ανάλογη της αστικοποίησης, σε όλα τα στάδια της βαθμονόμησης έλαβε ιδιαίτερα υψηλές τιμές. Συγκεκριμένα, στο στάδιο fine, πήρε τιμές από 80 έως 100 με βήμα 5, ακολούθως στο στάδιο final, πήρε τιμές από 95 έως 100 με βήμα 5, ενώ τελικά κατέληξε να λάβει την τιμή 98 στο στάδιο derive.

Τέλος και σε ό,τι αφορά στην παράμετρο road gravity (επίδραση του οδικού δικτύου), τα αντίστοιχα εύρη ήταν σχετικά διευρυμένα και κοινά στα στάδια fine και final (0-75, με βήμα 15), για να πάρει τελικά τιμή 1 στο στάδιο derive.

Σε ό,τι αφορά στην αραιή αστική δόμηση, με το πέρας των βαθμονομήσεων συλλέχθηκαν τα ακόλουθα στοιχεία:

Αραιή Αστική Δόμηση						
Αποτελέσματα Σταδίου Coarse Calibration						
Αριθμός Επανάληψης	Δείκτης Ταξινόμησης	Τιμές Παραμέτρων				
Run	Leesalee	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
45	0.24212	1	1	25	100	1
49	0.24211	1	1	25	100	100
171	0.24208	1	25	25	100	25
Αποτελέσματα Σταδίου Fine Calibration						
Run	Leesalee	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
803	0.24253	1	25	20	95	100
51	0.2425	1	1	20	95	60
58	0.24249	1	1	20	100	80
Αποτελέσματα Σταδίου Final Calibration						
Run	Leesalee	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
118	0.24261	1	1	20	100	90

Πίνακας 6-5: Αποτελέσματα παραμέτρων βαθμονόμησης αραιής αστικής δόμησης

Πιο αναλυτικά και σε ό,τι αφορά στην παράμετρο diffusion (διάχυση), το εύρος της κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα σε όλα τα στάδια της βαθμονόμησης της αραιής αστικής δόμησης. Έτσι για το στάδιο fine, πήρε τιμές από 0 έως 20 με βήμα 5, στο στάδιο final, πήρε τιμές από 1 έως 5 με βήμα 1, καταλήγοντας εν τέλει στην τιμή 1 κατά το στάδιο derive. Η χαμηλή τιμή της παραμέτρου diffusion υποδηλώνει την πολύ μικρή επίδραση της διαχεόμενης ανάπτυξης στα παρατηρούμενα πρότυπα της διάχυσης της αραιής αστικής δόμησης στην περιοχή μελέτης.

Αντίστοιχα, το εύρος τιμών της παραμέτρου breed (ανάπτυξη νέων αστικών κέντρων), κυμάνθηκε σε τιμές από 0 έως 25 με βήμα 5 στα στάδια fine και final, ενώ

τελικά κατέληξε στην τιμή 1 στο στάδιο derive της βαθμονόμησης. Είναι προφανές ότι ούτε αυτή η παράμετρος θεωρείται καθοριστική για την διάχυση της αραιής δόμησης στην πειροχή μελέτης.

Σε ό,τι αφορά στις τιμές της παραμέτρου spread (εξάπλωση), αυτές κυμάνθηκαν σε συγκριτικά υψηλότερες τιμές. Έτσι, στο στάδιο fine, το εύρος τιμών ορίσθηκε από 15 έως 35 με βήμα 5, στο στάδιο fine από 17 έως 22 με βήμα 1 και τελικά η παράμετρος κατέληξε στην τιμή 20 στο στάδιο derive.

Η παράμετρος slope (κλίση) σε όλα τα στάδια της βαθμονόμησης έλαβε ιδιαίτερα υψηλές τιμές. Συγκεκριμένα, στο στάδιο fine, πήρε τιμές από 80 έως 100 με βήμα 5, ακολούθως στο στάδιο final, πήρε τιμές από 95 έως 100 με βήμα 1, ενώ τελικά κατέληξε να λάβει την τιμή 100 στο στάδιο derive.

Τέλος και σε ό,τι αφορά στην παράμετρο road gravity (επίδραση του οδικού δικτύου), στο στάδιο fine έλαβε τιμές από 0 έως 100 με βήμα 20, στο στάδιο final έλαβε τιμές από 60 έως 100 με βήμα 10 και τελικά έλαβε την τιμή 90 στο στάδιο derive. Στη μοντελοποίηση της αραιής αστικής δόμησης φαίνεται πως η βαρύτητα του οδικού δικτύου είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την πυκνή δόμηση, δεδομένου ότι αυτή τείνει να εμφανίζεται παραπλεύρως των οδικών υποδομών.

Σε ό,τι αφορά στην ενιαία αστική δόμηση, με το πέρας των βαθμονομήσεων συλλέχθηκαν τα ακόλουθα στοιχεία:

Ενιαία Αστική Δόμηση						
Αποτελέσματα Σταδίου Coarse Calibration						
Αριθμός Επανάληψης	Δείκτης Ταξινόμησης	Τιμές Παραμέτρων				
Run	Leesalee	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
48	0.53425	1	1	25	100	75
171	0.53416	1	25	25	100	25
298	0.53416	25	50	25	100	75
Αποτελέσματα Σταδίου Fine Calibration						
Run	Leesalee	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
177	0.53823	1	10	15	100	55
626	0.53823	1	40	15	100	45
477	0.53822	1	30	15	100	55
Αποτελέσματα Σταδίου Final Calibration						
Run	Leesalee	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
177	0.53828	1	10	16	100	51

Πίνακας 6-6: Αποτελέσματα παραμέτρων βαθμονόμησης ενιαίας αστικής δόμησης

Πιο αναλυτικά και σε ό,τι αφορά στην παράμετρο diffusion (διάχυση), το εύρος της κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα σε όλα τα στάδια της βαθμονόμησης της ενιαίας αστικής δόμησης. Έτσι για το στάδιο fine, πήρε τιμές από 0 έως 20 με βήμα 5, στο στάδιο final, πήρε τιμές από 1 έως 5 με βήμα 1, καταλήγοντας εν τέλει στην τιμή 1 κατά το στάδιο derive. Η χαμηλή τιμή της παραμέτρου diffusion υποδηλώνει την πολύ μικρή επίδραση της διαχεόμενης ανάπτυξης στα παρατηρούμενα πρότυπα της διάχυσης της αραιής αστικής δόμησης στην περιοχή μελέτης.

Αντίστοιχα, το εύρος τιμών της παραμέτρου breed (ανάπτυξη νέων αστικών κέντρων), κυμάνθηκε σε τιμές από 0 έως 50 με βήμα 10 στο στάδιο fine, στο στάδιο final, πήρε τιμές από 10 έως 40 με βήμα 6, καταλήγοντας εν τέλει στην τιμή 10 κατά το στάδιο derive. Είναι προφανές ότι ούτε αυτή η παράμετρος θεωρείται καθοριστική για την διάχυση της αραιής δόμησης στην περιοχή μελέτης.

Σε ό,τι αφορά στις τιμές της παραμέτρου spread (εξάπλωση), αυτές κυμάνθηκαν σε συγκριτικά υψηλότερες τιμές. Έτσι, στο στάδιο fine, το εύρος τιμών ορίσθηκε από 15 έως 35 με βήμα 5, στο στάδιο final από 12 έως 17 με βήμα 1 και τελικά η παράμετρος κατέληξε στην τιμή 16 στο στάδιο derive.

Η παράμετρος slope (κλίση) σε όλα τα στάδια της βαθμονόμησης έλαβε ιδιαίτερα υψηλές τιμές. Συγκεκριμένα, στο στάδιο fine, πήρε τιμές από 80 έως 100 με βήμα 5, ακολούθως στο στάδιο final, πήρε τιμές από 95 έως 100 με βήμα 1, ενώ τελικά κατέληξε να λάβει την τιμή 100 στο στάδιο derive.

Τέλος και σε ό,τι αφορά στην παράμετρο road gravity (επίδραση του οδικού δικτύου), στο στάδιο fine έλαβε τιμές από 25 έως 75 με βήμα 10, στο στάδιο final έλαβε τιμές από 45 έως 55 με βήμα 2 και τελικά έλαβε την τιμή 51 στο στάδιο derive. Στη μοντελοποίηση της ενιαίας αστικής δόμησης φαίνεται πως η βαρύτητα του οδικού δικτύου είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την πυκνή δόμηση, όχι όμως εξίσου καθοριστική όπως στην αραιά αστική δόμηση.

6.1.3. Συμπεριφορά παραμέτρων

Στην ενότητα αυτή, αναλύεται η συμπεριφορά των παραμέτρων του μοντέλου στη φάση της βαθμονόμησης για κάθε ένα από τα σετ δεδομένων. Γενικά, μέσω των κανόνων αυτοτροποποίησης (self modification rules), επιτρέπεται η μεταβολή των τιμών των πέντε παραμέτρων του SLEUTH, με σκοπό να μοντελοποιηθούν πιο ρεαλιστικά οι διαφορετικοί ρυθμοί ανάπτυξης που παρατηρούνται σε ένα αστικό σύστημα μέσα στο χρόνο. Έτσι, λόγω των κανόνων αυτοτροποποίησης του μοντέλου, οι τιμές των παραμέτρων κατά το τελευταίο έτος ελέγχου είναι πιθανό να μεταβληθούν σε σχέση με το πρώτο έτος. Άλλωστε, χωρίς τους κανόνες αυτοτροποποίησης, το μοντέλο θα ήταν ικανό να προσομοιώνει μόνο ένα γραμμικό ρυθμό ανάπτυξης (Jantz et al, 2003). Τα αποτελέσματα για κάθε σετ δεδομένων

αντληθηκαν από το αρχείο «αρχείο avg.log», το οποίο εξήχθη με το πέρας του σταδίου «derrive coefficient values».

Σε ό,τι αφορά στην πυκνή αστική δόμηση, το σχετικό αρχείο περιείχε μεταξύ άλλων τα παρακάτω αποτελέσματα:

Πυκνή Αστική Δόμηση					
Έτος ελέγχου	Τιμές Παραμέτρων				
year	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
2002	1.06	24.41	5.31	89.76	1.82
2009	1.14	26.18	5.69	78.54	2.95
2016	1.22	28.06	6.1	65.52	4.25

Πίνακας 6-7: Συμπεριφορά παραμέτρων βαθμονόμησης πυκνής αστικής δόμησης

Από τα δεδομένα του πίνακα, παρατηρείται ότι η παράμετρος Diffusion διατήρησε χαμηλή τιμή προσεγγίζουσα τη μονάδα καθόλη της διάρκειά της βαθμονόμησης. Σχετικά με την παράμετρο Spread, κυμάνθηκε στις τιμές 24,4, 26,2 και 28,1 για τα έτη ελέγχου 2002, 2009 και 2016, αντιστοίχως. Η παράμετρος Breed έλαβε τις τιμές 5,3 έως 6,1, στα τρία έτη ελέγχου, με αυξητική τάση. Αντίθετα, η παράμετρος Slope, παρουσίασε καθοδική τάση, καθώς το έτος 2002, έλαβε την υψηλότερη τιμή της ίση με 89,8, το έτος 2009 η τιμή μειώθηκε στο 78,5, ενώ το 2016 η παράμετρος έλαβε την τιμή 65,5. Τέλος, η παράμετρος Road Gravity, το έτος 2002 σημείωσε την τιμή 1,8, το έτος 2009 την τιμή 3 και το έτος 2016, την τιμή 4,3. Χαρακτηριστικότερη όλων είναι η πτώση της τιμής της παραμέτρου Slope, λόγω της εφαρμογής των κανόνων αυτοτροποποίησης από το έτος 2002 μέχρι το 2016. Οι τιμές της τελευταίας γραμμής του πίνακα στρογγυλοποιήθηκαν και έτσι προέκυψε το τελικό σετ παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκε στο στάδιο της πρόβλεψης του μοντέλου.

