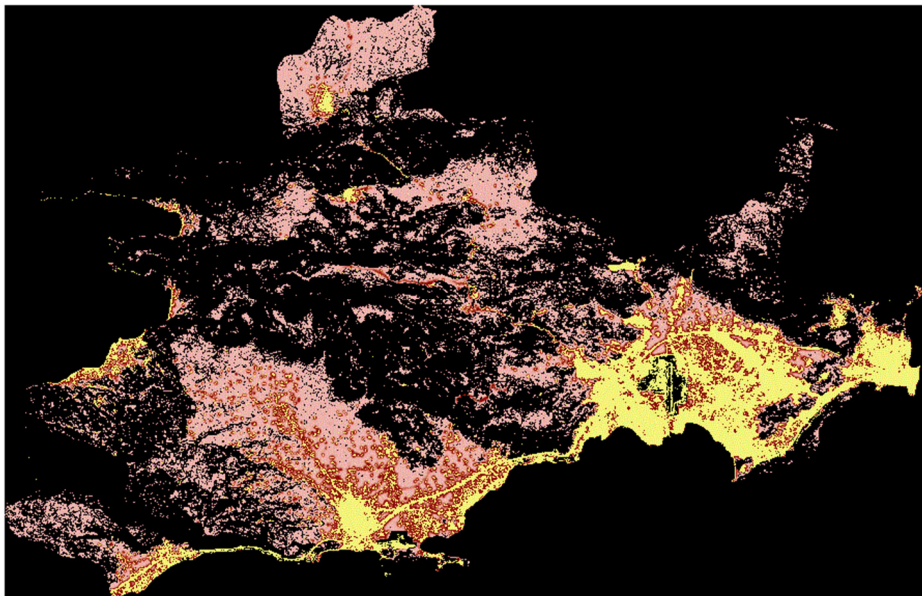




ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

Διπλωματική Εργασία

«Προσομοίωση της μελλοντικής επέκτασης
αστικών περιοχών με χρήση Κυψελοειδών
Αυτομάτων και GIS: Εφαρμογή του
υποδείγματος SLEUTH στην Περιφερειακή
Ενότητα Δυτικής Αττικής»



Βαλτάς Δημήτριος

Επιβλέπων
Γεώργιος Ν. Φώτης, Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Οκτώβριος 2018

Διπλωματική Εργασία

Βαλτάς Γ. Δημήτριος

Προσομοίωση της μελλοντικής επέκτασης αστικών περιοχών με χρήση Κυψελοειδών
Αυτομάτων και GIS: Εφαρμογή του υποδείγματος SLEUTH στην Περιφερειακή Ενότητα
Δυτικής Αττικής

Τομέας Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού
Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών
Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο

Αθήνα, 2018

Diploma Thesis

Valtas G. Dimitrios

Simulation of the future expansion of urban areas using Cellular Automaton and GIS:
Implementation of the SLEUTH model in the Regional Unit of Western Attica

Department of Geography and Regional Planning
School of Rural and Surveying Engineering
National Technical University of Athens

Athens, 2018

Περιεχόμενα

Περίληψη	3
Abstract	4
1 Εισαγωγή	6
1.1 Καθορισμός Στόχου	6
1.2 Διάρθρωση Εργασίας	7
2 Αστική διάχυση	8
2.1 Ορισμός Αστικής Διάχυσης	8
2.2 Τύποι αστικής διάχυσης	13
2.3 Αιτίες Αστικής Διάχυσης	15
2.4 Συνέπειες Αστικής Διάχυσης	17
3 Μοντέλα Αστικής Ανάπτυξης	20
3.1 Πολυπλοκότητα και Συστήματα.....	20
3.2 Χρησιμότητα των Αστικών Μοντέλων.....	20
3.3 Θεωρητικές Προσεγγίσεις Αστικών Μοντέλων.....	21
3.4 Μέθοδοι και Τεχνικές Μοντελοποίησης της Αστικής Ανάπτυξης.....	23
3.5 Κυψελοειδή αυτόματα (Cellular Automata)	28
3.5.1 Χαρακτηριστικά ενός ΚΑ.....	29
3.5.2 Το παιχνίδι της ζωής του Conway (Conways's game of life).....	31
3.5.3 Μαθηματική αναπαράσταση των ΚΑ.....	33
3.5.4 Τα πλεονεκτήματα κυψελοειδών Αυτομάτων στην Αστική Μοντελοποίηση	34
3.5.5 Μοντέλο Αστικής διάχυσης Sleuth.....	35
4 Περιοχή Μελέτης	37
4.1 Περιφερειακή Ενότητα Δυτικής Αττικής.....	37
4.2 Πληθυσμιακή Ανάπτυξη	42
5 Εφαρμογή του SLEUTH στην περιοχή μελέτης	45
5.1 Συλλογή Πρωτογενών Δεδομένων	46
5.1.1 Τοπογραφική κλίση.....	47
5.1.2 Οδικό δίκτυο	48
5.1.3 Αστική γη.....	50
5.1.4 Χρήσεις γης.....	57
5.1.5 Εξαιρούμενες περιοχές.....	59
5.1.6 Σκίαση αναγλύφου.....	61
5.2 Εγκατάσταση και Δοκιμή του Μοντέλου.....	62
5.3 Βαθμονόμηση μοντέλου.....	63
5.3.1 Εφαρμογή βαθμονόμησης SLEUTH-GA.....	64
5.3.2 Στάδιο derive coefficient values.....	65
5.4 Πρόγνωση Μοντέλου	66
6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων	67
6.1 Αποτελέσματα Βαθμονόμησης Μοντέλου.....	67
6.2 Αποτελέσματα Πρόβλεψης Μοντέλου.....	72
7 Συμπεράσματα.....	90

Βιβλιογραφία..... 92

Περίληψη

Στην παρούσα εργασία, μελετάται διαχρονικά το φαινόμενο της αστικής διάχυσης, ένα φαινόμενο που έχει κεντρίσει το ενδιαφέρον πολλών ερευνητών λόγω της συνεχώς αυξανόμενης τάσης που παρουσιάζει. Η μοντελοποίηση των αλλαγών της αστικής κάλυψης μέσα από τη χρήση αστικών μοντέλων, αποτελεί χρήσιμο εργαλείο στη διαδικασία ανάλυσης και πρόγνωσης των δυναμικών αστικής επέκτασης. Έτσι, μέσα από τη χρήση του μοντέλου SLEUTH, που στηρίζεται στη θεωρία των Κυψελοειδών Αυτόματων (ΚΑ), και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), μοντελοποιήθηκε η αστική ανάπτυξη με τελικό στόχο την εκτίμηση των μελλοντικών τάσεων εξάπλωσης των αστικών περιοχών. Ταυτόχρονα, διερευνήθηκε η δυνατότητα του μοντέλου να λειτουργήσει σωστά σε διαφορετικών χαρακτηριστικών αστικές περιοχές και τελικά να προσεγγίσει για κάθε μία από αυτές την μελλοντική εικόνα. Ως περιοχή μελέτης επιλέχθηκε η Περιφερειακή Ενότητα Δυτικής Αττικής. Για τη συγκεκριμένη περιοχή διερευνήθηκε το φαινόμενο της αστικής εξάπλωσης χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα για τα έτη 1993, 2001, 2009 και 2017 και τελικά πραγματοποιήθηκε πρόβλεψη του φαινομένου για μία περίοδο 20 ετών, δηλαδή έως το έτος 2037. Μέσα από την εφαρμογή, φάνηκε ότι το μοντέλο μπορεί να προσεγγίσει την ίδια περιοχή έρευνας είτε συγκεντρωτικά είτε από διαφορετικές σκοπιές ανάλογα με το σκοπό της μελέτης, εξίσου καλά. Ακόμη, αποδείχθηκε ότι η συμβολή των Γ.Σ.Π. σε όλα τα στάδια της εφαρμογής του μοντέλου, από την προετοιμασία των δεδομένων εισόδου έως και την επεξεργασία και αξιολόγηση των δεδομένων εξόδου, είναι απαραίτητη και αποτελεί αναπόσπαστο κομμάτι της διαδικασίας μοντελοποίησης με τη χρήση αστικών μοντέλων ΚΑ.

Λέξεις-κλειδιά: Κυψελοειδή Αυτόματα, αστικά μοντέλα, μοντέλο SLEUTH, αστική διάχυση, χωρική μοντελοποίηση, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.)

Abstract

In this diploma thesis, the phenomenon of urban sprawl is studied, a phenomenon that has generated the interest of many researchers, due to its increasing trend. The modeling of changes of urban coverage through the use of urban models forms a useful tool in the process of analysis and forecasting of dynamic urban expansion. Therefore, through the use of SLEUTH urban growth model, which is based on the theory of Cellular Automata (CA) and Geographic Information Systems (GIS), the urban development was modeled with the final goal of estimating future trends of urban expansion areas. At the same time, the ability of the model was investigated to work properly in different urban characteristics and eventually to approach each of them in the future. The Regional Unit of Western Attica was chosen as the study area. For this area, the urban sprawl phenomenon was investigated using historical data for the years 1993, 2001, 2009 and 2017 and at the end a prediction of the phenomenon was made over a period of 20 years, i.e. by the year 2037. Through the application, it appeared that the model can approach the same research area either collectively or from different angles depending on the purpose of the study, as well. Moreover, it turned out that the contribution of GIS at all stages of the implementation of the model, from the preparation of input data to the processing and evaluation of the output data is essential and an integral part of the modeling process using urban CA models.

Keywords: Cellular Automata, urban models, SLEUTH model, urban sprawl, spatial modeling, Geographical Information Systems (GIS),

Ευχαριστίες

Η εκπόνηση της διπλωματικής μου εργασίας σηματοδοτεί το πέρας των προπτυχιακών μου σπουδών στη Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου. Θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου προς όλους όσους υπήρξαν συντελεστές – είτε άμεσα είτε έμμεσα – στην πορεία μου αυτή.

Αρχικώς, θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Γεώργιο Ν. Φώτη Καθηγητή του Τομέα Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού που μου έδωσε τη δυνατότητα να διεκπεραιώσω την παρούσα διπλωματική εργασία υπό την επίβλεψη του δείχνοντας εμπιστοσύνη στο πρόσωπο μου. Η συστηματική καθοδήγηση και οι ποιοτικές παρατηρήσεις του διαδραμάτισαν σπουδαίο ρόλο στην ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας.

Επίσης θέλω να ευχαριστήσω θερμά τον κ. Αθανάσιο Βλαστό, Καθηγητή του Τομέα Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού και την κ^α Δήμητρα Στάμου, μέλος Ε.ΔΙ.Π του Τομέα Γεωγραφίας και Περιφερειακού Σχεδιασμού για τη συμμετοχή τους στην εξεταστική επιτροπή της διπλωματικής μου εργασίας.

Ολοκληρώνοντας, θα ήθελα να σταθώ στα πρόσωπα που με στηρίζουν καθόλη τη διάρκεια των σχολικών και φοιτητικών μου χρόνων. Ευχαριστώ τους γονείς μου Γιώργο και Ολυμπία, τον αδερφό μου Θεμιστοκλή καθώς και τους συμφοιτητές και φίλους για τη συμπαράσταση και αγάπη τους .

*Δημητρός Βαλτάς
Μάρτιος 2018*

1 Εισαγωγή

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 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.

1.1 Καθορισμός Στόχου

Η παρούσα εργασία επικεντρώνεται στη μελέτη της αστικής διάχυσης στην Περιφερειακή Ενότητα Δυτικής Αττικής. Για τους σκοπούς της μοντελοποίησης και της πρόγνωσης της αστικής διάχυσης στην περιοχή μελέτης, γίνεται χρήση μιας κατηγορίας αστικών μοντέλων, των Κυψελοειδών Αυτόματων 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, δεν δύναται να αντιμετωπίσει και διαχειριστεί περισσότερους από έναν τύπους αστικότητας και επομένως να μοντελοποιήσει την συμπεριφορά διαφορετικών αστικών τύπων στο μέλλον. Για το λόγο αυτό, επιλεχθηκε 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 με την νέα έκδοση του μοντέλου SLEUTH, που αξιοποιεί έναν γενετικό αλγόριθμο για την μοντελοποίηση της αστικής γης της περιοχής μελέτης, καθώς και η πρόγνωση της αστικής ανάπτυξης στην περιοχή της Περιφερειακής Ενότητας Δυτικής Αττικής και αφετέρου αναπτύσσεται μια μεθοδολογική προσέγγιση ικανή να διαχειρίζεται διαφορετικούς τύπους αστικότητας, κατά τη μελέτη του φαινομένου της αστικής γης.

1.2 Διάρθρωση Εργασίας

Η εργασία διαρθρώνεται σε επτά βασικά κεφάλαια, καθένα από τα οποία χωρίζεται σε 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, καταγράφονται τα αίτια και οι συνέπειες του φαινομένου ενώ παράλληλα, περιγράφονται οι τύποι αστικής διάχυσης.

Έπειτα, το τρίτο κεφάλαιο επικεντρώνεται στην ανάλυση των αστικών μοντέλων, αναφέρεται στην 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.

Ακολούθως, 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 Περιφερειακής Ενότητας Δυτικής Αττικής έτσι, ώστε να καταστεί σαφές το προφίλ της περιοχής μελέτης.

Στη συνέχεια, στο πέμπτο κεφάλαιο, παρουσιάζεται η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε, προκειμένου να πραγματοποιηθεί η μοντελοποίηση και η πρόγνωση της ανάπτυξης τριών περιπτώσεων αστικής γης για την περιοχή μελέτης. Οι περιπτώσεις που εξετάστηκαν ήταν η εντός Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου (ΓΠΣ) αστική γη, η εκτός Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου (ΓΠΣ) αστική γη και το σύνολο της αστικής γης της περιοχής μελέτης ως ένα. Η διαδικασία μοντελοποίησης και πρόγνωσης που εφαρμόστηκε αναλύεται 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 εφαρμόστηκε. 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.

2 Αστική διάχυση

2.1 Ορισμός Αστικής Διάχυσης

Ο όρος «αστική διάχυση» (urban sprawl) χρησιμοποιείται στις επιστήμες της πολεοδομίας, της χωροταξίας και του περιβάλλοντος περισσότερο από μισό αιώνα. Η σύγχρονη χρήση του όρου «διάχυση» (sprawl) 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 & Randal,2004, Wassmer,2002). Με το τέλος του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου τα κύρια θέματα που χαρακτηρίζουν τη σύγχρονη συζήτηση περί «διάχυσης» και της σύνδεσης της με τις συγκοινωνίες και το εισόδημα άρχισαν να αναδύονται.

Στην διεθνή βιβλιογραφία διαπιστώθηκε ότι δεν συναντάται ένας κοινά αποδεκτός και ακριβής ορισμός της «αστικής διάχυσης». Αντίθετα συναντάται 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. Το γεγονός αυτό αποδίδεται στην πολυπλοκότητα του φαινομένου, καθώς κάθε πόλη συνιστά μία 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. Δεδομένη της έλλειψης ενός κοινά αποδεκτού ορισμού, παρουσιάζονται στη παρούσα ενότητα μερικοί ορισμοί 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	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 χώρων	Leser and Huberfrohli, 1997
Η ανάπτυξη συνοικισμών δίχως έλεγχο	Sierra Club,
Τρόπος προαστικοποίησης 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, συννοικισμοί 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	CEMAT, 2006
Χαμηλής πυκνότητας επέκταση μια πόλης στην περιβάλλουσα ύπαιθρο, προωθημένη από την επιθυμία απόκτησης μονοκατοικίας.	ECP & ACE, 2010
Το φαινόμενο που μπορεί να αναγνωριστεί οπτικά στο τοπίο. Όσο περισσότερο διαχέεται το τοπίο από κτίσματα, τόσο μεγαλύτερη είναι η αστική διάχυση. Η αστική διάχυση υποδηλώνει τα όρια μια 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 γίνεται κατανοητό ότι δεν υπάρχει ένας ορισμός κοινά αποδεκτός και αφετέρου ότι κάθε ορισμός επηρεάζεται από συγκεκριμένα χαρακτηριστικά του φαινομένου στις εκάστοτε περιοχές μελέτης. Για παράδειγμα, η αναφορά στο φαινόμενο 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, σε αντίθεση με τον ρόλο που διαδραμάτισε στη διάχυση των ευρωπαϊκών πόλεων. Εξίσου χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το γεγονός ότι δύο όργανα της Ευρωπαϊκής Ένωσης (CEMAT, 2006 και ECP&ACE, 2010) κάνουν χρήση διαφορετικών ορισμών του ίδιου όρου σε διάστημα τετραετίας.

Οι Longley et al προέβησαν το 2002 σε μια κατηγοριοποίηση των ορισμών της «αστικής διάχυση», επισημαίνοντας ότι υπάρχουν διαφορετικά κάθε φορά χαρακτηριστικά Έτσι κατηγοριοποίησαν τους ορισμούς με βάση:

α) τη μορφή, θεωρώντας ότι τελικά η εξάπλωση είναι ζήτημα βαθμού και όχι συγκεκριμένου αστικού προτύπου, που κυμαίνεται από τη συνεκτική έως τη διαχεόμενη ανάπτυξη. Τέτοιου είδους ορισμοί αν και έχουν υποστηριχθεί κυρίως από τους Erwing και Pendall το 1994 και 1999 αντίστοιχα, παρουσιάζουν δυσκολίες, καθώς όλα τα φαινόμενα με όμοια χαρακτηριστικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως διάχυση.

β) τις χρήσεις γης, χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα πρότυπα καλύψεων γης και χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα πρότυπα καλύψεων γης, δίνοντας στη διάχυση χαρακτηριστικά, όπως χαμηλής πυκνότητας οικιστική ανάπτυξη, ομογενή οικιστική ανάπτυξη μονοκατοικιών με διάσπαρτες μονάδες και χρήσεις. Η προσέγγιση αυτή είναι αρκετά ευρεία και η ουσία έγκειται στην περιγραφή της διάχυσης ως χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη με έναν διαχωρισμό χρήσεων, υποστηρίζεται δε κυρίως από τον Downs το 1998. Αυτή η προσέγγιση είναι λιγότερη συνήθης σε σχέση με τη προηγούμενη.

γ) τις επιπτώσεις της διάχυσης, που έχουν κυρίως εκπροσωπηθεί από τον Ewing και Johnson το 1994 και 2001, χρησιμοποιώντας ως παραδείγματα την έλλειψη λειτουργικού αστικού χώρου καθώς και τη μικρή προσβασιμότητα συνδεδεμένων 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 διαφέρει "ανάλογα με τη χώρα και τις πολιτιστικές προσδοκίες" (Longley et al, 2002), καθώς δε ο όρος «χαμηλή πυκνότητα» είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί.

Ένα άλλο είδος ορισμών της διάχυσης προτάθηκε επίσης το 2002 από τον Wassmer, ο οποίος έκανε λόγο για ορισμούς βάσει οικονομικών κινήτρων, σύμφωνα με τους οποίους:

- a) Το 1997 ο Ewing ορίζει την διάχυση 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.
- b) Το 1998 η διάχυση ορίζεται από τον Wassmer ως μιας χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη πέρα από τα όρια των υπηρεσιών εργασίας, που διαχωρίζει το που ζουν οι άνθρωποι σε σχέση με το που εργάζονται, εξ' ου και απαιτείται η χρήση μεταφορικού μέσου.
- c) Την ίδια χρονιά ο Downs ορίζει τη διάχυση 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.

Κατά αντιστοιχία, ο Siedentrop το 2005 ανέφερε με τη σειρά του πέντε διαφορετικούς τύπους ορισμού της διάχυσης, τους οποίους κατηγοριοποίησε ως εξής:

1. Ορισμούς της διάχυσης, σχετιζόμενους με τα χαρακτηριστικά της πυκνότητας ενός οικιστικού συστήματος, στους οποίους ως διάχυση ορίζονται οι οικιστικές μορφές χαμηλής ή μειούμενης πυκνότητας καθώς και η λειτουργική αποκέντρωση των πόλεων, ενώ κύριοι αντιπρόσωποι αυτών των ορισμών είναι οι Glaeser και Kahn, 2003 και Fulton et al., 2001.

2. Ορισμούς που αφορούν σε διαδικασίες αποκέντρωσης των αστικών λειτουργιών, συνδυαζόμενες με τη χωρική εξάπλωση των αστικών χρήσεων σε αγροτικές περιοχές, τους οποίους έχουν υποστηρίξει κυρίως οι Glaser et al. 2003 και Pumain 2003.
3. Ορισμούς της διάχυσης που αφορούν σε χαρακτηριστικά της μορφής και της δομής ενός οικιστικού συστήματος. Με βάση αυτούς τους ορισμούς η έννοια της διάχυσης γίνεται κατανοητή ως μια διαδικασία αστικής μορφής, η οποία μετατρέπει μια πρώην μονοκεντρική, συνεκτική κατασκευή σε μια ασυνεχή, πολυκεντρική και διάσπαρτη οικιστική κατασκευή. Αυτού του είδους οι ορισμοί υποστηρίχτηκαν από τον Galaster et al. 2000, τους Torrens, Alberti 2000 et al.
4. Σε ορισμούς, που βασίζονται σε σχεδιασμό εντός συγκεκριμένων πλαισίων και κανόνων, με βάση τους οποίους ως «διάχυση ορίστηκε η χωρίς σχεδιασμό αστική ανάπτυξη που αντιτίθεται στους στόχους και στο σκοπό της χωρικής ανάπτυξης» και διατυπώθηκε από τον Gassner το 1978.
5. Τέλος, σε ορισμούς που αφορούν 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 πολυδιάστατο χωρικό φαινόμενο που μπορεί να ορισθεί υπό διαφορετικές οπτικές και προσεγγίσεις. Άλλωστε, κάθε πόλη συνιστά μια διαφορετική οντότητα, φέρει τα δικά της χαρακτηριστικά και η διάχυση της πραγματοποιείται με διαφορετικό τρόπο, σε διαφορετική ένταση, για διαφορετικούς λόγους και αυτή μπορεί 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, η πυκνότητα ήταν συγκριτικά χαμηλότερες και οι χρήσεις γης άλλαζαν.

Στα μέσα του 19^{ου} αιώνα και ιδίως κατά τον 20^ο αιώνα το φαινόμενο αποκτά μεγαλύτερες διαστάσεις. Επίσης παρατηρούμε διαφορετικά μοντέλα διάχυσης στις Η.Π.Α και στην Δυτική Ευρώπη, αυτό το φαινόμενο γίνεται ακόμα πιο διακριτό μετά από τον Β΄ Παγκόσμιο Πόλεμο. 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 τέσσερεις 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 (Ντριάνκος Ι. 2015).

2.2 Τύποι αστικής διάχυσης

Διάφοροι μελετητές στην προσπάθεια προσέγγισης την έννοιας της αστικής διάχυσης, επιχείρησαν να κατηγοριοποιήσουν τους διάφορους τύπους της, βάσει συγκεκριμένων χαρακτηριστικών. Οι πλέον αποδεκτές κατηγοριοποιήσεις των τύπων της αστικής διάχυσης είναι αυτές του Πίνακα 2-2:

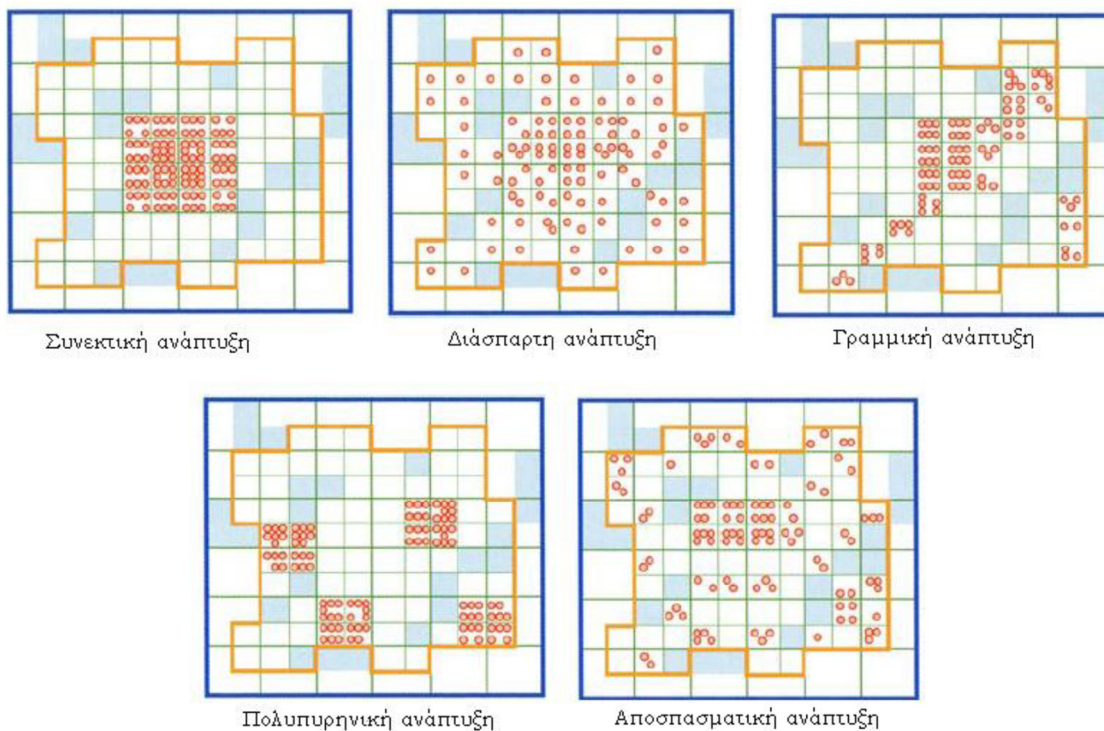
Barnes et al., 2001	Camangi, Gibelli & Rigamonti, 2002	Batty et al., 2003
Χαμηλής πυκνότητας συνεχής διάχυση ή προαστιακή ανάπτυξη	Συμπληρωματική ανάπτυξη	Συνεκτική ανάπτυξη
	Εξάπλωση	Διάσπαρτη ανάπτυξη
Γραμμική ή ταινιακή ανάπτυξη	Γραμμική ανάπτυξη	Γραμμική ανάπτυξη
Αποσπασματική ασυνεχής ανάπτυξη	Διάχυση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

Πίνακας 2-2: Τύποι αστικής διάχυσης

Συγκεκριμένα, αναφέρονται οκτώ εννοιολογικά και μορφολογικά διακριτές διαστάσεις χρήσεων γης που χαρακτηρίζουν την αστική διάχυση. Αυτές είναι η πυκνότητα, η ασυνέχεια, η συγκέντρωση, η ομοιομορφία, η κεντρικότητα, η πυρηνικότητα, ο συνδυασμός χρήσεων γης και η εγγύτητα που μπορούν να χαρακτηριστούν ως δείκτες διάχυσης σε συνδυασμό ή και μεμονωμένα (Galster et al., 2001).

Ακολούθως, οι Batty et al., βασιζόμενοι στην εργασία των Galster et al., μελέτησαν τις μορφές της αστικής διάχυσης. Κατέληξαν στους ακόλουθους απλοποιημένους αστικούς σχηματισμούς, οι οποίοι εικονογραφούν μερικές από τις δομές της αστικής διάχυσης (Εικόνα 2-1) :

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



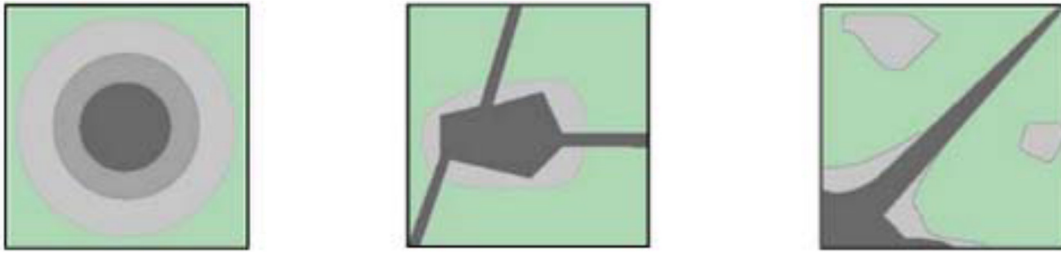
Εικόνα 2-1: Πρότυπα αστικής διάχυσης

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 πυκνότητα χρήσεις γης. Αυτού του είδους η ανάπτυξη υποστηρίζεται από αποσπασματικές επεκτάσεις των βασικών υποδομών, δηλαδή της ύδρευσης, αποχέτευσης, ηλεκτροδότησης και των οδικών συνδέσεων.
- Γραμμική η 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 τι οποίες δεν υπάρχει πρόσβαση.
- 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 (Barnes et al., 2001).

2.3 Αιτίες Αστικής Διάχυσης

Η αστική διάχυση επηρεάζεται από πολλούς παράγοντες, οι οποίοι ποικίλουν μεταξύ των διάφορων πόλεων, περιοχών και χωρών. Οι δυνάμεις που επιδρούν είναι συχνά αλληλένδετες μεταξύ τους και εξαρτώνται στενά από τους πολιτικές, κοινωνικές και οικονομικές συνθήκες κάθε πόλης.

Συγκεκριμένα, η Ευρωπαϊκή Περιβαλλοντική έχει προτείνει την οργάνωση των αιτιών που απαντώνται στην βιβλιογραφία σε δύο διαστάσεις: οριζόντια σε τομείς και κάθετα βάσει της χωρικής κλίμακας (Πίνακας 2-3).

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 2-3: Βασικές αιτίες της αστικής διάχυσης

Πηγή: European Environmental Agency

Όσον αφορά στον τομέα της κοινωνίας, κύρια αιτία θεωρείται η αύξηση του πληθυσμού (Glaeser et al. 2001, Glaeser 2005). Όταν ο αστικός πληθυσμός αυξάνεται, η πόλη αναγκαστικά επεκτείνει τα όρια της, συχνά εις βάρος των όμορων αγροτικών περιοχών (Τορρενς, 2006). Άλλες αιτίες θεωρούνται το διαρκώς μειούμενο μέγεθος των κατοικιών στα αστικά κέντρα, η ηλικία και η ιδεολογία των ατόμων (ΕΕΑ, 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).

Αναφορικά με τον τομέα της διακυβέρνησης, είναι σαφές ότι οι πολιτικές της κυβέρνησης μίας χώρας μπορούν να επιφέρουν σημαντικές αλλαγές στην μορφή του αστικού ιστού. Συγκεκριμένα, μια σειρά από πολιτικές μπορούν να προκαλέσουν τα αντίστοιχα κίνητρα και τις κατάλληλες ευκαιρίες για την ανάπτυξη νέων θυλάκων κατοικιών μακριά από τις κεντρικές πόλεις ή να δημιουργήσουν φραγμούς στην συμπαγή ανάπτυξη των πόλεων (Lawrence, 2005). Η έλλειψη συντονισμού μεταξύ των πολιτικών που ασκούνται σε επίπεδο μάκρο, μέσο και μικρο – κλίμακας είναι ο κύριος λόγος αποτυχίας ύπαρξης ενός οργανωμένου συστήματος ελέγχου της αστικής διάχυσης.

Σε σχέση με τον τομέα της οικονομίας, η οικονομική ανάπτυξη είναι ένας από τους κύριους παράγοντες της αστικής διάχυσης, που συνδέεται με την παγκοσμιοποίηση αλλά

και τις διαδικασίες της Ευρωπαϊκής ενοποίησης. Η αστική διάχυση μπορεί να θεωρηθεί ως ένα παραπροϊόν του μη ελεγχόμενου καπιταλιστικού συστήματος, καθώς σύμφωνα με τον καπιταλισμό, η αγορά κινείται με στόχο το κέρδος, ανεξάρτητα από τις επιπτώσεις στην κοινωνία ή το περιβάλλον. Πολλοί αναλυτές υποστηρίζουν ότι αυτές οι επιλογή παράγει μοτίβα τα οποία είναι αντιαισθητικά, μη βιώσιμα και μη φιλικά προς το περιβάλλον (Bruegmann, 2005). Σε επίπεδο μάκρο, 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 δήμων, που συνεπάγεται νέες θέσεις εργασίας και υπηρεσιών αλλά και η διαμορφωμένη αγορά ακινήτων.

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

2.4 Συνέπειες Αστικής Διάχυσης

Για την περαιτέρω κατανόηση του φαινομένου της «αστικής διάχυσης» θεωρείται απαραίτητη η καταγραφή και η ανάλυση των συνεπειών της. Αυτές διακρίνονται σε περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις (Πίνακας 2-4).

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 2-4: Βασικές συνέπειες της αστικής διάχυσης

Αναφορικά με τις 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 γίνονται αισθητές σε τοπική, περιφερειακή, εθνική αλλά και παγκόσμια κλίμακα.

Πιο αναλυτικά, η ανάγκη για χρήση του αυτοκινήτου σε καθημερινή βάση από τους κατοίκους των προαστίων, κυρίως προς τους χώρους εργασίας τους οδηγεί σφρευτικά σε αύξηση των εκπομπών διοξειδίου του άνθρακα. Αυτή η ρύπανση λόγω των εκπομπών του αυτοκινήτου απειλεί την δημόσια υγεία, την αγροτική παραγωγή και το οικοσύστημα. Η άτακτη αστική ανάπτυξη καταπατάει εκτάσεις γης που αποτελούν καταφύγιο πανίδας, αλλοιώνοντας το τοπίο και χωρίζοντας τις άλλοτε ενιαίες εκτάσεις που φιλοξενούσαν πληθυσμούς πανίδας και χλωρίδας. Η φωτορύπανση και η ηχορύπανση των προαστίων οδηγεί πολλά είδη πανίδας σε μετανάστευση από το φυσικό περιβάλλον (Barnes et al. 2001).

Σημαντικές αρνητικές επιπτώσεις παρατηρούνται και στους φυσικούς πόρους και στα φυσικά διαθέσιμα. Φυσικοί πόροι όπως η αγροτική γη, τα δάση, τα ορυκτά και οι υδατικοί πόροι τίθενται σε κίνδυνο (Ewing, 1997).

Σε ότι 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 περιοχών: στο εσωτερικό της πόλης εδράζουν χαμηλής ποιότητας

γειτονιές που στεγάζουν τους ανέργους, τα χαμηλά εισοδήματα, τους άγαμους νέους και τις εθνικές μειονότητες, ενώ ο κοινωνικοοικονομικός χαρακτήρας των προαστίων τυποποιείται από μεσαίου και υψηλού εισοδήματος οικογένειες.

Όσον αφορά το οικονομικό επίπεδο, η αστική διάχυση αποτελεί ιδιαίτερα κοστοβόρα μορφή ανάπτυξης, κυρίως λόγω των αυξημένων δαπανών των νοικοκυριών προκειμένου να διανύουν ολοένα μεγαλύτερες αποστάσεις από το σπίτι στην εργασία καθώς 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.

Τέλος, στο ψυχολογικό επίπεδο, η διάχυση προκαλεί απώλεια της αίσθησης ότι ο καθένας αποτελεί μέρος της τοπικής κοινωνίας, προκαλώντας αποξένωση ενώ σε επίπεδο αισθητικής η διάχυση επιφέρει αντιαισθητικά και μονότονα τοπία στα προάστια. Παράλληλα, αυξάνεται η κυκλοφορική συμφόρηση, οι χρόνοι μετακίνησης καθώς και η επιθετικότητα στην συμπεριφορά οδήγησης.

3 Μοντέλα Αστικής Ανάπτυξης

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). Εφαπτήριο 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.

Όσον αφορά την 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 μπορεί να προβλεφθεί, ακόμα και σε περιπτώσεις που είναι πλήρως γνωστά όλα τα στοιχεία τους (Sun, 2003).

Σύμφωνα με αυτά, 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 γίνεται να ερμηνευθεί ως ένα απλό άθροισμα στοιχείων που το αποτελούν (Barros & Sobereia, 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 Χρησιμότητα των Αστικών Μοντέλων

Τα αστικά μοντέλα θεωρούνται απλουστεύσεις της πολύπλοκης αστικής πραγματικότητας και χρησιμοποιούνται προκειμένου να διευκολύνεται η κατανόηση των αστικών συστημάτων, θέτοντας παράλληλα αυτές σε μια περισσότερο διαχειρίσιμη και κατανοητή μορφή, η οποία προϋποτίθεται και προηγείται τη προβολής τους στο μέλλον. Ο σκοπός αυτός απαιτεί την εργασία σε ένα περιβάλλον, όπου η διαχείριση των παραπάνω

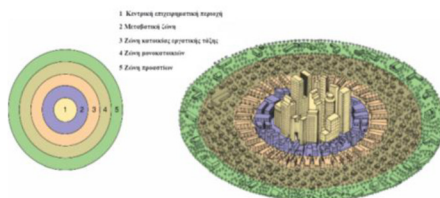
φαινομένων είναι ευθεία και ελεγχόμενη, γεγονός που καθιστά τα υπολογιστικά περιβάλλοντα τον κατεξοχήν χώρο εφαρμογής των αστικών μοντέλων (Batty, 2009).

Η ιδέα της ανάπτυξης και χρήσης μοντέλων στα πλαίσια της επιστημονικής έρευνας δεν είναι σε καμία περίπτωση μια καινούρια εφεύρεση, καθώς πηγάζει από τον τρόπο που οι άνθρωποι αντιλαμβάνονται και αντιδρούν με το περιβάλλον τους (Liu, 2001). Στην πράξη, όλα τα συστήματα στον πραγματικό κόσμο είναι αρκετά πολύπλοκα, αναγκαία θεωρείται η απλοποίηση των πραγματικών φαινομένων, καθώς είναι αρκετά δύσκολο να κατανοηθούν στον σύνολο τους.

