



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και
Περιφερειακής ανάπτυξης

Διπλωματική Εργασία

**Μοντέλο Αστικής
Εξάπλωσης: Η
περίπτωση του Βόλου**

Εκπόνηση εργασίας: Νικολάου Κωνσταντίνος

Επιβλέπων καθηγητής: Σταθάκης Δημήτρης

ΒΟΛΟΣ, 2012

Επιβλέπων καθηγητής

Σταθάκης Δημήτρης – Επίκουρος καθηγητής στο Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας,
Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος

Εξεταστική επιτροπή

Κουσιδώνης Χρήστος – Επίκουρος καθηγητής στο Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας,
Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος

Περάκης Κωνσταντίνος – Καθηγητής στο Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας,
Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας, Βόλος

Ευχαριστίες και μνείες

Θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά όλα τα άτομα που συντέλεσαν στο να πραγματοποιηθεί αυτή η εργασία. Αρχικά, ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή μου κ. Δημήτρη Σταθάκη για την υποστήριξη, την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε, την συνεχή καθοδήγηση, καθώς και για την εισαγωγή μου στον κόσμο των ελεύθερων λογισμικών και λογισμικών ανοιχτού κώδικα.

Ευχαριστώ θερμά την οικογένειά μου, την Πόπη, τον Αλέξανδρο, τα παιδιά, την Γιάννα και τον Αντώνη για την υπομονή του κατά την διάρκεια συγγραφής της εργασίας. Ο καθένας τους με βοήθησε με τον δικό του, ξεχωριστό τρόπο που τον διακρίνει σαν άνθρωπο. Η συμβολή όλων τους ήταν απαραίτητη για να ολοκληρώσω τη διπλωματική μου. Τους ευχαριστώ πολύ όλους.

Τέλος, αποδίδονται μνείες σε όλα τα άτομα που ενασχολήθηκαν για την δημιουργία όλων των Open Source προγραμμάτων με τα οποία αυτή η εργασία έγινε πραγματικότητα: SLEUTH (K.C. Clarke), Qgis, GIMP (Spencer Kimball, Peter Mattis etc.), LibreOffice (The Document Foundation, etc.).

Περίληψη

Η παρούσα εργασία παρουσιάζει σε γενικές γραμμές το φαινόμενο της αστικής εξάπλωσης σε θεωρητικό επίπεδο, με εφαρμογή σε διάφορες περιοχές της Ελλάδας. Ακόμα παρουσιάζει την εφαρμογή του μοντέλου SLEUTH για την πρόβλεψη της αστικής εξάπλωσης της πόλης του Βόλου και των ευρύτερων αστικών περιοχών. Επιπλέον, αναφέρονται και τα μοντέλα των Κυτταρικών Αυτομάτων, η μέθοδος επιλογής Monte Carlo καθώς και τα βασικά βήματα για την λειτουργία του SLEUTH. Με την παράλληλη παρουσίαση εικόνων, αναλύονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου και εξάγονται τα ανάλογα συμπεράσματα. Σχετικά με την πρόβλεψη για την αστική εξάπλωση, η περίπτωση του Βόλου αποτελεί μια από τις πιο ενδιαφέρουσες στην Ελλάδα, κι αυτό διότι είναι η 6η μεγαλύτερη πόλη σε πληθυσμό που παρουσιάζει αρκετά μεγάλο βαθμό μεγέθυνσης, και συνδυάζει όλα τα χαρακτηριστικά, φυσικά και ανθρωπογενή, που χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της αστικής εξάπλωσης. Σε γενικά πλαίσια, ο σκοπός είναι να εξεταστεί το αν μπορεί να χρησιμοποιηθεί το μοντέλο SLEUTH, με ελληνικά δεδομένα, ώστε να παράγονται λογικά συμπεράσματα τα οποία θα μπορέσουν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία στον χωρικό σχεδιασμό.