Πυκνή Αστική Δόμηση	
Παράμετρος	Τελική Τιμή
Diffusion	1
Spread	28
Breed	6
Slope	66
Road Gravity	4

Πίνακας 6-8: Τελικές τιμές παραμέτρων αραιής αστικής δόμησης

Σε ό,τι αφορά στην αραιή αστική δόμηση, το σχετικό αρχείο περιείχε μεταξύ άλλων τα παρακάτω αποτελέσματα:

Αραιή Αστική Δόμηση					
Έτος ελέγχου	Τιμές Παραμέτρων				
year	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
2002	1.06	21.23	1.06	90.97	90.9
2009	1.14	22.76	1.14	77.78	92.22
2016	1.22	24.4	1.22	61.71	93.83

Πίνακας 6-9: Συμπεριφορά παραμέτρων βαθμονόμησης αραιής αστικής δόμησης

Από τα δεδομένα του πίνακα, παρατηρείται ότι η παράμετρος Diffusion διατήρησε χαμηλή τιμή προσεγγίζουσα τη μονάδα καθόλη της διάρκειά της βαθμονόμησης. Σχετικά με την παράμετρο Spread, κυμάνθηκε στις τιμές 21,2, 22,8 και 24,4 για τα έτη ελέγχου 2002, 2009 και 2016, αντιστοίχως. Η παράμετρος Breed έλαβε χαμηλές τιμές και στα τρία έτη ελέγχου, ίδιες με αυτές της παραμέτρου Diffusion. Η παράμετρος Slope, παρουσίασε καθοδική τάση, καθώς το έτος 2002, έλαβε την υψηλότερη τιμή της ίση με 91, το έτος 2009 η τιμή μειώθηκε στο 77,8, ενώ το 2016 η παράμετρος έλαβε την τιμή 61,8. Τέλος, η παράμετρος Road Gravity, το έτος 2002 σημείωσε την τιμή 90,9, το έτος 2009 την τιμή 92,2 και το έτος 2016, την τιμή 93,8. Χαρακτηριστικότερη όλων είναι η πτώση της τιμής της παραμέτρου Slope, λόγω της εφαρμογής των κανόνων αυτοτροποποίησης από το έτος 2002 μέχρι το 2016. Οι τιμές της τελευταίας γραμμής του πίνακα στρογγυλοποιήθηκαν και έτσι προέκυψε το τελικό σετ παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκε στο στάδιο της πρόβλεψης του μοντέλου.

Αραιή Αστική Δόμηση	
Παράμετρος	Τελική Τιμή
Diffusion	1
Spread	24
Breed	1
Slope	62
Road Gravity	94

Πίνακας 6-10: Τελικές τιμές παραμέτρων αραιής αστικής δόμησης

Σε ό,τι αφορά στην ενιαία αστική δόμηση, το σχετικό αρχείο περιείχε μεταξύ άλλων τα παρακάτω αποτελέσματα:

Ενιαία Αστική Δόμηση					
Έτος ελέγχου	Τιμές Παραμέτρων				
year	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
2002	1.06	16.98	10.62	84.65	52.54
2009	1.14	18.21	11.38	64.76	54.52
2016	1.22	19.52	12.2	42.63	56.74

Πίνακας 6-11: Συμπεριφορά παραμέτρων βαθμονόμησης ενιαίας αστικής δόμησης

Από τα δεδομένα του πίνακα, παρατηρείται ότι η παράμετρος Diffusion διατήρησε χαμηλή τιμή προσεγγίζουσα τη μονάδα καθόλη της διάρκειά της βαθμονόμησης. Σχετικά με την παράμετρο Spread, κυμάνθηκε στις τιμές 16,98, 18,21 και 19,52 για τα έτη ελέγχου 2002, 2009 και 2016, αντιστοίχως. Η παράμετρος Breed έλαβε τις τιμές 10,62 έως 12,2, στα τρία έτη ελέγχου, με αυξητική τάση. Αντίθετα, η παράμετρος Slope, παρουσίασε καθοδική τάση, καθώς το έτος 2002, έλαβε την υψηλότερη τιμή της ίση με 84,7, το έτος 2009 η τιμή μειώθηκε στο 64,8, ενώ το 2016 η παράμετρος έλαβε την τιμή 42,7. Τέλος, η παράμετρος Road Gravity, το έτος 2002 σημείωσε την τιμή 52,5, το έτος 2009 την τιμή 54,5 και το έτος 2016, την τιμή 56,7. Χαρακτηριστικότερη όλων είναι η πτώση της τιμής της παραμέτρου Slope, λόγω της εφαρμογής των κανόνων αυτοτροποποίησης από το έτος 2002 μέχρι το 2016. Οι τιμές της τελευταίας γραμμής του πίνακα στρογγυλοποιήθηκαν και έτσι προέκυψε το τελικό σετ παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκε στο στάδιο της πρόβλεψης του μοντέλου.

Ενιαία Αστική Δόμηση	
Παράμετρος	Τελική Τιμή
Diffusion	1
Spread	20
Breed	12
Slope	43
Road Gravity	57

Πίνακας 6-12: Τελικές τιμές παραμέτρων αραιής αστικής δόμησης

6.2. Αποτελέσματα Πρόβλεψης Μοντέλου

Οι τιμές των παραμέτρων, όπως αυτές προέκυψαν κατά το τελευταίο στάδιο της βαθμονόμησης, χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του μοντέλου. Η πρόβλεψη πραγματοποιήθηκε για το διάστημα 2016 – 2036, τόσο για την πυκνή και την αραιή αστική δόμηση, όσο για την ενιαία αστική δόμηση. Η ανάλυση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων από τη λειτουργία της πρόβλεψης του μοντέλου αφορά:

- στη μελέτη της συμπεριφοράς των δεικτών (population, edges, clusters, Lesalee) για τα έτη πρόβλεψης

- στη μελέτη της συμπεριφοράς των τιμών των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) για τα έτη πρόβλεψης
- στην οπτικοποίηση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων σε πιθανολογικούς χάρτες.

6.2.1. Συμπεριφορά των δεικτών

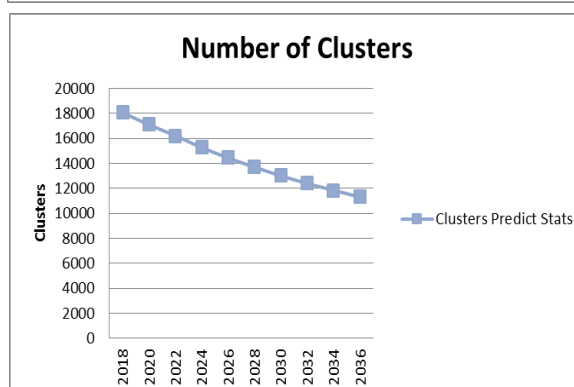
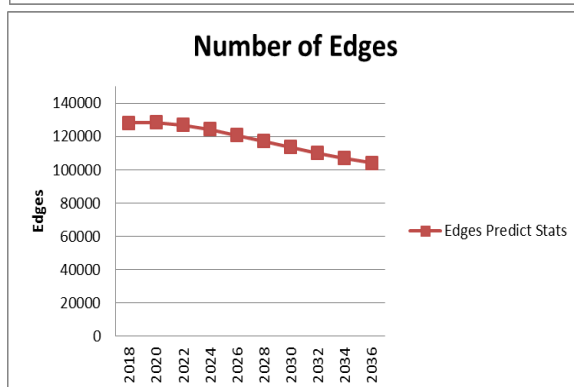
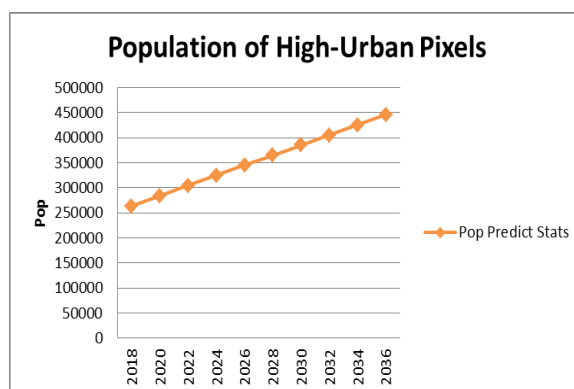
Στην ενότητα αυτή, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών (population, edges, clusters, leesalee) για κάθε πρόβλεψη που πραγματοποιήθηκε, δηλαδή για την πυκνή αστική δόμηση, για την αραιή αστική δόμηση καθώς και για το μοντέλο της ενιαίας αστικής δόμησης της περιοχής μελέτης. Οι τιμές των εξεταζόμενων δεικτών αντλήθηκαν από το αρχείο «avg.log», που εξήχθη με την ολοκλήρωση της διαδικασίας της πρόβλεψης για κάθε σετ δεδομένων.

Ακολούθως, παρατίθενται οι τιμές των δεικτών αυτών στα στατιστικά πρόβλεψης για κάθε σετ δεδομένων σε πίνακες και διαγράμματα.

Συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά στην πυκνή δόμηση, ο αριθμός των μελλοντικών αστικών κελιών (pop) αυξήθηκε από 253.572 το 2017 σε 445.756 το 2036, ακολουθώντας ανοδική πορεία στο σύνολο των ετών της πρόβλεψης και σχεδόν σταθερή αύξηση περίπου κατά 10.000 ανά έτος. Σε σχέση με το δείκτη των αστικών κορυφών (edges), τα πρώτα τρία έτη της πρόβλεψης ακολουθεί ελαφρώς ανοδική πορεία από 127.535 σε 128.540, ενώ στη συνέχεια και μέχρι το έτος 2036 μειώνεται σταδιακά καταλήγοντας στην τιμή 104.917. Επίσης, καθοδική πορεία ακολουθούν και οι τιμές του δείκτη των αστικών συστάδων (clusters) σε όλη τη διάρκεια της πρόβλεψης, ξεκινώντας από την τιμή 18.534 το 2017 και καταλήγοντας στις 11.346 το 2036.

Πυκνή Αστική Δόμηση			
year	pop	edges	clusters
2017	253572	127535	18534
2018	263685	128258	18069
2019	273804	128540	17596
2020	283870	128405	17122
2021	294187	127838	16656
2022	304426	126936	16194
2023	314555	125717	15748
2024	324896	124265	15301
2025	335116	122639	14884
2026	345209	120885	14477
2027	355190	119067	14097
2028	365331	117215	13725
2029	375345	115367	13381
2030	385279	113600	13047
2031	395391	111804	12732
2032	405403	110105	12428
2033	415355	108495	12139
2034	425526	106944	11862
2035	435648	105519	11599
2036	445756	104197	11346

Πίνακας 6-13: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη πυκνής αστικής δόμησης

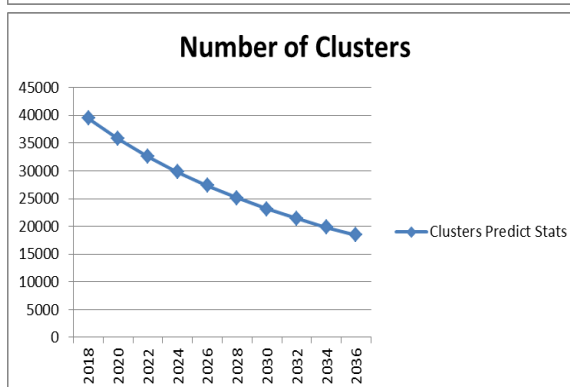
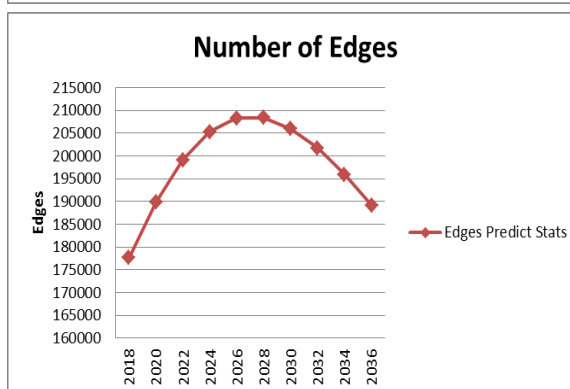
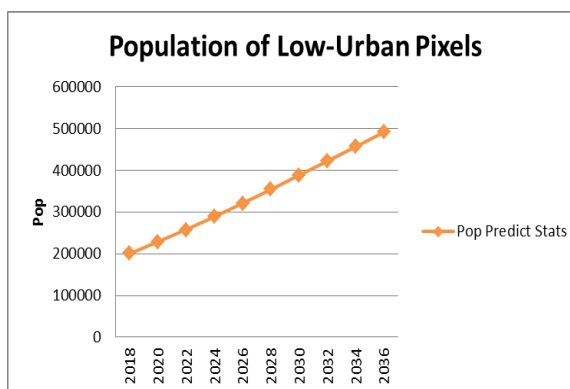


Διάγραμμα 6-4: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη πυκνής αστικής δόμησης

Σε ό,τι αφορά στην αραιή δόμηση, ο αριθμός των μελλοντικών αστικών κελιών (pop) αυξήθηκε από 187.871 το 2017 σε 491.097 το 2036, ακολουθώντας ανοδική πορεία στο σύνολο των ετών της πρόβλεψης. Σε σχέση με το δείκτη των αστικών κορυφών (edges), τα πρώτα δέκα έτη της πρόβλεψης ακολουθεί ανοδική πορεία από 170.638 το 2017 σε 208.693 το 2027, ενώ στη συνέχεια και μέχρι το έτος 2036 μειώνεται σταδιακά καταλήγοντας στην τιμή 189.204. Επίσης, καθοδική πορεία ακολουθούν και οι τιμές του δείκτη των αστικών συστάδων (clusters) σε όλη τη διάρκεια της πρόβλεψης, ξεκινώντας από την τιμή 41.516 το 2017 και καταλήγοντας στις 18.454 το 2036.