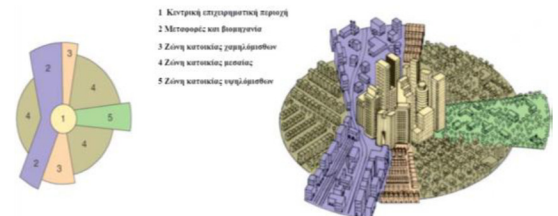
Βάσει των παραπάνω, τα αστικά μοντέλα συνιστούν υπολογιστικές προσομοιώσεις του τρόπου που λειτουργούν τα αστικά συστήματα, τα οποία επεξηγούν τη θεωρία με έναν ελεγχόμενο και κατανοητό τρόπο. Οι υπολογιστές λειτουργούν ως το εργαστήριο πειραματισμού σχετικά με τα φαινόμενα που εξελίσσονται εντός των 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 συνέπειας 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 μελλοντική εξέλιξη του (Μαντέλας, 2010).

3.3 Θεωρητικές Προσεγγίσεις Αστικών Μοντέλων

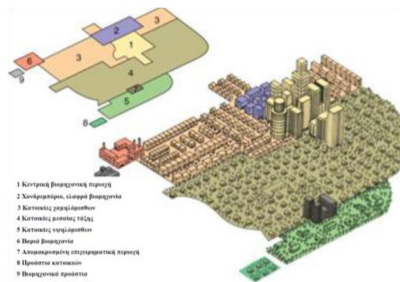
Διαχρονικά, έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορα μοντέλα στο πλαίσιο της αστικής μοντελοποίησης. Έτσι, από τις πρώτες προσεγγίσεις, όπως είναι το μοντέλο των ομόκεντρων ζωνών του Burgess (1925), το τομεακό μοντέλο του Hoyt (1939) και το πολυκεντρικό του Harris και Ullmann (1945), έως αυτά που χρησιμοποιούνται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



Εικόνα 3-1: Το μοντέλο των ομόκεντρων ζωνών Park και Burges
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 Chaumcy και Ullman

Πηγή: <http://wps.prenhall.com>

Ως βασικά χαρακτηριστικά όλων των αστικών μοντέλων θεωρούνται το θεωρητικό και το τεχνικό υπόβαθρο, το πλήθος των κατηγοριών των χρήσεων γης και των παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη, η χωρική και χρονική κλίμακα, καθώς και οι μέθοδοι προσομοίωσης και βαθμονόμησης που χρησιμοποιούνται (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 ο ανταγωνισμός, η επιλογή, η διαδοχή και η κυριαρχία. Σε αντιστοιχία με τα οικοσυστήματα, η πιο ισχυρή ομάδα ατόμων θα υπερισχύσει των υπολοίπων και θα αποκτήσει την πλεονεκτικότερη θέση εντός ενός δοσμένου αστικού περιβάλλοντος (Burgess's 1925, Hoyt's 1939, Harris and Ullman's 1945). 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 πολιτικό – οικονομικές επιπτώσεις λόγω της εκβιομηχάνισης στην αστική γεωγραφία, αποτυγχάνοντας να περιγράψουν με λεπτομέρεια τα υπάρχοντα αστικά πρότυπα.
- *Κοινωνικό – 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 κοινωνικό – 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).
- *Η Νεοκλασική προσέγγιση (Neoclassical Approach):* σύμφωνα με αυτή την προσέγγιση η διαδικασία της αστικής ανάπτυξης είναι ένα αμιγώς οικονομικό

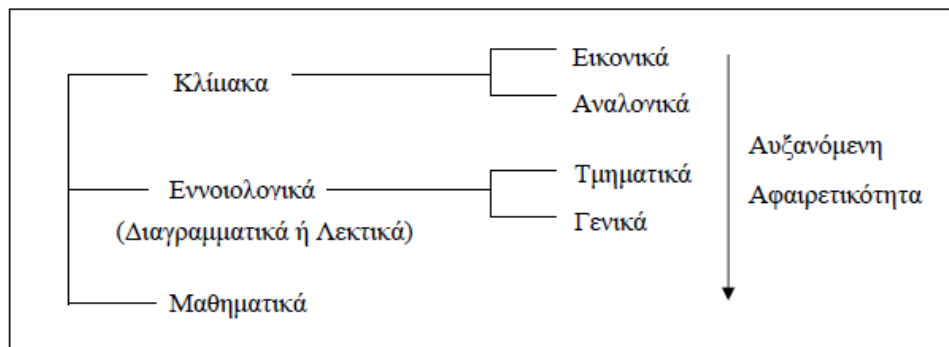
φαινόμενο, το οποίο ετεροκαθορίζεται από τους μηχανισμούς της αγοράς και τις φυσικές διεργασίες του ανταγωνισμού μεταξύ διαφόρων οικονομικών δραστηριοτήτων και των κοινωνικών ομάδων εντός μιας αστικής περιοχής (Von Thunen 1826, Weber 1909, Losch 1943). Καθώς τα εν λόγω μοντέλα δε συνυπολογίζουν τον παράγοντα της ανθρώπινης συμπεριφοράς στο θέμα της αστικής ανάπτυξης και των διαδικασιών των προτύπων, η προσέγγιση αυτή τέθηκε υπό έντονη αμφισβήτηση από τους θεωρητικούς της συμπεριφορικής προσέγγισης και 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). Εξαιτίας της έμφασης στη συμπεριφορά των ατόμων μεμονωμένα, αντί των ανθρώπινων ομάδων, αλλά και άλλων αδυναμιών, η προσέγγιση αυτή δέχθηκε πυρά από πολλές κατευθύνσεις στα τέλη του '70.
- *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 (Bertalanffy 1968). Επίσης αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω των κοινωνικών, οικονομικών και χωρικών μηχανισμών, καθώς και με τα στοιχεία στο περιβάλλον. Τελικά, η 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 εξέλιξη του (von Bertalanffy 1968, Chisholm 1967, Chorley and Kennedy 1971).

3.4 Μέθοδοι και Τεχνικές Μοντελοποίησης της Αστικής Ανάπτυξης

Σύμφωνα με τη (Liu Y.,2009) και την προσέγγιση των (Thomas R. W. και Huggett R. J., 1980), τα μοντέλα μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους αλλά σε μία γενική θεώρηση, μπορούν να διαχωριστούν σε τρεις κατηγορίες, ανάλογα με το βαθμό απλούστευσης και αφαιρετικότητας. Στο πιο απλό επίπεδο αφαίρεσης, ο πραγματικός κόσμος αλλάζει μόνο από τη σκοπιά της κλίμακας. Τα μοντέλα κλίμακας (scale models) μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε εικονικά (Iconic), δηλαδή μοντέλα που αναφέρονται σε μικρά αντίγραφα της πραγματικότητας (όπως για παράδειγμα οι μινιατούρες των κτιρίων που δημιουργούν οι αρχιτέκτονες), και σε αναλογικά (Analogue), όταν δηλαδή η σμίκρυνση συνοδεύεται από το μετασχηματισμό συγκεκριμένων ιδιοτήτων (όπως για παράδειγμα οι χάρτες που χρησιμοποιούνται από τους γεωγράφους. Σε ένα μεγαλύτερο επίπεδο αφαίρεσης βρίσκονται τα εννοιολογικά μοντέλα όπου εστιάζουν την προσοχή τους στις σχέσεις μεταξύ των διαφορετικών στοιχείων της πραγματικότητας. Τα μοντέλα αυτά, μπορούν να διαχωριστούν σε διαγραμματική (Diagrammatical) ή λεκτική μορφή (Verbal). Τα πιο διαδεδομένα όμως μοντέλα είναι αυτά που ανήκουν στο υψηλότερο επίπεδο αφαίρεσης, τα μαθηματικά (Mathematical). Τα μαθηματικά μοντέλα προσελκύουν το μέγιστο ενδιαφέρον της επιστημονικής κοινότητας και μπορούν να διαχωριστούν και αυτά σε πολλές

υποκατηγορίες (Robinson 1998, Batty 1976, Kilbridge, O'Block, and Teplitz 1970, Haggett and Chorley 1967).



Εικόνα 3-4: Κατηγορία μοντέλων (Από τον Thomas, R.W and Huggett, R.J, *Modelling in geography: a mathematical approach*, Barnes & Noble Books, New Jersey, 1980)

Όπως αναφέρει και ο Μαντέλας Ε. (2011), σε ότι αφορά τα μοντέλα αστικής εξάπλωσης, υπάρχει μεγάλη ποικιλία τεχνικών και μεθόδων που μπορούν να εφαρμοστούν. Μερικές από τις κατηγορίες τεχνικών και μεθόδων περιγράφονται στη συνέχεια.

- *Μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης (Spatial Interaction Models):* Η χωρική αλληλεπίδραση βασίζεται στην άποψη ότι κάθε κίνηση στο χώρο είναι αποτέλεσμα των ανθρώπινων διαδικασιών, περιλαμβάνοντας την μετακίνηση στην εργασία, τη μετανάστευση, την αξιοποίηση των δημόσιων και ιδιωτικών εγκαταστάσεων, έως και τη μετάδοση της γνώσης. Τα περισσότερα γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης είναι τα μοντέλα βαρύτητας που αφορούν σε μαθηματικές τυποποιήσεις που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και την πρόβλεψη χωρικών προτύπων αλληλεπίδρασης (Haynes and 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 αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σε μελέτες μετανάστευσης (Young, 1925) και εμπορίου (Reilly, 1931). Η βασική τους υπόθεση ήταν ότι το μέγεθος της αλληλεπίδρασης εξαρτάται, τόσο από το μέγεθος των πόλεων, όσο και από την απόσταση μεταξύ τους, οπότε αναλογικά μεγαλύτερος αριθμός μεταναστών ή επιχειρήσεων εμπορίου προσελκύεται από τις μεγαλύτερες πόλεις και η ροή αυτή είναι πιο έντονη όταν η απόσταση είναι μικρότερη. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το μοντέλο του Lowry (Lowry, 1964), το MEPLAN (Abraham, 1998) και το Tranus (Vichiensan et. al 2003).
- *Μοντέλα καλύψεων γης- μεταφορών (Land Use-Transportation (LUT) Models):* η κλάση αυτή αναφέρεται κυρίως στα μοντέλα οικονομικής και χωρικής αλληλεπίδρασης. Η θεωρητική τους υπόσταση έχει τις ρίζες της στις τοπικές οικονομίες, στη γεωγραφική θέση της οικονομικής δραστηριότητας, καθώς και στις αστικές οικονομίες που αντιπροσωπεύουν τα χωρικά ισοδύναμα της κλασικής μικρό και μακρό οικονομίας, αλλά και στην κοινωνική φυσική ως τμήμα των κοινωνικών θεωριών. Τα πιο αντιπροσωπευτικά βασίζονται σε εφαρμογές της θεωρίας του

εμπορίου στην αστική οικονομία, όπως αντικατοπτρίζονται στις εργασίες των Fujita, Krugman and Venables (1999), αν και υπάρχει μια μεγάλη κληρονομιά των εμπειρικών μοντέλων στον Lowry (1964), η οποία εξακολουθεί να εμπλουτίζεται. Τα μοντέλα αυτά ενσωματώνουν τις πιο σημαντικές διαδικασίες της χωρικής ανάπτυξης στις αστικές περιοχές, ενώ δύνανται να προβλέπουν τις αστικές καλύψεις γης, όπου αυτές υποδηλώνουν μια σειρά από χρήσεις, όπως η οικιστική, βιομηχανική και εμπορική (Wegener, 2005). Σταδιακά έχουν προσαρμοστεί στην προσομοίωση δυναμικών αλλαγών, αν και γενικά αναπαράγουν το συνολικό μοτίβο της δραστηριότητας των πόλεων. Παρόλα αυτά παραμένουν φειδωλά καθώς βασίζονται κυρίως στην υπόθεση ότι τα εξαγόμενα του μοντέλου αφορούν στο πόσο καλά προσαρμόζονται στο σετ των δεδομένων (goodness of fit). Τα πιο ανεπτυγμένα από αυτά είναι το μοντέλο UrbanSim (Waddell, 2002), αν και τα MEPLAN, TRANUS και IRPUD, που έχουν παρουσιαστεί στα πλαίσια του προγράμματος EU PROPOLIS (2004) είναι επίσης αντιπροσωπευτικά.

- *Μοντέλα αστικής δυναμικής (Urban Dynamics models)*: Τα μοντέλα που παρουσιάζονται σε αυτή την κατηγορία αποδεικνύουν κυρίως το πως οι θεωρίες της πολυπλοκότητας μπορούν να περιλάβουν την πληθώρα των διαδικασιών και στοιχείων που υπεισέρχονται στα οργανικά σύνολα των πόλεων. Ελάχιστα συνολικά δυναμικά χρονικά αστικά μοντέλα έχουν εφαρμοστεί εμπειρικά. Μετά την πρόωμη προσπάθεια του Forrester (1969), η έμφαση έχει δοθεί κυρίως στη θεωρητική ανάπτυξη της μη γραμμικής εξέλιξης. Επίσης, πολλές προσπάθειες έχουν γίνει, ώστε να συνδεθούν τα μοντέλα με την οικολογική δυναμική, όπως το αντίστοιχο θηρευτή-θηράματος των Lotka-Volterra (Dendrinos and Mullally, 1985). Παρόλα αυτά, όλες οι παραπάνω ενέργειες στη δυναμική ήταν λιγότερο εφαρμόσιμες στα είδη των αστικών διαδικασιών, που είναι χαρακτηριστικές των πόλεων. Ως τέτοια αποτέλεσαν κυρίως τον προπομπό για 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)*: Η μικρο-προσομοίωση είναι μια κατηγορία υπολογιστικών αναλυτικών εργαλείων που εκτελούν λεπτομερειακές αναλύσεις των δραστηριοτήτων, επιδιώκοντας την προσομοίωση τους σε μικροσκοπικό επίπεδο. Διακρίνονται από άλλους τύπους μοντέλων υπολογιστικής προσομοίωσης στο ότι εξετάζουν την αλληλεπίδραση μεμονωμένων "μονάδων", καθεμιά από τις οποίες αντιμετωπίζεται αυτόνομα και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους ποικίλει βασιζόμενη σε τυχαιοποιημένες παραμέτρους που αντιπροσωπεύουν μεμονωμένες προτιμήσεις και τάσεις. Παρότι τα μοντέλα αυτά προσομοιώνουν ιδιαίτερα σύνθετες συμπεριφορές, απαιτούν παράλληλα έναν μεγάλο όγκο λεπτομερειακών 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, προκειμένου να περιγράψουν τις πρώτες ύλες, την πληροφορία και την ενέργεια. (Gilber and Troitzch, 1999). Οι μεταβολές στο χρόνο χωρίζονται σε διακριτά βήματα, ενώ μέσω των μοντέλων αναδεικνύονται ανθρώπινες και οικολογικές αλληλεπιδράσεις. Ενδεικτικά συστημικά μοντέλα είναι αυτά των (Forrester 1969) και (Sanders 2004).
- *Μοντέλα Κυψελοειδών Αυτόματων (Cellular Automata Models)*: Τα Κυψελοειδή Αυτόματα (Cellular Automata) είναι απλά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων. (Waldrop 1992, Wolfram, 1986). Αποτελούνται από κελιά ή ένα πλέγμα κελιών που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω απλών κανόνων, εμφανίζοντας παρόλα αυτά μια περίπλοκη συμπεριφορά. Αφορούν σε μια προσέγγιση για τη μοντελοποίηση ανοιχτών, πολύπλοκων, αυτό-οργανωμένων συστημάτων, η οποία εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο οι τοπικές αποφάσεις μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία παγκόσμιων προτύπων (Wu, 1998b). Η μοντελοποίηση των αστικών συστημάτων χρησιμοποιώντας κυψελοειδή αυτόματα συνδέθηκε με το σχεδιασμό κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80 (Batty & Longley, 1994a, Batty, Xie, & Sun, 1999, Couclelis, 1985, 1997) και έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία. Τα ΚΑ ανταποκρίνονται επαρκώς στη μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων μεγάλου αριθμού μεμονωμένων στοιχείων τα οποία συνδέονται μέσω μη γραμμικών συνδέσεων (Openshaw & Openshaw, 1997), εξ ου και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στα διάφορα πεδία ανάλυσης της αστικής και περιφερειακής ανάπτυξης (Clarke & Gaydos, 1998, Clarke et al., 1997, Landis & Zhang, 1998), της τοπικής οικονομίας, της δημογραφίας και των χρήσεων γης (White & Engelen, 1997).
- *Μοντέλα πρακτόρων και πολλαπλών πρακτόρων (Agents and Multi- Agents Models)*: Πρόκειται για μια τάξη υπολογιστικών μοντέλων για προσομοίωση των ενεργειών και αλληλεπιδράσεων των αυτόνομων «πρακτόρων», δηλαδή μεμονωμένων ή συλλεκτικών οντοτήτων όπως οι οργανισμοί ή ομάδες με σκοπό την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους για το σύστημα στο σύνολό του (Niazi, Muaz, Hussain, Amir, 2011). Η ιδέα των μοντέλων πρακτόρων αναπτύχθηκε ως έννοια στα τέλη του '40, αλλά εξαιτίας της υπολογιστικής απαίτησης δεν έγινε ευρέως γνωστή έως το '90. Η ιστορία των μοντέλων έχει τις ρίζες της στη μηχανή του Von Neumann, μια θεωρητική μηχανή αυτοαναπαραγωγής, η οποία βελτιώθηκε από τον Stanislaw Ulam που πρότεινε τη μεταφορά της στο χαρτί ως μια συλλογή κελιών πάνω σε ένα πλέγμα, δημιουργώντας κατά αυτό τον τρόπο τις μηχανές που αργότερα ονομάστηκαν Κυψελοειδή Αυτόματα. Τα μοντέλα πολλαπλών πρακτόρων έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης στην αστική μοντελοποίηση (Torrens and Benenson 2005, Benenson, Omer, and Hatna 2002, Benenson 1999, 1998). 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.

- *Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (ΓΣΠ / GIS, Geographical Information Systems):* Τα ΓΣΠ είναι ένας συνδυασμός υλικού (hardware) και λογισμικού (software) που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση αποθήκευση, διαχείριση, ανάλυση και προβολή γεωγραφικών δεδομένων. Το ακρώνυμο GIS χρησιμοποιείται όμως και για τον ορισμό της επιστήμης των Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Science), η οποία αναφέρεται στον επιστημονικό κλάδο που αφορά στην ενασχόληση και σπουδή με τα γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα, ο οποίος είναι ένας μεγάλος κλάδος εντός του ευρύτερου επιστημονικού πεδίου της γεωπληροφορικής (ESRI, 2011), ενώ με απλούστερους όρους μπορεί να θεωρηθεί ως η συνένωση των τεχνολογιών της χαρτογραφίας, της στατιστικής ανάλυσης και της επιστήμης των υπολογιστών. Ο όρος ΓΣΠ περιγράφει κάθε πληροφοριακό σύστημα που ενσωματώνει, αποθηκεύει, και αναλύει γεωγραφική πληροφορία προς ενημέρωση σε λήψη αποφάσεων, ενώ οι εφαρμογές ΓΣΠ είναι εργαλεία που επιτρέπουν στους χρήστες να θέτουν ερωτήματα, να αναλύουν τη χωρική πληροφορία και να παρουσιάζουν τα αποτελέσματα όλων αυτών των εφαρμογών (Clarke, K. C., 1986). Η επιστήμη των ΓΣΠ είναι η επιστήμη πίσω από τις γεωγραφικές έννοιες, τις εφαρμογές και τα συστήματα (Goodchild, 2010). Η πρώτη γνωστή χρήση του όρου ‘Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών’ έγινε από τον Roger Tomlinson το 1968 στην εργασία του με τίτλο «A Geographic Information System for Regional Planning» (ESRI, 2013), ο οποίος αναγνωρίζεται ως ο πατέρας των ΓΣΠ. Αν και τα ΓΣΠ αναπτύχθηκαν πριν από περίπου τρεις δεκαετίες και έχουν αναγνωρισθεί ως αποτελεσματικά εργαλεία στη γεωγραφική έρευνα, οι τεχνικές αυτές είχαν αναπτυχθεί παράλληλα με την αστική μοντελοποίηση εδώ και περίπου δύο δεκαετίες (Sui, 1998). Δεν ήταν μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980 παρόλα αυτά, όταν οι ερευνητές ΓΣΠ προσπάθησαν να ενσωματώσουν τις τεχνικές τους στην αστική μοντελοποίηση, προκειμένου να βελτιώσουν τις ικανότητες ανάλυσης των τεχνικών των ΓΣΠ (Fischer, Scholton, and Unwin 1996, Fotheringham and Rogerson 1994, Anselin and Getis 1992, Fischer and Nijkamp 1992, Goodchild, Haining, and Wise 1992). Κατά τη διάρκεια του '90, τόσο οι χρήστες ΓΣΠ, όσο και οι σχεδιαστές αστικών μοντέλων έδειξαν έντονο ενδιαφέρον για την ενσωμάτωση των δύο τεχνικών, ενώ μέσω αυτής, οι σχεδιαστές έχουν αναγνωρίσει ότι τα ΓΣΠ προσφέρουν νέες πλατφόρμες για τη διαχείριση των δεδομένων και την οπτικοποίηση. (Nyerges, 1995). Υπάρχουν πολλές στρατηγικές για τη σύνδεση μοντέλων με τα ΓΣΠ, οι οποίες μπορούν με τη σειρά τους να κατηγοριοποιηθούν ως χαλαρές ή πιο δυνατές συνδέσεις. Η χαλαρή διασύνδεση βασίζεται συνήθως στην εισαγωγή ή εξαγωγή κοινών δεδομένων που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο και στα

ΓΣΠ, ενώ η στενή διασύνδεση βασίζεται στην προσθήκη της λειτουργικότητας του ενός συστήματος στο άλλο, είτε ενσωματώνοντας το μοντέλο εντός του ΓΣΠ, είτε αντίστροφα (Batty and Xie 1994a). Άλλες κατηγοριοποιήσεις σχετικά με την ενσωμάτωση των δύο τεχνικών αναγνωρίζουν τέσσερις (4) διαφορετικές προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως από τους ερευνητές. Αυτές περιλαμβάνουν:

1. την ενσωμάτωση λειτουργιών ΓΣΠ εντός πακέτων αστικής μοντελοποίησης (Birkin et al.1996, Putnam 1992, Clarke 1990, and Haslett, Wills, and Unwin 1990),
2. την ενσωμάτωση της αστικής μοντελοποίησης στο ΓΣΠ μέσω λογισμικών τρίτων, όπως αυτά των πακέτων TransCAD (Caliper Corporation 1983) και το ArcGIS Spatial Analyst Extension (ESRI 2004a),
3. τη χαλαρή διασύνδεση ενός αστικού μοντέλου με ένα πακέτο ΓΣΠ, με συνεχή ανταλλαγή δεδομένων μεταξύ των δύο συστημάτων, όπως αυτά που χρησιμοποιήθηκαν από τον (Clarke and Gaydos 1998) και
4. τη στενή διασύνδεση των ΓΣΠ και της αστικής μοντελοποίησης μέσω μακρο- ή συμβατικού προγραμματισμού, όπως αυτά που αναπτύχθηκαν από τους Batty and Xie (1994a, b), Anselin, Dodson, and Hudak (1993), Ding and Fotheringham (1992), and Miller (1991).

Αν και μέσω της χρήσης λογισμικών ΓΣΠ σε συνεργασία με λογισμικά τρίτων έχει αναγνωριστεί η σημασία των δυνατοτήτων ανάλυσης και μοντελοποίησης, εντούτοις οι περισσότερες προσπάθειες αστικής μοντελοποίησης που βασίζονται σε ΓΣΠ πραγματοποιούνται μέσω της προσέγγισης της χαλαρής ή στενής διασύνδεσης (Clarke and Gaydos 1998, Sui 1998). Με την μετατόπιση δε της αστικής μοντελοποίησης από τη συμβατική από πάνω-προς τα κάτω προσέγγιση προς τις πρόσφατες πρακτικές που απευθύνονται σε πιο τοπικές προσεγγίσεις, τα μοντέλα που χρησιμοποιούν τεχνικές ΚΑ έχουν επιδείξει σημαντικές δυνατότητες στα αμοιβαία οφέλη τόσο των αστικών μοντέλων, όσο και των ΓΣΠ (Batty, Xie, and Sun 1999).

Οι παραπάνω τεχνικές μοντελοποίησης είναι ενδεικτικές των τάσεων και κατηγοριών που έχουν αναπτυχθεί τα τελευταία χρόνια, παρόλα αυτά στην πράξη εφαρμόζεται συνήθως ένας συνδυασμός τεχνικών και μεθόδων, ώστε να αξιοποιούνται τα πλεονεκτήματα των περισσότερων μεθόδων, και να ελαχιστοποιούνται τα μειονεκτήματα. Στην συγκεκριμένη εργασία γίνεται ένας συνδυασμός της μεθόδου των ΚΑ μοντέλων και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, με σκοπό να αξιοποιηθούν οι δυνατότητες μοντελοποίησης που προσφέρονται μέσω των ΚΑ και τα πλεονεκτήματα επεξεργασίας, ανάλυσης, ενσωμάτωσης και οπτικοποίησης των ΓΣΠ.

3.5 Κυψελοειδή αυτόματα (Cellular Automata)

Τα Κυψελοειδή Αυτόματα (Cellular Automata) είναι απλά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων. (Waldrop 1992, Wolfram, 1986). Οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι αποτελούνται από κελιά ή

ένα πλέγμα κελιών (cells), όπως σε μια σκακιέρα και ότι αυτά μπορούν να εξελιχθούν σύμφωνα με έναν απλό κανόνα μετάβασης, 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 και καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τοπικούς κανόνες, την κατάσταση του κελιού τη δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά και αυτή των γειτονικών του στο προηγούμενο χρονικά βήμα. Το κύριο χαρακτηριστικό αυτών των μοντέλων είναι ότι η συμπεριφορά τους είναι «αναδυόμενη» δηλαδή δημιουργείται από την επαναλαμβανόμενη εφαρμογή των κανόνων, πέρα από τις αρχικές συνθήκες. (Wolfram, 1984).

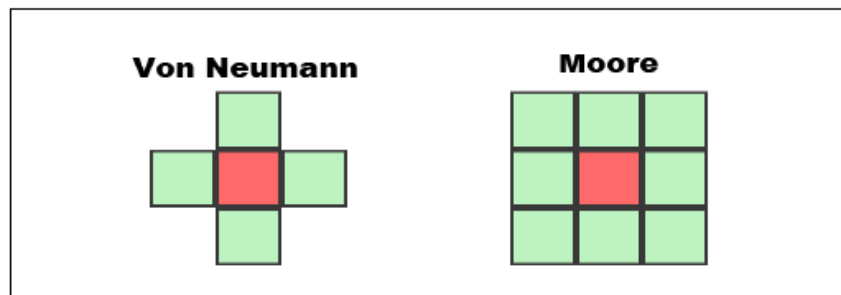
Τα ΚΑ εμφανίστηκαν για πρώτη φορά τη δεκαετία του 1940 από το φυσικό Stanislaw Marcin Ulam, κατά τη μελέτη της ανάπτυξης των κρυστάλλων χρησιμοποιώντας ως μοντέλο ένα απλό πλέγμα δικτύου (Pickover, Clifford A, 2009), ενώ την ίδια περίοδο χρησιμοποιήθηκαν από το συνάδελφό του John von Neumann κατά την έρευνά του σχετικά με τα «αυτοαναπαράγομενα συστήματα» (Schiff, 2011). Οι Ulam και Neumann συνεργάστηκαν και δημιούργησαν στα τέλη του '50 μια μέθοδο υπολογισμού των υγρών σε κίνηση, θεωρώντας το υγρό ως ένα σύμπλεγμα διακριτών κελιών και υπολογίζοντας την κίνηση καθενός, με βάση τη συμπεριφορά των γειτονικών του (Bialinicki, Birula, 2004).

Έτσι, γεννήθηκε το πρώτο σύστημα ΚΑ. Τη δεκαετία του '60 τα ΚΑ μελετήθηκαν για πρώτη φορά ως τμήματα ενός δυναμικού συστήματος και το 1969 ο πρωτοπόρος Γερμανός Konrad Zuse υποστήριξε στο βιβλίο του Calculating Space ότι οι φυσικοί νόμοι του σύμπαντος είναι διακριτοί εκ φύσεως και ότι το σύμπαν είναι το αποτέλεσμα ενός ντετερμινιστικού υπολογισμού πάνω σε ένα ΚΑ (Schiff, 2011). Το 1970 το παιχνίδι της ζωής ή αλλιώς Game of Life, το οποίο εφευρέθηκε από το Βρετανό μαθηματικό John Horton Conway και έγινε ευρέως γνωστό ιδιαίτερα στην πρώιμη κοινότητα της πληροφορικής, είναι ένα ακόμα ΚΑ, η εξέλιξη του οποίου καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από την αρχική του κατάσταση (Gardner, Martin, 1970). Παρά την απλοϊκότητά του, το μοντέλο επιτυγχάνει μια εντυπωσιακή ποικιλία συμπεριφορών κυμαινόμενο ανάμεσα στην τάξη και τη φαινομενική τυχαιότητα. (Charman, 2002). Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες μελέτες πάνω στα ΚΑ πραγματοποιήθηκαν από τον Wolfram στα μέσα του 1981 αναφορικά με την προσομοίωση των νευρωνικών δικτύων. Η απροσδόκητη πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς των απλών κανόνων των ΚΑ τον οδήγησαν στην άποψη ότι η πολυπλοκότητα στη φύση πιθανότατα οφείλεται σε παρόμοιους μηχανισμούς, ενώ το 2002 στο βιβλίο του A New Kind of Science, στο οποίο παρουσίασε μια γιγάντια συλλογή αποτελεσμάτων αναφορικά με τα ΚΑ, υποστήριξε ότι όχι μόνο δεν αποτελούν μεμονωμένα περιστατικά, αλλά αντίθετα είναι ισχυρά συστήματα, ιδιαίτερης σημασίας σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους. (Wolfram, 2002).

3.5.1 Χαρακτηριστικά ενός ΚΑ

Ένα τυπικό ΚΑ αποτελείται από πέντε βασικά χαρακτηριστικά, τα οποία είναι:

1. Το κύτταρο (*The cell*) αποτελεί το χώρο μέσα στον οποίο υπάρχει και εξελίσσεται ένα ΚΑ. Πολλά κύτταρα μαζί δημιουργούν ένα δισδιάστατο πλέγμα, το οποίο ενδείκνυται κυρίως για τη μοντελοποίηση χωρικών φαινομένων, όπως της αστικής διάχυσης και των χρήσεων γης, αν και στα πρώτα ΚΑ το πλέγμα ήταν συνήθως μονοδιάστατο. Υπάρχουν και πλέγματα n -διαστάσεων που εξυπηρετούν άλλες εφαρμογές.
2. Η κατάσταση (*The state*) καθορίζει τα χαρακτηριστικά του συστήματος και αφορά στον αριθμό των πιθανών καταστάσεων που μπορεί να λάβει ένα κελί, ο οποίος τυπικά είναι πεπερασμένος. Ιδιαίτερα στα ΚΑ που βασίζονται σε αστικά μοντέλα, η κατάσταση των κελιών μπορεί να αντιπροσωπεύει τις κατηγορίες των χρήσεων γης, δηλαδή εάν η χρήση είναι αστική, αγροτική ή άλλη, παρόλα αυτά δύναται να αντιπροσωπεύει άλλα χαρακτηριστικά μιας αστικής περιοχής, όπως της κοινωνικές πληθυσμιακές ομάδες (Portugali and Benensen, 1995).
3. Η γειτονιά (*The neighbourhood*) αποτελείται από ένα σύνολο κελιών, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, εξαιτίας του ότι εφάπτονται. Μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους, αλλά δύο από τα συνηθισμένα πρότυπα σε ορθογωνικούς καννάβους με τετράγωνα κελιά είναι οι γειτονιές Von Neumann και Moore. (Hogeweg, 1988)



Εικόνα 3-5: Γειτονιά «Von Neumann» και «Moore» σε Κυψελοειδή Αυτόματα

Η γειτονιά του Von Neumann περιλαμβάνει τα τέσσερα ορθογωνικά (4) κελιά που περικλείουν το κεντρικό, ορίζοντας κατά αυτό 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.

4. Οι κανόνες μετάβασης (*The transition rules*) υπαγορεύουν ουσιαστικά τη μεταβολή της κατάστασης των κελιών μέσα στο χρόνο. Η αλλαγή αυτή είναι μια λειτουργία που εξετάζει παράλληλα και την κατάσταση των κελιών που ορίζουν την εκάστοτε γειτονιά, ενώ οι κανόνες εφαρμόζονται ομοιόμορφα και συγχρονισμένα σε όλα τα κελιά. Η γενική διατύπωση τους περιλαμβάνει προτάσεις του τύπου IF, THEN, αλλά και ELSE σε πιο πολύπλοκες περιπτώσεις, προκειμένου να περιγράψουν οι συνθήκες που επικρατούν στη «γειτονιά» αλλά πως αυτές επηρεάζουν αντίστοιχα την κατάσταση του κελιού

5. 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).

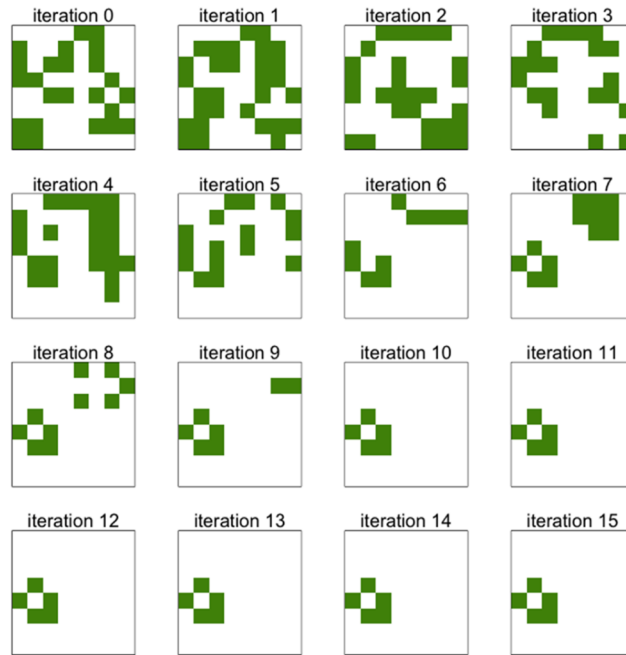
3.5.2 Το παιχνίδι της ζωής του Conway (Conways's game of life)

Το παιχνίδι της ζωής *The Game of Life*, γνωστό απλά και σαν *Ζωή*, είναι ένα από τα πιο γνωστά ΚΑ, το οποίο ανακαλύφθηκε από το Βρετανό μαθηματικό John Horton Conway και έγινε ιδιαίτερα δημοφιλές στις αρχές του 1970 από τη στήλη «*Mathematical Games*» του Martin Gardner στο επιστημονικό περιοδικό «*Scientific American*» υπό τον τίτλο «*The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game life*» (Gardner, Martin, 1970). Ο Conway ανέπτυξε τη «Ζωή» ενός ΚΑ για να διερευνήσει την απλούστερη δυνατή διαμόρφωση για έναν παγκόσμιο υπολογιστή.

Πρόκειται για ένα παιχνίδι χωρίς παίκτες, καθώς η εξέλιξη του αποφασίζεται αποκλειστικά και μόνο από την αρχική του κατάσταση, χωρίς να απαιτείται κανένα άλλο δεδομένο εισαγωγής. Αποτελείται από ένα μη πεπερασμένο δισδιάστατο ορθογωνικό πλέγμα τετράγωνων κελιών και οι γείτονές του καθορίζονται από τη γειτονιά Moore, η οποία αποτελείται, συμπεριλαμβανομένου του κεντρικού, από εννέα (9) συνολικά κελιά, καθένα από τα οποία μπορεί να λάβει μόνο δύο πιθανές καταστάσεις, τη ζωντανή και τη νεκρή. Κάθε κελί αλληλεπιδρά με τους οκτώ γείτονές του που βρίσκονται ακριβώς οριζόντια, κάθετα και διαγώνια σε επαφή με το κεντρικό. Σε διακριτά χρονικά βήματα εφαρμόζονται ταυτόχρονα και επαναλαμβανόμενα σε κάθε κελί του πλέγματος τρεις απλοί κανόνες που διέπουν τη δυναμική στο «Παιχνίδι της Ζωής» και είναι: η γέννηση (Birth), ο θάνατος (Death) και η επιβίωση (Survival). Ένα ζωντανό κελί θα «επιβιώσει», εάν έχει δύο (2) ή τρεις (3) ζωντανούς γείτονες. Ένα ζωντανό κελί θα πεθάνει εάν μετά το μετασχηματισμό έχει λιγότερους από δύο (2) γείτονες ή περισσότερους από τρεις (3). Στην πρώτη περίπτωση το κελί πεθαίνει εξαιτίας της απομόνωσης (isolation), ενώ στη δεύτερη εξαιτίας του υπερπληθυσμού (overcrowding). Τέλος, ένα πεθαμένο κελί θα γεννηθεί, εάν μετά το μετασχηματισμό έχει ακριβώς τρεις (3) ζωντανούς γείτονες.

Σε μορφή κανόνων μετασχηματισμού χρησιμοποιώντας προτάσεις τύπου EAN-TOTE (IF- THEN), οι παραπάνω τρεις (3) κανόνες μπορούν να εκφραστούν ως εξής:

- Κανόνας επιβίωσης: EAN {υπάρχουν 2 ή 3 ζωντανά κελιά στη γειτονιά Moore ενός ζωντανού κελιού σε χρόνο t } TOTE {το κελί παραμένει ζωντανό στο επόμενο μετασχηματισμό σε χρόνο $t+1$ }
- Κανόνας θανάτου: EAN {υπάρχουν <2 ή >3 ζωντανά κελιά στη γειτονιά Moore ενός ζωντανού κελιού σε χρόνο t } TOTE {το ζωντανό κελί πεθαίνει στο επόμενο μετασχηματισμό σε χρόνο $t+1$ }
- Κανόνας γέννησης: EAN {υπάρχουν ακριβώς 3 ζωντανά κελιά στη γειτονιά Moore ενός νεκρού κελιού σε χρόνο t } TOTE {το κελί παραμένει μετατρέπεται σε ζωντανό στο επόμενο μετασχηματισμό σε χρόνο $t+1$ }.