Λέξεις κλειδιά: SLEUTH, Κυτταρικά Αυτόματα, μοντέλα, αστική εξάπλωση/διάχυση, Βόλος

Abstract

The current diploma thesis presents, in the first place, the phenomenon of urban sprawl in both theoretical and applied levels, through different cases in Greece. Also, this thesis presents the application of SLEUTH model and the area of appliance of this model, in order to predict the urban sprawl levels for the city of Volos and the urban areas nearby. In addition, Cellular Automata models are mentioned in the thesis, as well as the Monte Carlo methods and the basic steps that were followed for the SLEUTH model to function. By presenting certain images, the outcome results from the model function are being analyzed and similar conclusions are mentioned. The case study of Volos is one of the most interesting cases in Greece, about urban sprawl prediction. That is because Volos is the 6th largest city in population in Greece, with a big growth rate, and combines all of the characteristics, natural or man-created, that are used for the prediction of urban sprawl. Generally, the purpose of this thesis is to examine if the SLEUTH model can be adopted for Greek case studies and, thus, producing logical assumptions, and if it is possible that the model would be used as a tool in urban and rural planning.

Key words: SLEUTH, Cellular Automata, models, urban sprawl, Volos

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ	1
1. Εισαγωγή	1
2. Αστική Διάχυση	3
2.1. Το φαινόμενο της αστικής διάχυσης	3
2.2. Είδη αστικής ανάπτυξης	4
2.3. Αίτια της αστικής διάχυσης	6
2.3.1. Ανάπτυξη της οικονομίας και της τεχνολογίας	6
2.3.2. Η ελκυστικότητα ως ανθρώπινος παράγοντας	8
2.4. Χρήσεις γης και επιπτώσεις της αστικής διάχυσης	9
2.5. Τρόποι διαχείρισης της αστικής διάχυσης	11
3. Μοντέλα αστικής εξάπλωσης	13
3.1. Κατηγορίες Μοντέλων Αστικής Εξάπλωσης	14
3.2. Μοντέλα αστικής εξάπλωσης και παραδείγματα από εφαρμογές στον Ελλαδικό χώρο	15
3.3. Κυτταρικά Αυτόματα και το μοντέλο SLEUTH	18
3.3.1. Conway's "Game of Life"	19
3.3.2. Κυτταρικά Αυτόματα και χώρος	21
3.3.3. Το μοντέλο SLEUTH	21
B. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ	24
4. Παρουσίαση περιοχής μελέτης	24
4.1. Το Πολεοδομικό Συγκρότημα Βόλου	24
4.1.1. Πληθυσμιακά στοιχεία	25
4.1.2. Αστική εξάπλωση και περιοχή μελέτης	27
4.1.3. Τάσεις αστικής εξάπλωσης	28
4.2. Δεδομένα εισαγωγής στο SLEUTH	29
5. Εφαρμογή του μοντέλου SLEUTH	40
5.1. Μεταγλώττιση (Compilation)	40
5.2. Βαθμονόμηση (Calibration)	40
5.3. Πρόβλεψη (Prediction)	42
5.3.1. Εφαρμογή του σεναρίου	42
5.3.2. Αποτελέσματα πρόβλεψης	43
6. Σύγκριση με το νέο ΓΠΣ Βόλου	46
7. Συμπεράσματα και μελλοντικές εφαρμογές	51
7.1. Ανάλυση αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων	51
7.1.1. Ως προς το φαινόμενο	51
7.1.2. Ως προς το μοντέλο	51
7.2. Μελλοντικές εφαρμογές	52
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	54
Ελληνόγλωσση	54
Ξενόγλωσση	55

Διαδικτυακοί τόποι _____	57
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ _____	58

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Οι παράμετροι που δείχνουν τις επιπτώσεις της αστικής διάχυσης _____	11
Πίνακας 2: Μόνιμος πληθυσμός Καλλικρατικού Δ. Βόλου _____	26
Πίνακας 3: Προβολή πληθυσμού για το 2029 _____	26
Πίνακας 4: Οι βέλτιστες τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του μοντέλου _____	42
Πίνακας 5: Χρώματα πιθανοτήτων αστικής διάχυσης στους τελικούς χάρτες _____	43