Αραιή Αστική Δόμηση			
year	pop	edges	clusters
2017	187871	170638	41516
2018	200829	177713	39463
2019	214300	184145	37567
2020	228201	189874	35778
2021	242471	194846	34128
2022	257597	199185	32558
2023	272984	202681	31110
2024	288580	205321	29777
2025	304346	207169	28534
2026	320788	208310	27330
2027	337290	208693	26203
2028	353865	208416	25142
2029	371008	207488	24121
2030	388104	206004	23160
2031	405130	204069	22260
2032	422082	201728	21419
2033	439506	198959	20607
2034	456822	195915	19845
2035	473995	192665	19135
2036	491079	189204	18454

Πίνακας 6-14: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη Αραιής Αστικής Δόμησης

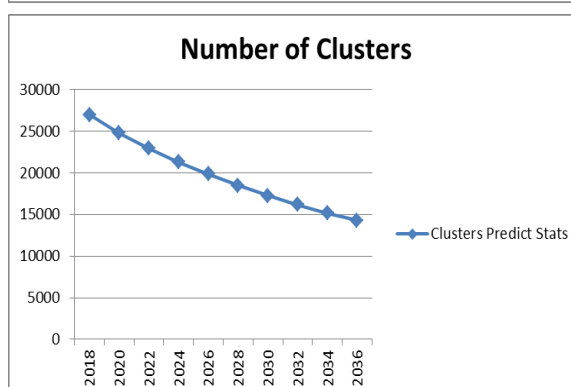
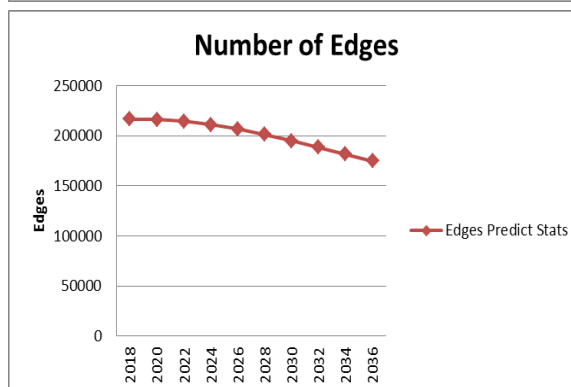
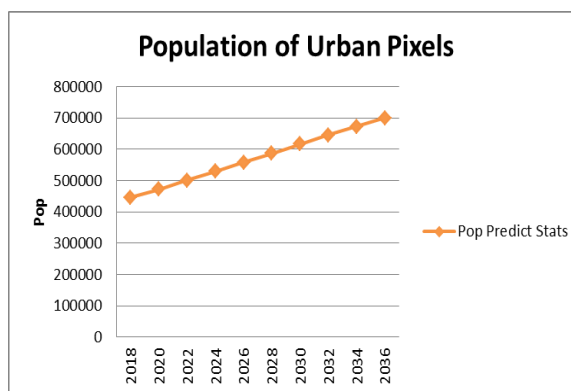


Διάγραμμα 6-5: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη αραιής αστικής δόμησης

Σε ό,τι αφορά στην ενιαία δόμηση, ο αριθμός των μελλοντικών αστικών κελιών (pop) αυξήθηκε από 432.459 το 2017 σε 700.317 το 2036, ακολουθώντας ανοδική πορεία στο σύνολο των ετών της πρόβλεψης. Σε σχέση με το δείκτη των αστικών κορυφών (edges), τα πρώτα τρία έτη της πρόβλεψης ακολουθεί ελαφρώς ανοδική πορεία από 215.902 σε 216.655, ενώ στη συνέχεια και μέχρι το έτος 2036 μειώνεται σταδιακά καταλήγοντας στην τιμή 174.806. Επίσης, καθοδική πορεία ακολουθούν και οι τιμές του δείκτη των αστικών συστάδων (clusters) σε όλη τη διάρκεια της πρόβλεψης, ξεκινώντας από την τιμή 28203 το 2017 και καταλήγοντας στις 14.270 το 2036.

Ενιαία Αστική Δόμηση			
year	pop	edges	clusters
2017	432459	215902	28203
2018	445894	216498	26958
2019	459414	216655	25826
2020	472983	216388	24800
2021	486562	215763	23855
2022	500834	214612	22959
2023	515090	213139	22107
2024	529345	211340	21309
2025	543597	209234	20573
2026	557863	206876	19865
2027	572761	204178	19168
2028	587635	201298	18503
2029	602358	198263	17864
2030	616792	195113	17277
2031	630923	191932	16721
2032	645338	188520	16173
2033	659420	185091	15660
2034	673200	181655	15175
2035	686654	178282	14714
2036	700317	174806	14270

Πίνακας 6-15: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη ενιαίας αστικής δόμησης



Διάγραμμα 6-6: Εξαγόμενοι δείκτες για την πρόβλεψη ενιαίας αστικής δόμησης

6.2.2. Συμπεριφορά των παραμέτρων κατά την πρόγνωση

Τέλος, σε σχέση με τη συμπεριφορά των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) του μοντέλου, οι τιμές που καταγράφηκαν στο στάδιο της πρόβλεψης του μοντέλου δε διέφεραν ουσιαστικά μεταξύ τους από τις αντίστοιχες τιμές στη λειτουργία της βαθμονόμησης. Οι τιμές αυτές καταγράφονται για κάθε σετ δεδομένων ακολούθως.

Συγκεκριμένα, σε ό,τι αφορά στην πυκνή αστική δόμηση, στη λειτουργία της πρόβλεψης, η παράμετρος diffusion ακολούθησε την ίδια τάση με τη βαθμονόμηση, λαμβάνοντας σταθερά την τιμή 1 σε όλα τα έτη της πρόβλεψης, επιδρώντας έτσι ελάχιστα στη ανάπτυξη αυτού του αστικού τύπου. Οι τιμές της παραμέτρου spread κυμάνθηκαν στο διάστημα από 28 (2017, 2018) έως 34 (2036), γεγονός που αποδεικνύει την επιρροή της παραμέτρου στη διαδικασία εκτέλεσης του μοντέλου,

που άλλωστε συνάδει με την πραγματική εξέλιξη της ανάπτυξης, καθώς αυτή πραγματοποιήθηκε από το κέντρο της Αθήνας και προς τα ανατολικά προάστια μέσω των αστικών κέντρων που δημιουργήθηκαν κατά μήκος των νέων οδικών αρτηριών. Οι τιμές της παραμέτρου *breed* και *road gravity* κινήθηκαν σε σχετικά χαμηλά επίπεδα, με τιμές που για την μεν πρώτη κυμάνθηκαν από 6-7 και για τη δεύτερη μεταξύ 4-9, καταδεικνύοντας με τρόπο ανάλογο της βαθμονόμησης την επίδρασή τους στη μοντελοποίηση της ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης. Τέλος, η παράμετρος *slope* κυμάνθηκε σε ένα ευρύ πεδίο τιμών, ξεκινώντας από την τιμή 66 και καταλήγοντας στην τιμή 17, λαμβάνοντας φθίνουσες τιμές σε όλη τη διάρκεια της πρόβλεψης, ακολουθώντας το μοτίβο της βαθμονόμησης.

Πυκνή Αστική Δόμηση					
year	diffusion	spread	breed	slp_res	rd_grav
2017	1	28	6	66	4
2018	1	28	6	64	4
2019	1	29	6	62	4
2020	1	29	6	60	5
2021	1	29	6	58	5
2022	1	29	6	56	5
2023	1	30	6	53	5
2024	1	30	6	51	6
2025	1	30	7	49	6
2026	1	31	7	46	6
2027	1	31	7	43	6
2028	1	31	7	41	7
2029	1	32	7	38	7
2030	1	32	7	35	7
2031	1	32	7	32	7
2032	1	33	7	30	8
2033	1	33	7	27	8
2034	1	33	7	23	8
2035	1	33	7	20	9
2036	1	34	7	17	9

Πίνακας 6-16: Συμπεριφορά παραμέτρων πρόβλεψης πυκνής αστικής δόμησης

Σε ό,τι αφορά στην αραιή αστική δόμηση, στη λειτουργία της πρόβλεψης, οι παράμετροι *diffusion* και *breed* ακολούθησαν την ίδια τάση με τη βαθμονόμηση, λαμβάνοντας σταθερά την τιμή 1 σε όλα τα έτη της πρόβλεψης, επιδρώντας έτσι ελάχιστα στη ανάπτυξη αυτού του αστικού τύπου. Οι τιμές της παραμέτρου *spread* κυμάνθηκαν στο διάστημα από 24 (2017-2020) έως 29 (2035-2036), γεγονός που αποδεικνύει την επιρροή της παραμέτρου στη διαδικασία εκτέλεσης του μοντέλου, που άλλωστε συνάδει με την πραγματική εξέλιξη της ανάπτυξης, καθώς αυτή

πραγματοποιήθηκε από το κέντρο της Αθήνας και προς τα ανατολικά προάστια μέσω των αστικών κέντρων που δημιουργήθηκαν κατά μήκος των νέων οδικών αρτηριών. Οι τιμές της παραμέτρου road gravity κινήθηκαν σε υψηλά επίπεδα, με τιμές που κυμάνθηκαν από 94 (2017-2020) έως 99 (2033-2036), καταδεικνύοντας με τρόπο ανάλογο της βαθμονόμησης την επίδρασή της στη μοντελοποίηση της ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης. Τέλος, η παράμετρος slope κυμάνθηκε σε ένα ευρύ πεδίο τιμών, ξεκινώντας από την τιμή 62 και καταλήγοντας στην τιμή 16, λαμβάνοντας φθίνουσες τιμές σε όλη τη διάρκεια της πρόβλεψης, ακολουθώντας το μοτίβο της βαθμονόμησης.

Αραιή Αστική Δόμηση					
year	diffusion	spread	breed	slp_res	rd_grav
2017	1	24	1	62	94
2018	1	24	1	61	94
2019	1	24	1	59	94
2020	1	25	1	57	94
2021	1	25	1	56	95
2022	1	25	1	54	95
2023	1	25	1	52	95
2024	1	26	1	50	95
2025	1	26	1	47	95
2026	1	26	1	45	96
2027	1	27	1	43	96
2028	1	27	1	40	96
2029	1	27	1	38	96
2030	1	27	1	35	97
2031	1	28	1	32	97
2032	1	28	1	29	97
2033	1	28	1	26	98
2034	1	28	1	23	98
2035	1	29	1	19	98
2036	1	29	1	16	99

Πίνακας 6-17: Συμπεριφορά παραμέτρων πρόβλεψης αραιής αστικής δόμησης

Σε ό,τι αφορά στην ενιαία αστική δόμηση, στη λειτουργία της πρόβλεψης, η παράμετρος diffusion ακολούθησε την ίδια τάση με τη βαθμονόμηση, λαμβάνοντας σταθερά την τιμή 1 σε όλα τα έτη της πρόβλεψης, επιδρώντας έτσι ελάχιστα στη αστική ανάπτυξη. Οι τιμές της παραμέτρου spread κυμάνθηκαν στο διάστημα από 20 (2017 – 2019) έως 24 (2034 – 2036), που άλλωστε συνάδει με την πραγματική εξέλιξη της ανάπτυξης, καθώς αυτή πραγματοποιήθηκε από το κέντρο της Αθήνας και προς τα ανατολικά προάστια μέσω των αστικών κέντρων που δημιουργήθηκαν κατά μήκος των νέων οδικών αρτηριών. Η παράμετρος breed έλαβε τιμές από 12

(2017 – 2021) έως 15 (2036). Οι τιμές της παραμέτρου road gravity κινήθηκαν σε σχετικά υψηλά επίπεδα, με τιμές που κυμάνθηκαν από 57 (2017-2018) έως 65 (2036), λαμβάνοντας αύξουσες τιμές σε όλη τη διάρκεια της πρόβλεψης καταδεικνύοντας με τρόπο ανάλογο της βαθμονόμησης την επίδρασή της στη μοντελοποίηση της ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης. Τέλος, η παράμετρος slope κυμάνθηκε σε ένα ευρύ πεδίο τιμών, ξεκινώντας από την τιμή 43 και καταλήγοντας στην τιμή 1, λαμβάνοντας φθίνουσες τιμές σε όλη τη διάρκεια της πρόβλεψης, ακολουθώντας το μοτίβο της βαθμονόμησης.