Εικόνα 3-6: Παράδειγμα εφαρμογής του Game of life

Το αρχικό σχέδιο αποτελεί το σπόρο ή τη βάση του συστήματος. Η πρώτη γενιά δημιουργείται εφαρμόζοντας τους παραπάνω κανόνες ταυτόχρονα σε κάθε κελί, οπότε οι θάνατοι και οι γεννήσεις συμβαίνουν επίσης ταυτόχρονα, με αποτέλεσμα κάθε γενιά να είναι μια λειτουργία της αμέσως προηγούμενης, ενώ οι κανόνες συνεχίζουν να εφαρμόζονται επαναλαμβανόμενα, προκειμένου να δημιουργηθούν νέες γενιές.

Ο Conway επέλεξε τους κανόνες του μετά από προσεκτική μελέτη, ώστε να ικανοποιούν τα ακόλουθα τρία 3 κριτήρια:

1. Να μην υπάρχει αρχικό πρότυπο για το οποίο να υπάρχει έστω και μια μικρή απόδειξη ότι ο πληθυσμός μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς όρια
2. Να μην υπάρχουν αρχικά πρότυπα που προφανώς αναπτύσσονται χωρίς όρια και
3. Να υπάρχουν απλά αρχικά πρότυπα, τα οποία μεγαλώνουν και αλλάζουν για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, πριν πεθάνουν, με κάποιον από τους παρακάτω πιθανούς τρόπους:
 - εξαιτίας υπερπληθυσμού ή απομόνωσης και
 - με το να βρεθούν σε μια σταθερή κατάσταση, ή οποία δεν αλλάζει περαιτέρω ή να εισέλθουν σε μια φάση κατά την οποία επαναλαμβάνουν έναν ακατάπαυστο κύκλο δύο ή τριών περιόδων.

Το παιχνίδι της ζωής προσέλκυσε μεγάλο ενδιαφέρον εξαιτίας των εντυπωσιακών τρόπων με τους οποίους αναπτύσσονται τα πρότυπα, ενώ η «Ζωή» αποτελεί ένα παράδειγμα ανάδυσης και αυτο-οργάνωσης, ιδιαίτερης σημασίας για πολλούς επιστημονικούς κλάδους σχετικά με την εμφάνιση πολύπλοκων προτύπων από την εφαρμογή πολύ απλών κανόνων. (Dennet, 2001, 2002, 2003). Δημιούργησε δε ένα καινούργιο πεδίο στη μαθηματική έρευνα, αυτό των ΚΑ, καθώς οι αναλογίες της «Ζωής» με τη γέννηση, την πτώση και τις αλλαγές μιας κοινωνίας ζωντανών οργανισμών, ανήκουν σε μια αναπτυσσόμενη τάξη των

λεγόμενων «παιγνιδιών προσομοίωσης», τα οποία μιμούνται τις διαδικασίες της πραγματικής ζωής καθιστώντας με αυτό τον τρόπο τα ΚΑ ως ισχυρά εργαλεία μοντελοποίησης.

3.5.3 Μαθηματική αναπαράσταση των ΚΑ

Τα ΚΑ μπορούν να θεωρηθούν ως ιδεατές μαθηματικές οντότητες, οι οποίες περιγράφουν τα συστήματα που υπάρχουν στη φύση (Wolfram, 1984). Ο επίσημος ορισμός τους αφορά σε μονοδιάστατα ή δισδιάστατα πλέγματα πανομοιότυπων «αυτόνομων» κελιών, καθένα από τα οποία λαμβάνει ένα πεπερασμένο σύνολο πιθανών καταστάσεων που ενημερώνονται σε διακριτά χρονικά βήματα με βάση έναν κανόνα που περιλαμβάνει και την τοπική γειτονιά των κελιών.

Ένα ΚΑ ορίζεται από:

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

Εάν επομένως, $S_{x_{ij}}^t$ είναι η κατάσταση ενός κελιού x_{ij} στη θέση i, j το χρονικό διάστημα t , και $S_{x_{ij}}^{t+1}$ αντίστοιχα η κατάσταση του ίδιου κελιού τη χρονική στιγμή $t+1$, τότε:

$$S_{x_{ij}}^{t+1} = f(S_{x_{ij}}^t, S^{N_{x_{ij}}})$$

Όπου το $N_{x_{ij}}$ αντιπροσωπεύει μια σειρά κελιών που βρίσκονται στην γειτονιά του κελιού x_{ij} , το $S_{N_{x_{ij}}}^t$ μια σειρά καταστάσεων των κελιών $N_{x_{ij}}$ και το f μια συνάρτηση μετάβασης.

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

$$S_{x_{ij}}^{t+1} = f(S^{N_{x_{ij}}})$$

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

Σύμφωνα με τον Batty (1997) η εξίσωση αυτή 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 (IFTHEN), οι οποίες εκφράζουν συγκεκριμένους κανόνες μετασχηματισμού.

Αυτό σημαίνει ότι το σύστημα εξελίσσεται αυτόνομα, με βάση την κατάσταση που επικρατεί στην προκαθορισμένη γειτονιά και τη συνάρτηση μετάβασης να καθορίζει την επόμενη κατάσταση κάθε κελιού χωριστά.

Τα σημαντικότερα μοντέλα ΚΑ είναι τα ακόλουθα:

- Το μοντέλο SLUETH: 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 μοντέλο το οποίο εφαρμόστηκε στην παρούσα μελέτη και για το λόγο αυτό στην επόμενη ενότητα γίνεται εκτενέστερη αναφορά στα χαρακτηριστικά και τον τρόπο λειτουργίας.
- Τα μοντέλα Moland/ Murbandy: προσομοιώνουν τη μεταβολή των χρήσεων γης. Χρησιμοποιούν την κατηγοριοποίηση χρήσεων γης Corine, σε ορθοκανονικό πλέγμα κελιών με διαστάσεις 100μ. 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).

3.5.4 Τα 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 τον 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 σχετικά 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 μικροκλίμακα, 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 ανάπτυξης 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).

3.5.5 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 στην ΚΑ, χρησιμοποιώντας ταυτόχρονα πολλά διαφορετικά επίπεδα πληροφορικής για παραμετροποίηση (Dietzel & Clarke, 2007). Ωστόσο, οι κανόνες μετάβασης του SLEUTH είναι πιο σύνθετοι από ένα απλό 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. 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 ακρόνυμο 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 δυνατό περισσότερο η εξελικτική διαδρομή μεταξύ των παλαιότερων και των νεότερων δεδομένων εισόδου (Clarke et al., 1997). Η φάση της βαθμονόμησης του μοντέλου, στη νέα του έκδοση που

ονομάζεται SLEUTH-GA (Genetic Algorithm) επιχειρεί τον εξευγενισμό του σετ των παραμέτρων ελέγχου, διαπιστώνοντας κατά αυτό τον τρόπο την ικανότητα 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 τέσσερεις 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 χαρακτηριστικά παραδείγματα το Πόρτο και την Λισαβόνα 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 παλιότερες εφαρμογές του SLEUTH αφορούσαν αποκλειστικά στην 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 στην 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 οπτικοποίηση των εξαγόμενων από το SLEUTH αποτελεσμάτων, εντοπίζεται πλήθος των σχετικών τεχνικών, ωστόσο τονίζεται ότι η κατανόηση αλλά και ανάλυση των προβλέψεων προσομοίωση 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 Περιοχή Μελέτης

Η Περιφέρεια Αττικής συνιστά μια από τις 13 περιφέρειες της Ελλάδας σύμφωνα με το άρθρο 61 του Νόμου 1622/86 του Προεδρικού Διατάγματος 51/1987 με έδρα την Αθήνα. Με βάση το πρόγραμμα Καλλικράτης η Αττική οργανώθηκε σε οκτώ νέες διοικητικές μονάδες, αυτές του Κεντρικού Τομέα Αθηνών, Βόρειου Τομέα Αθηνών, Δυτικού Τομέα Αθηνών, Ανατολικού Τομέα Αθηνών, Πειραιώς, Νήσων, Ανατολικής Αττικής και Δυτικής Αττικής (https://el.wikipedia.org/wiki/Διοικητική_διαίρεση_Περιφέρειας_Αττικής).

Η Περιφέρεια Αττικής βρίσκεται στο ανατολικό άκρο της Στερεάς Ελλάδας και καλύπτει περίπου 3.808 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Σύμφωνα με την απογραφή του 2011 από την ΕΛΣΤΑΤ 3.827.624 άνθρωποι ζουν στην περιοχή (Δελτίο Τύπου 28-12-2012, ΕΛΣΤΑΤ, Πειραιάς), εκ των οποίων περισσότερο από το 95% είναι κάτοικοι της μητροπολιτικής περιοχής της Αθήνας, αποτελώντας το 1/3 του πληθυσμού της χώρας.

Γεωγραφικά η Αττική χωρίζεται σε δύο μεγάλες ενότητες, την περιοχή πρωτεύουσας και το υπόλοιπο Αττικής. Οριοθετείται βόρεια από τον κόλπο των Αλκυονίδων και το νομό Βοιωτίας, ανατολικά από τον Νότιο Ευβοϊκό και τον Πεταλικό κόλπο, νότια από το Μυρτώο πέλαγος και τον Σαρωνικό κόλπο και τέλος δυτικά από τον Ισθμό της Κορίνθου και τον Κορινθιακό κόλπο (https://el.wikipedia.org/wiki/Περιφέρεια_Αττικής).

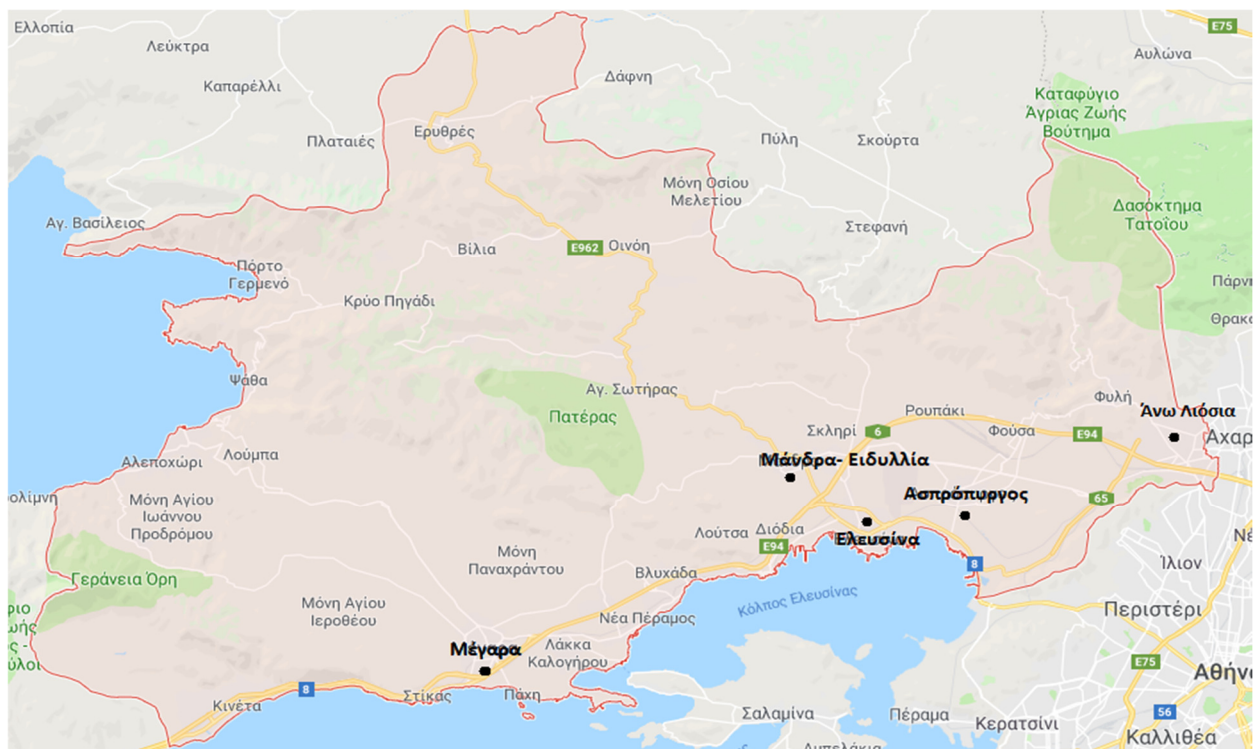
4.1 Περιφερειακή Ενότητα Δυτικής Αττικής

Από τις νέες περιφέρειες της Αττικής, που αναφέρθηκαν προηγουμένως, η Περιφερειακή ενότητα Δυτικής Αττικής, πιο συγκεκριμένα, αποτελεί τον κύριο στόχο μελέτης της παρούσας εργασίας, αφού παρουσιάζει ένα πολύ ενδιαφέρον πρότυπο μεταβολής της αστικής της ανάπτυξης. Απαρτίζεται από πέντε δήμους, που διαμορφώθηκαν σύμφωνα με το σχέδιο Καλλικράτη:

- a) τον δήμο Ελευσίνας με έδρα την Ελευσίνα, αποτελούμενο από τους προϋπάρχοντες δήμους Ελευσίνας και Μαγούλας
- b) τον δήμο Ασπροπύργου, που δε δέχεται καμία περαιτέρω μεταβολή
- c) τον δήμο Μάνδρας- Ειδυλλίας με έδρα τη Μάνδρα, που συγκροτείται από τους δήμους Μάνδρας, Βιλλίων, Ερυθρών και την κοινότητα Οινόης, οι οποίοι καταργούνται
- d) τον δήμο Μεγαρέων με έδρα τα Μέγαρα, που αποτελείται από τους πρώην δήμους των Μεγαρέων και της Νότιας Περάμου και
- e) τον δήμο Φυλής με έδρα τα Άνω Λιόσια, που δημιουργείται από τους δήμους Άνω Λιοσίων, Ζεφυρίου και Φυλής, που σταματούν να υφίστανται (https://www.eklogika.gr/page/diffpages/neoi_dimoi)



Εικόνα 4-1: Περιφερειακή ενότητα Δυτικής Αττικής



Εικόνα 4-2: Περιφερειακή ενότητα Δυτικής Αττικής και τα κέντρα του κάθε δήμου

Η περιοχή της Δυτικής Αττικής είναι ιδιαίτερος «πιεσμένη» από συσσωρευμένα περιβαλλοντικά, κοινωνικά και αναπτυξιακά προβλήματα. Αποτελεί μονίμως την εύκολη λύση για τα θέματα του Λεκανοπεδίου, αφού σε αυτή συγκεντρώνεται το σύνολο της βαριάς βιομηχανίας της χώρας (2 διυλιστήρια, 2 ναυπηγεία, 2 χαλυβουργίες, 2 τσιμεντοβιομηχανίες και τον μοναδικό ΧΥΤΑ – ΧΩΜΑΤΕΡΗ της Αττικής), αλλά και ένα

πλήθος μικρότερων αλλά ιδιαίτερα ρυπογόνων ή/και επικινδύνων επιχειρήσεων. Επιπλέον, δέχεται καθημερινώς περισσότερους από 100.000 εργαζόμενους από άλλες περιοχές με ό,τι αυτό συνεπάγεται τόσο για την κυκλοφοριακή συμφόρηση όσο και για τη ρύπανση.

a) Δήμος Ελευσίνας

Ο δήμος Ελευσίνας εκτείνεται στα 36,590 τ.χλμ. και οριοθετείται βόρεια από τον δήμο Μάνδρας- Ειδυλλίας, από τον δήμο Ασπροπύργου ανατολικά και τον δήμο Μεγαρέων δυτικά. Στο βόρειο μέρος του δήμου διέρχεται η Αττική Οδός και ο σταθμός του προαστιακού σιδηρόδρομου, ενώ στα νότια ο δήμος εφάπτεται με τον Κόλπο Ελευσίνας. Στο θαλάσσιο μέτωπο της πόλης βρίσκεται και το εμπορικό λιμάνι της, ένα από τα μεγαλύτερα του ελληνικού χώρου.

Όσον αφορά τις χρήσεις γης, πρέπει να σημειωθεί ο βεβιασμένος μετασχηματισμός της αγροτικής γης σε οικιστική, είτε με χαρακτήρα κατοικίας είτε με χαρακτήρα εμπορίου, βιοτεχνίας, βιομηχανίας κλπ. Δύο κατηγορίες προβληματικών περιοχών προκύπτουν από την ανάλυση των χρήσεων γης και της υφιστάμενης κατάστασης γενικότερα. Η πρώτη κατηγορία αφορά σε περιοχές, όπου η ανάπτυξη της βιομηχανίας συνορεύει με περιοχές κατοικίας ή περιοχές με σημαντικό χαρακτήρα πολιτισμού, όπως για παράδειγμα η περιοχή που εφάπτεται το εργοστάσιο TITAN με τον Αρχαιολογικό Χώρο και τον αστικό ιστό. Η δεύτερη κατηγορία περιοχών με ιδιαίτερα προβλήματα αφορά σε αυτά που γειτνιάζουν με μεταφορικές υποδομές εθνικής εμβέλειας και πλήττονται από φαινόμενα έντονης αέριας ρύπανσης ηχορύπανσης και οπτικής ρύπανσης, π.χ. περιοχές που γειτνιάζουν με την Αττική οδό ή το στρατιωτικό αεροδρόμιο της Ελευσίνας (Επιχειρησιακό πρόγραμμα 2012-2014 Ελευσίνας).

b) Δήμος Ασπροπύργου

Ο Δήμος Ασπροπύργου αποτελεί μέρος της γεωγραφικής ενότητας των Κοινοτήτων Θριάσιου Πεδίου (μαζί με το δήμο Μάνδρας- Ειδυλλίας και το δήμο Ελευσίνας) και έχει έκταση 102 τ.χμ. Συνορεύει βόρεια με το νομό Βοιωτίας, ανατολικά με το δήμο Φυλής, νότια βρέχεται από τον κόλπο της Ελευσίνας και δυτικά με τον δήμο της Ελευσίνας. Σε μεγάλο βαθμό τα όρια του δήμου τα καθορίζει ένας φυσικός φραγμός, όπως βόρεια το όρος Πάρνηθα, νοτιο- ανατολικά το Ποικίλο όρος, νότια ο κόλπος της Ελευσίνας και δυτικά το τεχνητό φράγμα του στρατιωτικού αεροδρομίου της Ελευσίνας. Από το δήμο διέρχεται ο οδικός άξονας Αθηνών - Κορίνθου, το ανατολικό του άκρο διασχίζεται εγκάρσια από τη Δυτική Περιφερειακή λεωφόρο Αιγάλεω και βόρεια εφάπτεται με τμήμα της Αττικής οδού. Τα τελευταία χρόνια η περιοχή του Ασπροπύργου αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς κόμβους εμπορικής και βιομηχανικής ανάπτυξης, αφού περισσότερο από το 90% του πληθυσμού ασχολείται με τη βιομηχανία.

Το Θριάσιο Πεδίο έχει μετεξελιχθεί τις τελευταίες δεκαετίες στην περιοχή με τη μεγαλύτερη πυκνότητα βαριάς βιομηχανίας στην Ελλάδα, που καταλαμβάνει το 3,4% της έκτασης του Δήμου, στην οποία όμως συχνά δε λαμβάνονται τα απαραίτητα μέτρα για την ασφαλή απόρριψη των υγρών και στερεών αποβλήτων, επικίνδυνων και μη. Υπάρχει εκτεταμένη ρύπανση των υδάτων λόγω τριών βυρσοδεψείων, μιας εταιρίας υγρών καυσίμων, μιας εταιρίας με εγκαταστάσεις αποθήκευσης πετρελαιοειδών και μιας χαλυβουργική εταιρία, οι οποίες απορρίπτουν τα τοξικά τους απόβλητα στον υδάτινο

περιβάλλοντα χώρο. Στο δήμο, ακόμη, υπάρχουν διάφορες, μη αδειοδοτημένες και παράνομες εστίες εναπόθεσης οικοδομικών αποβλήτων (μπάζα), που προξενούν σοβαρή οικονομική επιβάρυνση για την απομάκρυνσή τους (Σχέδιο δράσης για την αειφόρο ενέργεια δήμου Ασπροπύργου, Μάρτιος 2011).

Η επιβαρυσμένη βιομηχανική ατμόσφαιρα της περιοχής επηρεάζει και διακινδυνεύει τη διατήρηση του φυσικού πλούτου, που βρίσκεται σε εγγύς απόσταση από τη βιομηχανική ζώνη. Στην κατηγορία των προστατευμένων περιοχών που εξετάζονται, εκτός του αστικού φυσικού περιβάλλοντος, που αποτελείται από Αρχαιολογικούς Χώρους, Άλση, κ.α., περιλαμβάνονται αξιόλογοι τόποι, τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους (ΤΙΦΚ), βιότοποι βάσει του Ευρωπαϊκού Προγράμματος CORINE, βιότοποι βάσει του Επιστημονικού Καταλόγου NATURA 2000 και θεσμοθετημένες ή υπό θεσμοθέτηση περιοχές (Χάρτης 1.5.2, Τράπεζα στοιχείων για την Ελληνική Φύση- ΦΙΛΟΤΗΣ). Στο Δ. Ασπροπύργου, ή πλησίον αυτού απαντώνται οι ακόλουθες:

- Τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους: Λίμνη Κουμουνδούρου, Λόφος Ηχούς
- Βιότοποι του ευρωπαϊκού προγράμματος CORINE: Άρμα και φαράγγι Γκούρας
- Βιότοποι του επιστημονικού καταλόγου NATURA 2000: Όρος Πάρνηθα

Το όρος Πάρνηθα με τη μεγάλη βιοποικιλότητα είναι πολύ ενδιαφέρουσα περιοχή ικανή για την προστασία και τη διατήρηση της πανίδας και της χλωρίδας της Νοτίου Ελλάδος (Στασινοπούλου Ασημίνα, 2010).

ε) Δήμος Μάνδρας- Ειδυλλίας

Ο δήμος Μάνδρας- Ειδυλλίας εντάσσεται στο Θριάσιο Πεδίο (μαζί με τους δήμους Ελευσίνας και Ασπρόπυργου), το οποίο συντελεί στη δημιουργία μιας περιμετρικά (Δυτικά, Βόρεια και Ανατολικά) κλειστής κοιλάδας στο κέντρο της Δυτικής Αττικής, ενώ στα νότια είναι ανοιχτός προς τον Σαρωνικό Κόλπο. Οριοθετείται στα βόρεια με τον Νομό Βοιωτίας, νότια και ανατολικά από τον δήμο Ελευσίνας και δυτικά από το νομό Μεγαρέων και τον κόλπο των Αλκυονιδών. Νότια βρίσκεται το τμήμα της Εθνική Οδού Αθηνών - Κορίνθου, νοτιοανατολικά του οποίου βρίσκεται ο δήμος Ελευσίνας και νοτιοδυτικά ο δήμος Μεγαρέων. Επιπροσθέτως, έχει πρόσβαση στην παλιά εθνική οδό Αθηνών - Θήβας. Ο δήμος Μάνδρας- Ειδυλλίας είναι ο μεγαλύτερος δήμος της Δυτικής Αττικής σε έκταση, που αγγίζει περίπου τα 426 τ.χλμ.

Χαρακτηριστικό του δήμου αποτελούν οι έντονες εναλλαγές του φυσικού περιβάλλοντος. Η νότια και δυτική περιοχή του δήμου είναι επίπεδη με λοφώδεις σχηματισμούς και περιβάλλεται από τα όρη Πατέρα και Πάρνηθας στα βόρεια και το όρος Αιγάλεω στα ανατολικά. Οι λόφοι δημιουργούν ένα ήπιο ανάγλυφο, το οποίο καταλήγει προς τη θάλασσα, σε δυο πεδιάδες : το Θριάσιο Πεδίο και την πεδιάδα των Μεγαρέων.

Ο δήμος Μάνδρας- Ειδυλλίας συγκροτεί μια περιοχή συνεχώς αναπτυσσόμενη. Διακρίνεται σε τρεις διαφορετικές ενότητες : το αστικό κέντρο της Μάνδρας, τον μεγάλο εξωαστικό χώρο και τη βιομηχανική – επιχειρηματική ζώνη. Συνολικά παρατηρείται αλλαγή της φυσιογνωμίας των παραγωγικών δραστηριοτήτων του δήμου - υποχώρηση του πρωτογενή τομέα – αύξηση βιομηχανίας, βιοτεχνίας και κυρίως των μονάδων αποθήκευσης και διαμετακομιστικού εμπορίου (logistics).

Η περιοχή εμφανίζει αυξημένη ρύπανση, λόγω της υπερσυγκέντρωσης βιομηχανικών μονάδων και ειδικότερα μονάδων βαριάς βιομηχανίας στην ευρύτερη περιοχή του Θριάσιου Πεδίου. Παρατηρείται ακόμη, επιδείνωση του κυκλοφοριακού προβλήματος λόγω της διέλευσης από το δήμο των αξόνων της Αττικής Οδού, της ΠΕΟΑΚ, της ΝΕΟΑΚ και του Προαστιακού. Αποτέλεσμα είναι οι μεγάλες επιπτώσεις στο τοπίο και στο φυσικό περιβάλλον (Μάρθα Οικονομοπούλου, 2009-2010).

d) Δήμος Μεγαρέων

Ο Δήμος Μεγαρέων βρίσκεται στο δυτικότερο τμήμα της Αττικής και περιλαμβάνει το μεγαλύτερο κομμάτι της επαρχίας Μεγαρίδας, στην νοτιοδυτική πλευρά της Αττικής, 42 χλμ. από την Αθήνα, δεξιά του οδικού άξονα Αθηνών – Κορίνθου. Βρέχεται στα βόρεια από τα νερά του Κορινθιακού κόλπου, ανατολικά από το δήμο Μάνδρας- Ειδυλλίας και στα νότια από τον Σαρωνικό. Η έκταση του είναι στα 330,3 τ.χμ.

Η γεωγραφική θέση του δήμου είναι ιδιαίτερα προνομιακή, καθώς η γεωμορφολογία ποικίλλει από τις παραλίες των στενών της Σαλαμίνας έως και την Κινέττα, στην πλευρά του Σαρωνικού κόλπου και του κόλπου των Αλκυονίδων, στον Κορινθιακό έως τις ανατολικές κορυφές των Γερανείων Ορέων και τις νότιες πλαγιές του όρους Πατέρας. Ανάμεσα στα δύο βουνά και τους δύο κόλπους εκτείνεται η άνυδρη Μεγαρική πεδιάδα.

Τα Γεράνεια Όρη βρίσκονται στα όρια των νομών Αττικής και Κορινθίας, στη χερσόνησο του Ισθμού και περιστοιχίζονται από τους δήμους Μεγαρέων, Αγίων Θεοδώρων, Φυλής και Λουτρακίου. Το δάσος είναι προστατευόμενη περιοχή Natura 2000. Ο συνδυασμός χαλεπίου - πεύκης και κεφαλληνιακής ελάτης στην ίδια δασική περιοχή είναι ένα σπάνιο φαινόμενο και καθιστά τα Γεράνεια Όρη ιδιαίτερα πολύτιμα για το οικοσύστημα και ένα σημαντικό καταφύγιο θηραμάτων.

Ο δήμος δεν είναι ιδιαίτερα βιομηχανοποιημένος, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό της έκτασής του καταλαμβάνουν καλλιεργούμενες, δασικές εκτάσεις και βοσκότοποι. Μόλις το 2% αποτελεί Βιομηχανική Ζώνη (ΒΠΕ-ΒΙΟΠΑ), ενώ από τα 45 χλμ. της ακτογραμμής τα 25 χλμ. είναι κατάλληλα για κολύμβηση.

e) Δήμος Φυλής

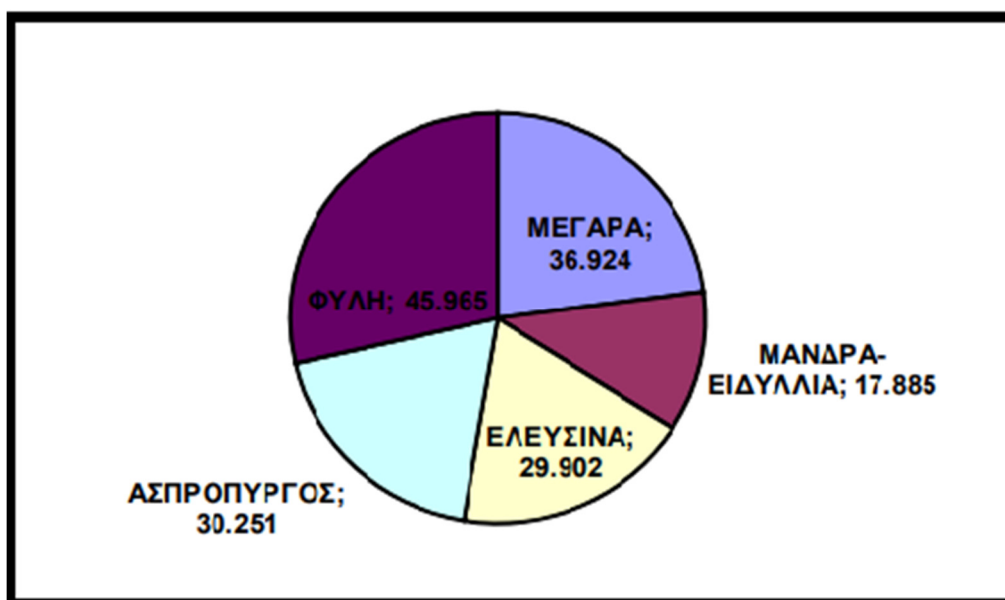
Ο δήμος συνορεύει βόρεια με το νομό Βοιωτίας, ανατολικά με την Περιφερειακή ενότητα Ανατολικής Αττικής, νότια με τον Δυτικό Τομέα Αθηνών, καθώς και αρδευτικά με τον δήμο Ασπροπύργου. Εμφανίζει τρία βασικά χαρακτηριστικά: το πρώτο είναι η ένταξή του στην ενότητα του Θριάσιου με εξειδίκευση στη μεταποίηση, το δεύτερο ότι στα όριά του περιλαμβάνονται σημαντικά τμήματα του Ορεινού Όγκου της Πάρνηθας, του Όρους Αιγάλεω και μεγάλα ρέματα και το τρίτο η διέλευση της Αττικής Οδού, μέσα από τον Δήμο. Οι τρεις Δημοτικές Ενότητες Άνω Λιοσίων, Ζεφυρίου και Φυλής αποτελούν τον ενιαίο Δήμο Φυλής, ο οποίος καλύπτει μια έκταση περίπου 110 τετραγωνικών χιλιομέτρων. Τη μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνει η δημοτική ενότητα Φυλής (περίπου το 63% επί του συνόλου) (Επιχειρησιακό πρόγραμμα 2012-2014 Φυλή).

Οι τρεις ενότητες παρουσιάζουν διαφορές στις χρήσεις γης τους, καθώς αποτελούν μια «συνένωση» περιοχών με διαφορετικό επίπεδο ποιότητας ζωής. Η ενότητα Φυλής συγκροτείται κυρίως από οικισμούς και δασικές εκτάσεις, διατηρώντας το γραφικό χαρακτήρα της περιοχής. Επομένως, τα επίπεδα ποιότητας ζωής του πληθυσμού είναι

σχετικά υψηλά. Από την άλλη, τα τελευταία χρόνια, τα Άνω Λιόσια δέχθηκαν μια σειρά από υπερτοπικές λειτουργίες που συνεπάγονταν και υποβάθμιση της περιβάλλουσας έκτασης, όπως τη χωματερή (χώρο εναπόθεσης απορριμμάτων για όλο το λεκανοπέδιο), τον Οργανισμό Διαχείρισης Δημόσιου Υλικού (ΟΔΔΥ), δύο στρατόπεδα, το αμαξοστάσιο του ΟΑΣΑ και πολλές ρυπαίνουσες βιομηχανίες. Ένας λόγος που ευνόησε τις χωροθετήσεις αυτές είναι η γειτνίαση και η επικοινωνία του δήμου με το Θριάσιο Πεδίο. Βέβαια, από τις αρχές του 1990, ο Δήμος Άνω Λιοσίων έχει αναλάβει δυναμική δράση κατά της υποβάθμισης της περιοχής. Τέλος η ενότητα Ζεφυρίου, ήταν πάντοτε πιο υποβαθμισμένη από τις δυο προηγούμενες, αφού η περιοχή είναι ως επί το πλείστον αφιλόξενη για τη διαβίωση ενός μέσου ανθρώπου με βιομηχανίες και μη καλλιεργήσιμες εκτάσεις. Παρ' όλα αυτά, η ενότητα έχει ξεκινήσει τις πολιτιστικές εκδηλώσεις, καθώς και τη προσπάθεια για βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης (<http://www.westatticasidestories.gr/el/δημος-φυλής>).

4.2 Πληθυσμιακή Ανάπτυξη

Η Δυτική Αττική έχει μόνιμο πληθυσμό 160.927 ανθρώπων στο σύνολο των 3.828.434 της Περιφέρειας Αττικής, αντιπροσωπεύοντας ποσοστό 4,20% του πληθυσμού της Περιφέρειας. Η μέση ηλικία του πληθυσμού της Δυτικής Αττικής είναι μικρότερη από αυτή της Περιφέρειας Αττικής, διαθέτοντας έναν πιο νεανικό πληθυσμό και χαμηλότερους δείκτες δημογραφικής γήρανσης και εξάρτησης. Πολυπληθέστερος Δήμος στη Δυτική Αττική είναι ο Δήμος Φυλής και ακολουθείται από το Δήμο Μεγαρέων, το Δήμο Ασπροπύργου, το Δήμο Ελευσίνας και το Δήμο Μάνδρας-Ειδυλλίας, όπως παρουσιάζεται και στα παρακάτω διαγράμματα.

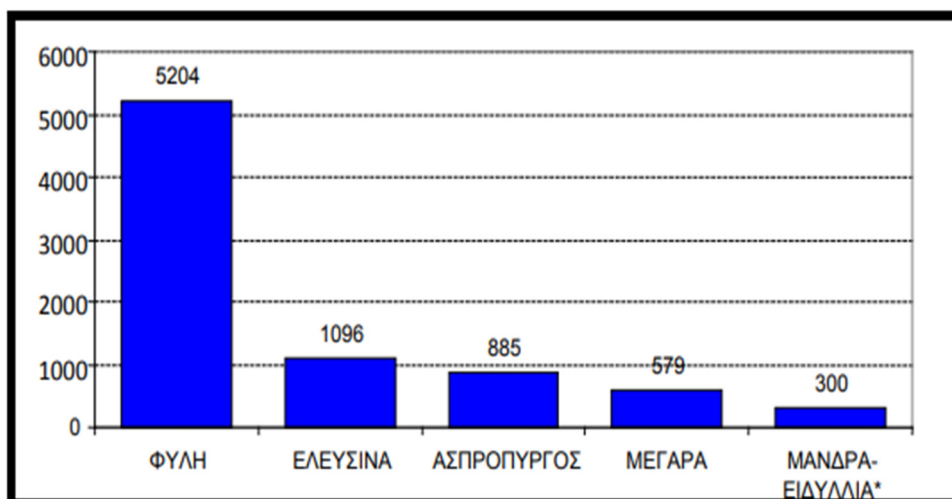


Διάγραμμα 4-1: Μόνιμος πληθυσμός Δυτικής Αττικής ανά δήμο (στοιχεία απογραφής 2011)

	1991	Ποσοστό μεταβολής	2001	Ποσοστό μεταβολής	2011
ΔΗΜΟΣ ΜΕΓΑΡΕΩΝ	31.930	7%	34.174	8%	36.924
ΔΗΜΟΣ ΜΑΝΔΡΑΣ - ΕΙΔΥΛΛΙΑΣ	18.769	0%	18.677	-4%	17.885
ΔΗΜΟΣ ΕΛΕΥΣΙΝΑΣ	25.456	17%	29.879	0%	29.902
ΔΗΜΟΣ ΑΣΠΡΟΠΥΡΓΟΥ	15.715	78%	27.927	8%	30.251
ΔΗΜΟΣ ΦΥΛΗΣ	33.307	18%	39.137	17%	45.965
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ ΔΥΤΙΚΗΣ ΑΤΤΙΚΗΣ	125.177	20%	149.794	7%	160.927

Πίνακας 4-1: Τιμές πληθυσμού τις δεκαετίες 1991-2001 και 2001-2011

Σύμφωνα με στοιχεία που έχουν αντληθεί από τους Δήμους της Δυτικής Αττικής (Κοινωνικές Υπηρεσίες και Κοινωνικές Δομές επισιτιστικής στήριξης), καταγράφεται μια εξαιρετικά τραγική αύξηση των ανθρώπων που ευρίσκονται σε οικονομική αδυναμία στο Δήμο Φυλής (5204 άτομα), και ακολουθεί η Ελευσίνα, ο Ασπρόπυργος, τα Μέγαρα και η Μάνδρα-Ειδυλλία (Σχέδιο Στρατηγικού Σχεδιασμού προς Διαβούλευση, Περιφερειακή ενότητα Δυτικής Αττικής, Μάιος 2015).



Διάγραμμα 4-2: Άτομα σε οικονομική αδυναμία. Τα άτομα στο δήμο Μάνδρας- Ειδυλλίας αναφέρονται σε οικογένειες.

Πιο συγκεκριμένα, για την Ελευσίνα φαίνεται πως μεταξύ 1991 - 2001 ο συνολικός πληθυσμός του νέου Δήμου αυξήθηκε κατά 15%, ενώ ουσιαστικά την τελευταία δεκαετία ο πληθυσμός παρέμεινε στάσιμος. Επίσης, παρατηρούμε παρόμοια ηλικιακή κατανομή στο σύνολο του Δήμου, με το μεγαλύτερο ποσοστό πληθυσμού να κυμαίνεται μεταξύ των ηλικιών 25 – 39 ετών, γεγονός το οποίο υποδηλώνει ότι σε γενικές γραμμές, ο πληθυσμός που βρίσκεται στην πλέον παραγωγική ηλικία, επιλέγει να παραμείνει στο Δήμο (Επιχειρησιακό πρόγραμμα 2012-2014 Ελευσίνας).

Ο Ασπρόπυργος είναι ο δεύτερος σε πληθυσμό δήμος της Περιφέρειας και αποτελεί το 19% του πληθυσμού ολόκληρης της Αττικής. Ο παραγωγικός πληθυσμός του Δήμου συγκεντρώνει το 68% . Όσον αφορά το μορφωτικό επίπεδο των ατόμων, που διαμένουν στον δήμο Ασπρόπυργου, το 1/ 4 έχει πτυχίο μέσης εκπαίδευσης, ενώ το 30% έχει, μόλις, στοιχειώδη εκπαίδευση (Στασινοπούλου Ασημίνα, 2010).

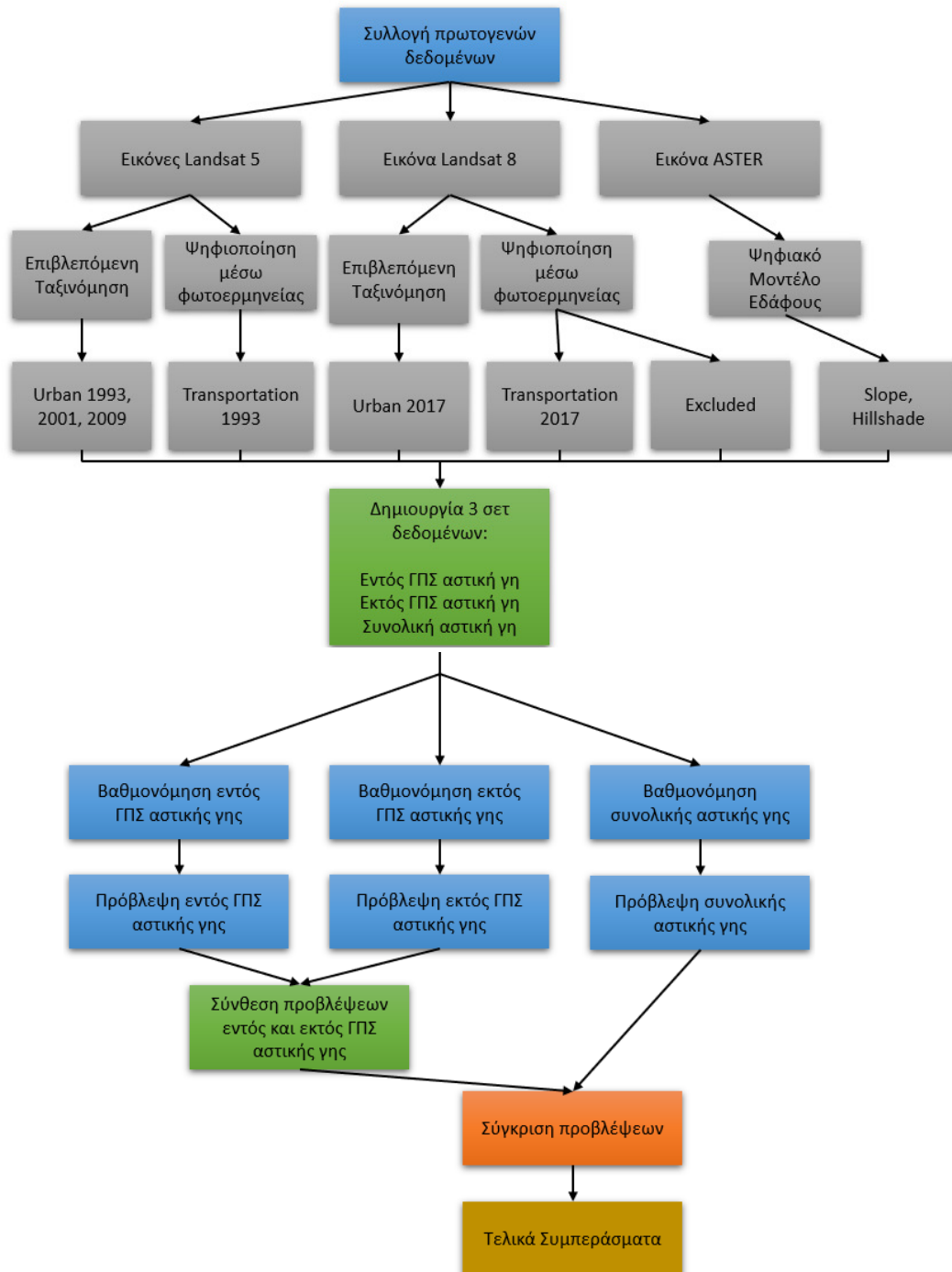
Ο πληθυσμός του δήμου της Μάνδρας- Ειδυλλίας είναι 17.885 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή του 2011. Η Μάνδρα αποτελεί σήμερα ένα σύγχρονο, δυναμικά αναπτυσσόμενο Δήμο. Το μεγαλύτερο μέρος των κατοίκων της απασχολείται στις βιομηχανίες και βιοτεχνίες που είναι εγκατεστημένες στα όρια του Δήμου. Από την άλλη ο σημερινός πληθυσμός του δήμου Βιλίων υπολογίζεται σε 3.413 κατοίκους, ενώ του δήμου Ερυθρών στην απογραφή του Μαρτίου του 2001, είχε 3.329 κατοίκους (<http://www.westatticasidestories.gr/el/δημος-μανδρας-ειδυλλιας>, Μάρθα Οικονομοπούλου, 2009-2010).

Όσον αφορά το δήμο Μεγαρέων κατά τη δεκαετία 2001-2011 ο πληθυσμός αυξήθηκε κατά 8% περίπου, σε αντίθεση με το σύνολο της χώρας, που στο ίδιο διάστημα παρατηρήθηκε μείωση κατά 1,6% περίπου. Ακόμη, ο Δήμος Μεγαρέων έχει αρκετά μικρή πληθυσμιακή πυκνότητα σε σχέση με τους υπόλοιπους Δήμους της Περιφερειακής Ενότητας Δυτικής Αττικής, δηλαδή μόλις 111,96 κάτοικους ανά τετραγωνικό χιλιόμετρο. Ο πληθυσμός του Δήμου Μεγαρέων χαρακτηρίζεται ως νεανικός, καθώς οι ηλικίες από 0 ως 39 έτη αποτελούν το 53% περίπου. Το επίπεδο μόρφωσης των ατόμων που γεννήθηκαν το 2004 και πριν, 9.789 άτομα έχουν τελειώσει την πρωτοβάθμια εκπαίδευση, 15.268 την δευτεροβάθμια και 4.175 την τριτοβάθμια εκπαίδευση. Τέλος, σύμφωνα με την απογραφή του 2011 (στοιχεία ΕΛ.ΣΤΑΤ), στο Δήμο Μεγαρέων κατοικούσαν 3.727 αλλοδαποί που αντιστοιχούν στο 10,09% του συνολικού πληθυσμού (Επιχειρησιακό πρόγραμμα 2015-2019 Μέγαρα).

Τελευταίος δήμος, που μας ενδιαφέρει, είναι ο δήμος Φυλής. Χωριστά, η ενότητα των Άνω Λιοσίων είναι η μοναδική δημοτική ενότητα που από το 1991 εμφανίζει συνεχόμενη αύξηση του πληθυσμού της. Τα άτομα παραγωγικής ηλικίας αντιστοιχούν στο 71%. Ο πληθυσμός του Ζεφυρίου αποτελεί το 19,5% του συνολικού πληθυσμού του Δήμου, όμως, κατά τη δεκαετία 1991-2001 παρουσιάζεται μια μικρή μείωση της τάξης του 1,5% περίπου ενώ η τάση μείωσης συνεχίζεται και τη δεκαετία 2001-2011. Όσον αφορά την ηλικιακή κατανομή διαπιστώνεται ότι κυριαρχεί ο νέος πληθυσμός με τα άτομα παραγωγικής ηλικίας να αποτελούν περίπου το 67% του συνολικού πληθυσμού της δημοτικής ενότητας Ζεφυρίου. Οι Αθίγγανοι, που είναι και η μεγαλύτερη μειονότητα του Ζεφυρίου, αποτελούν περίπου το 20% του συνολικού πληθυσμού. Επίσης, υπάρχει ένας μικρός αριθμός παλινοστούτων Ποντίων και παρατηρείται μια τάση υποδοχής Αλβανών, Πακιστανών και Ινδών. Οι άντρες στην πλειοψηφία τους απασχολούνται ως τεχνίτες και εργάτες, ενώ οι γυναίκες εργάζονται σε βιοτεχνίες ενδυμάτων και δερμάτινων ειδών. Ο πληθυσμός του Ζεφυρίου αποτελείται στο μεγαλύτερο ποσοστό του από οικονομικά ασθενέστερα στρώματα. Η ενότητα Φυλής από την άλλη, παρ' όλο που είναι η μεγαλύτερη σε έκταση ενότητα του δήμου Φυλής παρουσιάζει και τα μικρότερα ποσοστά πληθυσμού με μόλις το 8,5% των κατοίκων του Δήμου, βέβαια παρατηρείται αρκετά μεγάλη αύξηση στη δεκαετία 2001-2011 (περίπου 20%). Όσον αφορά την ηλικιακή κατανομή του πληθυσμού οι παραγωγικές ηλικίες αποτελούν περίπου το 66,7% του πληθυσμού (2001).

5 Εφαρμογή του SLEUTH στην περιοχή μελέτης

Στο κεφάλαιο αυτό περιγράφεται αναλυτικά η διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου SLEUTH στην περιοχή μελέτης (Διάγραμμα 5-1). Αρχικά, περιγράφεται η διαδικασία συλλογής και επεξεργασίας των δεδομένων και στην συνέχεια ακολουθεί η περιγραφή των επιμέρους σταδίων, που ακολουθήθηκαν για την βαθμονόμηση και την τελική εφαρμογή της λειτουργίας πρόγνωσης του μοντέλου για κάθε μια από τις τρεις περιπτώσεις στις οποίες εφαρμόστηκε το μοντέλο στην παρούσα εργασία.



Διάγραμμα 5-1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας της εργασίας

5.1 Συλλογή Πρωτογενών Δεδομένων

Η ονομασία του μοντέλου SLEUTH, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, είναι ακρώνυμο των δεδομένων, που πρέπει να εισαχθούν στο μοντέλο, προκειμένου να καταστεί δυνατή η εφαρμογή του. Τα δεδομένα αυτά είναι η τοπογραφική κλίση (Slope), οι χρήσεις γης (Landuse), οι εξαιρούμενες περιοχές (Excluded), η αστική γη (Urban), το οδικό δίκτυο (Transportation) και η σκίαση αναγλύφου (Hillshade) της περιοχής μελέτης, που εξετάζεται.

Βέβαια, ο αριθμός των στοιχείων που το μοντέλο απαιτεί, διαφέρει για κάθε ένα από τα έξι σύνολα. Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι η τοπογραφική κλίση, οι εξαιρούμενες περιοχές και η σκίαση αναγλύφου είναι σταθερά δεδομένα, ενώ οι χρήσεις γης, η αστική γη και το οδικό δίκτυο είναι δεδομένα που μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου.

Πιο συγκεκριμένα, για την τοπογραφική κλίση, τις εξαιρούμενες περιοχές και την σκίαση αναγλύφου απαιτείται από ένα επίπεδο πληροφορίας αντίστοιχα, το οποίο αναφέρεται σε όλες τις χρονικές στιγμές. Στην περίπτωση της αστικής γης απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερα επίπεδα πληροφορίας, από τέσσερις διαφορετικές χρονικές στιγμές αναφοράς του παρελθόντος, ενώ για το σύνολο των χρήσεων γης και το σύνολο του οδικού δικτύου απαιτούνται τουλάχιστον δύο επίπεδα πληροφορίας για το καθένα, που να αναφέρονται στις χρονικές στιγμές του πρώτου και τελευταίου επιπέδου της αστικής γης αντίστοιχα. Πρέπει να επισημανθεί ότι η έκδοση του μοντέλου SLEUTH-GA, που χρησιμοποιήθηκε για την λειτουργία της βαθμονόμησης απαιτεί υποχρεωτικά την εισαγωγή δεδομένων για το σύνολο των χρήσεων γης, παρόλο που στην παρούσα εργασία δεν χρησιμοποιήθηκε τελικά το υπό – μοντέλο Deltatron, το οποίο μοντελοποιεί τις διάφορες χρήσεις γης πέραν της αστικής (Πίνακας 5-1).

Απαιτούμενα σύνολα	Αριθμός επιπέδων	Έτη αναφοράς	Πηγή πρωτογενών δεδομένων
Αστική γη	4	1993	Δορυφορική εικόνα Landsat 5
		2001	Δορυφορική εικόνα Landsat 5
		2009	Δορυφορική εικόνα Landsat 5
		2017	Δορυφορική εικόνα Landsat 8
Οδικό δίκτυο	2	1993	Δορυφορική εικόνα Landsat 5
		2017	Δορυφορική εικόνα Landsat 8
Χρήσεις γης	2	1993	Δορυφορική εικόνα Landsat 5
		2017	Δορυφορική εικόνα Landsat 8
Τοπογραφική κλίση	1		Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους δορυφόρου ASTER
Σκίαση Αναγλύφου	1		Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους δορυφόρου ASTER
Εξαιρούμενες περιοχές	1		Shapefile περιοχών Natura

Πίνακας 5-1: Απαιτούμενα δεδομένα εισόδου

Το μοντέλο SLEUTH δέχεται δεδομένα εισόδου με συγκεκριμένη μορφή. Πιο ειδικά, το μοντέλο απαιτεί αρχεία εικόνας μορφής .gif, που να έχουν όλα την ίδια ανάλυση (μέγεθος εικονοστοιχείου), να είναι 8 bit, να είναι σε τόνους του γκρι (εικόνες grayscale), καθώς και τα εικονοστοιχεία να λαμβάνουν τιμές από 0 έως 255, όπου το 0 αντιπροσωπεύει στοιχεία που δεν έχουν κάποια τιμή ή η τιμή τους είναι μηδέν. Επίσης, όλες οι εικόνες πρέπει να αναφέρονται στην ίδια ακριβώς περιοχή μελέτης, να προέρχονται από προβολή στο ίδιο σύστημα αναφοράς, να έχουν το ίδιο μέγεθος (τον ίδιο αριθμό γραμμών και στηλών) και να ακολουθούν την κατάλληλη ονοματολογία, που προβλέπεται από το μοντέλο, ανάλογα με το εκάστοτε σύνολο δεδομένων.

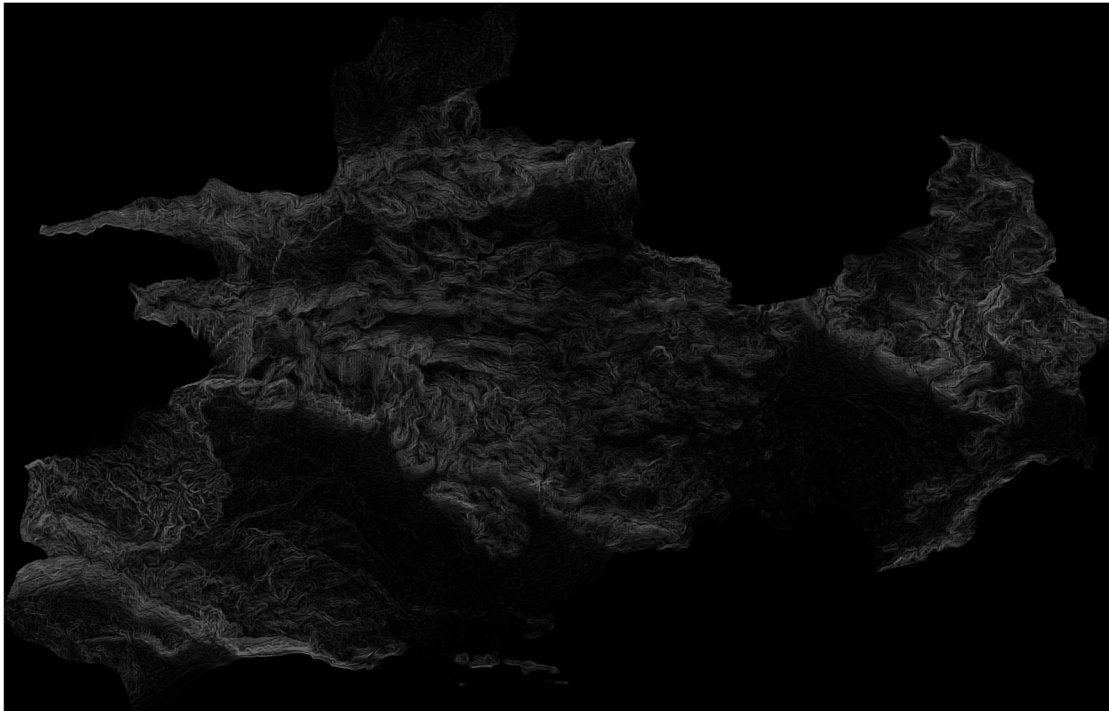
Βάσει των περιορισμών που θέτει το μοντέλο ως προς τις προδιαγραφές των δεδομένων εισόδου, απαραίτητη ήταν η χρήση ενός ΓΣΠ για την επεξεργασία των πρωτογενών δεδομένων. Για τις ανάγκες της συγκεκριμένης εφαρμογής επιλέχθηκε το ArcGIS (έκδοση 10.3), το οποίο αποτελεί το πλέον διαδομένο ΓΣΠ και προσφέρει ποικίλες δυνατότητες χωρικής ανάλυσης, επεξεργασίας και οπτικοποίησης χωρικών δεδομένων. Λαμβάνοντας υπόψη ακόμα, το μέγεθος της περιοχής μελέτης και την χωρική ανάλυση των πρωτογενών δεδομένων, όλα τα τελικά δεδομένα εισόδου είχαν μέγεθος 1170x1820 εικονοστοιχεία, μέγεθος εικονοστοιχείου 30μ x 30μ, αναφέρονταν στην ίδια ακριβώς περιοχή και στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87). Παρακάτω, περιγράφονται αναλυτικά τα τελικά δεδομένα εισόδου, που εισήχθησαν στο μοντέλο και τα βήματα επεξεργασίας που ακολουθήθηκαν, ώστε να εξαχθούν από τα πρωτογενή δεδομένα.

5.1.1 Τοπογραφική κλίση

Για την δημιουργία του επιπέδου της τοπογραφικής κλίσης, που χρησιμοποιήθηκε ως τελικό δεδομένο εισόδου στο μοντέλο, αξιοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) του δορυφόρου ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), το οποίο είναι διαθέσιμο μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής earth explorer (earthexplorer.usgs.gov) της USGS (U.S. Geological Survey). Από την εφαρμογή αυτή μεταφορτώθηκαν συνολικά δύο σύνολα αρχείων, που καλύπτουν την έκταση της περιοχής μελέτης. Έπειτα, επιλέχθηκαν τα δύο αρχεία αντίστοιχα, που αφορούν το ψηφιακό μοντέλου εδάφους της περιοχής, εισήχθησαν στο περιβάλλον του ArcMap και με το κατάλληλο εργαλείο του λογισμικού δημιουργήθηκε ένα μωσαϊκό, που περιλαμβάνει την περιοχή μελέτης.

Το αρχείο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους που δημιουργήθηκε έχει ανάλυση λίγο καλύτερη από 30μ και κάθε pixel έχει ως τιμή το υψόμετρο του εδάφους από την επιφάνεια της θάλασσας. Στη συνέχεια, έγινε επαναπροβολή του αρχείου στο Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς (ΕΓΣΑ '87) από το σύστημα WGS '84 που ήταν οι αρχικές δορυφορικές εικόνες. Να σημειωθεί σε αυτό το σημείο ότι το εργαλείο επαναπροβολής του ArcMap δίνει την δυνατότητα αλλαγής διάστασης της εικόνας (resampling) με διγραμμική μέθοδο (bilinear) που αφορά συνεχή δεδομένα, όπως αυτά του ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Αυτή η δυνατότητα αξιοποιήθηκε, ώστε το αρχείο μετά την επαναπροβολή να έχει ανάλυση ακριβώς 30μ, μιας και οι δορυφορικές εικόνες, που χρησιμοποιήθηκαν στη συνέχεια, είχαν ανάλυση ακριβώς 30μ. Επίσης, απομονώθηκε η περιοχή μελέτης από την ευρύτερη περιοχή, και από το επίπεδο του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής μελέτης που

δημιουργήθηκε, εξήχθη το επίπεδο των τοπογραφικών κλίσεων. Στο επίπεδο των κλίσεων της περιοχής μελέτης κάθε pixel έχει την τιμή της κλίσης επί τοις εκατό (%), και επειδή το μοντέλο SLEUTH δέχεται ακέραιες τιμές από 0 έως 100, για τις κλίσεις σε κάθε pixel, έγινε επαναταξινόμηση των τιμών των pixel της εικόνας (Reclassify), ώστε οι τιμές που ήταν μεγαλύτερες από 100 να πάρουν την τιμή 100 και το τελικό επίπεδο των τοπογραφικών κλίσεων να έχει την μορφή που ορίζουν οι κανόνες του μοντέλου. Το τελικό επίπεδο των τοπογραφικών κλίσεων παραμένει το ίδιο και για τρεις προβλέψεις αστικής διάχυσης που πραγματοποιήθηκαν.



Εικόνα 5-1: Τελικό επίπεδο τοπογραφικών κλίσεων

5.1.2 Οδικό δίκτυο

Τα επίπεδα του οδικού δικτύου που δημιουργήθηκαν, ώστε να χρησιμοποιηθούν ως τελικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο SLEUTH, εξήχθησαν φωτοερμηνευτικά και με τηλεπισκοπικές μεθόδους από δορυφορικές εικόνες ανάλυσης 30μ, των δορυφόρων Landsat 5 και Landsat 8, οι οποίες είναι διαθέσιμες μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής earth explorer (earthexplorer.usgs.gov) της USGS. Πιο συγκεκριμένα, για το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης για το έτος 1993, χρησιμοποιήθηκε πολυφασματική δορυφορική εικόνα του Landsat 5 με ημερομηνία λήψης τον Ιούνιο του 1993. Σε αυτή εφαρμόστηκε ο λόγος των καναλιών 3 προς 5 έτσι, ώστε να είναι πιο διακριτές οι τεχνητές επιφάνειες και να είναι δυνατή η ψηφιοποίηση του κύριου οδικού δικτύου. Λόγω της ανάλυσης της εικόνας, το δευτερεύον οδικό δίκτυο δεν ήταν δυνατόν να ψηφιοποιηθεί και έτσι το τελικό σύνολο δεδομένων για το οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης δεν περιελάμβανε επιμέρους κατηγοριοποιήσεις πέραν του κύριου οδικού δικτύου. Όσο αφορά το οδικό δίκτυο της περιοχής για το έτος 2017 χρησιμοποιήθηκε πολυφασματική δορυφορική εικόνα του Landsat 8 με ημερομηνία λήψης τον Σεπτέμβριο του 2017. Λόγω της καλύτερης

ραδιομετρικής ανάλυσης της εικόνας (16bit) σε σχέση με εκείνη για το έτος 1993 (8bit), δεν χρειάστηκε να γίνει εφαρμογή λόγου καναλιών, προκειμένου να τονιστούν οι τεχνητές επιφάνειες, και έτσι ψηφιοποιήθηκε φωτοερμηνευτικά το κύριο οδικό δίκτυο της περιοχής μελέτης κατά το έτος 2017. Τέλος, τα διανυσματικά (vector) αρχεία που δημιουργήθηκαν από τις δύο ψηφιοποιήσεις μετατράπηκαν με τα κατάλληλα εργαλεία του ArcMap σε ψηφιδωτά (raster) αρχεία, που να πληρούν τους κανόνες του μοντέλου (Εικόνες 5-2, 5-3). Τα τελικά επίπεδα του οδικού δικτύου για την περιοχή μελέτης παραμένουν τα ίδια και για τρεις προβλέψεις αστικής διάχυσης που πραγματοποιήθηκαν.



Εικόνα 5-2: Τελικό επίπεδο οδικού δικτύου 1993



Εικόνα 5-3: Τελικό επίπεδο οδικού δικτύου 2017

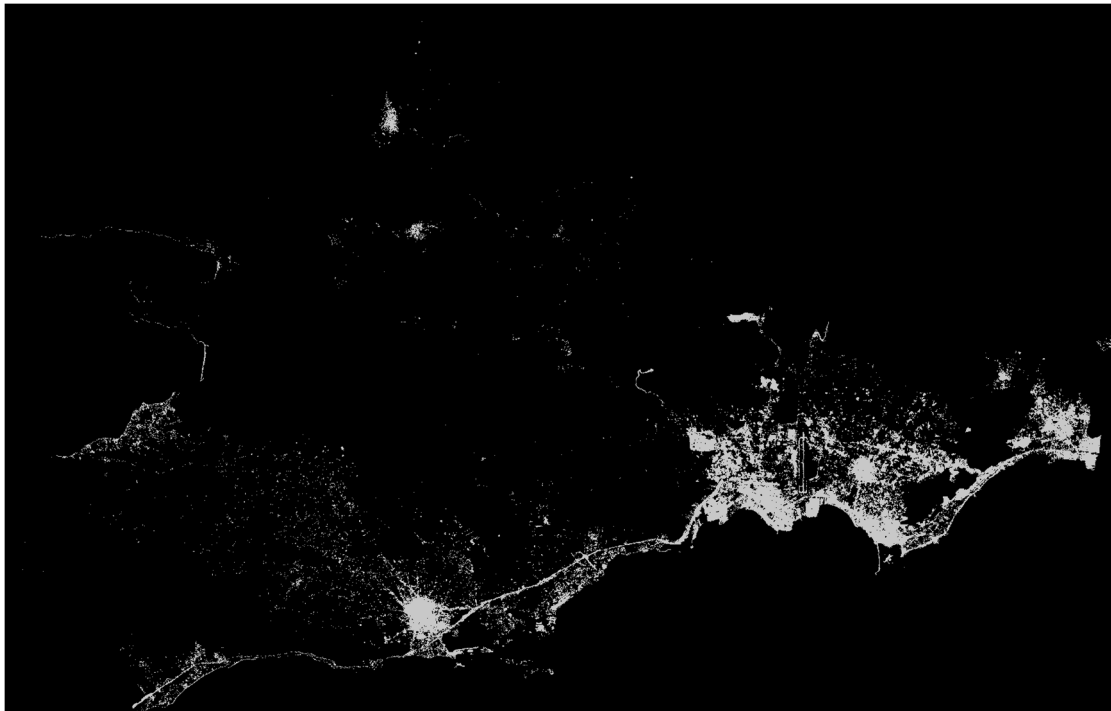
5.1.3 Αστική γη

Τα επίπεδα αστικής γης που χρησιμοποιήθηκαν ως τελικά δεδομένα εισόδου στο μοντέλο SLEUTH, εξήχθησαν από την επεξεργασία πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων, ανάλυσης 30μ, οι οποίες είναι διαθέσιμες μέσω της διαδικτυακής εφαρμογής earth explorer (earthexplorer.usgs.gov) της USGS. Για την εξαγωγή της πληροφορίας για την αστική γη κατά τα έτη 1993, 2001, 2009 στην περιοχή μελέτης, αξιοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες του Landsat 5, με βάθος χρώματος 8bit και ημερομηνίες λήψης τον Ιούνιο του 1993, τον Σεπτέμβριο του 2001 και τον Ιούλιο του 2009 αντίστοιχα, ενώ για την πληροφορία για την αστική γη το 2017, χρησιμοποιήθηκε δορυφορική εικόνα του Landsat 8, με βάθος χρώματος 16bit και ημερομηνία λήψης τον Σεπτέμβριο του 2017.

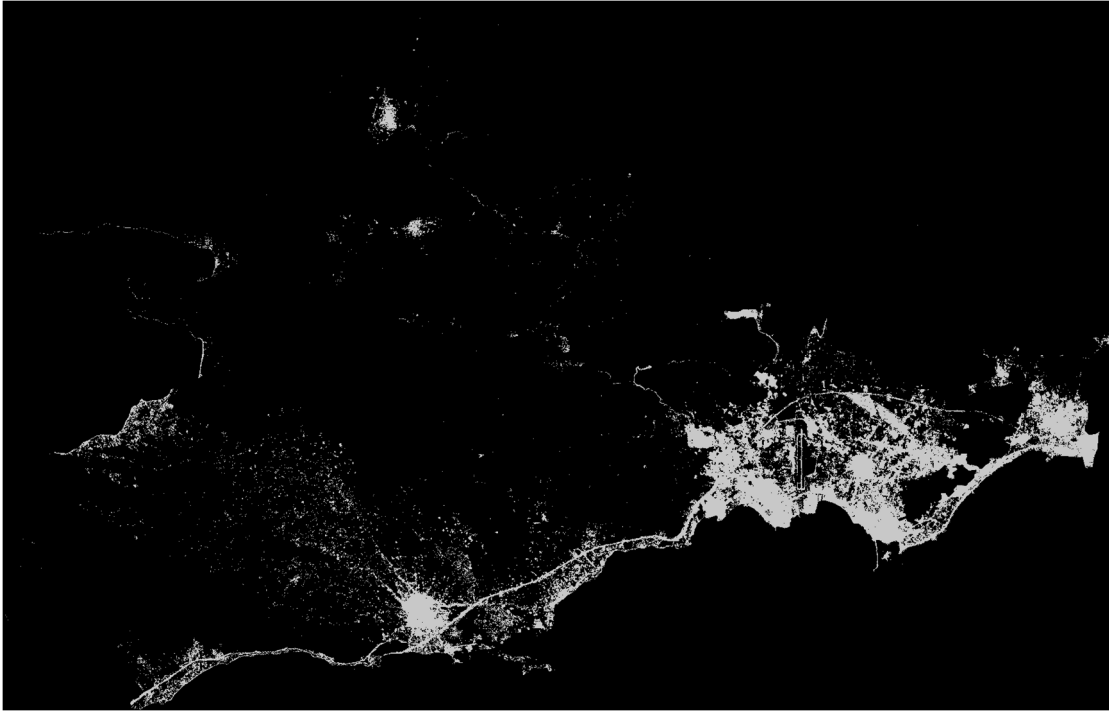
Η εξαγωγή της πληροφορίας για την αστική γη από τις δορυφορικές εικόνες για κάθε έτος επετεύχθη χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα εργαλεία του ArcMap, προκειμένου να εφαρμοστεί επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας με τον αλγόριθμο της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Classification). Αρχικά, πραγματοποιήθηκε ραδιομετρική διόρθωση των τεσσάρων εικόνων, χρησιμοποιώντας τα μεταδεδομένα που τις συνοδεύουν και τον αλγόριθμο DOS1 (Dark Object Subtraction) έτσι, ώστε να γίνει πιο ορθή επεξεργασία των εικόνων και κατά συνέπεια ορθότερη ταξινόμησή τους. Έπειτα, με την χρήση του σύνθετου καναλιών 4-3-2 για τις εικόνες του Landsat 5 και το σύνθετο 5-4-3 για την εικόνα του Landsat 8, όπου οι αστικές περιοχές τονίζονται με γαλάζιο – γκρι χρώμα, ορίστηκαν πολύγωνα εκπαίδευσης στην κάθε εικόνα, για τις διάφορες κατηγορίες χρήσεων γης που εμφανίζονται σε αυτές (αστικός ιστός, βιομηχανική περιοχή, δάσος, αρόσιμη γη, λιβάδια, σκληροφυλλική βλάστηση, απογυμνωμένοι βράχοι, γυμνό έδαφος, υδάτινες επιφάνειες). Αφού, οι τέσσερις εικόνες ταξινομήθηκαν βάσει των κατηγοριών που

αναφέρθηκαν, στη συνέχεια, διορθώθηκαν από ορισμένα προφανή σφάλματα, όπως για παράδειγμα βραχώδεις περιοχές και περιοχές εξόρυξης, που αναγνωρίστηκαν ως αστικός ιστός, λόγω παρόμοιας φασματικής υπογραφής. Στο σημείο αυτό πρέπει να αναφερθεί, ότι στο στάδιο της ταξινόμησης των τεσσάρων εικόνων δόθηκε ιδιαίτερη προσοχή, μιας και τα δεδομένα εισόδου για το μοντέλο, που εξάγονται από τις ταξινομημένες εικόνες, επηρεάζουν σημαντικά τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης και της πρόβλεψης του μοντέλου.

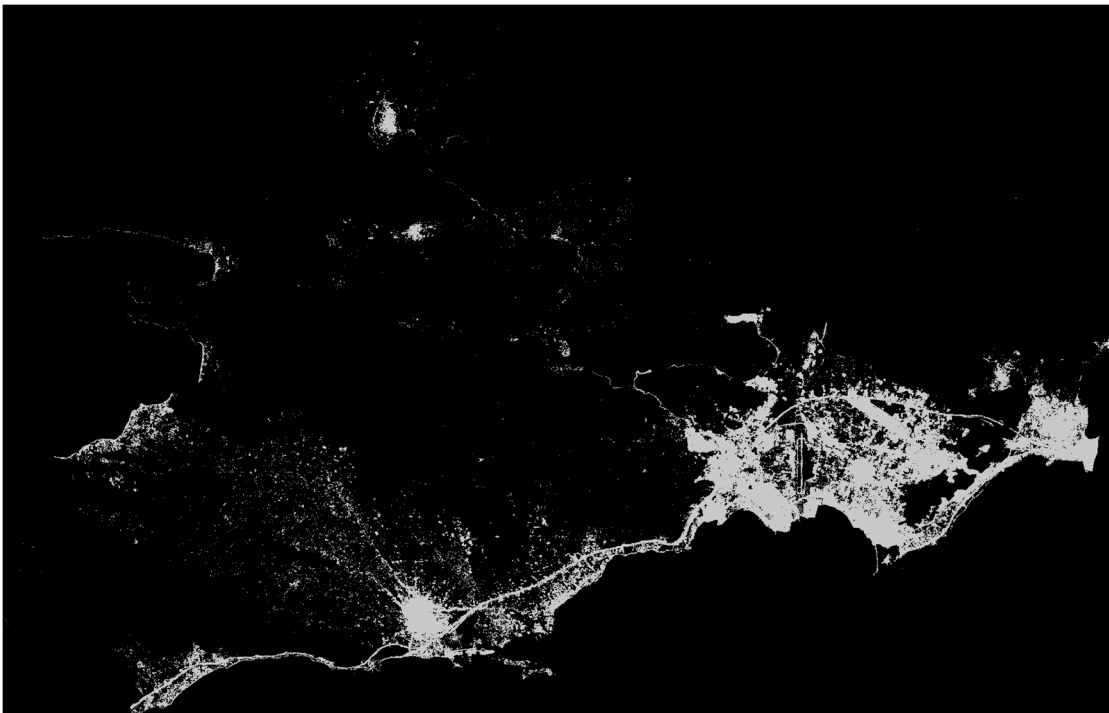
Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε η εξαγωγή της αστικής γης για κάθε έτος αναφοράς, από τις ταξινομημένες εικόνες. Η διαδικασία επετεύχθη συνενώνοντας τις κατηγορίες του αστικού ιστού και των βιομηχανικών περιοχών σε μία κλάση και τις υπόλοιπες κατηγορίες χρήσεων γης σε μία δεύτερη κλάση, αξιοποιώντας το κατάλληλο εργαλείο του ArcMap (Reclassify). Ακόμη, οι πρωτογενείς δορυφορικές εικόνες προέρχονται από διαφορετικές λήψεις, με αποτέλεσμα ορισμένα εικονοστοιχεία να μην ταξινομηθούν ως αστικά σε διαδοχικές χρονικές στιγμές, ενώ ο κανόνας του μοντέλου ορίζει ότι τα εικονοστοιχεία με αστική τιμή την χρονική στιγμή t , είναι αδύνατον να μην είναι αστικά και την χρονική στιγμή $t+x$ (x θετικός ακέραιος). Έτσι, τα τελικά επίπεδα αστικής γης ολόκληρης την περιοχή μελέτης, προέκυψαν με αλληλεπίθεση για τα έτη 2001, 2009, 2017 των προηγούμενων επιπέδων αστικής γης, ώστε να ικανοποιείται ο κανόνας του μοντέλου (Εικόνες 5-4 έως 5-7).