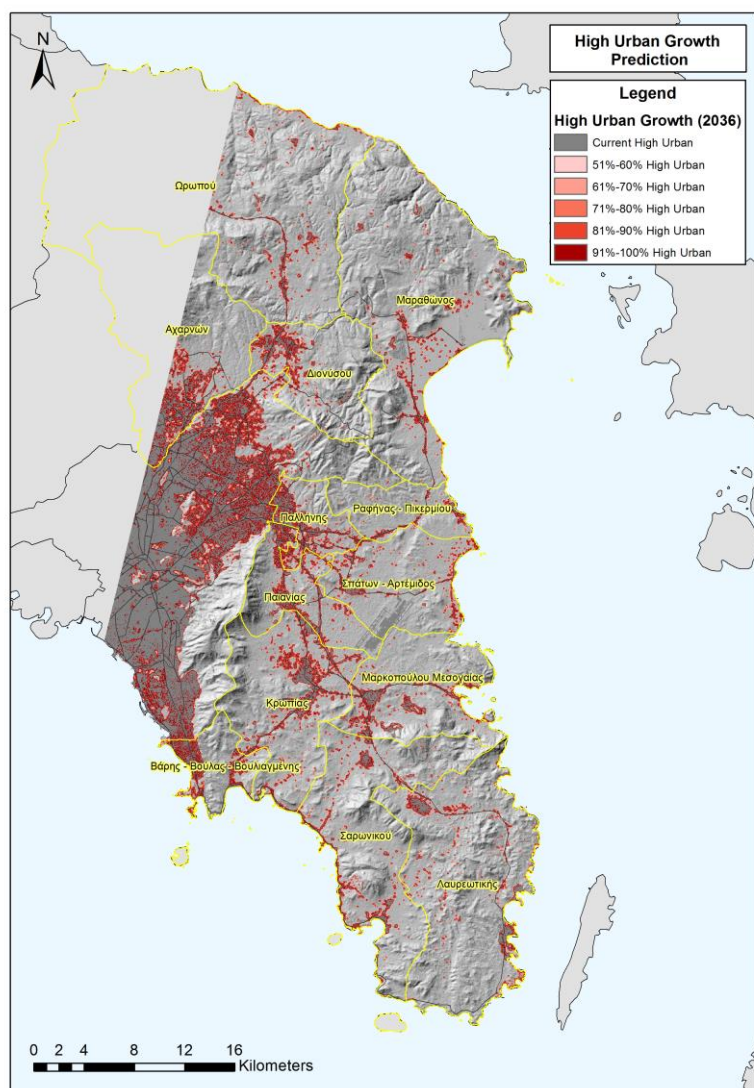
Ενιαία Αστική Δόμηση					
year	diffusion	spread	breed	slp_res	rd_grav
2017	1	20	12	43	57
2018	1	20	12	40	57
2019	1	20	12	37	58
2020	1	21	12	33	58
2021	1	21	12	30	58
2022	1	21	13	26	59
2023	1	21	13	22	59
2024	1	21	13	19	59
2025	1	22	13	15	60
2026	1	22	13	11	60
2027	1	22	13	7	61
2028	1	22	13	3	61
2029	1	23	14	1	61
2030	1	23	14	1	62
2031	1	23	14	1	62
2032	1	23	14	1	63
2033	1	23	14	1	63
2034	1	24	14	1	64
2035	1	24	14	1	64
2036	1	24	15	1	65

Πίνακας 6-18: Συμπεριφορά παραμέτρων πρόβλεψης ενιαίας αστικής δόμησης

6.2.3. Οπτικοποίηση αποτελεσμάτων

Ανάμεσα στα παράγωγα αρχεία της διαδικασίας της πρόβλεψης, το SLEUTH εξήγαγε για κάθε σετ δεδομένων (πυκνή, αραιή, ενιαία αστική δόμηση) ένα σύνολο είκοσι εικόνων, που αναφέρονται στα έτη από το 2017 έως το 2036 και στις οποίες απεικονίζεται η αστική κάλυψη για κάθε έτος. Συγκεκριμένα, πρόκειται για εικόνες τύπου .gif ίδιου μεγέθους και ανάλυσης με τα δεδομένα εισόδου του SLEUTH, στις οποίες κάθε pixel λαμβάνει χρώμα, ανάλογα με την πιθανότητα αστικοποίησής του (Πίνακας 6-19). Ακολουθώς, παρατίθενται οι εικόνες όπως αυτές προέκυψαν ως

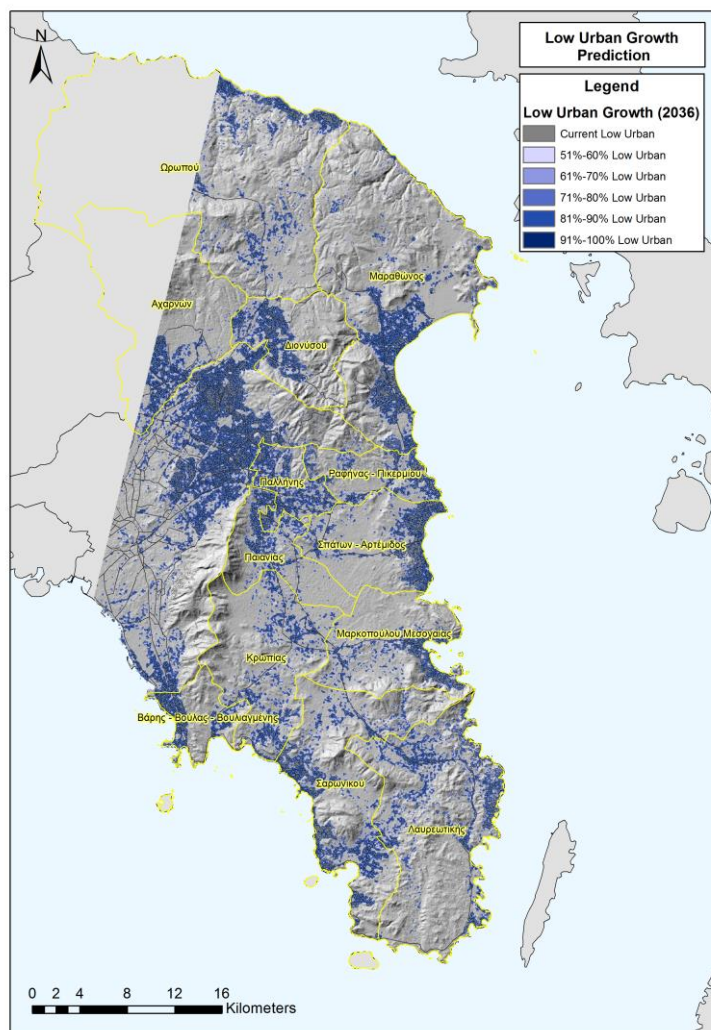
αποτέλεσμα της πρόβλεψης για την πυκνή αστική δόμηση και την αραιή αστική δόμηση για το έτος 2036.



Εικόνα 6-1: Πρόβλεψη ανάπτυξης πυκνής αστικής δόμησης

Πυκνή Αστική Δόμηση		
Πιθανότητες αστικοποίησης (%)	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)
1%-10%	62.256	56.030,4
11%-20%	29.889	26.900,1
21%-30%	21.877	19.689,3
31%-40%	19.315	17.383,5
41%-50%	17.711	15.939,9
51%-60%	18.045	16.240,5
61%-70%	19.667	17.700,3
71%-80%	23.042	20.737,8
81%-90%	33.775	30.397,5
91%-100%	107.483	96.734,7

Πίνακας 6-19: Πιθανότητες αστικοποίησης για την πυκνή αστική δόμηση



Εικόνα 6-2: Πρόβλεψη ανάπτυξης αραιής αστικής δόμησης

Αραιή Αστική Δόμηση		
Πιθανότητες αστικοποίησης (%)	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)
1%-10%	43.862	39.475,8
11%-20%	13.512	12.160,8
21%-30%	10.023	9.020,7
31%-40%	9.415	8.473,5
41%-50%	9.610	8.649
51%-60%	10.475	9.427,5
61%-70%	12.390	11.151
71%-80%	16.313	14.681,7
81%-90%	26.902	24.211,8
91%-100%	554.180	768.762

Πίνακας 6-20: Πιθανότητες αστικοποίησης για την αραιή αστική δόμηση

Η μελέτη των εικόνων αυτών, καθώς και η επεξεργασία τους σε περιβάλλον ArcGIS, οδήγησε στην εξαγωγή ορισμένων χρήσιμων ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων σε σχέση με τις προβλέψεις που πραγματοποιήθηκαν. Αρχικά, ο αριθμός των pixel ανάλογα με την πιθανότητα αστικοποίησής τους και η αντίστοιχη έκτασή τους σε στρέμματα παρατίθενται στις πίνακες που προηγήθηκαν για καθεμία από τις παραπάνω προβλέψεις.

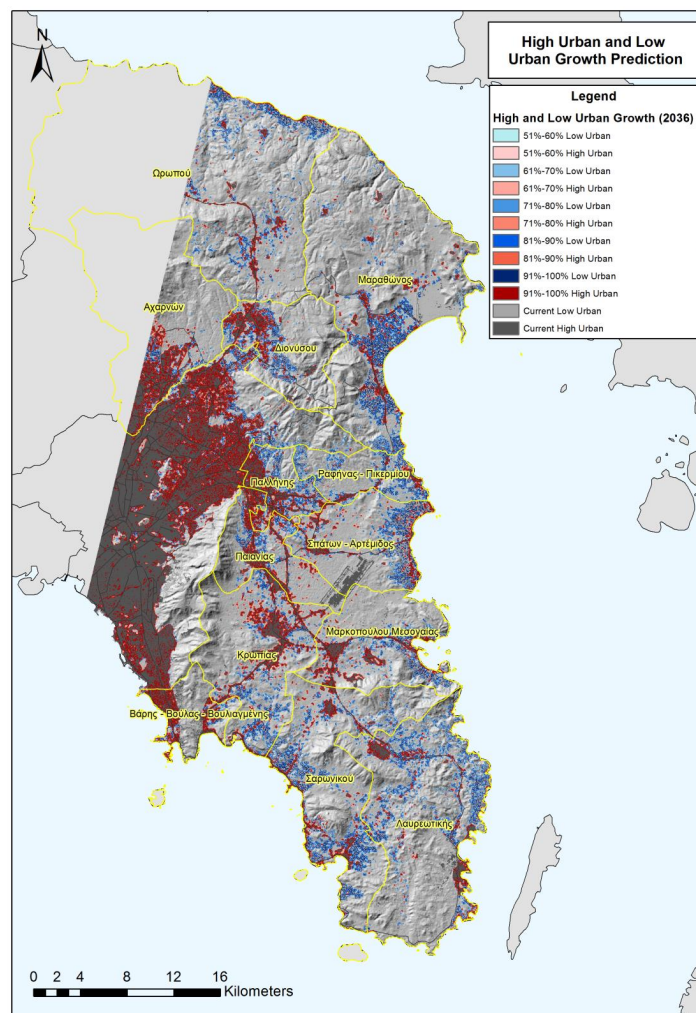
Σε ό,τι αφορά στην πυκνή αστική δόμηση, παρατηρείται ότι το μεγαλύτερο πλήθος pixel που προβλέπεται να μετατραπεί σε πυκνή αστική δομή το έτος 2036, εντάσσεται στην κατηγορία με πιθανότητα αστικοποίησης 91%-100% (107.483 pixels), ενώ ακολουθούν οι κατηγορίες πιθανοτήτων 1%-10% (62.256 pixels) και 81%-90% (33.775 pixels). Στις υπόλοιπες κατηγορίες πιθανοτήτων το πλήθος των pixel κυμαίνεται από περίπου 18.000-30.000 pixels.

Αντίστοιχα αναφορικά με την αραιή αστική δόμηση, η κατανομή του πλήθους των pixel σε κατηγορίες πιθανοτήτων ακολουθεί παρόμοιο μοτίβο, με την κατηγορία 91%-100% να συγκεντρώνει το μεγαλύτερο αριθμό pixel, την κατηγορία 1%-10% να

έπεται (43.862 pixels) και την κατηγορία 81%-90% να είναι τρίτη στην σειρά (26.902 pixels). Στις υπόλοιπες κατηγορίες πιθανοτήτων το πλήθος των pixel κυμαίνεται από περίπου 9.000-16.000 pixels.