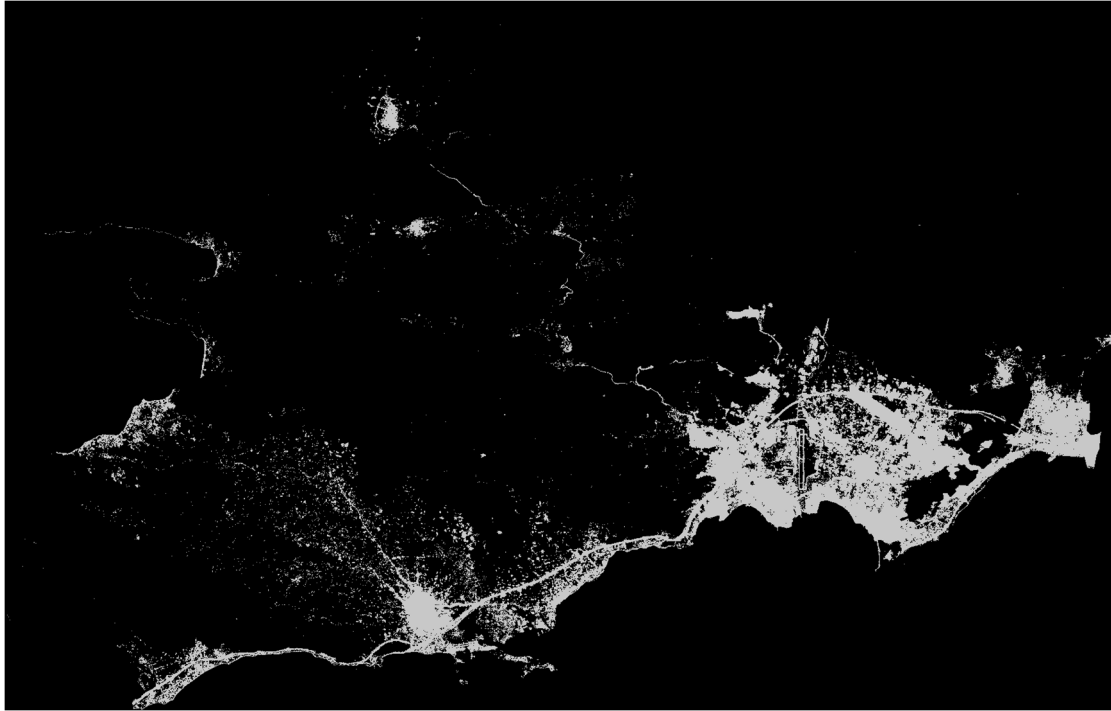
Εικόνα 5-4: Τελικό επίπεδο αστικής γης 1993



Εικόνα 5-5: Τελικό επίπεδο αστικής γης 2001



Εικόνα 5-6: Τελικό επίπεδο αστικής γης 2009



Εικόνα 5-7: Τελικό επίπεδο αστικής γης 2017

Τέλος, αξιοποιώντας τα διανυσματικά (vector) αρχεία για τα όρια των εντός ΓΠΣ περιοχών, που περιλαμβάνει η Περιφερειακή Ενότητα Δυτικής Αττικής και διατέθηκαν από τη Μονάδα Βιώσιμης Κινητικότητας της σχολής Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, ΕΜΠ, δημιουργήθηκε ένα raster επίπεδο με αυτή την πληροφορία για το κάθε ένα από τα έτη 1993, 2001, 2009, 2017. Στα επίπεδα με την πληροφορία των εντός και εκτός ΓΠΣ περιοχών έγινε κατάλληλη αλληλεπίθεση των αντίστοιχων, για κάθε χρονική στιγμή αναφοράς, επιπέδων αστικής γης προκειμένου να εξαχθούν τα σύνολα των δεδομένων εισόδου, που αφορούν την εντός και εκτός ΓΠΣ αστική γη της περιοχής μελέτης αντίστοιχα, κατά τα έτη 1993, 2001, 2009, 2017 (Εικόνες 5-8 έως 5-11).



Εικόνα 5-8: Τελικό επίπεδο εντός ΓΠΣ αστικής γης 1993



Εικόνα 5-9: Τελικό επίπεδο εντός ΓΠΣ αστικής γης 2001



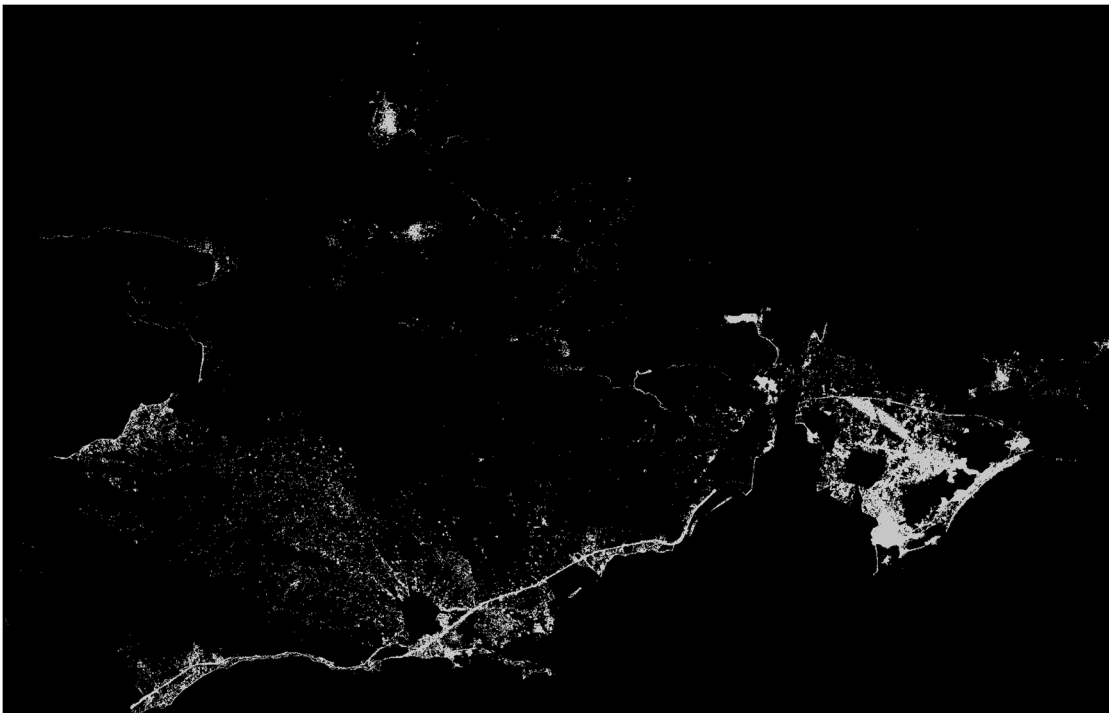
Εικόνα 5-10: Τελικό επίπεδο εντός ΓΠΣ αστικής γης 2009



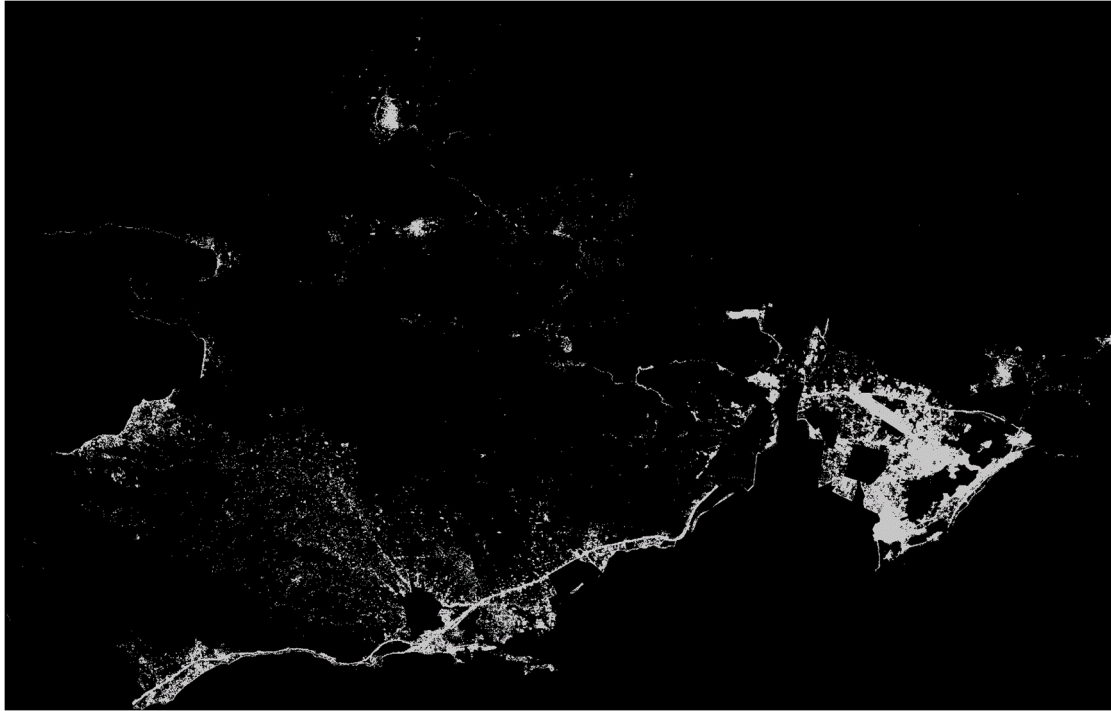
Εικόνα 5-11: Τελικό επίπεδο εντός ΓΠΣ αστικής γης 2017



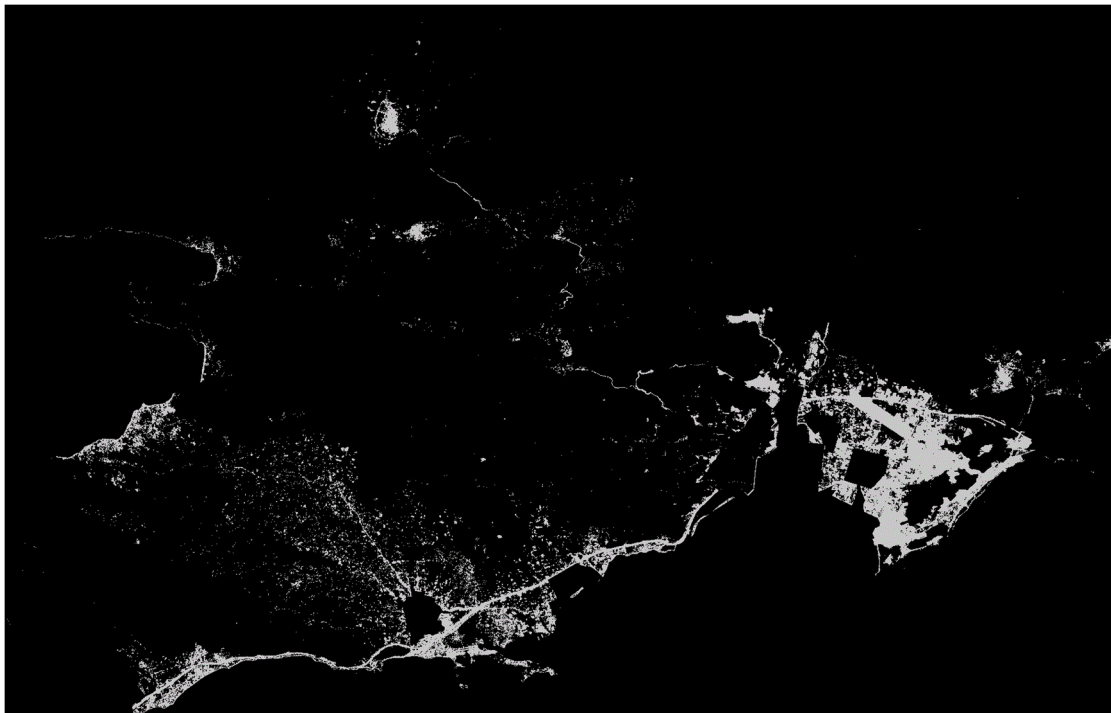
Εικόνα 5-12: Τελικό επίπεδο εκτός ΓΠΣ αστικής γης 1993



Εικόνα 5-13: Τελικό επίπεδο εκτός ΓΠΣ αστικής γης 2001



Εικόνα 5-14: Τελικό επίπεδο εκτός ΓΠΣ αστικής γης 2009

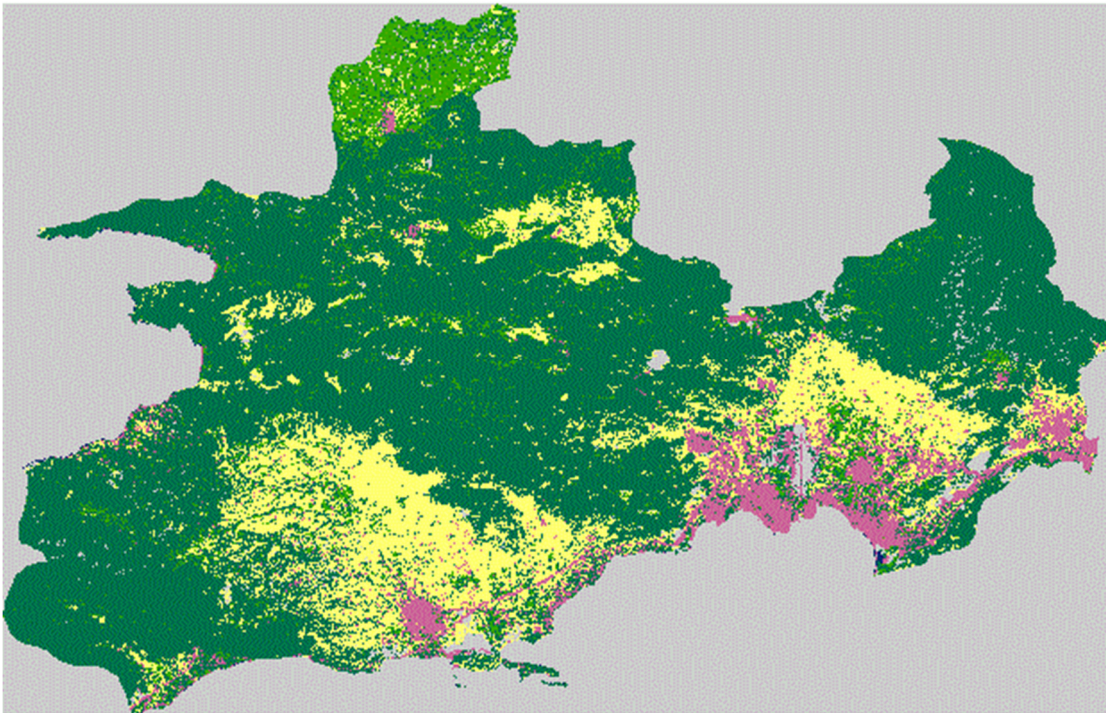


Εικόνα 5-15: Τελικό επίπεδο εκτός ΓΠΣ αστικής γης 2017

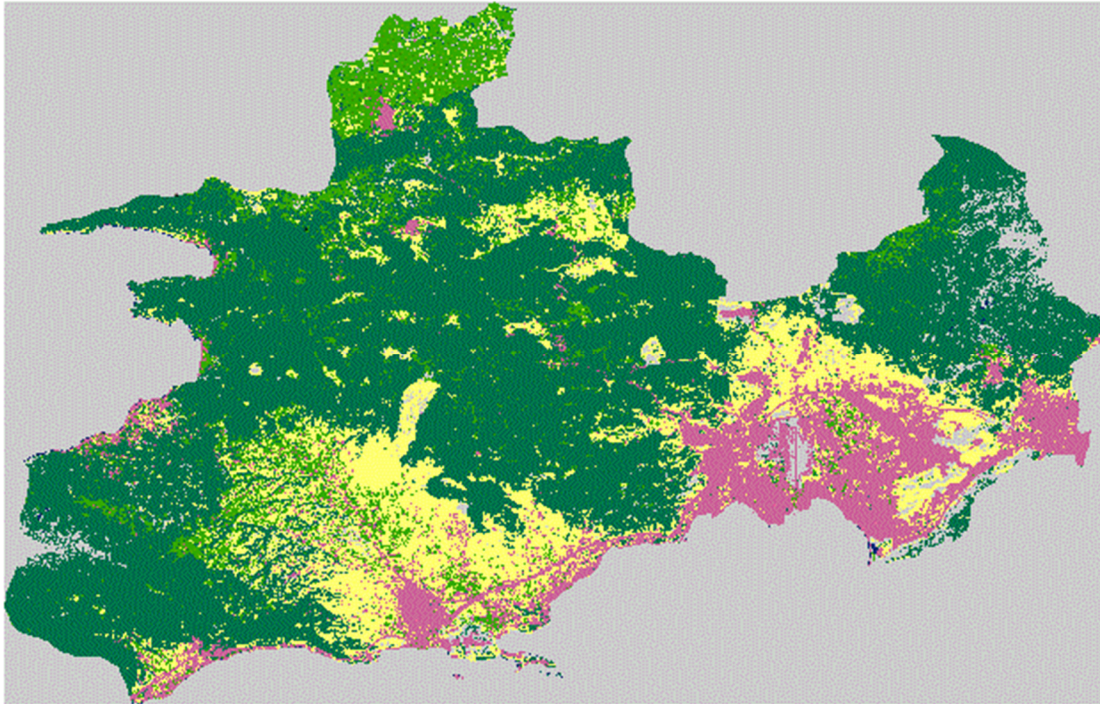
5.1.4 Χρήσεις γης

Όπως προαναφέρθηκε, το μοντέλο SLEUTH απαιτεί την εισαγωγή δεδομένων για τις χρήσεις γης της περιοχής μελέτης, προκειμένου να εκτελεστεί η λειτουργία της βαθμονόμησης του μοντέλου. Έτσι λοιπόν, από τις ταξινομημένες εικόνες που δημιουργήθηκαν και διορθώθηκαν στο προηγούμενο στάδιο, εξήχθησαν τα τελικά επίπεδα

των χρήσεων γης της περιοχή μελέτης για τα έτη 1993 και 2017 (Εικόνες 5-15, 5-16). Συγκεκριμένα, τα επίπεδα που προέκυψαν μετά την εφαρμογή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης στα πρωτογενή δεδομένα, περιλάμβαναν εννέα κατηγορίες χρήσεων γης για την περιοχή μελέτης, οπότε επιλέχθηκε ορισμένες από αυτές να συνενωθούν με κατάλληλα εργαλεία στο περιβάλλον του ArcMap (Reclassify), μιας και υπήρχε περίσσεια πληροφορίας που θα επιβάρυνε τον χρόνο βαθμονόμησης του μοντέλου άσκοπα. Τέλος, από τα τελικά επίπεδα χρήσεων γης της περιοχής μελέτης για τα έτη 1993 και 2017 που περιλάμβαναν έξι κατηγορίες χρήσεων γης (άγνωστα στοιχεία, αστική γη, δάσος, γυμνό έδαφος, καλλιέργειες, νερό), εξήχθησαν με αλληλεπίθεση των αντίστοιχων επιπέδων πληροφορίας για τις εντός και εκτός ΓΠΣ περιοχές τα τελικά επίπεδα χρήσεων γης για τις εντός και εκτός ΓΠΣ περιοχές κατά τα έτη 1993 και 2017.



Εικόνα 5-16: Τελικό επίπεδο χρήσεων γης 1993



Εικόνα 5-17: Τελικό επίπεδο χρήσεων γης 2017

5.1.5 Εξαιρούμενες περιοχές

Οι εξαιρούμενες από την αστικοποίηση περιοχές είναι αυτές εκτός των ορίων της περιοχής μελέτης, η θάλασσα, οι προστατευόμενες περιοχές που εντάσσονται στο δίκτυο Natura 2000 (τμήμα Πάρνηθας, τμήμα από τα Γεράνεια όρη), καθώς και οι περιοχές των αεροδρομίων (αεροδρόμιο Πάχης/Μεγάρων, στρατόπεδο Δελαπόρτα, στρατιωτικό αεροδρόμιο Ελευσίνας). Το τελικό επίπεδο εισόδου που αφορά τις εξαιρούμενες περιοχές (Εικόνα 5-17), προέκυψε μετά την κατάλληλη επεξεργασία των διανυσματικών αρχείων των ορίων των πέντε Καλλικρατικών δήμων που συστήνουν την περιφερειακή ενότητα Δυτικής Αττικής (<http://geodata.gov.gr/>, 2018), των ορίων των περιοχών που εντάσσονται στο δίκτυο Natura 2000 (<http://www.ypeka.gr/Default.aspx?tabid=432>, 2018) και την ψηφιοποίηση των αεροδρομίων.



Εικόνα 5-18: Τελικό επίπεδο εξαιρούμενων περιοχών (με γκρι χρώμα)

Επιπλέον, δημιουργήθηκαν δύο επίπεδα εξαιρούμενων περιοχών από την αστικοποίηση για την περίπτωση της εντός και εκτός ΓΠΣ αστικής γης αντίστοιχα. Στο επίπεδο των εξαιρούμενων περιοχών που παρουσιάστηκε προηγουμένως, προστέθηκαν οι εκτός ΓΠΣ το 2017 περιοχές, προκειμένου να εξαχθεί το επίπεδο των εξαιρούμενων περιοχών για την εντός ΓΠΣ αστική γη (Εικόνα 5-18), ενώ το επίπεδο των εξαιρούμενων περιοχών για την εκτός ΓΠΣ αστική γη (Εικόνα 5-19) προέκυψε προσθέτοντας τις εντός ΓΠΣ το 2017 περιοχές.



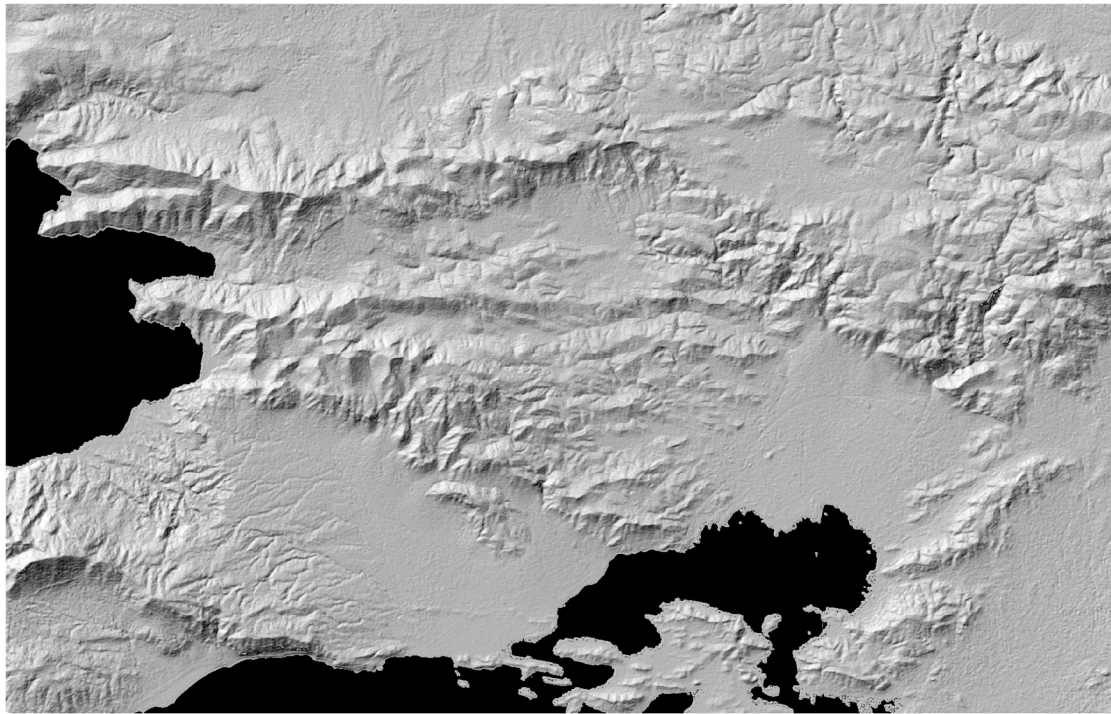
Εικόνα 5-19: Τελικό επίπεδο εξαιρούμενων περιοχών για την εντός ΓΠΣ αστική γη (γκρι χρώμα)



Εικόνα 5-20: Τελικό επίπεδο εξαιρούμενων περιοχών για την εκτός ΓΠΣ αστική γη (γκρι χρώμα)

5.1.6 Σκίαση αναγλύφου

Όπως για το επίπεδο των τοπογραφικών κλίσεων, έτσι και για το επίπεδο της σκίασης αναγλύφου αξιοποιήθηκε το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (DEM) του δορυφόρου ASTER. Συγκεκριμένα, από το γεωαναφερόμενο DEM της περιοχής μελέτης εξήχθη με την χρήση του εργαλείου Hillshade του ArcMap το επίπεδο της σκίασης αναγλύφου και στη συνέχεια δόθηκε η τιμή 0 στα pixels που απεικονίζουν το επίπεδο της θάλασσας. Το τελικό επίπεδο της σκίασης του αναγλύφου (Εικόνα 5-20) χρησιμοποιείται ως υπόβαθρο για τα εξαγόμενα αποτελέσματα και συνεπώς παραμένει το ίδιο για τρεις προβλέψεις αστικής διάχυσης που πραγματοποιήθηκαν.



Εικόνα 5-21: Τελικό επίπεδο σκίασης αναγλύφου

5.2 Εγκατάσταση και Δοκιμή του Μοντέλου

Το μοντέλο SLEUTH είναι σχεδιασμένο έτσι, ώστε να εκτελείται μέσα από το περιβάλλον εντολών του Linux. Σε περίπτωση που το λειτουργικό σύστημα που χρησιμοποιείται από το χρήστη είναι τα Windows, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ο προσομοιωτής Cygwin (<https://www.cygwin.com/>, 2018). Η έκδοση του λογισμικού Cygwin που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι η 2.5.2 για 64bit εκδόσεις των Windows και οι βιβλιοθήκες που εγκαταστάθηκαν μαζί με το Cygwin, προκειμένου να είναι δυνατή η εκτέλεση του SLEUTH, είναι οι `make`, `gdb`, `gcc`.

Το μοντέλο SLEUTH δίνει τη δυνατότητα μοντελοποίησης της αστικής ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης με την εκτέλεση των τριών λειτουργιών που διαθέτει, Test – Δοκιμή, Calibration – Βαθμονόμηση και Predict – Πρόβλεψη. Σε κάθε μία από τις λειτουργίες του μοντέλου, καλείται ένα κατάλληλα διαμορφωμένο από τον χρήστη, αρχείο σεναρίου (scenario file). Σε αυτό ορίζονται μια σειρά από ρυθμίσεις, της τα δεδομένα εισόδου, η θέση αποθήκευσης των εξαγόμενων αρχείων, τα χρώματα στα raster δεδομένα εξόδου, καθώς και η ενεργοποίηση ή απενεργοποίηση διαφόρων ρυθμίσεων του κώδικα που επιτρέπουν την εξαγωγή αρχείων με στοιχεία για την εκτέλεση της εκάστοτε λειτουργίας.

Για την εκτέλεση της λειτουργίας test του μοντέλου, χρησιμοποιήθηκε η έκδοση SLEUTH3.0beta_p01. Σε αυτή την έκδοση του μοντέλου συμπεριλαμβάνονται το μοντέλο με το κώδικά του σε γλώσσα C, βιβλιοθήκες και ένα σετ δεδομένων σαν παράδειγμα. Έτσι, αφού εισήχθησαν τα σετ δεδομένων των τριών περιπτώσεων αστικής γης (συνολική, εντός ΓΠΣ, εκτός ΓΠΣ) για τις οποίες θα εφαρμοστεί το μοντέλο και προσαρμόστηκε το scenario file της test λειτουργίας σε αυτά τα δεδομένα, πραγματοποιήθηκε η μεταγλώττιση (compile) του κώδικα του μοντέλου. Τέλος εκτελέστηκε η δοκιμαστική λειτουργία του μοντέλου για

κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις έτσι, ώστε να ελεγχθούν τα τρία σετ δεδομένων για τυχόν σφάλματα και να διορθωθούν αυτά, όπου υπάρχουν, προκειμένου να εκτελεστούν σωστά και χωρίς εμπόδια οι λειτουργίες της βαθμονόμησης και της πρόγνωσης στη συνέχεια.

5.3 Βαθμονόμηση μοντέλου

Η λειτουργία βαθμονόμησης του μοντέλου αποτελεί την πιο σημαντική διαδικασία, κατά την εφαρμογή του μοντέλου, μιας και μέσα από αυτή εξάγεται ο συνδυασμός των τιμών των παραμέτρων ελέγχου, που δίνει την δυνατότητα στο μοντέλο να προσομοιώσει πιστότερα την πραγματικότητα. Οι παράμετροι αυτοί στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για να υπολογιστούν οι τιμές των παραμέτρων της πρόβλεψης, που αποτελεί το επόμενο βήμα (Silva & Clarke, 2002). Τέλος, αποτελεί το πιο χρονοβόρο στάδιο της εφαρμογής του μοντέλου.

Οι πέντε παράμετροι που ελέγχουν τη συμπεριφορά του μοντέλου SLEUTH και των οποίων οι καταλληλότερες τιμές εξάγονται μέσα από μία επιτυχημένη εφαρμογή της βαθμονόμησης είναι:

- Diffusion (διάχυση), επηρεάζει την αυθόρμητη και την με βάση το οδικό δίκτυο ανάπτυξη.
- Spread (διάδοση), αφορά την πιθανότητα για οργανική ανάπτυξη από τα υπάρχοντα αστικά κέντρα.
- Breed (αναπαραγωγή), επηρεάζει τη δημιουργία νέων αστικών κέντρων.
- Slope Resistance (αντίσταση στην κλίση του εδάφους), αφορά την κλίση του εδάφους και είναι αντιστρόφως ανάλογη της αστικοποίησης.
- Road Gravity (βαρύτητα οδικού δικτύου), επηρεάζει το κατά πόσο ένα εικονοστοιχείο με βάση την απόσταση του από το οδικό δίκτυο πρόκειται να αστικοποιηθεί.

(<http://www.ncgia.ucsb.edu>, 2018)

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή πραγματοποιήθηκε βαθμονόμηση του μοντέλου με την χρήση γενετικού αλγόριθμου αντί της brute force μεθόδου που χρησιμοποιούνταν σε αρκετές εφαρμογές μέχρι τώρα. Το μοντέλο SLEUTH παράγει 13 δείκτες καταλληλότητας, και με βάση το γινόμενο τους επιλεγόταν ο βέλτιστος συνδυασμός των παραμέτρων ελέγχου, αν και πολλές μελέτες έχουν χρησιμοποιήσει μόνο το δείκτη Lee-Sallee (Silva και Clarke 2002). Για την παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης OSM (Optimal SLEUTH Metric, Dietzel and Clarke 2007) ως μέτρο καταλληλότητας για τη βαθμονόμηση του μοντέλου. Η τιμή αυτού του δείκτη είναι το γινόμενο των επτά από τους δεκατρείς δείκτες που παράγει το SLEUTH, και έχουν επιλεγθεί έτσι ώστε να μειωθούν οι αλληλεξαρτήσεις μεταξύ των 13 δεικτών.

Οι επτά δείκτες που συμβάλουν στον υπολογισμό του OSM είναι:

- Compare: συγκρίνει την ποσότητα της αστικής έκτασης από το μοντέλο προς την γνωστή αστική έκταση για το τελευταίο έτος ελέγχου.
- Population: η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων της αστικής έκτασης από το μοντέλο συγκρινόμενης με την πραγματική για τα έτη ελέγχου.

- Edges: η 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.
- Slope: η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων της μέσης κλίσης των αστικοποιημένων κελιών συγκρινόμενης με τη μέση κλίση των γνωστών αστικών κελιών για τα έτη ελέγχου.
- X - mean: η 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.
- Y - mean: η 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.

(<http://www.ncgia.ucsb.edu>, 2018)

Οι παραπάνω δείκτες υπολογίζονται για κάθε έτος ελέγχου, συγκρίνονται με αυτούς των δεδομένων εισόδου και υπολογίζονται οι διαφορές των ελαχίστων τετραγώνων οι οποίες καταγράφονται στο αρχείο «control_stats.log». Σε αυτό το αρχείο κάθε γραμμή έχει προκύψει από μία μοναδική εκτέλεση του μοντέλου. Στη συνέχεια, από τα αποτελέσματα επιλέγονται οι βέλτιστοι συνδυασμοί των παραμέτρων ελέγχου (diffusion, spread, breed, slope, road gravity), δηλαδή εκείνοι με την υψηλότερη τιμή του δείκτη OSM.

Σε αυτό το σημείο αναφέρεται ότι για όλες τις εργασίες της παρούσας μελέτης χρησιμοποιήθηκε ένας υπολογιστής τύπου laptop με επεξεργαστή Intel Core i5, 8GB μνήμη RAM και λειτουργικό σύστημα Windows 10 64bit. Ακόμη, η λειτουργία της βαθμονόμησης του μοντέλου εκτελέστηκε και για τις τρεις περιπτώσεις μοντελοποίησης της αστικής γης στην περιοχή μελέτης. Ο υπολογιστικός χρόνος της βαθμονόμησης για κάθε περίπτωση που εφαρμόστηκε το μοντέλο είναι:

Σύνολο δεδομένων	Διάρκεια βαθμονόμησης (min)
Συνολική Αστική Γη	486
Εντός ΓΠΣ Αστική Γη	331
Εκτός ΓΠΣ Αστική Γη	439

Πίνακας 5-2: Χρόνος βαθμονόμησης

5.3.1 Εφαρμογή βαθμονόμησης SLEUTH-GA

Για την βαθμονόμηση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκε η έκδοση SLEUTH-GA του μοντέλου, που αποτελεί και τελευταία έκδοση του μέχρι στιγμής. Η διαδικασία της βαθμονόμησης σε αυτή την έκδοση είναι σχεδόν αυτοματοποιημένη μιας και απαιτούνται ελάχιστες ενέργειες από τον χρήστη. Συγκεκριμένα, αφού εισήχθησαν τα δεδομένα εισόδου για τα οποία εκτελέστηκε προηγουμένως η δοκιμαστική λειτουργία και προσαρμόστηκαν

τα αντίστοιχα scenario files για την λειτουργία της βαθμονόμησης, πραγματοποιήθηκε η μεταγλώττιση του κώδικα του μοντέλου. Στη συνέχεια, μέσα από το περιβάλλον του Cygwin, επικαλέστηκε το shell script με όνομα «doit», ώστε να ξεκινήσει η λειτουργία βαθμονόμησης και να δημιουργηθεί ένα χρωμόσωμα, με τα πιο ικανά γονίδια για την εκάστοτε εφαρμογή. Με το πέρας της βαθμονόμησης, στο αρχείο εξόδου του shell script, επιλέγεται από την τελευταία γενιά το πρώτο γονίδιο, δηλαδή εκείνο με την υψηλότερη τιμή του δείκτη OSM, το οποίο περιέχει τον βέλτιστο συνδυασμό των παραμέτρων (diffusion, spread, breed, slope, road gravity) που δίνει την δυνατότητα στο μοντέλο να προσομοιώσει πιστότερα την πραγματικότητα.

Η διαδικασία βαθμονόμησης GA (γενετικού αλγόριθμου) συμπληρώνει ένα «χρωμόσωμα» με ένα σύνολο συνδυασμών παραμέτρων (γονίδια). Από το μοντέλο απαιτούνται πέντε τέτοιες παράμετροι (diffusion, spread, breed, slope, road gravity), όπου η τιμή της κάθε μιας να κυμαίνεται από 0 έως 100. Οι συνδυασμοί των παραμέτρων στη συνέχεια χρησιμοποιούνται για κάθε επιμέρους εκτέλεση του μοντέλου, και οι πιο επιτυχημένοι (βάσει του δείκτη OSM) επιλέγονται για μετάλλαξη (συνδυασμό των τιμών μεταξύ τους), ενώ οι λιγότερο επιτυχείς αντικαθίστανται με νέες, τυχαία επιλεγμένες τιμές. Κρίσιμες τιμές που πρέπει να παρέχονται στο γενετικό αλγόριθμο είναι το μέγεθος του πληθυσμού (αριθμός γονιδίων στο χρωμόσωμα), ο μέγιστος αριθμός γενεών (ή η ελάχιστη βελτίωση της ικανότητας να συνεχιστεί η εξέλιξη), το ποσοστό μετάλλαξης, ο αριθμός των απογόνων, και ο αριθμός των αντικαταστάσεων. Οι βέλτιστες τιμές αυτών των σταθερών για το μοντέλο SLEUTH δίνονται (Πίνακας 5-3) και ορίζονται ως προεπιλογές στο SLEUTH-GA, μια νέα έκδοση του μοντέλου SLEUTH, προκειμένου να έχουν καθολική εφαρμογή για την βαθμονόμηση του SLEUTH με την χρήση γενετικού αλγόριθμου.

Maximum number of generations	100
Population (Gene size)	55
Mutation rate	0,13
Number of offspring	55
Replacement number per generation	50

Πίνακας 5-3: Σταθερές βαθμονόμησης του SLEUTH-GA

5.3.2 Στάδιο derive coefficient values

Για την πραγματοποίηση αυτού του σταδίου χρησιμοποιήθηκε η έκδοση SLEUTH3.0beta_p01 του μοντέλου, όπου εισηχθησε το σύνολο δεδομένων της περιοχής μελέτης και προσαρμόστηκε το scenario file της calibration λειτουργίας, ώστε να αφορά αυτά τα δεδομένα. Συγκεκριμένα, δόθηκε η ονοματολογία των δεδομένων εισόδου, τροποποιήθηκαν οι τιμές των πέντε παραμέτρων ελέγχου, ώστε η αρχική και τελική τιμή για κάθε μία να ταυτίζονται και να ισούνται με την βέλτιστη τιμή που υπολογίστηκε στο προηγούμενο στάδιο και στη συνέχεια ορίστηκε το βήμα ίσο με την μονάδα. Έπειτα, ο

αριθμός των επαναλήψεων Monte Carlo τέθηκε ίσος με 100, μιας και είναι πιθανό οι τιμές των παραμέτρων κατά το τελευταίο έτος ελέγχου να μεταβληθούν σε σχέση με το πρώτο έτος, λόγω των κανόνων αυτοτροποποίησης του μοντέλου και πραγματοποιήθηκε η μεταγλώττιση (compile) του κώδικα του μοντέλου. Στη συνέχεια, εκτελέστηκε η λειτουργία βαθμονόμησης του μοντέλου (calibrate) στο περιβάλλον Cygwin και εξετάστηκε το αρχείο «avg.log» με το πέρας της. Από την τελευταία γραμμή του αρχείου (τελευταίο έτος ελέγχου) επιλέγονται οι τιμές των πέντε παραμέτρων ελέγχου του μοντέλου και στρογγυλοποιούνται, προκειμένου να εξαχθούν οι βέλτιστες τιμές των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν για το στάδιο της πρόγνωσης.

5.4 Πρόγνωση Μοντέλου

Με τη επιτυχή ολοκλήρωση του σταδίου βαθμονόμησης του μοντέλου, ακολουθεί το στάδιο της πρόβλεψης. Για την πραγματοποίηση αυτού του σταδίου χρησιμοποιήθηκε η έκδοση SLEUTH3.0beta_p01 του μοντέλου, όπου εισηχθησε το σύνολο δεδομένων της περιοχής μελέτης και προσαρμόστηκε το scenario file της predict λειτουργίας, ώστε να αφορά αυτά τα δεδομένα. Συγκεκριμένα, δόθηκε η ονοματολογία των δεδομένων εισόδου και τέθηκε ένας μεγάλος αριθμός επαναλήψεων Monte Carlo στις 100 επαναλήψεις. Ακόμη, στο σενάριο πρόβλεψης, τέθηκαν οι τιμές των πέντε παραμέτρων που προέκυψαν από το στάδιο derive coefficient values ως βέλτιστες για τη μοντελοποίηση της περιοχής μελέτης.

Η πρόβλεψη του μοντέλου πραγματοποιήθηκε για τη χρονική περίοδο 2017 – 2037, δηλαδή για διάστημα 20 ετών και για τις τρεις περιπτώσεις μοντελοποίησης της αστικής γης. Η επιλογή των 20 ετών ως περίοδος πρόβλεψης έγινε έτσι, ώστε να επιτευχθεί κατά το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια στα εξαγόμενα αποτελέσματα, μιας και όσο μεγαλύτερη είναι η περίοδος πρόβλεψης, τόσο αυξάνονται οι πιθανότητες να εμφανιστούν παράγοντες που δεν υπολογίστηκαν στην μοντελοποίηση. Παραδείγματα τέτοιων παραγόντων είναι η οικονομική κρίση και οι φυσικές καταστροφές, που επηρεάζουν σημαντικά τη συμπεριφορά της αστικής ανάπτυξης.

Με αυτά τα δεδομένα, το μοντέλο στο στάδιο πρόγνωσης παράγει είκοσι εικόνες τύπου gif για κάθε έτος της περιόδου πρόβλεψης, στις οποίες το κάθε pixel έχει ένα συγκεκριμένο χρώμα, ανάλογα με την πιθανότητα αστικοποίησής του και μία ακόμα εικόνα τύπου gif, όπου κάθε pixel παίρνει τιμή ίση με την πιθανότητα αστικοποίησής του κατά το έτος 2037. Τέλος, η λειτουργία της βαθμονόμησης του μοντέλου εκτελέστηκε και για τις τρεις περιπτώσεις μοντελοποίησης της αστικής γης στην περιοχή μελέτης.

6 Ανάλυση Αποτελεσμάτων

Στο κεφάλαιο αυτό, παρουσιάζονται αναλυτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την εφαρμογή της μεθοδολογίας που περιγράφηκε στο προηγούμενο κεφάλαιο. Στις παρακάτω ενότητες, αναλύονται 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 εντός ΓΠΣ αστικής γης, για το μοντέλο της εκτός ΓΠΣ αστικής γης και το μοντέλο της συνολικής αστικής γης. Για την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων αυτών χρησιμοποιήθηκαν ορισμένα στοιχεία που αντλήθηκαν από τα εξαγόμενα αρχεία του SLEUTH.

Έτσι, στη φάση της βαθμονόμησης, εξετάζονται η συμπεριφορά του δείκτη OSM της χωρικής συσχέτισης μεταξύ μοντελοποιημένης και πραγματικής κατάστασης της αστικής ανάπτυξης και οι τιμές των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) μετά τη βαθμονόμηση της εξάπλωσης των τριών περιπτώσεων αστικής γης με την εφαρμογή του μοντέλου SLEUTH-GA, καθώς και η συμπεριφορά των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) στα αντίστοιχα έτη ελέγχου για κάθε μία από τις τρεις βαθμονομήσεις, ύστερα από την εφαρμογή των κανόνων αυτοτροποποίησης του μοντέλου SLEUTH.

Έπειτα, στη φάση της πρόγνωσης εξετάζεται η συμπεριφορά των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) για κάθε έτος πρόβλεψης, ενώ παράλληλα οι εικόνες που παράχθηκαν με το πέρας της λειτουργίας πρόγνωσης του SLEUTH, εισήχθησαν στο περιβάλλον του ArcMap, ώστε να εξαχθούν στατιστικά στοιχεία για τις προβλέψεις της αστικής ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης κατά το έτος 2037, αλλά και περαιτέρω εικόνες που οπτικοποιούν την πιθανότητα αστικοποίησης στην περιοχή μελέτης κατά το έτος 2037.

6.1 Αποτελέσματα Βαθμονόμησης Μοντέλου

Σε πρώτη φάση, η ανάλυση των αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης αφορά την συμπεριφορά του δείκτη OSM και τις βέλτιστες τιμές των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity), που προκύπτουν από την βαθμονόμηση SLEUTH-GA (με γενετικό αλγόριθμο) της εξάπλωσης της εντός ΓΠΣ αστικής γης, της εκτός ΓΠΣ αστικής γης και της συνολικής αστικής γης της περιοχής μελέτης. Οι τιμές τους εξήχθησαν από το αρχείο εξόδου «log_55_100_50_0.13» του shell script, που επικαλέστηκε στο περιβάλλον του Cygwin, για να εκτελεστεί η λειτουργία της βαθμονόμησης και παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

	Δείκτης	Παράμετροι				
	OSM	Diffusion	Spread	Breed	Slope	Road Gravity
Εντός ΓΠΣ Αστική Γη	0,923330	95	30	31	1	1
Εκτός ΓΠΣ Αστική Γη	0,205310	49	44	37	21	43
Συνολική Αστική Γη	0,419472	48	23	92	77	73

Πίνακας 6-1: Αποτελέσματα GA βαθμονομήσεων των τριών περιπτώσεων αστικής γης

Πιο συγκεκριμένα, από τη βαθμονόμηση της εντός ΓΠΣ αστικής γης με την χρήση του μοντέλου SLEUTH-GA, η παράμετρος diffusion (διάχυση), η οποία επηρεάζει την αυθόρμητη ανάπτυξη μέσω της τυχαίας επιλογής υποψήφιων κελιών προς αστικοποίηση έλαβε την τιμή 95. Η υψηλή τιμή της παραμέτρου diffusion υποδηλώνει την πολύ μεγάλη επίδραση της διαχεόμενης ανάπτυξης στα παρατηρούμενα πρότυπα της εξάπλωσης της εντός ΓΠΣ αστικής γης στην περιοχή μελέτης. Ακόμη, η παράμετρος spread (εξάπλωση), που αφορά στην πιθανότητα για οργανική ανάπτυξη από υπάρχοντα αστικά κέντρα, έλαβε την τιμή 30, πράγμα που σημαίνει ότι η συμπεριφορά που εκφράζει αυτή η παράμετρος αποτελεί καθοριστικό χαρακτηριστικό της αστικής διάχυσης που παρατηρείται για την εντός ΓΠΣ αστική γη στην περιοχή μελέτης. Εξίσου σημαντική φαίνεται να είναι και η ανάπτυξη νέων κέντρων μιας και η παράμετρος breed που αφορά την πιθανότητα εμφάνισης νέων αστικών κέντρων εξάπλωσης έλαβε την τιμή 31. Από την άλλη, η παράμετρος slope (κλίση), που αφορά στην κλίση του εδάφους και είναι αντιστρόφως ανάλογη της αστικοποίησης, καθώς και η παράμετρος road gravity (επίδραση του οδικού δικτύου) φαίνεται να μην παίζουν σημαντικό ρόλο στη μοντελοποίηση της εξάπλωσης της εντός ΓΠΣ αστικής γης στην περιοχή μελέτης, μιας και έλαβαν την τιμή 1.

Αντίστοιχα, από τη βαθμονόμηση της εκτός ΓΠΣ αστικής γης αστικής γης με την χρήση του μοντέλου SLEUTH-GA, η παράμετρος diffusion (διάχυση), η οποία επηρεάζει την αυθόρμητη ανάπτυξη μέσω της τυχαίας επιλογής υποψήφιων κελιών προς αστικοποίηση έλαβε την τιμή 49, γεγονός που δείχνει ότι η διαχεόμενη ανάπτυξη αποτελεί καθοριστικό χαρακτηριστικό της αστικής διάχυσης που παρατηρείται για την εκτός ΓΠΣ αστική γη στην περιοχή μελέτης. Εξίσου σημαντικές για την μοντελοποίηση της εξάπλωσης της εκτός ΓΠΣ αστικής γης στην περιοχή μελέτης φαίνεται να είναι η οργανική ανάπτυξη από υπάρχοντα αστικά κέντρα, η πιθανότητα εμφάνισης νέων αστικών κέντρων εξάπλωσης και η επίδραση του οδικού δικτύου μιας και οι παράμετροι spread, breed και road gravity έλαβαν τις τιμές 44, 37 και 43 αντίστοιχα. Στη μοντελοποίηση της εκτός ΓΠΣ αστικής γης φαίνεται ότι η βαρύτητα του οδικού δικτύου είναι πολύ μεγαλύτερη σε σχέση με την εντός ΓΠΣ αστική γη, δεδομένου ότι αυτή εμφανίζεται και παραπλεύρως των οδικών υποδομών. Την μικρότερη τιμή σε σχέση με τις υπόλοιπες παραμέτρους έλαβε η παράμετρος slope (κλίση), η οποία ήταν 21, παίζοντας και αυτή όμως σημαντικό ρόλο στη μοντελοποίηση της εξάπλωσης της εκτός ΓΠΣ αστικής γης στην περιοχή μελέτης.

Παράλληλα, από τη βαθμονόμηση της συνολικής αστικής γης στην περιοχή μελέτης με την χρήση του μοντέλου SLEUTH-GA, η παράμετρος breed (ανάπτυξη νέων κέντρων) έλαβε την ιδιαίτερα υψηλή τιμή 92, γεγονός που καθιστά ιδιαίτερα σημαντική την επίδρασή

της στη μοντελοποίηση της διάχυσης της συνολικής αστικής γης στην περιοχή μελέτης. Μεγάλη επίδραση στην εξάπλωση της συνολικής αστικής γης στην περιοχή μελέτης φαίνεται να έχουν επίσης η κλίση του εδάφους και η επίδραση του οδικού δικτύου, μιας και οι παράμετροι slope και road gravity έλαβαν τις τιμές 77 και 73 αντίστοιχα. Αυτή η μεγάλη διαφοροποίηση στην τιμή της παραμέτρου slope (κλίση), από περίπτωση σε περίπτωση, οφείλεται στο γεγονός ότι οι εντός ΓΠΣ περιοχές έχουν πολύ χαμηλές τοπογραφικές κλίσεις, ενώ στη μοντελοποίηση της συνολικής αστικής γης λαμβάνονται υπόψη και οι εκτός ΓΠΣ περιοχές που παρουσιάζουν μεγάλες διακυμάνσεις στην τοπογραφική τους κλίση. Στη συνέχεια, για τη βαθμονόμηση της διάχυσης της συνολικής αστικής γης στην περιοχή μελέτης, ακολουθούν η αυθόρμητη ανάπτυξη μέσω της τυχαίας επιλογής υποψήφιων κελιών προς αστικοποίηση, όπου η παράμετρος diffusion (διάχυση) έλαβε την τιμή 48 και η πιθανότητα για οργανική ανάπτυξη από υπάρχοντα αστικά κέντρα, όπου η παράμετρος spread (εξάπλωση) έλαβε την τιμή 23.

Επιπλέον, μελετώνται οι μέγιστες τιμές του εξαγόμενου από το μοντέλο SLEUTH-GA δείκτη OSM για τη βαθμονόμηση της εξάπλωσης της εντός ΓΠΣ αστικής γης, της εκτός ΓΠΣ αστικής γης και της συνολικής αστικής γης της περιοχής μελέτης. Ο δείκτης OSM εκφράζει τη χωρική συσχέτιση μεταξύ μοντελοποιημένης και πραγματικής κατάστασης της αστικής ανάπτυξης και όπως φαίνεται και στον Πίνακα 5-4 εμφανίζει την υψηλότερη τιμή στη περίπτωση της βαθμονόμησης της εξάπλωσης της εντός ΓΠΣ αστικής γης. Ακολουθούν αντίστοιχα η περίπτωση της συνολικής αστικής γης και της εκτός ΓΠΣ αστικής γης. Το γεγονός ότι οι εντός ΓΠΣ περιοχές παρουσιάζουν υψηλή τιμή του δείκτη OSM και συνεπώς μεγάλη χωρική συσχέτιση είναι λογικό, μιας και οι εντός ΓΠΣ περιοχές είναι συμπαγείς και σχεδόν κορεσμένες.

Τέλος, για την ανάλυση των αποτελεσμάτων της βαθμονόμησης εξετάζεται και η συμπεριφορά των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) στα αντίστοιχα έτη ελέγχου για κάθε μία από τις τρεις βαθμονομήσεις, αφού εφαρμόστηκαν οι κανόνες αυτοτροποποίησης (self modification rules) του μοντέλου SLEUTH. Οι κανόνες αυτοί ουσιαστικά μέσα από τη λειτουργία τους επιτρέπουν τη μεταβολή των πέντε παραμέτρων με στόχο να μοντελοποιηθούν πιο ρεαλιστικά οι διαφορετικοί ρυθμοί ανάπτυξης που παρατηρούνται σε ένα αστικό σύστημα σε συνάρτηση με το χρόνο. Με αυτό τον τρόπο, 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 προσομοιώσει μόνο ένα γραμμικό ρυθμό ανάπτυξης (Jantz et al, 2003). Οι μέσες τιμές των παραμέτρων που προέκυψαν για τα έτη ελέγχου σε κάθε μία από τις τρεις βαθμονομήσεις καταγράφονται στο αρχείο εξόδου «avg.log», της calibration λειτουργίας, με το πέρας του σταδίου «derive coefficient values».

Για την εντός ΓΠΣ αστική γη, τα στοιχεία που εξήχθησαν από το αρχείο «avg.log» με το πέρας του σταδίου «derive coefficient values» είναι:

Εντός ΓΠΣ Αστική Γη					
Έτος Ελέγχου	Τιμές Παραμέτρων				
year	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
2001	100,00	31,85	32,91	1,00	9,35
2009	100,00	31,85	32,91	1,00	20,35
2017	0,39	0,20	0,20	43,94	18,31

Πίνακας 6-2: Συμπεριφορά παραμέτρων βαθμονόμησης εντός ΓΠΣ αστικής γης

Από τα στοιχεία του Πίνακα 6-2, παρατηρείται ότι η παράμετρος diffusion έφτασε την τιμή 100 το 2001, την οποία και διατήρησε το 2009, ενώ το 2017 έφτασε στο άλλο άκρο με το να μειωθεί, προσεγγίζοντας την τιμή 0. Ίδια συμπεριφορά παρουσίασαν και οι παράμετροι spread και breed, οι οποίες το 2001 έλαβαν τις τιμές 31,85 και 32,91 αντίστοιχα, διατήρησαν τις τιμές τους το 2009 και το 2017 μειώθηκαν απότομα προσεγγίζοντας την τιμή 0. Αντίστροφα, η παράμετρος Slope, διατήρησε την τιμή 1 για τα έτη 2001 και 2009, ενώ το 2017 αυξήθηκε απότομα, λαμβάνοντας την τιμή 43,94. Από την άλλη, η παράμετρος road gravity, παρουσίασε αυξητική τάση μέχρι το 2009, λαμβάνοντας την τιμή 9,35 το 2001 και 20,35 το 2009, ενώ το 2017 μειώθηκε στην τιμή 18,31. Παρατηρείται λοιπόν, ότι μετά την εφαρμογή των κανόνων αυτοτροποποίησης οι παράμετροι diffusion, spread, breed παίρνουν τιμές που επιδρούν δυσμενώς στην περαιτέρω αστικοποίηση της περιοχής και οι παράμετροι slope και road gravity τείνουν να λάβουν τέτοιες τιμές. Η συμπεριφορά αυτή του μοντέλου οφείλεται στο γεγονός ότι οι εντός ΓΠΣ περιοχές της Περιφερειακής Ενότητας Δυτικής Αττικής το 2017 είναι σχεδόν κορεσμένες, έχοντας πολύ μικρές εκτάσεις διαθέσιμες προς αστικοποίηση στο μέλλον. Έτσι, οι τιμές της τελευταίας γραμμής του Πίνακα 6-2 στρογγυλοποιήθηκαν, προκειμένου να εξαχθούν οι τελικές τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο της πρόγνωσης του μοντέλου.

Εντός ΓΠΣ Αστική Γη	
Παράμετρος	Τελική Τιμή
Diffusion	1
Spread	1
Breed	1
Slope	44
Road Gravity	18

Πίνακας 6-3: Τελικές τιμές παραμέτρων εντός ΓΠΣ αστικής γης

Για την εκτός ΓΠΣ αστική γη, τα στοιχεία που εξήχθησαν από το αρχείο «avg.log» με το πέρας του σταδίου «derive coefficient values» είναι:

Εκτός ΓΠΣ Αστική Γη					
Έτος Ελέγχου	Τιμές Παραμέτρων				
year	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
2001	52,53	47,17	39,67	16,52	43,45
2009	56,89	51,08	42,96	8,96	44,20
2017	61,60	55,32	46,52	1,00	45,29

Πίνακας 6-4: Συμπεριφορά παραμέτρων βαθμονόμησης εκτός ΓΠΣ αστικής γης

Από τα στοιχεία του Πίνακα 6-4, παρατηρείται ότι η παράμετρος diffusion παρουσίασε ανοδική τάση, λαμβάνοντας τις τιμές 52,53 το 2001, 56,89 το 2009 και 61,60 το 2017. Η παράμετρος spread έλαβε τις τιμές 47,17 έως 55,32, στα τρία έτη ελέγχου, με αυξητική τάση. Ίδια συμπεριφορά παρουσίασε και η παράμετρος breed, η οποία πήρε τις τιμές 39,67 για το έτος 2001, 42,96 για το έτος 2009 και 46,52 για το έτος 2017. Αντίστροφα, η παράμετρος slope παρουσίασε μείωση σε όλα τα έτη ελέγχου, μιας και έλαβε τις τιμές 16,52 το 2001, 8,96 το 2009 και 1 το 2017. Ακόμη, η παράμετρος road gravity παρουσίασε αύξηση από το ένα έτος ελέγχου στο άλλο, σημειώνοντας τις τιμές 43,45, 44,20 και 45,29 στα έτη 2001, 2009 και 2017, αντίστοιχα. Παρατηρείται λοιπόν, ότι με την εφαρμογή των κανόνων αυτοτροποποίησης του μοντέλου, όλες οι παράμετροι παρουσιάζουν αυξητική τάση, εκτός από την παράμετρο slope. Το γεγονός αυτό είναι φυσιολογικό για την συμπεριφορά του μοντέλου μιας και η παράμετρος slope είναι αντιστρόφως ανάλογη της αστικοποίησης, δηλαδή όσο πιο μικρές είναι οι τιμές της παραμέτρου slope, τόσο πιο ευνοϊκές είναι οι συνθήκες αστικοποίησης. Έτσι, οι τιμές της τελευταίας γραμμής του Πίνακα 6-4 στρογγυλοποιήθηκαν, προκειμένου να εξαχθούν οι τελικές τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο της πρόγνωσης του μοντέλου.

Εκτός ΓΠΣ Αστική Γη	
Παράμετρος	Τελική Τιμή
Diffusion	62
Spread	55
Breed	47
Slope	1
Road Gravity	45

Πίνακας 6-5: Τελικές τιμές παραμέτρων εκτός ΓΠΣ αστικής γης

Για την συνολική αστική γη, τα στοιχεία που εξήχθησαν από το αρχείο «avg.log» με το πέρας του σταδίου «derive coefficient values» είναι:

Συνολική Αστική Γη					
Έτος Ελέγχου	Τιμές Παραμέτρων				
year	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
2001	51,46	24,66	98,64	70,88	73,61
2009	55,73	26,70	100,00	62,56	74,44
2017	60,34	28,91	100,00	52,59	75,44

Πίνακας 6-6: Συμπεριφορά παραμέτρων βαθμονόμησης συνολικής αστικής γης

Από τα στοιχεία του Πίνακα 6-6, παρατηρείται ότι η παράμετρος diffusion παρουσίασε ανοδική τάση, λαμβάνοντας τις τιμές 51,46 το 2001, 55,73 το 2009 και 60,34 το 2017. Η παράμετρος spread έλαβε τις τιμές 24,66 έως 28,91, στα τρία έτη ελέγχου, με αυξητική τάση. Αυξητική τάση παρουσίασε και η παράμετρος breed, η οποία πήρε τις τιμές 98,64 για το έτος 2001, 100 για το έτος 2009, την οποία και διατήρησε το έτος 2017. Αντίστροφα, η παράμετρος slope παρουσίασε μείωση σε όλα τα έτη ελέγχου, μιας και έλαβε τις τιμές 70,88 το 2001, 62,56 το 2009 και 52,59 το 2017. Ακόμη, η παράμετρος road gravity παρουσίασε αύξηση από το ένα έτος ελέγχου στο άλλο, σημειώνοντας τις τιμές 73,61, 74,44 και 75,44

στα έτη 2001, 2009 και 2017, αντίστοιχα. Παρατηρείται λοιπόν, ότι με την εφαρμογή των κανόνων αυτοτροποποίησης του μοντέλου, όλες οι παράμετροι παρουσιάζουν αυξητική τάση, εκτός από την παράμετρο slope. Το γεγονός αυτό είναι φυσιολογικό για την συμπεριφορά του μοντέλου μιας και η παράμετρος slope είναι αντιστρόφως ανάλογη της αστικοποίησης, δηλαδή όσο πιο μικρές είναι οι τιμές της παραμέτρου slope, τόσο πιο ευνοϊκές είναι οι συνθήκες αστικοποίησης. Χαρακτηριστική είναι και η αύξηση της τιμής της παραμέτρου breed, που εκφράζει την ανάπτυξη νέων κέντρων, και η οποία έλαβε την μέγιστη δυνατή τιμή για τα έτη ελέγχου 2009 και 2017. Έτσι, οι τιμές της τελευταίας γραμμής του Πίνακα 6-6 στρογγυλοποιήθηκαν, προκειμένου να εξαχθούν οι τελικές τιμές των παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκαν στο στάδιο της πρόγνωσης του μοντέλου.

Συνολική Αστική Γη	
Παράμετρος	Τελική Τιμή
Diffusion	60
Spread	29
Breed	100
Slope	53
Road Gravity	75

Πίνακας 6-7: Τελικές τιμές παραμέτρων συνολικής αστικής γης

6.2 Αποτελέσματα Πρόβλεψης Μοντέλου

Η πρόβλεψη του μοντέλου πραγματοποιήθηκε για τη χρονική περίοδο 2017 – 2037, δηλαδή για διάστημα 20 ετών και για τις τρεις περιπτώσεις μοντελοποίησης της αστικής γης (εντός ΓΠΣ, εκτός ΓΠΣ, συνολική). Για την εκτέλεση της λειτουργίας πρόβλεψης του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των παραμέτρων που εξήχθησαν με το πέρας του σταδίου «derive coefficient values» της βαθμονόμησης. Έτσι, για την ανάλυση των αποτελεσμάτων της πρόβλεψης του μοντέλου, εξετάζεται η συμπεριφορά των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) για κάθε έτος πρόβλεψης, ενώ παράλληλα οι εικόνες που παράχθηκαν με το πέρας της λειτουργίας πρόγνωσης του SLEUTH, επεξεργάστηκαν κατάλληλα στο περιβάλλον του ArcMap, προκειμένου να εξαχθούν νέες εικόνες και στατιστικά στοιχεία, που περιγράφουν τις πιθανότητες αστικής διάχυσης στην περιοχή μελέτης το 2037 για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις.

Αρχικά, όσο αφορά τη συμπεριφορά των παραμέτρων (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) του μοντέλου, οι μέσες τιμές των παραμέτρων που προέκυψαν για τα έτη πρόβλεψης σε κάθε μία από τις τρεις βαθμονομήσεις καταγράφονται στο αρχείο εξόδου «avg.log», της predict λειτουργίας, με το πέρας του σταδίου της πρόγνωσης.

Για την εντός ΓΠΣ αστική γη, τα στοιχεία που εξήχθησαν από το αρχείο «avg.log» με το πέρας του σταδίου της πρόγνωσης του μοντέλου είναι:

Εντός ΓΠΣ Αστική Γη					
year	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
2018	1,00	1,00	1,00	44,00	18,00
2019	0,09	0,09	0,09	60,20	16,38
2020	1,00	1,00	1,00	76,41	14,76
2021	0,09	0,09	0,09	92,62	13,14
2022	1,00	1,00	1,00	100,00	11,52
2023	0,09	0,09	0,09	100,00	9,90
2024	1,00	1,00	1,00	100,00	8,27
2025	0,09	0,09	0,09	100,00	6,65
2026	1,00	1,00	1,00	100,00	5,03
2027	0,09	0,09	0,09	100,00	3,40
2028	1,00	1,00	1,00	100,00	1,78
2029	0,09	0,09	0,09	100,00	0,16
2030	1,00	1,00	1,00	100,00	1,00
2031	0,09	0,09	0,09	100,00	1,00
2032	1,00	1,00	1,00	100,00	1,00
2033	0,09	0,09	0,09	100,00	1,00
2034	1,00	1,00	1,00	100,00	1,00
2035	0,09	0,09	0,09	100,00	1,00
2036	1,00	1,00	1,00	100,00	1,00
2037	0,09	0,09	0,09	100,00	1,00

Πίνακας 6-8: Συμπεριφορά παραμέτρων πρόβλεψης εντός ΓΠΣ αστικής γης

Από τα στοιχεία του Πίνακα 6-8, παρατηρείται ότι η παράμετρος diffusion έλαβε τις τιμές 1 και 0,09 εναλλάξ για κάθε έτος πρόβλεψης καταλήγοντας να έχει την τιμή 0,09 το 2037. Ίδιες τιμές έλαβαν και οι παράμετροι spread και breed για κάθε έτος ελέγχου αντίστοιχα. Η παράμετρος slope ξεκίνησε από την τιμή 44 και ακολούθησε ανοδική τάση, λαμβάνοντας την τιμή 100 από το 2022 έως το 2037. Αντίθετα, η παράμετρος road gravity παρουσίασε καθοδική τάση, μιας και οι τιμές της κυμάνθηκαν από 18 (για το έτος 2018) έως 1 (για τα έτη 2030 έως 2037). Παρατηρείται λοιπόν, ότι μετά την εφαρμογή της λειτουργίας πρόβλεψης οι παράμετροι παίρνουν τιμές που επιδρούν σχεδόν απαγορευτικά στην περαιτέρω αστικοποίηση της περιοχής. Συνεπώς, οι παράμετροι κατά την λειτουργία της πρόβλεψης παρουσίασαν την ίδια συμπεριφορά με την βαθμονόμηση της αστικής διάχυσης της εντός ΓΠΣ αστικής γης. Η συμπεριφορά αυτή του μοντέλου είναι αναμενόμενη, μιας και οι εντός ΓΠΣ περιοχές της Περιφερειακής Ενότητας Δυτικής Αττικής το 2017 είναι σχεδόν κορεσμένες, έχοντας πολύ μικρές εκτάσεις διαθέσιμες προς αστικοποίηση στο μέλλον.

Αντίστοιχα, για την εκτός ΓΠΣ αστική γη, τα στοιχεία που εξήχθησαν από το αρχείο «avg.log» με το πέρας του σταδίου της πρόγνωσης του μοντέλου είναι:

Εκτός ΓΠΣ Αστική Γη					
year	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
2018	62,00	55,00	47,00	1,00	45,00
2019	62,62	55,55	47,47	1,00	45,11
2020	63,25	56,11	47,94	1,00	45,23
2021	63,88	56,67	48,42	1,00	45,36
2022	64,52	57,23	48,91	1,00	45,49
2023	65,16	57,81	49,40	1,00	45,64
2024	65,81	58,38	49,89	1,00	45,79
2025	66,47	58,97	50,39	1,00	45,95
2026	67,14	59,56	50,89	1,00	46,11
2027	67,81	60,15	51,40	1,00	46,23
2028	68,49	60,75	51,92	1,00	46,47
2029	69,17	61,36	52,44	1,00	46,66
2030	69,86	61,98	52,96	1,00	46,86
2031	70,56	62,60	53,49	1,00	47,07
2032	71,27	63,22	54,03	1,00	47,28
2033	71,98	63,85	54,57	1,00	47,50
2034	72,70	64,49	55,11	1,00	47,73
2035	73,43	65,14	55,66	1,00	47,97
2036	74,16	65,79	56,22	1,00	48,21
2037	74,90	66,45	56,78	1,00	48,46

Πίνακας 6-9: Συμπεριφορά παραμέτρων πρόβλεψης εκτός ΓΠΣ αστικής γης

Από τα στοιχεία του Πίνακα 6-9, παρατηρείται ότι η παράμετρος diffusion παρουσίασε ανοδική τάση, λαμβάνοντας τις σχετικά υψηλές τιμές 62 το 2018 μέχρι 74,90 το 2037. Οι υψηλές τιμές της παραμέτρου diffusion για κάθε έτος πρόβλεψης υποδηλώνουν την μεγάλη επίδραση της διαχεόμενης ανάπτυξης στην εξάπλωση της εκτός ΓΠΣ αστικής γης στην περιοχή μελέτης. Οι παράμετροι spread και breed έλαβαν, για τα έτη πρόβλεψης, τις τιμές 55 έως 66,45 και 47 έως 56,78 αντίστοιχα, παρουσιάζοντας αυξητική τάση. Οι τιμές των παραμέτρων spread και breed καταδεικνύουν την σημαντική επιρροή της οργανικής ανάπτυξης από υπάρχοντα αστικά κέντρα και της πιθανότητας εμφάνισης νέων αστικών κέντρων εξάπλωσης, στην ανάπτυξη της εκτός ΓΠΣ αστικής γης στην περιοχή μελέτης. Από την άλλη, η παράμετρος slope έμεινε σταθερή στη τιμή 1 σε όλα τα έτη πρόβλεψης, επηρεάζοντας ελάχιστα την την εξάπλωση της εκτός ΓΠΣ αστικής γης. Ακόμη, η παράμετρος road gravity παρουσίασε αύξηση από το ένα έτος πρόβλεψης στο άλλο, σημειώνοντας την τιμή 45 το 2018 και φτάνοντας την τιμή 48,46 το 2037, δείχνοντας σημαντική επιρροή στην εξάπλωση της εκτός ΓΠΣ αστικής γης. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι όλες οι παράμετροι κατά τη διαδικασία της πρόβλεψης ακολούθησαν την ίδια τάση που παρουσιάζαν και κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης.

Επίσης, για την συνολική αστική γη, τα στοιχεία που εξήχθησαν από το αρχείο «avg.log» με το πέρας του σταδίου της πρόγνωσης του μοντέλου είναι:

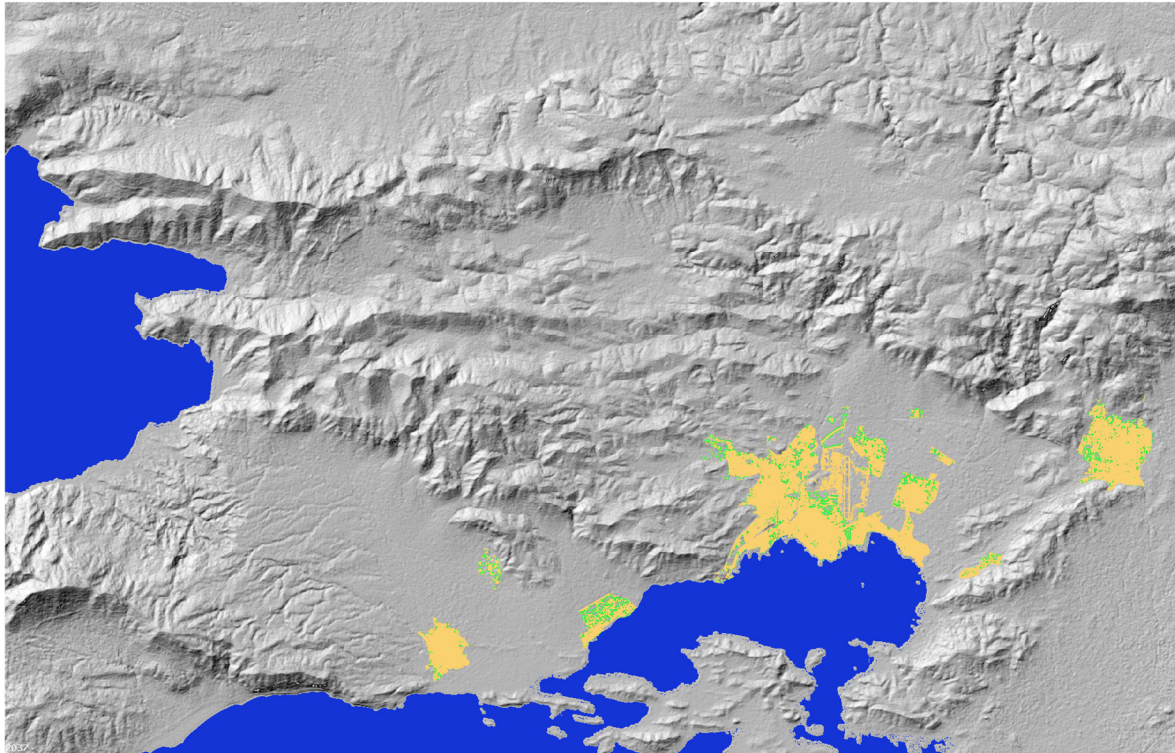
Συνολική Αστική Γη					
year	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
2018	60,00	29,00	100,00	53,00	75,00
2019	60,60	29,29	100,00	51,49	75,15
2020	61,21	29,58	100,00	49,94	75,31
2021	61,82	29,88	100,00	48,35	75,46
2022	52,44	30,18	100,00	46,73	75,63
2023	63,06	30,48	100,00	45,08	75,79
2024	63,69	30,78	100,00	43,38	75,96
2025	64,33	31,09	100,00	41,66	76,13
2026	64,97	31,40	100,00	39,89	76,31
2027	65,62	31,72	100,00	38,08	76,49
2028	66,28	32,03	100,00	36,24	76,68
2029	66,94	32,35	100,00	34,35	76,86
2030	67,61	32,68	100,00	32,43	77,06
2031	68,29	33,00	100,00	30,46	77,25
2032	68,97	33,33	100,00	28,46	77,45
2033	69,66	33,67	100,00	26,41	77,66
2034	70,35	34,00	100,00	24,31	77,89
2035	81,06	34,34	100,00	22,17	78,08
2036	71,77	34,69	100,00	19,99	78,30
2037	72,49	35,04	100,00	17,75	78,52

Πίνακας 6-10: Συμπεριφορά παραμέτρων πρόβλεψης συνολικής αστικής γης

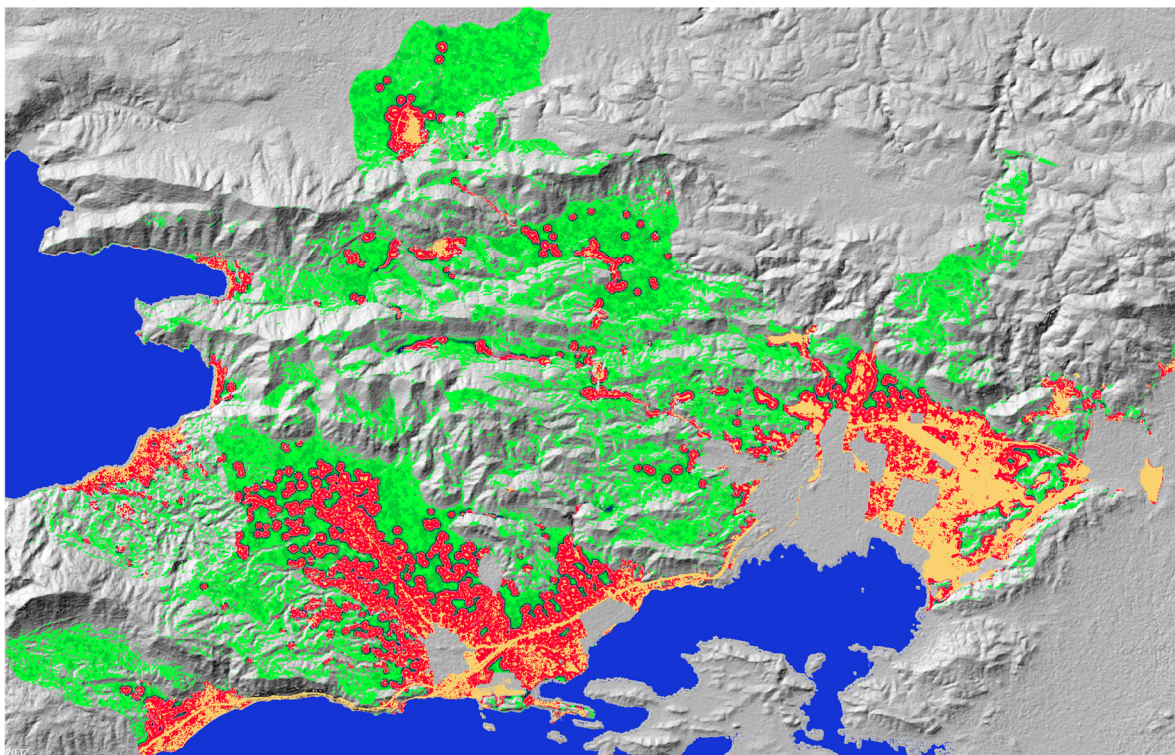
Από τα στοιχεία του Πίνακα 6-10, παρατηρείται ότι η παράμετρος diffusion παρουσίασε ανοδική τάση, λαμβάνοντας τις σχετικά υψηλές τιμές 60 το 2018 μέχρι 72,49 το 2037. Οι υψηλές τιμές της παραμέτρου diffusion για κάθε έτος πρόβλεψης υποδηλώνουν την μεγάλη επίδραση της διαχεόμενης ανάπτυξης στην εξάπλωση της συνολικής αστικής γης στην περιοχή μελέτης. Η παράμετρος spread έλαβε, για τα έτη πρόβλεψης, τις τιμές 29 έως 35,04, παρουσιάζοντας αυξητική τάση και καταδεικνύοντας την σημαντική επιρροή της οργανικής ανάπτυξης από υπάρχοντα αστικά κέντρα στην ανάπτυξη της συνολικής αστικής γης στην περιοχή μελέτης. Από την άλλη, η παράμετρος breed έμεινε σταθερή στη τιμή 100 σε όλα τα έτη πρόβλεψης, επηρεάζοντας σε μεγάλο βαθμό την εξάπλωση της συνολικής αστικής γης. Ακόμη, η παράμετρος road gravity παρουσίασε αύξηση από το ένα έτος πρόβλεψης στο άλλο, σημειώνοντας την τιμή 75 το 2018 και φτάνοντας την τιμή 78,52 το 2037, δείχνοντας σημαντική επιρροή στην εξάπλωση της συνολικής αστικής γης. Αντίθετα, η παράμετρος slope παρουσίασε καθοδική τάση, λαμβάνοντας την τιμή 53 το 2018 και καταλήγοντας στην τιμή 17,75 το 2037. Συμπεραίνεται λοιπόν, ότι όλες οι παράμετροι κατά τη διαδικασία της πρόβλεψης ακολούθησαν την ίδια τάση που παρουσίαζαν και κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης.