Από την παρατήρηση των εικόνων αυτών, προκύπτει ότι έως το 2036, οι εντονότερες τάσεις διάχυσης της αστικοποίησης παρατηρούνται στις περιοχές που βρίσκονται πλησιέστερα στην π.ε. του κέντρου της Αθήνας, ακολουθώντας το υφιστάμενο μοτίβο αστικής διάχυσης που ορίζει ότι η αστική ανάπτυξη συντελείται με πυρήνα το κέντρο της Αθήνας και επεκτείνεται προς τα προάστια. Συγκεκριμένα, η περιοχή του Γέρακα αναμένεται να έχει αστικοποιηθεί πλήρως και να εντάσσεται κατά βάση στην κατηγορία της πυκνής αστικής δόμησης, σχηματίζοντας με τα Γλυκά Νερά και την Παλλήνη μία νέα ενιαία αστική οντότητα. Παράλληλα, εμφάνιση πυκνής αστικής ανάπτυξης παρατηρείται στους δήμους των Αχαρνών και του Διονύσου αλλά και στην Παιανία, το Κορωπί και το Μαρκόπουλο, με ηπιότερες ωστόσο τάσεις διάχυσης αυτού του αστικού τύπου. Τα παραλιακά τμήματα των περιοχών της Αρτέμιδος, του Μαραθώνα, της Νέας Μάκρης, του Μαρκόπουλου, της Λαυρεωτικής και του δήμου Σαρωνικού προβλέπεται να αναπτυχθούν έντονα δημιουργώντας μία ζώνη αραιής αστικής δόμησης κατά μήκος των ακτών της ανατολικής Αττικής.

Επόμενο στάδιο αποτέλεσε η δημιουργία ενός αρχείου, στο οποίο απεικονίζονται ταυτόχρονα οι πιθανότητες αστικοποίησης τόσο για την πυκνή όσο και για την αραιή αστική δόμηση, ώστε να παρέχεται μια συνολική εκτίμηση και για τους δύο αστικούς τύπους. Για το λόγο αυτό, τα αρχεία της πρόβλεψης της πυκνής και της αραιής αστικής δόμησης συνδυάστηκαν κατάλληλα μεταξύ τους στο περιβάλλον του ArcGIS, προκειμένου να προκύψει ένα ενιαίο αρχείο, στο οποίο θα απεικονίζονται ταυτόχρονα οι πιθανότητες αστικοποίησης και για τους δύο αστικούς τύπους για το έτος πρόβλεψης 2036.



Εικόνα 6-3: Σύνθεση προβλέψεων ανάπτυξης πυκνής και αραιής αστικής δόμησης

Από την ανάλυση του αρχείου αυτού στο ArcGIS και πραγματοποιώντας τις κατάλληλες μετρήσεις του πλήθους των pixel, εξήχθησαν τα δεδομένα του ακόλουθου πίνακα:

Πιθανότητες αστικοποίησης (%)	Πυκνή Αστική Δόμηση		Αραιή Αστική Δόμηση	
	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)
1%-10%	32.387	29.148.3	54.551	49.095,9
11%-20%	16.115	14.503.5	29.474	26.526.6
21%-30%	12.412	11.170.8	23.073	20.765,7
31%-40%	11.382	10.243.8	20.085	18.076,5
41%-50%	10.932	9.838.8	20.342	18.307,8
51%-60%	11.778	10.600.2	21.110	18.999
61%-70%	13.509	12.158.1	22.881	20.592,9
71%-80%	16.875	15.187.5	28.444	25.599,6
81%-90%	33.775	30.397.5	40.675	36.607,5
91%-100%	107.483	96.734.7	62.126	55.913,4
Σύνολο	266.648	239.983.2	322.761	290.484.9
Ποσοστό στο σύνολο της πρόβλεψης (%)	45,24%		54,76%	

Πίνακας 6-21: Πιθανότητες αστικοποίησης για την πυκνή και την αραιή αστική δόμηση

Σύμφωνα με τον πίνακα, προβλέπεται ότι με πιθανότητα μεγαλύτερη από 91% θα γίνουν αστικά και μάλιστα πυκνή αστική δόμηση 107.483 pixels, με πιθανότητα 81-90% αναμένονται 33.775 pixels και τέλος με πιθανότητα 1%-10% προβλέπονται 32.387 pixels πυκνής αστικής δόμησης. Οι υπόλοιπες πιθανότητες ακολουθούν με μικρότερα πλήθη pixels, που κυμαίνονται από 11.000 έως 17.000 pixels. Αντίστοιχα, 62.126 pixels εμφανίζονται στην κατηγορία αραιή αστική δόμηση με πιθανότητα 91%-100%, 54.551 pixels αναμένονται στην ίδια κατηγορία με πιθανότητα 1%-10% και 40.675 pixels με πιθανότητα 81%-90%. Οι υπόλοιπες πιθανότητες ακολουθούν με μικρότερα πλήθη pixels, που κυμαίνονται από 20.000 έως 29.000 pixels.

Σε ό,τι αφορά στη μεταβολή μη αστικών pixels σε αστικά κατά το διάστημα εκτίμησης, προέκυψαν τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα:

Σύνθεση Αραιής & Πυκνής Αστικής Δόμησης				
Μη αστικό 2016 (πλήθος pixel)	Έκταση (στρέμματα)	Μη αστικό 2036 (πλήθος pixel)	Έκταση (στρέμματα)	Μεταβολή (%)
2.482.192	2.233.972,8	2.000.590	1.800.531	-19,4%

Πίνακας 6-22: Μεταβολή αστικής κάλυψης (σύνθεση προβλέψεων)

Παράλληλα, ενδιαφέρον παρουσιάζει και η μελέτη των μεταβολών που παρατηρούνται μεταξύ των αστικών τύπων, δηλαδή τι ποσοστό αραιής αστικής

δόμησης προβλέπεται να μεταβληθεί σε πυκνή για το εν λόγω χρονικό διάστημα και με τι πιθανότητα. Συγκεκριμένα, για το έτος 2016, καταγράφηκαν 175.956 pixels ως αραιή αστική δόμηση. Το 61,3% του συνόλου των pixels που άνηκαν στην υφιστάμενη αραιή αστική δόμηση για το έτος 2016 προβλέπεται να μετατραπούν σε πυκνή αστική δόμηση το έτος 2036, ενώ το υπόλοιπο 38,7% (68.138 pixels) φαίνεται να παραμένει στην κατηγορία της αραιής αστικής δόμησης. Τα σχετικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον ακόλουθο πίνακα:

Σύνθεση Αραιής & Πυκνής Αστικής Δόμησης		
Αραιή Αστική Δόμηση 2016 (πλήθος pixel)	Απομένουσα Αραιή Αστική Δόμηση 2036 (πλήθος pixel)	Μεταβολή (%)
175.945	68.138	-61,3%

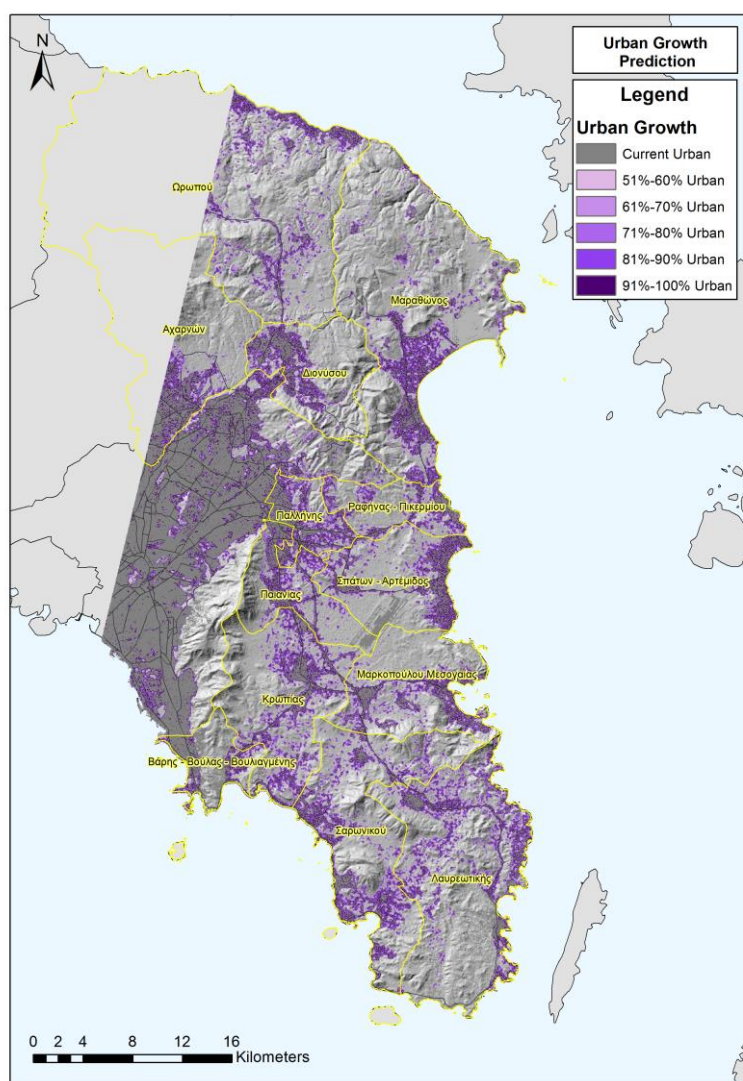
Πίνακας 6-23: Μεταβολή αραιής αστικής κάλυψης (σύνθεση προβλέψεων)

Αραιή (2016) → Πυκνή (2036)	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)
Σύνολο	107.807	97.026,3
1%-10% Πυκνή Αστική Δόμηση	9.772	8.794,8
11%-20% Πυκνή Αστική Δόμηση	5.341	4.806,9
21%-30% Πυκνή Αστική Δόμηση	4.219	3.797,1
31%-40% Πυκνή Αστική Δόμηση	3.907	3.516,3
41%-50% Πυκνή Αστική Δόμηση	3.900	3.510
51%-60% Πυκνή Αστική Δόμηση	4.315	3.883,5
61%-70% Πυκνή Αστική Δόμηση	5.035	4.531,5
71%-80% Πυκνή Αστική Δόμηση	6.428	5.785,2
81%-90% Πυκνή Αστική Δόμηση	11.014	9.912,6
91%-100% Πυκνή Αστική Δόμηση	53.876	48.488,4

Πίνακας 6-24: Πιθανότητες μεταβολής αραιής σε πυκνή αστική δόμηση (σύνθεση προβλέψεων)

Από το σύνολο των pixels που μεταβαίνουν στην πυκνή αστική δόμηση, σχεδόν τα μισά (53.876 pixels) αναμένεται να αποκτήσουν «πυκνό» χαρακτήρα με πιθανότητα 91%-100% και περίπου 11.000 pixels αναμένεται να μετατραπούν από αραιή σε πυκνή αστική δόμηση με πιθανότητα 81%-90% (Πίνακας 6-24).

Τέλος, κρίσιμο στάδιο της μεθοδολογικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε αποτέλεσε η σύγκριση του αρχείου σύνθεσης των προβλέψεων για την πυκνή και την αραιή αστική δόμηση με εκείνο της πρόβλεψης για την ενιαία αστική δόμηση, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο οι δύο μέθοδοι συγκλίνουν, τι ομοιότητες και τι διαφορές παρατηρούνται ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις, αλλά και τι χωρικά πρότυπα ακολουθούν οι μεταξύ τους ομοιότητες και αποκλίσεις. Τα αποτελέσματα της πρόβλεψης για την ενιαία αστική δόμηση, όπως αυτά προέκυψαν ύστερα από το στάδιο της πρόβλεψης του μοντέλου για το σετ δεδομένων της ενιαίας αστικής δόμησης, παρατίθενται ακολούθως:



Εικόνα 6-4: Πρόβλεψη ανάπτυξης ενιαίας αστικής δόμησης

Ενιαία Αστική Δόμηση		
Πιθανότητες αστικοποίησης (%)	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)
1%-10%	78.924	71.031,6
11%-20%	42.258	38.032,2
21%-30%	31.668	28.501,2
31%-40%	28.941	26.046,9
41%-50%	28.951	26.055,9
51%-60%	29.224	26.301,6
61%-70%	33.087	29.778,3
71%-80%	42.585	38.326,5
81%-90%	64.765	58.288,5
91%-100%	117.579	105.821,1

Πίνακας 6-25: Πιθανότητες αστικοποίησης για την ενιαία αστική δόμηση

Σχετικά με την ενιαία αστική δόμηση, τα pixels που αναμένεται να αστικοποιηθούν εντάσσονται στην πλειονότητά τους στην κατηγορία πιθανοτήτων 91-100% (117.579 pixels), ακολούθως στην κατηγορία 1%-10% (78.924 pixels) και στην κατηγορία 81-90% (64.765 pixels). Στις υπόλοιπες κατηγορίες πιθανοτήτων το πλήθος των pixels κυμαίνεται από περίπου 29.000-43.000 pixels. Σε ό,τι αφορά στη μεταβολή μη αστικών pixels σε αστικά κατά το διάστημα εκτίμησης, προέκυψαν τα στοιχεία του παρακάτω πίνακα:

Ενιαία Αστική Δόμηση				
Μη αστικό 2016 (πλήθος pixel)	Έκταση (στρέμματα)	Μη αστικό 2036 (πλήθος pixel)	Έκταση (στρέμματα)	Μεταβολή (%)
2.482.192	2.233.972,8	1.984.210	1.785.789	-20.1%

Πίνακας 6-26: Μεταβολή αστικής κάλυψης (ενιαία πρόβλεψη)

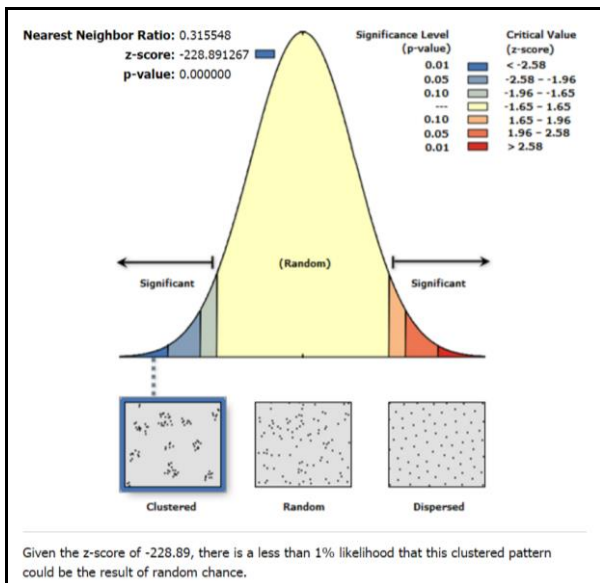
Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της πρόβλεψης για την ενιαία αστική δόμηση με τα αντίστοιχα της σύνθεσης των προβλέψεων για την αραιή και την πυκνή αστική δόμηση, αποτελεί ένα ικανοποιητικό τεστ πιστότητας της μεθόδου που ακολουθήθηκε, προκειμένου να επιτευχθεί η παράλληλη οπτικοποίηση της πρόβλεψης για δύο αστικούς τύπους. Στον ακόλουθο πίνακα, καταγράφονται συγκριτικά τα δεδομένα για την αστική κάλυψη και οι μεταξύ τους αποκλίσεις.

	Ενιαία πρόβλεψη (αριθμός pixel)	Ποσοστό (%ενιαίας πρόβλεψης)	Σύνθεση προβλέψεων (αριθμός pixel)	Ποσοστό (% σύνθεσης προβλέψεων)
Κοινή πρόβλεψη αστικό (πλήθος pixel)	887.181	96,7%	887.181	98,4%
Επιπλέον πρόβλεψη (πλήθος pixel)	30.557	3,3%	14.257	1,6%
Πρόβλεψη συνολικό αστικό (πλήθος pixel)	917.738		901.358	

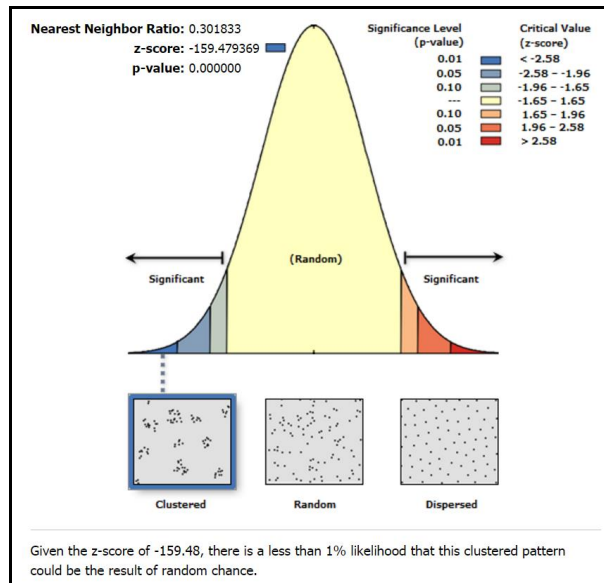
Πίνακας 6-27: Σύγκριση αστικής κάλυψης ενιαίας πρόβλεψης-σύνθεσης προβλέψεων

Από τα δεδομένα του πίνακα, προκύπτει ότι η κοινή πρόβλεψη αποτελεί το 97% της ενιαίας πρόβλεψης και το 98% της σύνθεσης των δύο προβλεψεων. Αντίστοιχα, υπολογίζεται ένας αριθμός pixel (30.557), τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν ως αστικά μόνο στην πρόβλεψη της ενιαίας αστικής δόμησης και όχι στη σύνθεση των προβλέψεων και αντίστοιχα ένας αριθμός pixel (14.257) που προβλέπονται ως αστικά μόνο στη σύνθεση των προβλέψεων αραιής και πυκνής δόμησης και όχι στην ενιαία πρόβλεψη. Οι αποκλίσεις αυτές μεταξύ των δύο εικόνων είναι πολύ μικρές και υπολογίζονται στο 3,3% της ενιαίας πρόβλεψης και 1,6% της σύνθεσης των προβλέψεων, γεγονός που καθιστά τη μεθοδολογία που ακολουθήθηκε αξιόπιστη και ικανή να εκπληρώσει τον σκοπό της, δηλαδή την ταυτόχρονη οπτικοποίηση των πιθανοτήτων αστικοποίησης για δύο διαφορετικούς αστικούς τύπους στην ίδια περιοχή μελέτης παράλληλα με την παροχή γνώσης σχετικά με τη μελλοντική αστική κάλυψη συνολικά.

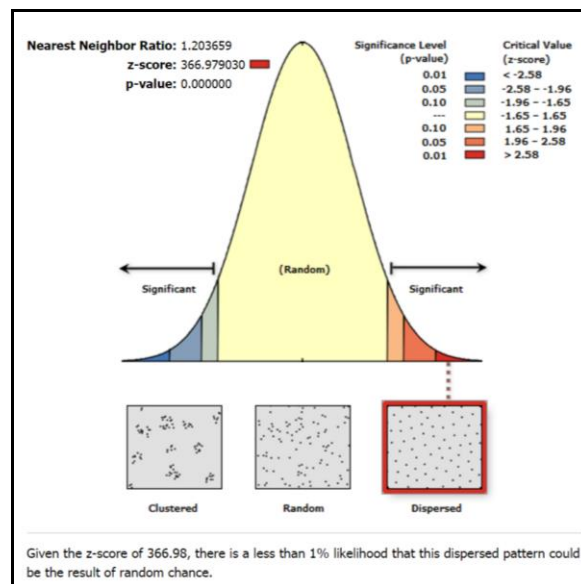
Σε ό,τι αφορά στις διαφορές που εντοπίστηκαν ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις, προσδιορίστηκε το χωρικό τους πρότυπο, προκειμένου να διαπιστωθεί η κατανομή τους στο χώρο. Ο προσδιορισμός του χωρικού προτύπου έγινε σε περιβάλλον ArcGIS, με χρήση της μεθόδου του εγγύτερου γείτονα και ως εμβαδόν μελέτης ορίστηκε εκείνο της μη αστικής κάλυψης του 2016, ώστε να ανακρίνει το πώς τα εν λόγω σημεία κατανεμήθηκαν στον αρχικά μη αστικό χώρο. Στα παρακάτω διαγράμματα, παρουσιάζονται τα χωρικά πρότυπα που προέκυψαν (α) για τα σημεία που προβλέφθηκαν ως αστικά μόνο για την ενιαία πρόβλεψη, (β) για τα σημεία που προβλέφθηκαν ως αστικά μόνο στη σύνθεση των προβλέψεων αραιής και πυκνής δόμησης και (γ) για τα σημεία που αποτελούν κοινό τόπο στην ενιαία πρόβλεψη και στη σύνθεση προβλέψεων.



Διάγραμμα 6-7: Χωρικό πρότυπο επιπλέον πρόβλεψης (ενιαία πρόβλεψη)



Διάγραμμα 6-8: Χωρικό πρότυπο επιπλέον πρόβλεψης (σύνθεση προβλέψεων)



Διάγραμμα 6-9: Χωρικό πρότυπο κοινής πρόβλεψης

Από τα παραπάνω διαγράμματα, προκύπτει ότι τόσο για το σύνολο των στοιχείων που θεωρήθηκαν αστικά μόνο στην ενιαία πρόβλεψη, όσο και για το σύνολο των στοιχείων που θεωρήθηκαν αστικά μόνο στην σύνθεση των προβλέψεων, προέκυψε ομαδοποιημένο χωρικό πρότυπο με Nearest Neighbor Ratio – NNR=0.316 και Nearest Neighbor Ratio – NNR=0.302, αντιστοίχως. Η διαπίστωση αυτή καθιστά χρήσιμη τη μελέτη των σημείων αυτών με μεγαλύτερη λεπτομέρεια (σε μεγαλύτερη κλίμακα), προκειμένου να πραγματοποιηθεί περαιτέρω χωρική ανάλυση της συμπεριφοράς τους. Για την κοινή πρόβλεψη, προέκυψε ομοιόμορφο χωρικό πρότυπο με Nearest Neighbor Ratio – NNR=1.204, γεγονός που υποδηλώνει ότι τα σημεία της κοινής πρόβλεψης κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα στον αρχικά μη αστικό χώρο και παράλληλα συνιστά μια καλή ένδειξη της ποιότητας των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας εργασίας, προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα, τα οποία θεωρείται σκόπιμο να επισημανθούν. Τα συμπεράσματα αυτά αφορούν τόσο στο βαθμό ικανοποίησης του στόχου, όπως αυτός είχε αρχικά διατυπωθεί, όσο και στην αξιολόγηση της μεθοδολογικής προσέγγισης που ακολουθήθηκε για την οπτικοποίηση της πρόβλεψης της ανάπτυξης δύο τύπων αστικότητας στην περιοχή μελέτης. Τέλος, δεδομένης της πολυδιάστατης φύσης του προβλήματος που εξετάστηκε, σκόπιμο κρίθηκε να γίνουν προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.

Σε ό,τι αφορά στον προκαθορισμένο στόχο, αυτός θεωρείται ότι επιτυγχάνεται σε ικανοποιητικό βαθμό, καθώς με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, προέκυψαν οι ζητούμενοι χάρτες, στους οποίους απεικονίζονται οι περιοχές που πιθανολογείται να μετατραπούν σε περιοχές πυκνής ή αραιής αστικής δόμησης, με τις αντίστοιχες πιθανότητες αστικοποίησης σε κάθε περίπτωση.

Η δημιουργία των χαρτών αυτών πραγματοποιήθηκε με την παράλληλη χρήση των Κυψελοειδών Αυτομάτων και συγκεκριμένα του μοντέλου SLEUTH και των GIS, σε χαλαρή διασύνδεση μεταξύ τους. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογίας έγινε με γνώμονα την πολυπλοκότητα του προβλήματος που εξετάζεται αλλά και με έμφαση στη χωρική ανάλυση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων, ώστε αυτά τελικά να αποκτούν ρεαλιστική χωρική αναφορά.

Σε ό,τι αφορά στα Κυψελοειδή Αυτόματα, η επιλογή τους βασίστηκε στο γεγονός ότι αποτελούν απλά αστικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων και ανάμεσα στο πλήθος των πλεονεκτημάτων που παρουσιάζουν, συγκαταλέγεται το γεγονός ότι η δομή μορφής καννάβου την οποία χρησιμοποιούν είναι ίδια με εκείνη των τηλεπισκοπικών και γεωγραφικών δεδομένων. Έτσι, η σύνδεση των ΚΑ με τα γεωγραφικά και τηλεπισκοπικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προσέφερε την δυνατότητα της οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων του μοντέλου αλλά και δυνατότητες για περαιτέρω χωρική ανάλυση των αποτελεσμάτων. Τελικά, θεωρείται ότι το μοντέλο SLEUTH ανταποκρίθηκε ικανοποιητικά στις απαιτήσεις της συγκεκριμένης μελέτης και συνδυάστηκε επιτυχώς με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.

Αναφορικά με τα GIS, αυτά αρχικά χρησιμοποιήθηκαν στα πρώτα στάδια της προεπεξεργασίας των δεδομένων εισόδου στο μοντέλο, προκειμένου αυτά να αποκτήσουν την κατάλληλη μορφή που τα καθιστά ικανά προς χρήση από το SLEUTH και για το λόγο αυτό, η συμβολή τους στο εν λόγω στάδιο κρίθηκε καθοριστική. Συγκεκριμένα, οι παρεχόμενες εργαλειοθήκες του λογισμικού αποδείχθηκαν ιδιαίτερα χρήσιμες για την διαχείριση, την ανάλυση και για το μετασχηματισμό των γεωγραφικών επιπέδων πληροφορίας που χρησιμοποιήθηκαν.