Με το πέρας της λειτουργίας πρόβλεψης για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις (εντός ΓΠΣ, εκτός ΓΠΣ, συνολική αστική γη), το SLEUTH παράγαγε μια σειρά αρχείων μεταξύ των οποίων και εικόσι εικόνες που αναφέρονται στα έτη πρόβλεψης (2018 έως 2037) και στις οποίες απεικονίζεται η αστική κάλυψη για κάθε έτος. Πιο συγκεκριμένα, πρόκειται για εικόνες τύπου gif ίδιου μεγέθους και ανάλυσης με τα δεδομένα εισόδου στο SLEUTH, στις

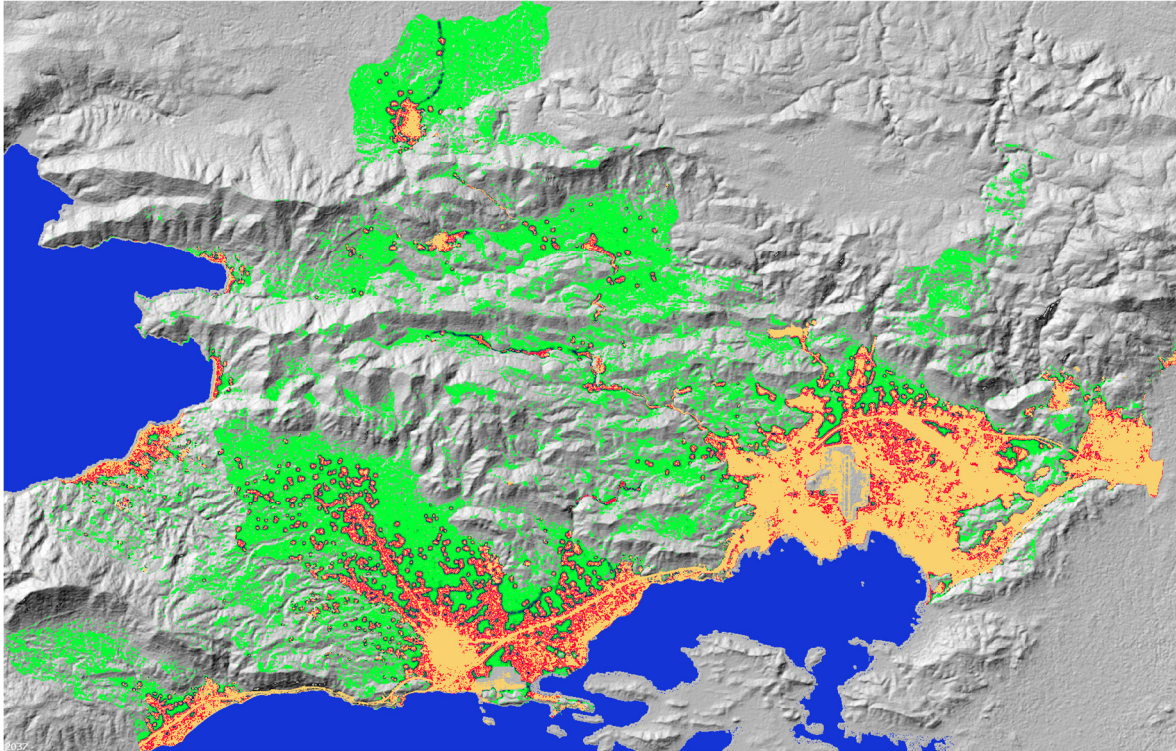
οποίες κάθε pixel λαμβάνει χρώμα, ανάλογα με τη πιθανότητα αστικοποίησής του. Παρακάτω, παρατίθενται οι εικόνες που προέκυψαν ως αποτέλεσμα της πρόβλεψης για την εντός ΓΠΣ αστική γη, την εκτός ΓΠΣ αστική γη και την συνολική αστική γη κατά το έτος 2037.



Εικόνα 6-1: Αποτέλεσμα της πρόβλεψης του SLEUTH για την εντός ΓΠΣ αστική γη το 2037



Εικόνα 6-2: Αποτέλεσμα της πρόβλεψης του SLEUTH για την εκτός ΓΠΣ αστική γη το 2037



Εικόνα 6-3: Αποτέλεσμα της πρόβλεψης του SLEUTH για την συνολική αστική γη το 2037

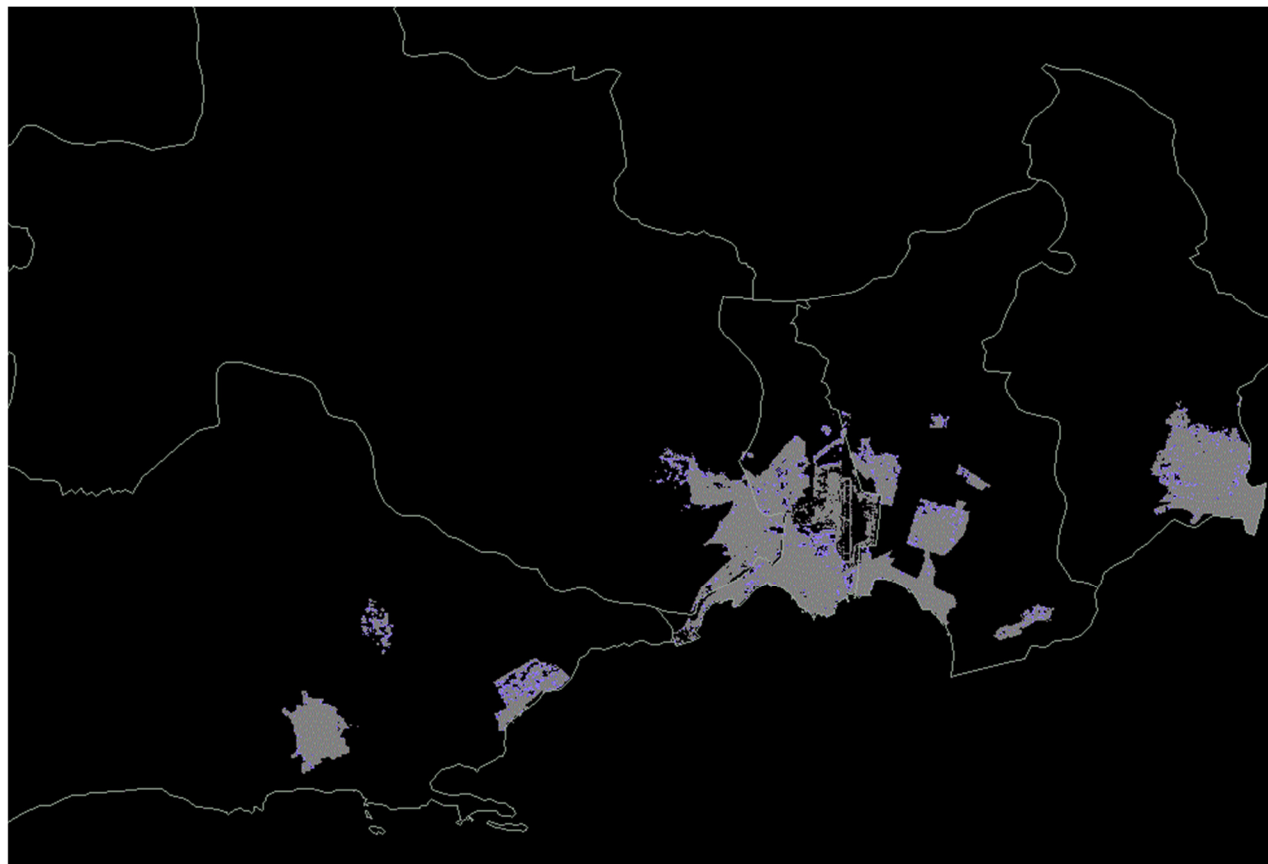
Στις εικόνες 6-1, 6-2 και 6-3 απεικονίζονται με μπλε ανοιχτό χρώμα οι αστικές περιοχές κατά το έτος 2017, με γαλάζιο χρώμα οι θάλασσα, ενώ η απόχρωση με την οποία απεικονίζεται κάθε περιοχή ανάλογα με την πιθανότητα αστικοποίησής της κατά το έτος 2037 φαίνεται στον παρακάτω πίνακα.

Πιθανότητα Αστικοποίησης (ποσοστό %)	Χρώμα
1-10	Light Green
10-20	Green
20-30	Dark Green
30-40	Teal
40-50	Dark Teal
50-60	Dark Blue
60-70	Red-Orange
70-80	Orange
80-90	Pink
90-100	Red

Πίνακας 6-11: Απόχρωση pixel ανάλογα με τη πιθανότητα αστικοποίησής του

Στη συνέχεια, οι εικόνες που προέκυψαν ως αποτελέσματα της πρόβλεψης του μοντέλου για κάθε μία από τις τρεις περιπτώσεις, εισήχθησαν στο περιβάλλον του ArcMap για επεξεργασία. Με αυτό τον τρόπο, εξήχθησαν νέες εικόνες που παρουσιάζουν πιο εποπτικά τη πιθανότητα αστικοποίησης στην περιοχή μελέτης κατά το έτος 2037, καθώς και ορισμένα χρήσιμα ποσοτικοποιημένα αποτελέσματα σε σχέση με τις προβλέψεις που πραγματοποιήθηκαν.

Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία της εικόνας πρόβλεψης του SLEUTH για την εντός ΓΠΣ αστική γη το 2037 στο περιβάλλον του ArcMap, είναι:



Εικόνα 6-4: Πρόβλεψη εξάπλωσης εντός ΓΠΣ αστικής γης το 2037

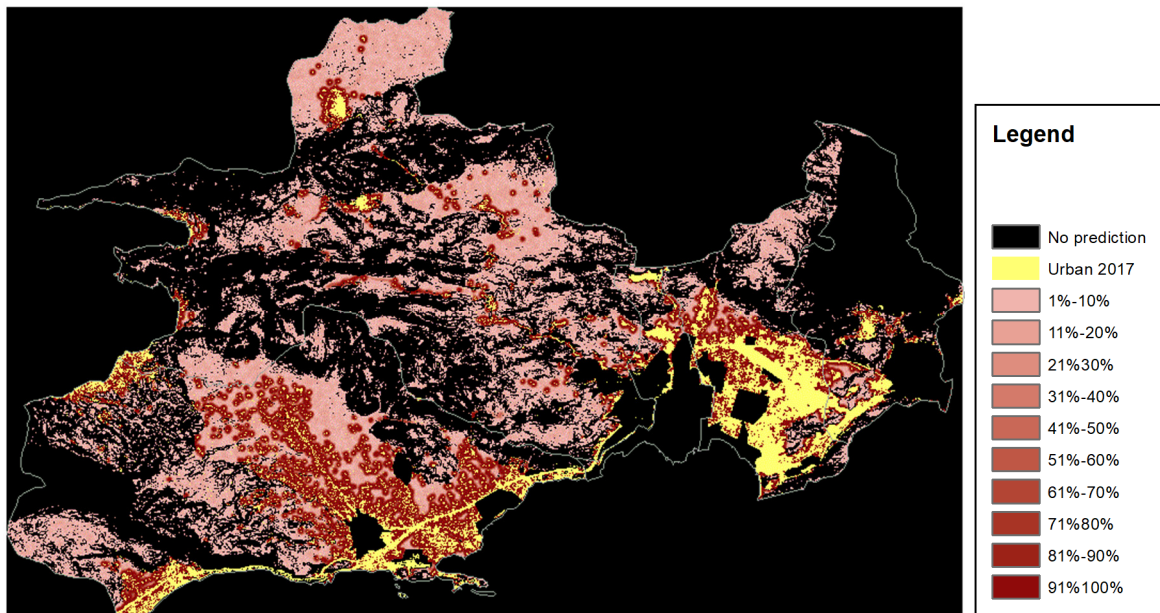
Εντός Σχεδίου Αστική Γη		
Πιθανότητες αστικοποίησης (%)	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)
1% - 10%	4.882	4.393,8
11% - 20%	739	665,1
21% - 30%	20	18,0
31% - 40%	1	0,9
41% - 50%	0	0,0
51% - 60%	0	0,0
61% - 70%	0	0,0
71% - 80%	0	0,0
81% - 90%	0	0,0
91% - 100%	0	0,0

Πίνακας 6-12: Πιθανότητες αστικοποίησης για την εντός ΓΠΣ αστική γη

Παρατηρείται λοιπόν, ότι η εξάπλωση της εντός ΓΠΣ αστικής γης το 2037 (pixel με αποχρώσεις του μπλε) είναι πολύ περιορισμένη σε μέγεθος και εντοπίζεται γύρω από τα ήδη

αστικοποιημένα pixels το 2017 (γκρι χρώμα), εντός των ορίων των ΓΠΣ. Ακόμη, το μεγαλύτερο πλήθος pixels που προβλέπεται να μετατραπεί σε εντός ΓΠΣ αστική γη, εντάσσεται στην κατηγορία με πιθανότητα αστικοποίησης 1%-10% (4882 pixels), ενώ ακολουθούν οι κατηγορίες πιθανοτήτων 11%-20% (739 pixels), 21%-30% (20 pixels) και 31%-40% με μόλις 1 pixel. Χαρακτηριστικό, επίσης, είναι το γεγονός ότι δεν προβλέπεται κανένα pixel να αστικοποιηθεί με πιθανότητα άνω του 40%, δηλαδή, είναι αβέβαιο κατά πόσο θα αναπτυχθεί η εντός ΓΠΣ αστική γη την επόμενη εικοσαετία, με βάση τα όρια των προς αστικοποίηση περιοχών που έχουν δωθεί. Η συμπεριφορά αυτή του μοντέλου είναι λογική, μιας και οι εντός ΓΠΣ περιοχές της Περιφερειακής Ενότητας Δυτικής Αττικής το 2017 είναι σχεδόν κορεσμένες, έχοντας πολύ μικρές εκτάσεις διαθέσιμες προς αστικοποίηση στο μέλλον.

Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία της εικόνας πρόβλεψης του SLEUTH για την εκτός ΓΠΣ αστική γη το 2037 στο περιβάλλον του ArcMap, είναι:



Εικόνα 6-5: Πρόβλεψη εξάπλωσης εκτός ΓΠΣ αστικής γης το 2037

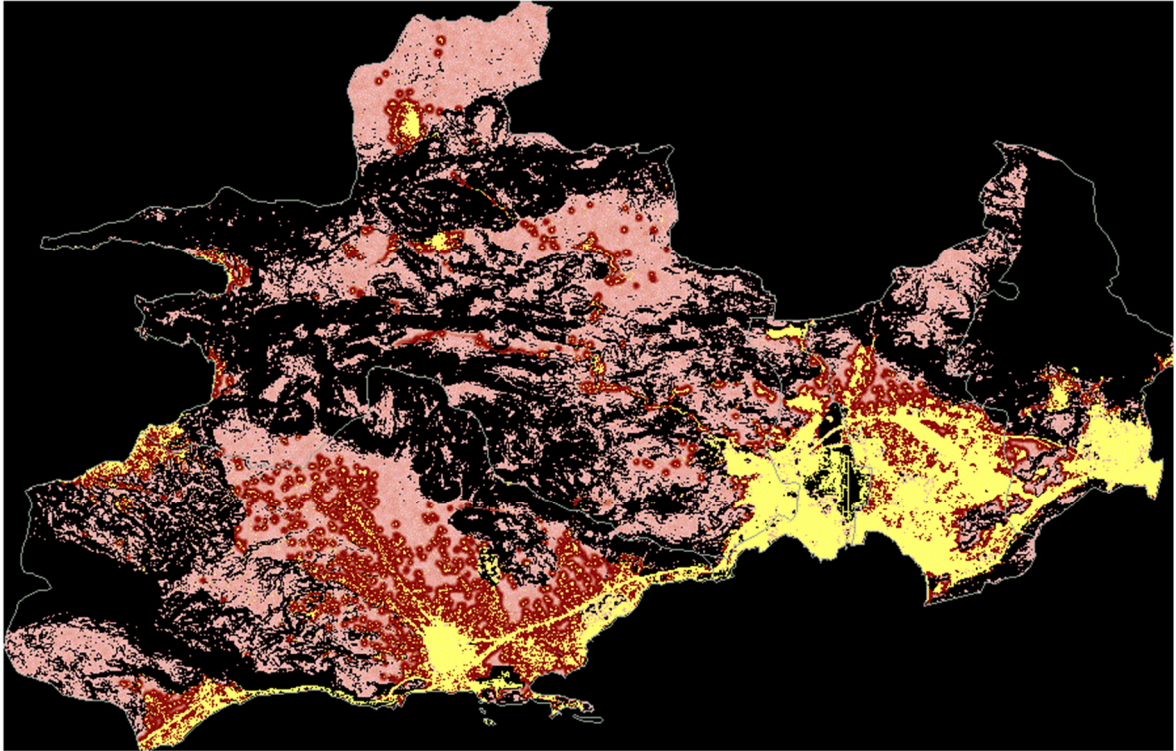
Εκτός Σχεδίου Αστική Γη		
Πιθανότητες αστικοποίησης (%)	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)
1% - 10%	225.463	202.916,7
11% - 20%	68.973	62.075,7
21% - 30%	8.852	7.966,8
31% - 40%	6.602	5.941,8
41% - 50%	5.995	5.395,5
51% - 60%	5.767	5.190,3
61% - 70%	6.540	5.886,0
71% - 80%	7.692	6.922,8
81% - 90%	11.077	9.969,3
91% - 100%	95.992	86.392,8

Πίνακας 6-13: Πιθανότητες αστικοποίησης για την εκτός ΓΠΣ αστική γη

Παρατηρείται λοιπόν, ότι τα περισσότερα pixel που προβλέπεται να μετατραπούν σε εκτός ΓΠΣ αστική γη, εντάσσονται στην κατηγορία με πιθανότητα αστικοποίησης 1%-10% (225463 pixels), ενώ ακολουθούν οι κατηγορίες πιθανοτήτων 91%-100% (95992 pixels), 11%-20% (68973 pixels) και 81%-90% (11077 pixels). Σε κάθε μία από τις υπόλοιπες κατηγορίες εντάχθηκαν 5500 έως 9000 pixels περίπου.

Στην Εικόνα 6-5, τα pixel για τα οποία δεν υπήρξε πρόβλεψη απεικονίζονται με μαύρο χρώμα, τα pixel τα οποία ήταν ήδη αστικά το 2017 με μπλε ανοιχτό χρώμα και τα pixel για τα οποία υπήρξε πρόβλεψη απεικονίζονται με τόνους του κόκκινου. Γενικότερα παρατηρείται ότι οι εντονότερες τάσεις διάχυσης της αστικοποίησης εντοπίζονται στις περιοχές γύρω από τις ήδη αστικές του 2017. Συγκεκριμένα, οι πιο έντονες και μεγάλες σε έκταση αστικοποιήσεις προβλέπονται για την ευρύτερη περιοχή των Μεγάρων, κατά μήκος της επαρχιακής οδού Αλεποχωρίου-Μεγάρων, καθώς και δυτικά και βόρεια της Νέας Περάμου, με αποτέλεσμα Μέγαρο και Νέα Πέραμος να σχηματίζουν μία νέα, ενιαία, αστική οντότητα. Σημαντική αστικοποίηση εμφανίζεται βορειοδυτικά της Κινέτας, βόρεια του Ασπρόπυργου, δυτικά των Βιλίων (με μικρούς οικισμούς όπως τον Αγ. Νεκτάριο να αναπτύσσονται αρκετά), καθώς και δυτικά των Ερυθρών. Ηπιότερες τάσεις αστικοποίησης παρατηρούνται για τους οικισμούς Ψάθα, Πόρτο Γερμενο και για την Φυλή. Τέλος, αστικοποίηση παρατηρείται και κατά μήκος της Ε.Ο. Ελευσίνας-Θηβών και στην διασταύρωσή της με το Παλαιοχώρι.

Επόμενο στάδιο αποτέλεσε η δημιουργία ενός αρχείου, στο οποίο απεικονίζονται ταυτόχρονα οι πιθανότητες αστικοποίησης τόσο για την εντός ΓΠΣ αστική γη, όσο και για την εκτός ΓΠΣ αστική γη, ώστε να παρέχεται μια συνολική εκτίμηση και για τους δύο αστικούς τύπους. Για το λόγο αυτό, τα αρχεία της πρόβλεψης της εντός ΓΠΣ και της εκτός ΓΠΣ αστικής γης συνδυάστηκαν κατάλληλα μεταξύ τους στο περιβάλλον του ArcMap, προκειμένου να προκύψει ένα αρχείο της σύνθεσης αυτών των δύο προβλέψεων, στο οποίο θα απεικονίζονται ταυτόχρονα οι πιθανότητες αστικοποίησης και για τους δύο αστικούς τύπους κατά το έτος 2037.



Εικόνα 6-6: Σύνθεση προβλέψεων εξάπλωσης εντός και εκτός ΓΠΣ αστικής γης

Από την εικόνα της σύνθεσης των προβλέψεων, διαπιστώνεται ότι οι δύο προβλέψεις δεν έχουν αλληλοεπικαλύψεις, δηλαδή, η εξάπλωση της εκτός ΓΠΣ αστικής γης πραγματοποιείται εκτός των ορίων των ΓΠΣ και η εξάπλωση της εντός ΓΠΣ αστικής γης πραγματοποιείται εντός των ορίων των ΓΠΣ. Το αποτέλεσμα αυτό είναι λογικό και επόμενο, βάσει των εξαιρούμενων περιοχών προς αστικοποίηση που δόθηκαν στο μοντέλο για την κάθε περίπτωση μοντελοποίησης της αστικής διάχυσης. Έτσι, οι παρατηρούμενες τάσεις αστικοποίησης της σύνθεσης των προβλέψεων είναι αυτές που περιγράφηκαν για την εξάπλωση της εντός και της εκτός ΓΠΣ αστικής γης.

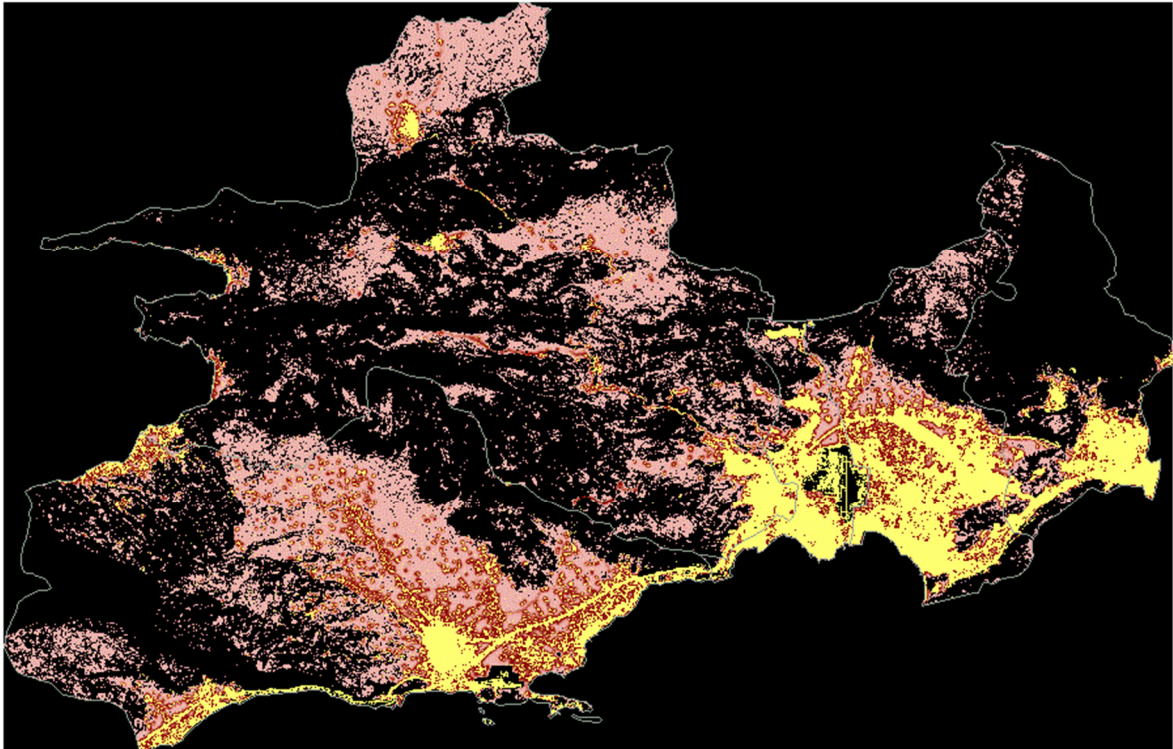
Έπειτα, πραγματοποιήθηκε ανάλυση του αρχείου της σύνθεσης των προβλέψεων στο περιβάλλον του ArcMap και εξήχθησαν ο αριθμός των pixels ανάλογα με την πιθανότητα αστικοποίησής τους και η αντίστοιχη έκτασή τους σε στρέμματα, όπου και διαπιστώθηκε το προηγούμενο συμπέρασμα.

Σύνθεση Αστικής Γης		
Πιθανότητες αστικοποίησης (%)	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)
1% - 10%	230.345	207.310,5
11% - 20%	69.712	62.740,8
21% - 30%	8.872	7.984,8
31% - 40%	6.603	5.942,7
41% - 50%	5.995	5.395,5
51% - 60%	5.767	5.190,3
61% - 70%	6.540	5.886,0
71% - 80%	7.692	6.922,8
81% - 90%	11.077	9.969,3
91% - 100%	95.992	86.392,8

Πίνακας 6-14: Πιθανότητες αστικοποίησης για την σύνθεση προβλέψεων

Τα περισσότερα pixel που προβλέπεται να μετατραπούν σε αστικά κατά την σύνθεση των προβλέψεων, εντάσσονται στην κατηγορία με πιθανότητα αστικοποίησης 1%-10% (230345 pixels), ενώ ακολουθούν οι κατηγορίες πιθανοτήτων 91%-100% (95992 pixels), 11%-20% (69712 pixels) και 81%-90% (11077 pixels). Σε κάθε μία από τις υπόλοιπες κατηγορίες εντάχθηκαν 5500 έως 9000 pixels περίπου. Στις κατηγορίες με πιθανότητα αστικοποίησης από 1% έως 40% το πλήθος των pixel αποτελείται από το άθροισμα των pixel της εντός και της εκτός ΓΠΣ πρόβλεψης για κάθε κατηγορία αντίστοιχα, ενώ στις κατηγορίες από 41% έως 100% το πλήθος των pixel αποτελείται μόνο από το πλήθος των pixel της εκτός ΓΠΣ πρόβλεψης, μιας και η πρόβλεψη της εντός ΓΠΣ αστικής γης δεν παρουσιάζει αστικοποίηση με πιθανότητα πάνω από 41%.

Σε αυτό το σημείο, τονίζεται ότι κρίσιμο στάδιο της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε αποτέλεσε η σύγκριση του αρχείου σύνθεσης των προβλέψεων για την εντός και την εκτός ΓΠΣ αστική γη με εκείνο της πρόβλεψης για την συνολική αστική γη, προκειμένου να διαπιστωθεί εάν και κατά πόσο οι δύο μέθοδοι συγκλίνουν, αλλά και τι ομοιότητες και τι διαφορές παρατηρούνται ανάμεσα στις δύο προσεγγίσεις. Τα αποτελέσματα από την επεξεργασία της εικόνας πρόβλεψης του SLEUTH για την συνολική αστική γη το 2037 στο περιβάλλον του ArcMap, είναι:



Εικόνα 6-7: Πρόβλεψη εξάπλωσης συνολικής αστικής γης το 2037

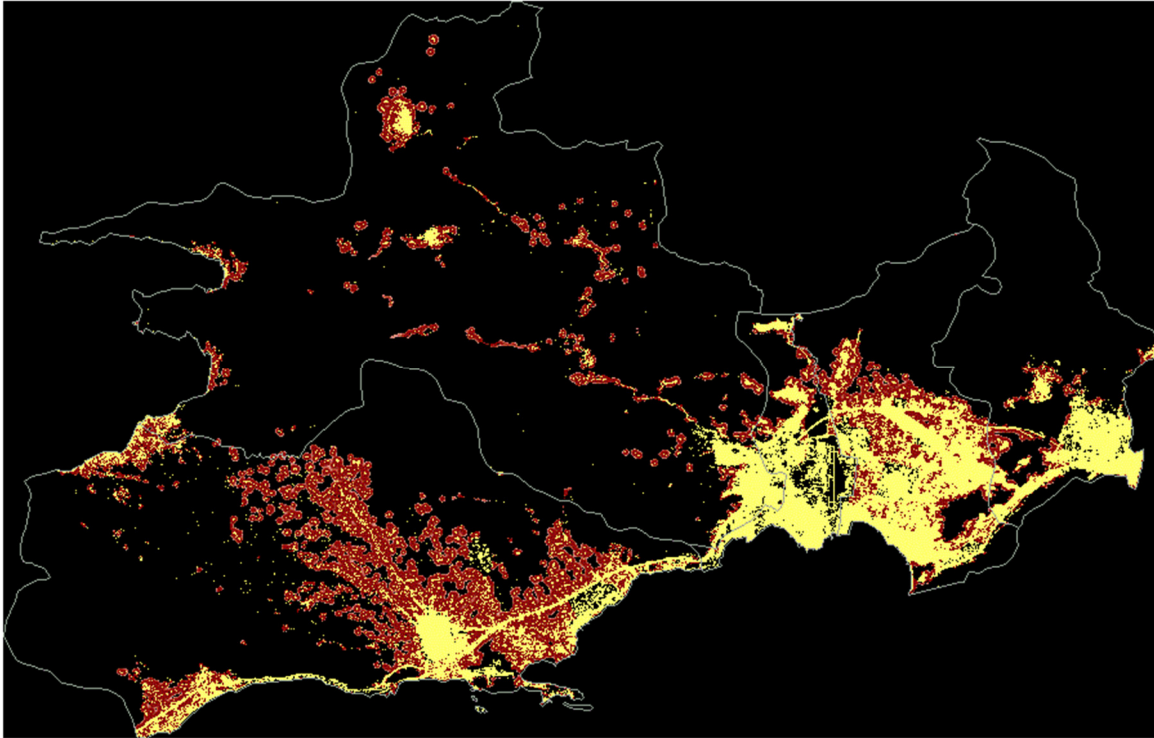
Συνολική Αστική Γη		
Πιθανότητες αστικοποίησης (%)	Πλήθος pixel	Έκταση (στρέμματα)
1% - 10%	224.256	201.830,4
11% - 20%	16.447	14.802,3
21% - 30%	9.711	8.739,9
31% - 40%	8.168	7.351,2
41% - 50%	7.637	6.873,3
51% - 60%	7.579	6.821,1
61% - 70%	7.988	7.189,2
71% - 80%	9.444	8.499,6
81% - 90%	13.289	11.960,1
91% - 100%	32.562	29.305,8

Πίνακας 6-15: Πιθανότητες αστικοποίησης για την συνολική αστική γη

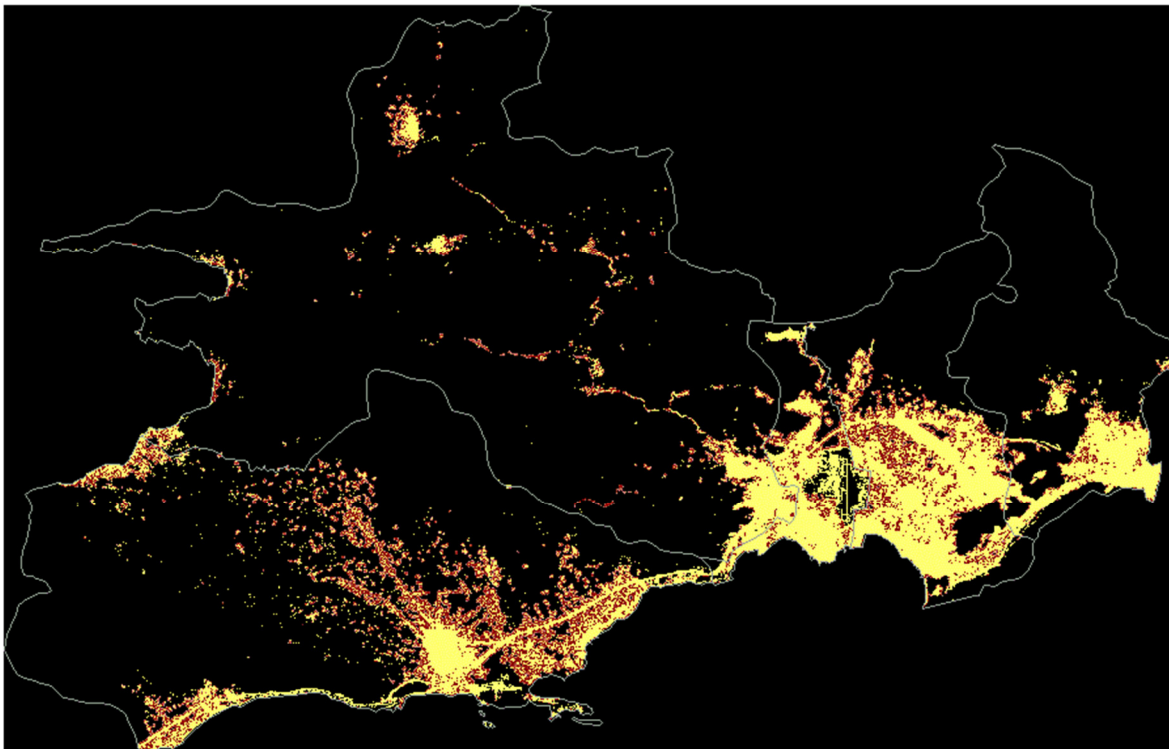
Σε ό,τι αφορά την συνολική αστική γη τα περισσότερα pixel που προβλέπεται να μετατραπούν από μη αστικά σε αστικά, εντάσσονται στην κατηγορία με πιθανότητα αστικοποίησης 1%-10% (224256 pixels), ενώ ακολουθούν οι κατηγορίες πιθανοτήτων 91%-100% (32562 pixels), 11%-20% (16447 pixels) και 81%-90% (13289 pixels). Σε κάθε μία από τις υπόλοιπες κατηγορίες εντάχθηκαν 7500 έως 10000 pixels περίπου.

Τόσο στη σύνθεση των προβλέψεων, όσο και στη πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης το μεγαλύτερο τμήμα των προβλέψεων εντάσσεται στις κατηγορίες με πιθανότητα αστικοποίησης από 1% έως 50%. Δηλαδή, η μεγαλύτερη έκταση της περιοχής μελέτης που προβλέπεται να έχει αστικοποιηθεί έως το 2037 τόσο στη σύνθεση των προβλέψεων, όσο

και στη πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης είναι με μεγάλη αβεβαιότητα. Έτσι, κρίθηκε σκόπιμο να απομονωθούν οι περιοχές με πιθανότητα αστικοποίησης από 51% έως 100%, προκειμένου τα αποτελέσματα των προβλέψεων να είναι πιο εποπτικά και η σύγκριση να γίνει για στοιχεία με μικρότερη αβεβαιότητα. Οι εικόνες των προβλέψεων μετά από την κατάλληλη επεξεργασία τους στο περιβάλλον του ArcMap παρατίθενται παρακάτω:



Εικόνα 6-8: Σύνθεση προβλέψεων αστικοποίησης με πιθανότητα μεγαλύτερη από 50%



Εικόνα 6-9: Πρόβλεψη εξάπλωσης συνολικής αστικής γης με πιθανότητα μεγαλύτερη από 50%

Από την σύγκριση των δύο εικόνων διαπιστώνεται ότι η αστικοποίηση της συνολικής αστικής γης κατά το έτος 2037 εντοπίζεται στις ίδιες περιοχές με εκείνες της σύνθεσης των προβλέψεων και ενώ είναι ίδιες σε σχήμα, έχουν μεγάλη διαφορά ως προς την έκταση της περιοχής μελέτης, που καλύπτουν. Συγκεκριμένα, οι περιοχές εκτός των ορίων των ΓΠΣ που προβλέπεται ότι θα αστικοποιηθούν από τη σύνθεση των προβλέψεων είναι πολύ μεγαλύτερες σε έκταση από εκείνες που προβλέπονται από το μοντέλο για τη συνολική αστική γη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την μοντελοποίηση της συνολικής αστικής γης λήφθηκαν υπόψη οι ήδη αστικές περιοχές εντός των ορίων των ΓΠΣ, οι οποίες είναι και πιο συμπαγείς, με αποτέλεσμα οι πρόβλεψη να είναι πιο "συγκρατημένη", ενώ για την σύνθεση των προβλέψεων κατά την μοντελοποίηση της εκτός ΓΠΣ αστικής γης αυτές οι περιοχές δεν συμπεριλήφθηκαν. Από την άλλη, οι περιοχές εντός των ορίων των ΓΠΣ που προβλέπεται ότι θα αστικοποιηθούν από τη σύνθεση των προβλέψεων είναι μικρότερες σε έκταση από εκείνες που προβλέπονται από το μοντέλο για τη συνολική αστική γη, μιας και κατά την μοντελοποίηση της εντός ΓΠΣ αστικής γης, οι περιοχές εντός ΓΠΣ ήταν σχεδόν κορεσμένες το 2017 και η διαθέσιμη έκταση προς αστικοποίηση ήταν πολύ μικρή.

Ορισμένα ακόμη ποσοτικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την επεξεργασία των εικόνων της πρόβλεψης της συνολικής αστικής γης και της σύνθεσης των προβλέψεων και τα οποία συμβάλουν στη σύγκριση των προβλέψεων είναι:

Πιθανότητα αστικοποίησης από 51 έως 100%			
	Πλήθος pixel	Στρέμματα	Ποσοστό μεταβολής μη αστικής γης
Πρόβλεψη συνολικής αστικής γης	70.862	63.775,8	7,21%
Σύνθεση προβλέψεων	127.068	114.361,2	12,92%
Κοινή πρόβλεψη	60.882	54.793,8	6,19%
Μόνο στη συνολική	9.980	8.982,0	1,01%
Μόνο στη σύνθεση	66.116	59.504,4	6,72%
Σε καμία	846.415	761.773,5	86,07%

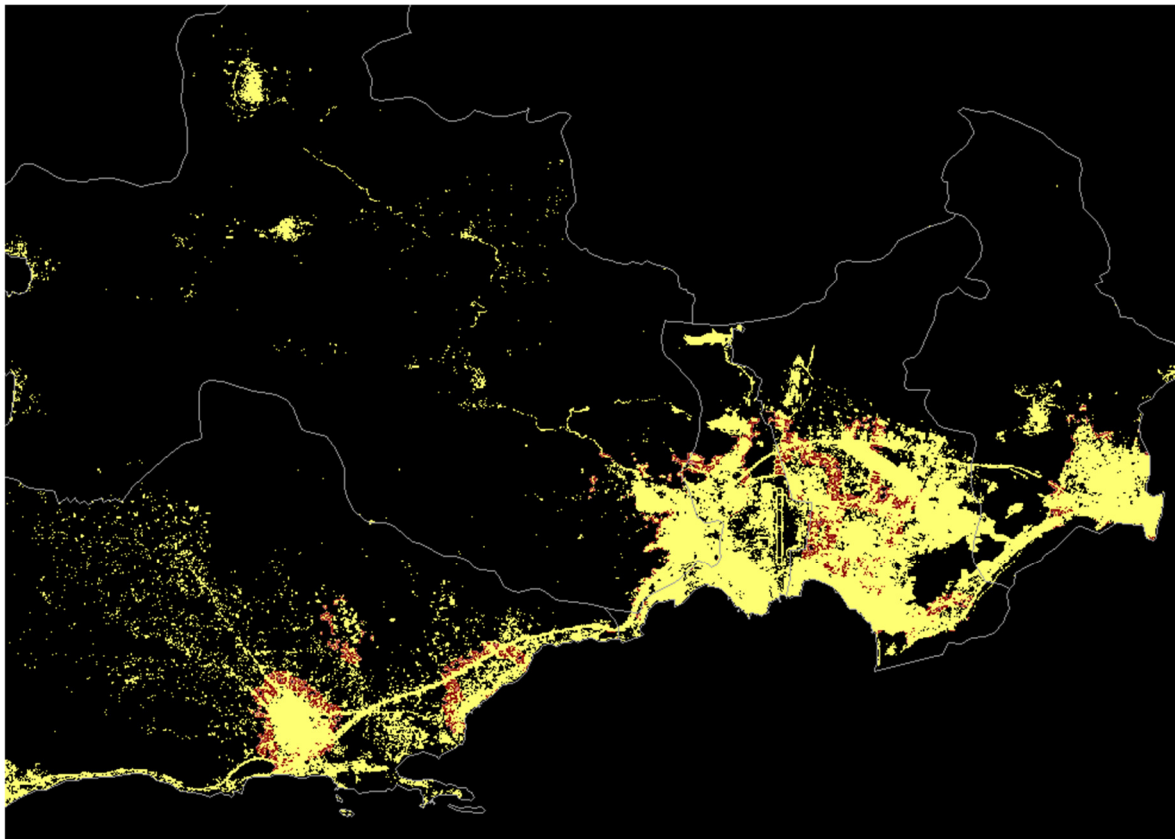
Πίνακας 6-16: Σύγκριση προβλέψεων για πιθανότητα αστικοποίησης μεγαλύτερη από 50%

Από τον Πίνακα 6-16, προκύπτει ότι το 7,21% της περιοχής μελέτης που δεν ήταν αστική το 2017 θα μετατραπεί σε αστική σύμφωνα με τη πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης. Αντίστοιχα, το 12,92% της περιοχής μελέτης που δεν ήταν αστική το 2017 θα μετατραπεί σε αστική σύμφωνα με τη σύνθεση των προβλέψεων. Δηλαδή, η σύνθεση των προβλέψεων υπολογίζει ότι περίπου 6% περισσότερα pixel θα αστικοποιηθούν σε σχέση με την πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης, επί των μη αστικών pixel κατά το έτος 2017. Ακόμη, παρατηρείται ότι κοινή πρόβλεψη αποτελεί 6,19% των προς αστικοποίηση pixel κατά το έτος 2017. Επιπλέον, υπολογίζεται ένας αριθμός pixel (9980), τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν ως αστικά μόνο στη πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης και όχι στη σύνθεση των προβλέψεων και αντίστοιχα ένας αριθμός pixel (66116) που προβλέπονται ως αστικά μόνο στη σύνθεση των προβλέψεων εντός και εκτός ΓΠΣ αστικής γης και όχι στην πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης. Δηλαδή, το μεγαλύτερο κομμάτι της πρόβλεψης της συνολικής αστικής γης είναι κοινό με τη σύνθεση των προβλέψεων, ενώ για τη σύνθεση των

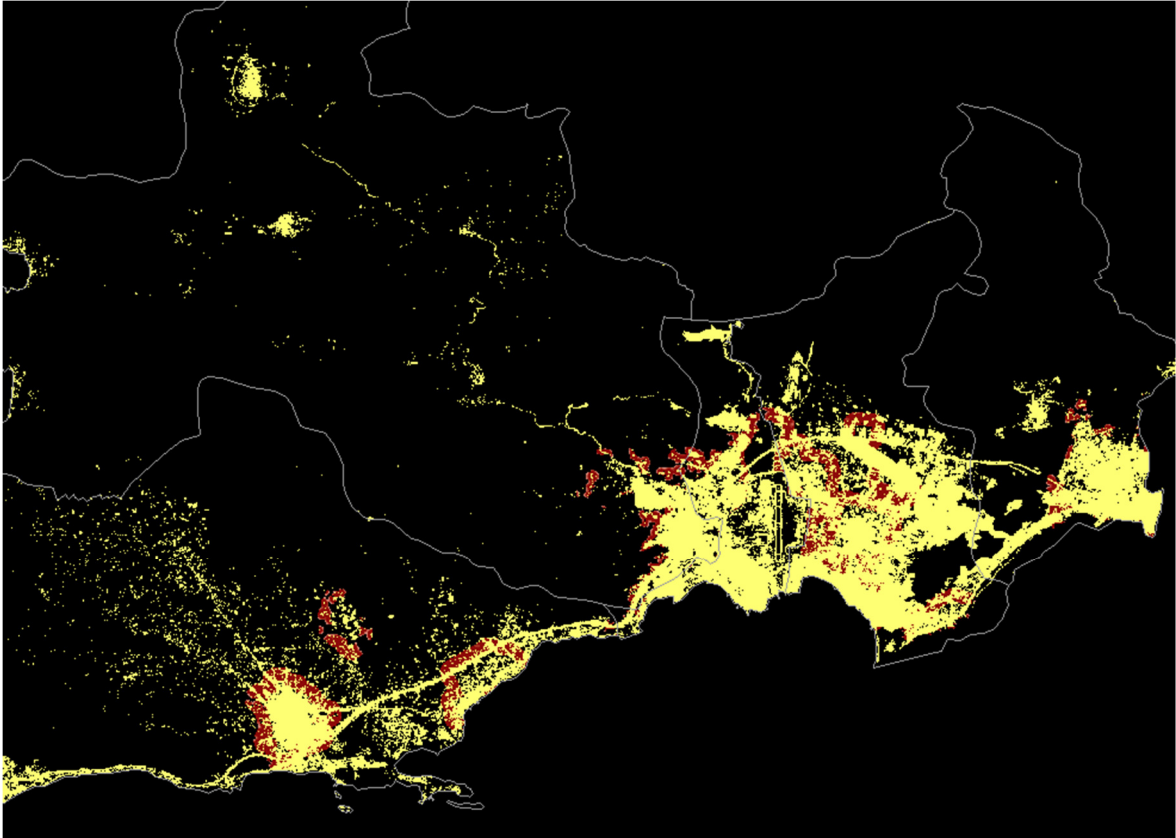
προβλέψεων μόλις η μισή είναι κοινή με την πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης. Συμπεραίνεται λοιπόν ξανά, ότι η αστική εξάπλωση για αυτές τις δύο προβλέψεις παρουσιάζεται προς τις ίδιες κατευθύνσεις, ενώ παράλληλα διαφέρει σημαντικά στην ένταση.

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσίαζε να εξεταστεί η εξάπλωση κατά την πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης και της σύνθεσης της εντός και της εκτός ΓΠΣ αστικής γης, σε μία μικρή απόσταση από τα όρια των ΓΠΣ. Έτσι, στο περιβάλλον του ArcMap, δημιουργήθηκαν ζώνες 500 μέτρων από τα όρια των ΓΠΣ της περιοχής μελέτης, και στις εικόνες των προβλέψεων της συνολικής αστικής γης και της σύνθεσης των προβλέψεων απομονώθηκαν τα pixels, τα οποία προβλέπεται να αστικοποιηθούν και τα οποία βρίσκονται εντός των ζωνών.

Τα αποτελέσματα, μετά τις κατάλληλες επεξεργασίες στο περιβάλλον του ArcMap, για τις πρόβλεψεις της συνολικής αστικής γης και της σύνθεσης των προβλέψεων, με πιθανότητα αστικοποίησης άνω του 50% και εντός των ζωνών είναι:



Εικόνα 6-10: Πρόβλεψη εξάπλωσης συνολικής αστικής γης, εντός ζωνών 500μ. με πιθανότητα μεγαλύτερη από 50%



Εικόνα 6-11: Πρόβλεψη εξάπλωσης σύνθεσης προβλέψεων, εντός ζωνών 500μ. με πιθανότητα μεγαλύτερη από 50%

Από την σύγκριση των δύο εικόνων διαπιστώνεται ότι η αστικοποίηση της συνολικής αστικής γης κατά το έτος 2037, εντός των ζωνών των 500 μέτρων, εντοπίζεται στις ίδιες περιοχές με εκείνες της σύνθεσης των προβλέψεων και ενώ είναι ίδιες σε σχήμα, έχουν μεγάλη διαφορά ως προς την έκταση της περιοχής μελέτης, που καλύπτουν, με μόνη εξαίρεση δυτικά του Ασπρόπυργου. Συγκεκριμένα, οι περιοχές εκτός των ορίων των ΓΠΣ που προβλέπεται ότι θα αστικοποιηθούν από τη σύνθεση των προβλέψεων είναι πολύ μεγαλύτερες σε έκταση από εκείνες που προβλέπονται από το μοντέλο για τη συνολική αστική γη. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι κατά την μοντελοποίηση της συνολικής αστικής γης λήφθηκαν υπόψη οι ήδη αστικές περιοχές εντός των ορίων των ΓΠΣ, οι οποίες είναι και πιο συμπαγείς, με αποτέλεσμα οι πρόβλεψη να είναι πιο "συγκρατημένη", ενώ για την σύνθεση των προβλέψεων κατά την μοντελοποίηση της εκτος ΓΠΣ αστικής γης αυτές οι περιοχές δεν συμπεριλήφθηκαν.

Πιθανότητα αστικοποίησης από 51 έως 100%			
	Πλήθος pixel	Στρέμματα	Ποσοστό μεταβολής μη αστικής γης εντός Ζώνης
Πρόβλεψη συνολικής αστικής γης	12758	11482,2	38,96%
Σύνθεση προβλέψεων	17796	16016,4	54,34%
Κοινή πρόβλεψη	12583	11324,7	38,42%
Μόνο στη συνολική	175	157,5	0,53%
Μόνο στη σύνθεση	5213	4691,7	15,92%
Σε καμία	14777	13299,3	45,12%

Πίνακας 6-17: Σύγκριση προβλέψεων εντός ζωνών 500μ για πιθανότητα αστικοποίησης μεγαλύτερη από 50%

Από τον Πίνακα 6-17, προκύπτει ότι το 38,96% των pixel, εντός των ζωνών των 500 μέτρων, που δεν ήταν αστικά το 2017 θα μετατραπούν σε αστικά σύμφωνα με τη πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης. Αντίστοιχα, το 54,34% των pixel, εντός των ζωνών των 500 μέτρων, που δεν ήταν αστικά το 2017 θα μετατραπούν σε αστικά σύμφωνα με τη σύνθεση των προβλέψεων. Δηλαδή, η σύνθεση των προβλέψεων υπολογίζει ότι περίπου 15% περισσότερα pixel θα αστικοποιηθούν σε σχέση με την πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης, επί των μη αστικών pixel εντός των ζωνών των 500 μετρών, κατά το έτος 2017. Ακόμη, παρατηρείται ότι κοινή πρόβλεψη αποτελεί 38,42% των προς αστικοποίηση pixel, εντός των ζωνών των 500 μέτρων, κατά το έτος 2017. Επιπλέον, υπολογίζεται ένας αριθμός pixel (175), τα οποία κατηγοριοποιήθηκαν ως αστικά μόνο στη πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης και όχι στη σύνθεση των προβλέψεων και αντίστοιχα ένας αριθμός pixel (5213) που προβλέπονται ως αστικά μόνο στη σύνθεση των προβλέψεων εντός και εκτός ΓΠΣ αστικής γης και όχι στην πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης. Δηλαδή, το μεγαλύτερο κομμάτι της πρόβλεψης της συνολικής αστικής γης είναι κοινό με τη σύνθεση των προβλέψεων, ενώ για τη σύνθεση των προβλέψεων σχεδόν η μισή είναι κοινή με την πρόβλεψη της συνολικής αστικής γης. Συμπεραίνεται λοιπόν ξανά, ότι η αστική εξάπλωση για αυτές τις δύο προβλέψεις παρουσιάζεται προς τις ίδιες κατευθύνσεις, ενώ παράλληλα διαφέρει σημαντικά στην ένταση.

Τέλος, ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι το 18% της πρόβλεψης της συνολικής αστικής γης με πιθανότητα αστικοποίησης από 50% έως 100%, εντοπίζεται εντός των ζωνών των 500 μέτρων από τα όρια των ΓΠΣ (Πίνακας 6-18) και αντίστοιχα το 14% της σύνθεσης των προβλέψεων με πιθανότητα αστικοποίησης από 50% έως 100%, εντοπίζεται εντός των ζωνών των 500 μέτρων από τα όρια των ΓΠΣ της περιοχής μελέτης.

Pixel με πιθανότητα αστικοποίησης από 51 έως 100%			
	Εντός Ζώνης	Περιοχή Μελέτης	Ποσοστό
Πρόβλεψη Συνολικής Αστικής Γης	12758	70862	18,00%
Σύνθεση Προβλέψεων	17796	127068	14,01%

Πίνακας 6-18: Αστική κάλυψη προβλέψεων για πιθανότητα αστικοποίησης μεγαλύτερη από 50%

7 Συμπεράσματα

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 μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για την οπτικοποίηση της πρόβλεψης της ανάπτυξης των τριών περιπτώσεων αστικής γης στην περιοχή μελέτης. Τέλος, δεδομένης της πολυδιάστατης φύσης του προβλήματος που εξετάστηκε, κρίθηκε σκόπιμο να γίνουν προτάσεις για περαιτέρω μελέτη.

Σε ό,τι αφορά στον προκαθορισμένο στόχο, αυτός θεωρείται ότι επιτυγχάνεται σε ικανοποιητικό βαθμό, μιας και με την ολοκλήρωση της διαδικασίας, προέκυψαν οι εικόνες στις οποίες απεικονίζονται οι περιοχές που πιθανολογείται να μετατραπούν σε αστικές, με τις αντίστοιχες πιθανότητες αστικοποίησης σε κάθε περίπτωση.

Η δημιουργία αυτών των εικόνων πραγματοποιήθηκε με την παράλληλη χρήση των Κυψελοειδών Αυτόματων και συγκεκριμένα του μοντέλου SLEUTH και των GIS, σε χαλαρή διασύνδεση μεταξύ τους. Η επιλογή της συγκεκριμένης μεθοδολογικής προσέγγισης έγινε με γνώμονα την πολυπλοκότητα του προβλήματος που εξετάζεται αλλά και με έμφαση στη χωρική ανάλυση των δεδομένων και των αποτελεσμάτων.

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, κρίνεται 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 τα δεδομένα 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. Σημαντική ήταν επίσης η συμβολή των GIS στα επόμενα στάδια της μεθοδολογίας για τη δημιουργία εικόνων της μελλοντικής αστικής ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης, καθώς και την εξαγωγή ποσοτικοποιημένων αποτελεσμάτων, αξιοποιώντας τα εξαγόμενα αρχεία του μοντέλου SLEUTH. Πιο συγκεκριμένα, με τη χρήση των GIS, κατέστη εφικτή η σύνθεση των εξαγόμενων αποτελεσμάτων του SLEUTH για την εντός και την εκτός ΓΠΣ αστική γη έτσι, ώστε να προκύψει ένα συνολικό αποτέλεσμα, στο οποίο να εμπεριέχεται το σύνολο της χωρικής πληροφορίας σχετικά με την αστική ανάπτυξη στην περιοχή μελέτης. Το αποτέλεσμα αυτό με την χρήση των GIS μπόρεσε επίσης, να συγκριθεί με τα αποτελέσματα του μοντέλου SLEUTH για την περίπτωση της μοντελοποίησης της εξάπλωσης της συνολικής αστικής γης. 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 το SLEUTH.

Τέλος, 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 τον χρήστη, είτε διαφέρουν σημαντικά μεταξύ τους, ως προς κλίμακα, ποιότητα και προέλευση, οπότε και καθιστούν αδύνατη τη συνδυαστική τους χρήση. Είναι, επομένως, αναγκαία η διάθεση πρωτογενών δεδομένων

υψηλής ανάλυσης, ώστε ο χρήστης του μοντέλου SLEUTH να μην χρονοτριβεί σε διαδικασίες προεπεξεργασίας των δεδομένων εισόδου. Για την βελτίωση της αποτελεσματικότητας του μοντέλου SLEUTH προτείνεται η εισαγωγή πληθυσμιακών και οικονομικών στοιχείων στην διαδικασία της μοντελοποίησης, μιας και η πόλη αποτελεί ένα πολύπλοκο σύστημα στο οποίο επιδρούν πολλοί διαφορετικοί παράγοντες. Η ολική ενσωμάτωση ενός αστικού μοντέλου σε ένα πακέτο GIS θα διευκόλυne την διαδικασία προετοιμασίας των δεδομένων εισόδου και οπτικοποίησης των αποτελεσμάτων και θα καθιστούσε την όλη μεθοδολογία απλούστερη και πιο σύντομη.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία:

Αραβαντινός, Α. (2007). Πολεοδομικός σχεδιασμός: Για μια βιώσιμη ανάπτυξη του αστικού χώρου. Αθήνα: Συμμετρία.

Γιώτη, Ε. (2013). Η συνδυαστική αξιοποίηση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS), Τηλεπισκοπικών τεχνικών και Κυψελοειδών Αυτόματων (Cellular Automata) για τη μοντελοποίηση της αστικής εξάπλωσης. Μελέτη περίπτωσης: Δήμος Αχαρνών, Αττική.

ΕΛΣΤΑΤ, Δελτίο Τύπου 28-12-2012, Πειραιάς

Επιχειρησιακό πρόγραμμα 2012-2014 Ελευσίνας

Επιχειρησιακό πρόγραμμα 2015-2019 Μέγαρα

Επιχειρησιακό πρόγραμμα 2012-2014 Φυλή

Κουκόσια, Η. (2013). Σύγκριση μοντέλων πρόβλεψης αστικής εξάπλωσης σε μεσαίου μεγέθους ελληνική πόλη: περιοχή μελέτης: πόλη της Καρδίτσας.

Μαθιουλάκης, Σ., & Mathioulakis, S. (2016). Προσομοίωση και εκτίμηση της μελλοντικής εξάπλωσης αστικών περιοχών με χρήση κυψελοειδών αυτομάτων: η περίπτωση των Μεσογείων Αττικής.

Μαντέλας, Ε. Α., & Mantelas, E. A. (2011). Υπολογιστική προσομοίωση αστικής επέκτασης με χρήση ασαφών κυψελοειδών αυτομάτων.

Νικολάου, Κ. (2012). Μοντέλο αστικής εξάπλωσης: η περίπτωση του Βόλου.

Οικονομοπούλου Μάρθα. (2009). Δήμος Μάνδρας Αττικής : Κριτική προσέγγιση των κατευθύνσεων του Πολεοδομικού Σχεδιασμού και του Θεσμικού Πλαισίου όσον αφορά στον τομέα των χρήσεων γης

Περιφερειακή ενότητα Δυτικής Αττικής. (2015). Δυτική Αττική 2020+, Σχέδιο Στρατηγικού Σχεδιασμού προς Διαβούλευση

Σκιαδά Μαρία. (2016). Υπολογιστική Προσομοίωση της μελλοντικής επέκτασης αστικών περιοχών με χρήση Κυψελοειδών Αυτόματων και GIS: Εφαρμογή του υποδείγματος SLEUTH στην ανατολική Αττική για δύο τύπους αστικότητας.

Σταυράκου, Γ. Δ., & Stavrakou, G. D. (2014). Προσομοίωση εξέλιξης και επέκτασης αστικών περιοχών με χρήση κυψελοειδών αυτόματων: Εφαρμογή του υποδείγματος SLEUTH στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου Κρήτης.

Στασινοπούλου Ασημίνα. (2010). Επιχειρησιακό πρόγραμμα δήμου Ασπροπύργου, Διαχείριση αξιολόγησης και υλοποίησης

Τσουδερός, Ι. Ε. (2002). Η λειτουργική θεώρηση του χώρου.

Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία:

- Abraham, J. E., & Eng, P. (1998). A review of the MEPLAN modelling framework from a perspective of urban economics. University of Calgary. Department of Civil Engineering.
- Akin, A., Clarke, K. C., & Berberoglu, S. (2014). The impact of historical exclusion on the calibration of the SLEUTH urban growth model. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 27, 156-168.
- Barredo, J. I., Kasanko, M., McCormick, N., & Lavalle, C. (2003). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata. *Landscape and urban planning*, 64(3), 145-160.
- Batty, M., Xie, Y. (1994). Modelling inside GIS: part 1, Model structures, exploratory spatial data analysis and aggregation. *INT. J. GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM*, 8, 291-307.
- Batty, M., Besussi, E., & Chin, N. (2003). Traffic, urban growth and suburban sprawl.
- Batty, M. (2009). Urban modeling. *International Encyclopedia of Human Geography*. Oxford, UK: Elsevier.
- Bialynicki-Birula, I. (2004). *Modeling Reality: How computers mirror life* (Vol. 1). Oxford University Press on Demand.
- Bihanta, N., Soffianian, A., Fakheran, S., & Gholamalifard, M. (2015). Using the SLEUTH urban growth model to simulate future urban expansion of the Isfahan metropolitan area, Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 43(2), 407-414.
- Briassoulis, H. (2000). Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches.
- Brueckner, J. K. (2000). Urban sprawl: diagnosis and remedies. *International regional science review*, 23(2), 160-171.
- Bruegmann, R. (2006). *Sprawl: A compact history*. University of Chicago press.
- Camagni, R., Gibelli, M. C., & Rigamonti, P. (2002). Urban mobility and urban form: the social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecological economics*, 40(2), 199-216.
- Chapman, P. (2002). Life universal computer. Режим доступа: <http://www.igblan.free-online.co.uk/igblan/ca>.
- Chaudhuri, G & Clarke, K. C (2013) The SLEUTH Land Use Change Model: A Review.
- Clarke, K. C., Hoppen, S., & Gaydos, L. (1996). Methods and techniques for rigorous calibration of a cellular automaton model of urban growth. Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico.
- Clarke, K. C., Hoppen, S., & Gaydos, L. (1997). A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and planning B: Planning and design*, 24(2), 247-261.
- Clarke, K. C., & Gaydos, L. J. (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS:

- long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International journal of geographical information science*, 12(7), 699-714.
- Clarke, K. C. (2008). A decade of cellular urban modeling with SLEUTH: Unresolved issues and problems. Ch, 3, 47-60.
- Clarke, K. C. (2017) Land Use Change Modeling with SLEUTH: Improving Calibration with a Genetic Algorithm.
- Clarke-Lauer, M. D. & Clarke, K. C (2011) Evolving Simulation Modeling: Calibrating SLEUTH Using a Genetic Algorithm.
- Costa, G., Pickup, L., & Di Martino, V. (1987). Commuting--a further stress factor for working people: evidence from the European Community. II. An empirical study. *International archives of occupational and environmental health*, 60(5), 377-385.
- Davis, K. (1955). The origin and growth of urbanization in the world. *American Journal of Sociology*, 429-437.
- Dietzel, C., & Clarke, K. C. (2004, October). Replication of spatio-temporal land use patterns at three levels of aggregation by an urban cellular automata. In *International Conference on Cellular Automata* (pp. 523-532). Springer Berlin Heidelberg.
- Dietzel, C., & Clarke, K. C. (2004). Spatial Differences in Multi-Resolution Urban Automata Modeling. *Transactions in GIS*, 8(4), 479-492.
- Doxiadis, C. A. (1964). The ancient Greek City and the City of the Present. *Ekistics*, 18(108), 346-364.
- Doxiadis, C. A. (1971). Ancient Greek Settlements. *Ekistics*, 4-21.
- European Environment Agency (2006). *Urban Sprawl in Europe: The ignored challenge*, EEA Report No 10.
- European Environment Agency (2016). *Urban Sprawl in Europe: Joint EEA- FOEN report*, EEA Report No 11.
- Ewing, R., Pendall, R., & Chen, D. (2002). *Measuring sprawl and its impact: the character and consequences of metropolitan expansion*. Washington, DC: Smart Growth America.
- Frumkin, H., Frank, L., & Jackson, R. J. (2004). *Urban sprawl and public health: Designing, planning, and building for healthy communities*. Island Press.
- Galster, G., Hanson, R., Ratcliffe, M. R., Wolman, H., Coleman, S., & Freihage, J. (2001). Wrestling sprawl to the ground: defining and measuring an elusive concept. *Housing policy debate*, 12(4), 681-717.

- Garden, F. L., & Jalaludin, B. B. (2009). Impact of urban sprawl on overweight, obesity, and physical activity in Sydney, Australia. *Journal of Urban Health*, 86(1), 19-30.
- Gardner, M. (1970). Mathematical games: The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life". *Scientific American*, 223(4), 120- 123.
- Hall, T. 1998. *Urban geography*. Routledge Contemporary Human Geography Series. London: Routledge.
- Harris, C. D., & Ullman, E. L. (1945). The nature of cities. *The Annals of the American Academy of Political and Social Science*, 242, 7-17.
- Harvey, R. O., & Clark, W. A. (1965). The nature and economics of urban sprawl. *Land Economics*, 41(1), 1-9.
- Haynes, K. E., & Fotheringham, A. S. (1984). *Gravity and spatial interaction models* (Vol. 2). Beverly Hills: Sage publications.
- He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., & Li, J. (2008). Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. *Landscape and urban planning*, 86(1), 79-91.
- Hospers, G. J. (2002, August). Beyond the Blue Banana? Structural Change in Europe's Geo-Economy. In 42nd European Congress of the Regional Science Association (p. 19).
- Hua, L., Tang, L., Cui, S., & Yin, K. (2014). Simulating urban growth using the Sleuth Model in a coastal peri-urban district in China. *Sustainability*, 6(6), 3899-3914.
- Huang, J., Zhang, J., & Lu, X. X. (2008). Applying SLEUTH for simulating and assessing urban growth scenario based on time series tm images: Referencing to a case study of Chongqing, China. *The international archives of the photogrammetry, remote sensing and spatial information sciences*, 37, 597-606.
- Hui-Hui, F. E. N. G., Hui-Ping, L. I. U., & Ying, L. Ü. (2012). Scenario prediction and analysis of urban growth using SLEUTH model. *Pedosphere*, 22(2), 206-216.
- Jaeger, J. A., & Schwick, C. (2014). Improving the measurement of urban sprawl: Weighted Urban Proliferation (WUP) and its application to Switzerland. *Ecological Indicators*, 38, 294-308.
- Jantz, C. A., Goetz, S. J., & Shelley, M. K. (2004). 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: Planning and Design*, 31(2), 251-271.

- Jantz, C. A., Goetz, S. J., Donato, D., & Claggett, P. (2010). Designing and implementing a regional urban modeling system using the SLEUTH cellular urban model. *Computers, Environment and Urban Systems*, 34(1), 1-16.
- Jawarneh, R. N., Julian, J. P., & Lookingbill, T. R. (2015). The influence of physiography on historical and future land development changes: a case study of central Arkansas (USA), 1857–2030. *Landscape and Urban Planning*, 143, 76-89.
- Jenks, M., Burton, E., & Williams, K. (1996). The compact city. A sustainable urban form.
- Kirtland, D., DeCola, L., Gaydos, L., Acevedo, W., Clarke, K., & Bell, C. (1994). An analysis of human-induced land transformations in the San Francisco Bay/Sacramento area. *World Resource Review*; (United States), 6(CONF-940422--).
- Kunzmann, K. R., & Wegener, M. (1991). The pattern of urbanization in Western Europe. *Ekistics*, 282-291.
- Leao, S., Bishop, I., & Evans, D. (2004). Spatial–temporal model for demand and allocation of waste landfills in growing urban regions. *Computers, Environment and Urban Systems*, 28(4), 353-385.
- Liu, Y. (2008). *Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata*. CRC Press.
- Liu, X., Sun, R., Yang, Q., Su, G., & Qi, W. (2012). Simulating urban expansion using an improved SLEUTH model. *Journal of Applied Remote Sensing*, 6(1), 061709-061709.
- Lock, D. (1995). Room for more within city limits. *Town and Country Planning*, 64(7), 173-176.
- Lopez, R. (2014). Urban Sprawl in the United States: 1970-2010. *Cities and the Environment (CATE)*, 7(1), 7.
- Lowry, I. (1964). A model of metropolis. *Tachricil Repor RM-4035-RC*, The IRAND CODOration, California: Santa monica.
- Lutzky, N. (1990). Vor neuen Dimensionen im europaischen Verkehr. *Verkehr im neuen Europa. Mehr Mobilitat-mehr Wohlstand*.
- Mahiny, A. S., & Gholamalifard, M. (2011, June). Linking SLEUTH urban growth modeling to multi criteria evaluation for a dynamic allocation of sites to landfill. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 32-43). Springer Berlin Heidelberg.
- Majid, M. R., & Yahya, H. (2005). *Sprawling of a Malaysian City: What Type and What Solutions*. Department of Urban & Regional Planning, Universiti Teknologi Malaysia.

- Metaxas, T., & Tsavdaridou, M. (2013). From "Blue Banana" to "Red Octopus" and the development of Eastern and Southern European cities: Warsaw and Lisbon. *Reg. Sect. Econ. Stud*, 13, 15-31.
- Mogridge, M., & Parr, J. B. (1997). Metropolis or region: on the development and structure of London. *Regional Studies*, 31(2), 97-115.
- Ness, G. D., & Low, M. M. (Eds.). (2000). *Five cities: Modelling Asian urban population-environment dynamics*. Oxford University Press, USA.
- Otis, Trent (2012). *Evaluating SLEUTH Model Accuracy at Different Geographic Scales Around Two National Parks*.
- Peiser, R. B. (1989). Density and urban sprawl. *Land economics*, 65(3), 193-204.
- Pickover, C. A. (2009). *The math book: from Pythagoras to the 57th dimension, 250 milestones in the history of mathematics*. Sterling Publishing Company, Inc..
- Pramanik, M. M. A. (2015). Forecasting urban sprawl in Dhaka city of Bangladesh.
- Rafiee, R., Mahiny, A. S., Khorasani, N., Darvishsefat, A. A., & Danekar, A. (2009). Simulating urban growth in Mashad City, Iran through the SLEUTH model (UGM). *Cities*, 26(1), 19-26.
- Rienow, A., & Goetzke, R. (2015). Supporting SLEUTH—Enhancing a cellular automaton with support vector machines for urban growth modeling. *Computers, Environment and Urban Systems*, 49, 66-81.
- Rui, Y. (2013). *Urban Growth Modeling Based on Land-use Changes and Road Network Expansion*.
- Sakieh, Y., Salmanmahiny, A., Jafarnezhad, J., Mehri, A., Kamyab, H., & Galdavi, S. (2015). Evaluating the strategy of decentralized urban land-use planning in a developing region. *Land Use Policy*, 48, 534-551.
- Santé, I., García, A. M., Miranda, D., & Crecente, R. (2010). Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), 108-122.
- Schiff, J. L. (2007). Two-Dimensional Automata. *Cellular Automata: A Discrete View of the World*, 89-122.
- Schiff, J. L. (2011). *Cellular automata: a discrete view of the world (Vol. 45)*. John Wiley & Sons.
- Silva, E. A., & Clarke, K. C. (2002). Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), 525-552.

- Stevens, D., & Dragičević, S. (2007). A GIS-based irregular cellular automata model of land-use change. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 34(4), 708-724.
- Thomas, R. W., & Huggett, R. J. (1980). *Modelling in geography: a mathematical approach*. Rowman & Littlefield.
- Tötzer, T. (2008). Relationships between Urban-Periurban-rural regions: first findings from the EU project Plurel. In Comm at the Conference «Rurality near the City», Leuven.
- Torrens, P. M. (2003). Automata-based models of urban systems. *Advanced spatial analysis*, 61-79.
- Uysal, M. M., & Uysal, M. (2015). Urban growth simulation using SLEUTH in Afyonkarahisar (Turkey). *Tehnički vjesnik*, 22(5), 1255-1261.
- Van der Meer, L. (1998). *Red octopus. A New Perspective for European Spatial Development Policies*, Aldershot: Ashgate.
- 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 Tranus application to Sapporo. *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 5, 2863-2871.
- Waddell, P. (2002). UrbanSim: Modeling urban development for land use, transportation, and environmental planning. *Journal of the American Planning Association*, 68(3), 297-314.
- Ward, D. P., Murray, A. T., & Phinn, S. R. (2000). A stochastically constrained cellular model of urban growth. *Computers, Environment and Urban Systems*, 24(6), 539-558.
- Wegener, M. (1985). The Dortmund housing market model: a Monte Carlo simulation of a regional housing market. In *Microeconomic models of housing markets* (pp. 144-191). Springer Berlin Heidelberg.
- Wegener, M. (1994). Operational urban models state of the art. *Journal of the American Planning Association*, 60(1), 17-29.
- Wegener, M. (2004). Overview of land-use transport models. *Handbook of transport geography and spatial systems*, 5, 127-146.
- White, R., & Engelen, G. (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and planning A*, 25(8), 1175-1199.
- White, R., Engelen, G., & Uljee, I. (1997). The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(3), 323- 343.
- Wolfram, S. (1983). Statistical mechanics of cellular automata. *Reviews of modern physics*, 55(3), 601.

Wolfram, S. (1984). Universality and complexity in cellular automata. *Physica D: Nonlinear Phenomena*, 10(1), 1-35.

Wolfram, S. (2002). *A new kind of science* (Vol. 5). Champaign: Wolfram media.

Wu, X., Hu, Y., He, H., Xi, F., & Bu, R. (2010). Study on forecast scenarios for simulation of future urban growth in Shenyang City based on SLEUTH model. *Geo-Spatial Information Science*, 13(1), 32-39.

Διαδικτυακοί τόποι:

<https://www.cygwin.com/>, 2018

<http://earthexplorer.usgs.gov>, 2018

<http://www.eea.europa.eu/>, 2018

https://www.eklogika.gr/page/diffpages/neoi_dimoi, 2018

<https://el.wikipedia.org/>, 2018

https://en.wikipedia.org/wiki/Cellular_automaton, 2018

https://en.wikipedia.org/wiki/Conway%27s_Game_of_Life#cite_note-1, 2018

<https://en.wikipedia.org/wiki/Microsimulation>, 2018

<http://www.eranet.gr/>, 2018

<http://www.e-demography.gr/index.cfm>, 2018

<http://geodata.gov.gr/>, 2018

<https://www.geofabrik.de/>, 2018

<http://geography.about.com/library/weekly/aa031601a.htm>, 2018

<http://www.ltp.ntua.gr/home>, 2018

<http://mathworld.wolfram.com/ElementaryCellularAutomaton.html>, 2018

<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/index.html>, 2018

<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/dtDtControlDefine.htm>, 2018

www.sprawlcity.org, 2018

<http://www.westatticasidestories.gr/el/δημος-φυλής>, 2018