Εξίσου χρήσιμη και καθοριστική κρίθηκε η συμβολή των GIS στα επόμενα στάδια της διαδικασίας και συγκεκριμένα, στη σύνθεση χαρτών πρόγνωσης της μελλοντικής αστικής ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης, βάσει των εξαγόμενων αρχείων του μοντέλου SLEUTH, καθιστώντας έτσι εφικτή τη χωρική αναπαράστασή τους.

Στο σημείο αυτό, επισημαίνεται ότι τα GIS προσέδωσαν δυο βασικές δυνατότητες χωρικής ανάλυσης στο πλαίσιο της παρούσας μελέτης, προσδίδοντας στη μεθοδολογική προσέγγιση που ακολουθήθηκε σημαντικά πλεονεκτήματα έναντι των έως τώρα εφαρμοζόμενων μεθοδολογιών. Αρχικά, με τη χρήση των GIS, κατέστη εφικτή η σύνθεση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων του SLEUTH για δύο διαφορετικούς τύπους αστικότητας (αραιή και πυκνή αστική δόμηση), ώστε να προκύψει τελικά ένα συνολικό αποτέλεσμα, στο οποίο να εμπεριέχεται το σύνολο της χωρικής πληροφορίας σχετικά με την αστική ανάπτυξη στην περιοχή. Έτσι, σε σχέση με την παραδοσιακή εφαρμογή του SLEUTH, που δύναται να απεικονίσει μόνο την αστική και τη μη αστική κάλυψη, στην παρούσα μελέτη επετεύχθη η ταυτόχρονη απεικόνιση της πυκνής αστικής κάλυψης, της αραιής αστικής κάλυψης καθώς και του μη αστικού χώρου. Παράλληλα, τα GIS επέτρεψαν την αλληλεπίθεση και τη σύγκριση του συνολικού αυτού αποτελέσματος με τα αποτελέσματα του μοντέλου SLEUTH για την ενιαία αστική δόμηση. Από τη σύγκριση αυτή, αφενός διαπιστώθηκε η πιστότητα του αρχείου που δημιουργήθηκε μέσω GIS (σύνθεση προβλέψεων πυκνής και αραιής αστικής δόμησης), δεδομένου ότι η σύνθεση των δύο προβλέψεων δεν απέιχε σημαντικά από την ενιαία πρόβλεψη και αφετέρου διερευνήθηκε το χωρικό πρότυπο των αποκλίσεων που εντοπίστηκαν. Συνολικά, η συμβολή των GIS, αποδείχθηκε μεγάλης σημασίας, αναδεικνύοντας τα οφέλη που μπορούν να αποκομιστούν με την συνδυαστική χρήση ενός GIS και ενός μοντέλου αστικής ανάπτυξης, όπως εν προκειμένω είναι το SLEUTH. Συμπερασματικά, η εκπόνηση της παρούσας μεταπτυχιακής εργασίας εξελίχθηκε σταδιακά σε μια ιδιαίτερα ενδιαφέρουσα ερευνητική προσπάθεια, που θα μπορούσε να αποτελέσει την αφετηρία για περαιτέρω μελλοντική έρευνα.

Στο πλαίσιο αυτό, θα πρέπει να τονιστεί η δυσκολία πρόσβασης σε ιστορικά δεδομένα υψηλής ακρίβειας, καθώς στις περισσότερες περιπτώσεις τα δεδομένα αυτά είτε δεν υπάρχουν, οπότε και πρέπει να δημιουργηθούν εξαρχής από το χρήστη, είτε διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ως προς την κλίμακα, την ποιότητα και την προέλευση τους, οπότε και καθίσταται αδύνατη η συνδυαστική τους χρήση. Είναι επομένως αναγκαία η διάθεση δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης, ώστε ο χρήστης του μοντέλου SLEUTH να μη χρονοτριβεί σε διαδικασίες παραγωγής των πρωτογενών δεδομένων, αλλά να επικεντρώνεται στις διαδικασίες της βαθμονόμησης και της πρόβλεψης. Στη συνέχεια, καθώς θεωρείται ότι για να γίνουν πιο αποτελεσματικά τα μοντέλα αστικής ανάπτυξης, θα πρέπει να υπεισέρχονται σε αυτά όσο το δυνατόν περισσότερες μεταβλητές του πολύπλοκου

συστήματος που ονομάζεται πόλη, προτείνεται η εισαγωγή πληθυσμιακών και οικονομικών στοιχείων στην διαδικασία της πρόβλεψης. Επίσης, είναι προφανές ότι το επόμενο στάδιο ενός διδιάστατου μοντέλου είναι το τριδιάστατο μοντέλο, στο οποίο την τρίτη διάσταση θα μπορούσε να αποτελεί για παράδειγμα το ύψος των κτιρίων. Τέλος, η ολική ενσωμάτωση ενός αστικού μοντέλου σε ένα πακέτο GIS, προκειμένου αυτά να λειτουργούν σε απόλυτη αρμονία, θα ελάττωνε σημαντικά το χρόνο που απαιτείται στις διαδικασίες προετοιμασίας των πρωτογενών δεδομένων και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων, καθιστώντας με αυτόν τον τρόπο την όλη μεθοδολογία απλούστερη και σημαντικά ευκολότερη.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία

Barnes K. B., Morgan J. M., Roberge M. C., Lowe S., 2001, "Sprawl development: its patterns, consequences, and measurement", Towson University, Towson

Barros J., Sobreira F., 2002, "City of slums: Self-organisation across scales", Centre for advanced spatial analysis

Batty M., 1976, "Urban modelling: algorithms, calibrations, predictions", Cambridge University Press, Cambridge, UK

Batty M., 1982, "The quest for the qualitative: new directions in planning theory and analysis", Urban Policy and Research

Batty M., 1997, "Cellular automata and urban form: a primer", Journal of the American Planning Association

Batty M., 2007, "Complexity in City Systems: Understanding, Evolution and Design", Working Paper Series, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, London, UK

Batty M., 2009, "Urban modeling, International Encyclopedia of Human Geography", Elsevier, Oxford, UK

Batty M., Bessussi E., Chin N., 2003, "Traffic, urban growth and suburban sprawl", Paper 70, Centre for Advanced Spatial Analysis

Batty M., Xie, Y., 1994, "From cells to cities", Environmental Planning B: Planning Design

Benenson I., Torrens P. M., 2004, "Geosimulation: automata-based modeling of urban phenomena", Wiley, London

Berglund L., 2014, "Review of Land-Use Models-Summary and Documentation, WSP Analysis & Strategy

Bialynicki-Birula, Iwona, 2004, "Modeling Reality: How Computers Mirror Life", Oxford University Press, Oxford, UK

Birkin M., Clarke G., Clarke M., Wilson A. G., 1996, "Intelligent GIS: Location decisions and strategic planning", GeoInformation International, Cambridge, UK

Brueckner, 2000, "Urban Sprawl, Diagnosis and Remedies", International Regional Science Review

Bruegmann R., 2005, "Sprawl: A Compact History", The University of Chicago, London

Camagni R., Gibelli M.C., Rigamonti P., 2002, "Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion", Ecol Econ

Chin N., 2002, "Unearthing the roots of urban sprawl: a critical analysis of form, function and methodology", Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, London, UK

Clarke K.C., 1990, "Geographical information systems and model-based analysis, In Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning", Kluwer Academic, London

Clarke, K.C., 1997, "Land use modeling with deltatrons", The Land Use Modeling Conference

Clarke, K.C., 2008, "A Decade of Cellular Urban Modeling with SLEUTH: Unresolved Issues and Problems", Planning Support Systems for Cities and Regions

Clarke K.C., Gaydos L., 1998, "Loose-coupling a cellular automation model and GIS: longterm urban growth prediction for San Fransisco and Washington/Baltimore", International Journal of Geographical Information Science

Clarke K.C., Hoppen C., Gaydos, L., 1997, "A self-modifying cellular automaton model of historical urbanisation in the San Francisco Bay Area", Environment and Planning B

Couch C., Karecha J., 2006, "Controlling urban sprawl: Some experiences from Liverpool Cities"

Dendrinios D. S., Mullally H., 1985, "Urban evolution: Studies in the mathematical ecology of cities", Oxford University Press, Oxford, UK

Dietzel C., Clarke K.C., 2004, "Replication of Spatio- Temporal Land Use Patterns at three levels of Aggregation by an Urban Cellular Automata", Springer-Verlag

Dietzel C., Clarke K.C., 2007, "Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model, Transactions in GIS", Blackwell Publishing Ltd

Downs A., 1998, "How America's Cities are growing: The big Picture", Brookings Review

Engelen G., White R., Uljee I., Drazan P., 1995, "Using cellular automata for integrated modelling of socio-environmental systems"

European Environment Agency, 2006, "Urban Sprawl in Europe: The ignored challenge", EEA Report No 10

Ewing R., 1997, "Is Los Angeles Style Sprawl Desirable?", Journal of the American Planning Association

Galster G., Hanson R., Wolman H., Coleman S., Freihage J., 2001, "Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive concept", Housing Policy Debate

Gardner M., 1970, "Mathematical Games - The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life"", Scientific American Shiffman (2012)

Glaeser E. L., Kahn M. E., 2003, "Sprawl and Urban Growth", NBER Working Paper

Gilbert N., Troitzsch K. G., 1999, "Simulation for the social scientist", Open University Press, London

Hall P., 2002, "Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century – Third Edition", Blackwell, Malden, Oxford, Victoria, Berlin

Hambury J. R., Sharkey R. H, 1961, "Land use forecast", Chicago Area Transportation Study, Chicago

Handy S., 2005, "Smart growth and the transportation-lad use connection: What does the research tell us?", International Regional Science Review

Haynes K.E., Fotheringham A.S., 1984, "Gravity and Spatial Interaction Models", Sage Publications, Beverly Hills

Jantz C. A., Goetz S. J., Shelley M. K., 2003, "Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore/Washington metropolitan area", Environment and Planning B

Johnston R. J., Wrigley N., 1981, "Urban geography In Quantitative geography: a British view", Routledge and Kegan Paul, London

Kahn, Matthew E., 2000, "The environmental impact of suburbanization", Journal of Policy Analysis and Management

Kasanko M., Jose I. B., Carlo L., 2006, "Are European cities becoming dispersed?: A comparative analysis of 15 European urban areas", Landscape and Urban Planning

Kirtland D., Gaydos L., Clarke K.C., DeCola L., Acevedo W., Bell C., 1994, "An analysis of human-induced land transformations in the San Francisco Bay/Sacramento area", World Resources Review

Lawrence B. L., 2005, "The context and causes of sprawl. Nature in fragments: the legacy of sprawl", Columbia University Press

Li L., Sato Y., Zhu H., 2003, "Simulating spatial urban expansion based on a physical process", Landscape Urban Plan

Liu Y., 2008, Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata, Boca Raton, CRC Press

Liu Y., 2009, "Modeling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata", CRC PressTaylor & Francis Group

Loesch A., 1943, "The economics of location", Yale University Press

Miller H. J., 1991, "Modeling accessibility using space-time prism concepts within geographic information systems", International Journal of Geographical Information Systems

Nechyba T., Walsh R., 2004, "Urban sprawl", Journal of Economic Perspectives

Ness G. D., Low M. M., 2000, "Five Cities: Modeling Asian Urban Population-Environment Dynamics", Oxford University Press, Oxford, UK

Niazi, Muaz, Hussain, Amir, 2011, "Agent-based Computing from Multi-agent Systems to Agent-Based Models: A Visual Survey", Scientometrics (Springer)

Nyerges T. L., 1995, "Geographical information system support for urban/regional transportation analysis", Geography of Urban Transportation, Guildford, New York

Peck S., 1998, "Planning for Biodiversity: Issues and Examples", Island Press, Washington DC

Porter, Douglas R. et al., 2000, "The practice of sustainable development", Urban Land Institute, Washington DC

Robinson G. M., 1998, "Methods and techniques in human geography", New York

Roe P. H., Soulis G. N. et al., 1992, "The Discipline of Design", University of Waterloo Reprint

Schiff, Joel L., 2011, "Cellular Automata: A Discrete View of the World", Wiley & Sons Inc

Silva E.A., Clarke K.C, 2002, "Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal", Computers, Environment and Urban Systems

Sui D. Z., 1998, "GIS-based urban modelling: practices, problems, and prospects", International Journal of Geographical Information Sciences

Sun Z., 2003, "Simulating Urban Growth Using Cellular Automata: a case study in Zhongshan city", China, UPLA

Torrens P., 2003, "Cellular automata and Multi-agent Systems as Planning Support Tools," Planning Support Systems in Practice Advances in Spatial Science

Torrens P. M., Benenson I., 2005, "Geographic Automata Systems", International Journal of Geographic Information Science

Vichiensan V., Sato K., Miyamoto K., Kitazume K., 2003, "Introduction of land use model to improve travel demand forecasting in a metropolitan area: a case of Sranus

application to Sapporo”, *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*

Von Bertalanffy L., 1968, “General systems theory: foundations, development, applications”, George Braziler, New York

Von Thuenen, J. H., 1826, “Der Isolierte Staat”, English translation by C. M. Wartenberg, edited by P. Hall, 1966, Pergamon Press

Waddell P., 2002, “UrbanSim: modelling urban development for land use, transportation and environmental planning”, *Journal of the American Planning Association*

Waldrop M., 1992, “Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos”, Simon and Schuster, New York

Ward D.P., Murray A.T., Phinn S.R., 2000, “Astochastically constrained cellular model of urban growth”, *Comput. Environmental Urban Systems*

Wassmer R. W., 2002, “An economic perspective on urban sprawl”, Working Paper, California Senate Office of Research

Weber A., 1909, “Ueber den Standort der Industrien Toebingen: Reine Theorie des Standort”

Wegener M., 2005, “Overview of land-use transport models”, *Transport geography and spatial systems*, Pergamon/Elsevier Science, Kidlington, UK

Wilson, A. G. 1970, “Entropy in urban and regional modeling”, London UK

Wolfram S., 1984, “Cellular automata as models of complexity”, *Nature*

Wolfram S., 2002, “A New Kind of Science”, Wolfram Media

Wu F., Webster C. J., 2000, “Simulating artificial cities in a GIS environment: urban growth under alternative regulation regimes”, *International Journal of Geographical Information Science*

Ελληνική Βιβλιογραφία

Γιώτη, Ε., 2012, «Η συνδυαστική αξιοποίηση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS), Τηλεπισκοπικών Τεχνικών (Remote Sensing) και Κυψελοειδών Αυτομάτων (Cellular automata) για τη μοντελοποίηση της αστικής εξάπλωσης», Διπλωματική εργασία, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο

Ελληνική Εταιρία Τοπικής Ανάπτυξης και Αυτοδιοίκησης Α.Ε., 2011, «Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Περιφέρειας Αττικής 2012-2014», Ενότητα 1: Στρατηγικός Σχεδιασμός

Μαντέλας Ε., 2011, «Υπολογιστική προσομοίωση αστικής επέκτασης με χρήση ασαφών Κυψελοειδών Αυτόματων», Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Ντριάνκος Ι., 2015, «Το φαινόμενο της αστικής διάχυσης», Ερευνητική εργασία, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης

Σταυράκου Γ., 2014, «Προσομοίωση εξέλιξης και επέκτασης αστικών περιοχών με χρήση Κυψελοειδών Αυτομάτων», Μεταπτυχιακή Εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Διαδικτυακοί Τόποι

<http://arhug.wikispaces.com>, τελευταία πρόσβαση 6/9/2016

<http://www.attiki.gov.gr>, τελευταία πρόσβαση 20/9/2016

<https://bmscblog.files.wordpress.com>, τελευταία πρόσβαση 15/9/2016

<http://www.csiss.org>, τελευταία πρόσβαση 6/9/2016

<http://www.minenv.gr>, τελευταία πρόσβαση 20/9/2016

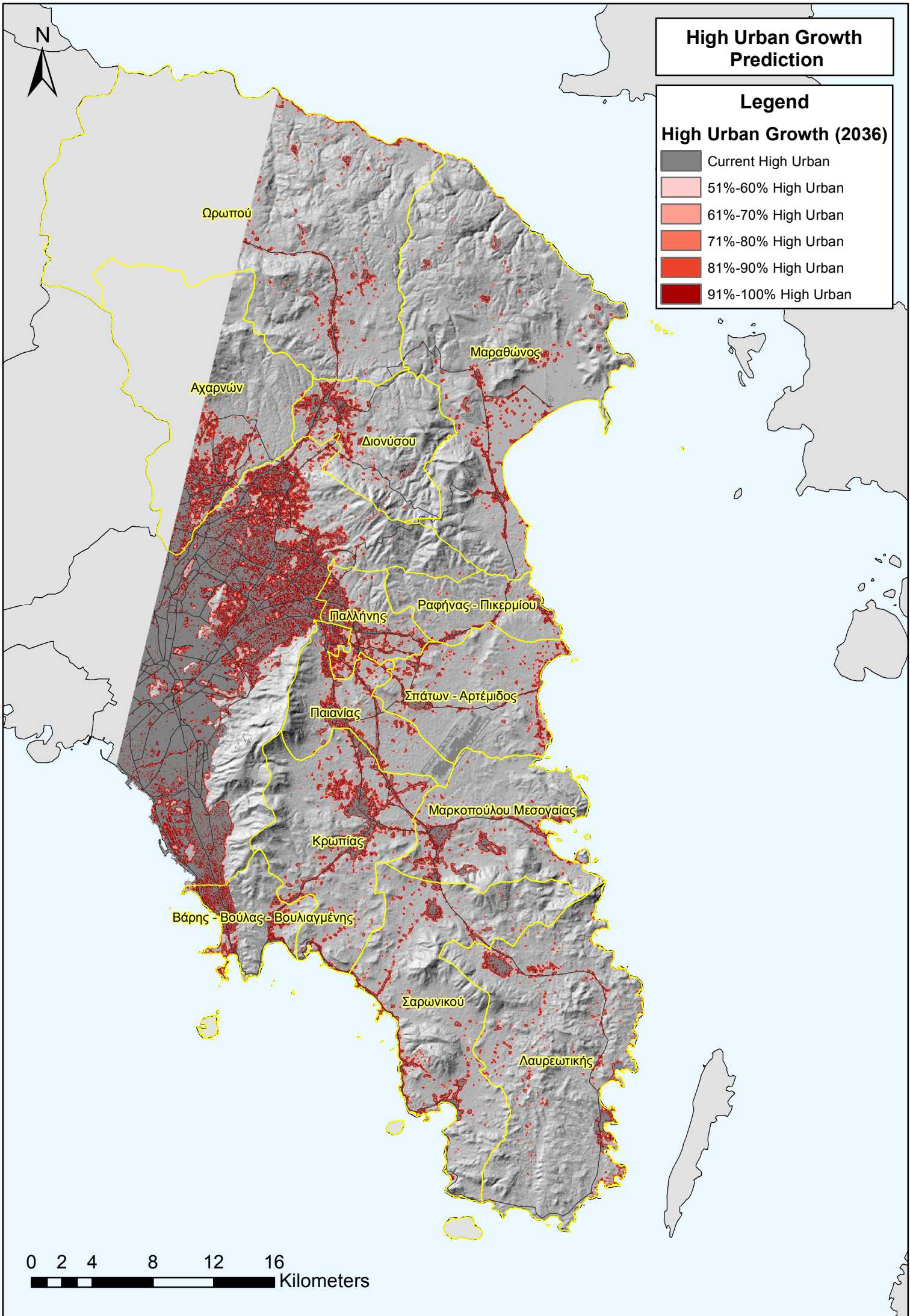
<http://www.parnitha.net>, τελευταία πρόσβαση 20/9/2016

<http://www.ncgia.ucsb.edu>, τελευταία πρόσβαση 20/9/2016

<http://wps.prenhall.com>, τελευταία πρόσβαση 6/9/2016

<http://www.statistics.gr>, τελευταία πρόσβαση 20/9/2016

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΧΑΡΤΩΝ



High Urban Growth Prediction

Legend

High Urban Growth (2036)

- Current High Urban
- 51%-60% High Urban
- 61%-70% High Urban
- 71%-80% High Urban
- 81%-90% High Urban
- 91%-100% High Urban

Ωρωπού

Μαραθώνος

Αχαρνών

Διονύσου

Παλλήνης

Ραφήνας - Πικερμίου

Σπάτων - Αρτέμιδος

Παιανίας

Μαρκοπούλου Μεσογαίας

Κρωπίας

Βάρης - Βούλας - Βουλιαγμένης

Σαρωνικού

Λαυρεωτικής

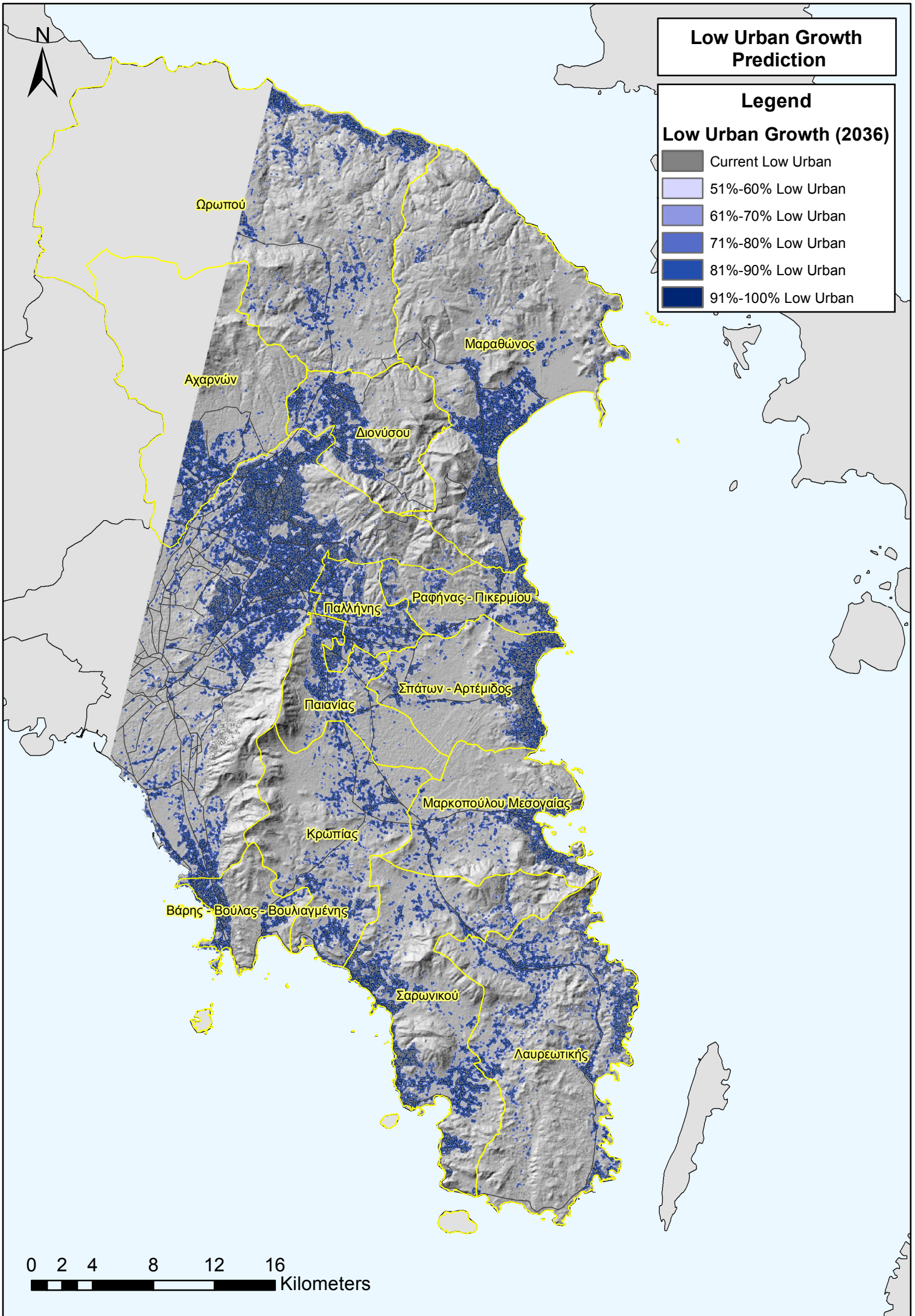
0 2 4 8 12 16 Kilometers

Low Urban Growth Prediction

Legend

Low Urban Growth (2036)

- Current Low Urban
- 51%-60% Low Urban
- 61%-70% Low Urban
- 71%-80% Low Urban
- 81%-90% Low Urban
- 91%-100% Low Urban



0 2 4 8 12 16 Kilometers

High Urban and Low Urban Growth Prediction

Legend

High and Low Urban Growth (2036)

- 51%-60% Low Urban
- 51%-60% High Urban
- 61%-70% Low Urban
- 61%-70% High Urban
- 71%-80% Low Urban
- 71%-80% High Urban
- 81%-90% Low Urban
- 81%-90% High Urban
- 91%-100% Low Urban
- 91%-100% High Urban
- Current Low Urban
- Current High Urban