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1: Οι τρεις τύποι αστικής διάχυσης _____	4
Εικόνα 2: Γενική κατηγοριοποίηση των μοντέλων _____	14
Εικόνα 3: Gosper's Glitter Gun _____	20
Εικόνα 4: Παρουσίαση της περιοχής μελέτης _____	25
Εικόνα 5: Περιοχή μελέτης και τάσεις εξάπλωσης _____	29
Εικόνα 6: Ποσοστό κλίσης _____	31
Εικόνα 7: Καλύψεις γης 1990 _____	32
Εικόνα 8: Καλύψεις γης 2009 _____	33
Εικόνα 9: Περιοχές αποκλεισμού της δόμησης _____	34
Εικόνα 10: Αστική κάλυψη 1980 _____	35
Εικόνα 11: Αστική κάλυψη 1990 _____	36
Εικόνα 12: Αστική κάλυψη 2003 _____	36
Εικόνα 13: Αστική κάλυψη 2009 _____	37
Εικόνα 14: Οδικό δίκτυο 2002 _____	38
Εικόνα 15: Οδικό δίκτυο 2009 _____	38
Εικόνα 16: Ανάγλυφο περιοχής μελέτης _____	39
Εικόνα 17: Οι καλύψεις γης τις χρονιές 2014, 2019, 2024 και 2029 _____	44
Εικόνα 18: Πρόβλεψη αστικής διάχυσης από το 2009 _____	45
Εικόνα 19: Σύγκριση ΓΠΣ με πρόβλεψη 2021 _____	48
Εικόνα 20: Σύγκριση ΓΠΣ με πρόβλεψη 2029 _____	49

A. ΘΕΩΡΗΤΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

1. Εισαγωγή

Η αστική εξάπλωση είναι ένα μείζον ζήτημα τα τελευταία χρόνια. Η τριτογενοποίηση των πόλεων έχει δημιουργήσει ένα κλίμα εξελίξεων, πάνω τόσο στην οικονομία όσο και στην τεχνολογία και στις κοινωνίες των πόλεων, με αποτέλεσμα την αύξηση του πληθυσμού. Η αύξηση αυτή έχει συντελέσει στην αυξανόμενη απαίτηση για χώρο στα μεγάλα αστικά κέντρα, με αποτέλεσμα να υπάρχει συνεχώς ζήτηση για περαιτέρω αστική εξάπλωση. Στην Ελλάδα συγκεκριμένα, οι μεσαίες πόλεις (50 έως 100 χιλιάδων κατοίκων) αυξάνουν συνεχώς τον πληθυσμό τους, με αυτόν των κομποπόλεων να μειώνεται.

Το μοντέλα αστικής εξάπλωσης μας δίνουν την δυνατότητα να προβλέψουμε την αστική διάχυση ποσοτικά, με αρκετά μεγάλη ακρίβεια. Η χρησιμότητα της πρόβλεψης αφορά δύο βασικές πλευρές. Η πρώτη είναι ότι τα αποτελέσματα ενός μοντέλου πρόβλεψης μπορούν να βοηθήσουν στον χωρικό σχεδιασμό, αφού παρουσιάζουν τις πιο πιθανές θέσεις όπου θα υπάρχουν μεγαλύτερες τάσεις για αστική εξάπλωση. Η δεύτερη χρησιμότητα της πρόβλεψης είναι πως μπορούμε να υπολογίσουμε τα μελλοντικά οικιστικά κατάλοιπα, τα οποία δύναται να έχουν αρκετές αρνητικές περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Οπότε, γνωρίζοντας προς ποιες περιοχές πρόκειται να επεκταθεί μια πόλη, ένας μηχανικός μπορεί να προβεί σε προληπτικές ενέργειες για την προστασία του περιβάλλοντος και την διατήρηση του περιβαλλοντικού ισοζυγίου.

Στην παρούσα διπλωματική εργασία, το μοντέλο που επιλέχθηκε για την πρόβλεψη της αστικής εξάπλωσης είναι το SLEUTH. Το SLEUTH είναι ένα μοντέλο βασισμένο στα Κυτταρικά Αυτόματα (Cellular Automata, CA) και στη μέθοδο Monte Carlo (MC), το οποίο δημιουργήθηκε από τον K. Clarke για λογαριασμό του United States Geological Survey (USGS). Το μοντέλο αυτό επεξεργάζεται δεδομένα raster, τα οποία επηρεάζουν την αστική εξάπλωση, προκειμένου να μπορέσει να την προβλέψει.

Η πόλη του Βόλου αποτελεί ένα εξαιρετικό παράδειγμα για την εφαρμογή του SLEUTH. Τόσο το φυσικό περιβάλλον όσο και οι ανθρωπογενείς παράγοντες που επηρεάζουν την αστική εξάπλωση, όπως όρη, δασικές περιοχές, περιοχές υπό αρχαιολογική προστασία κτλ., υπάρχουν σε μεγάλο βαθμό στην περιοχή που

επιλέχθηκε να μελετηθεί.

Με βάση τα παραπάνω προκύπτει πως ο βασικός σκοπός της διπλωματικής έρευνας είναι η δημιουργία ενός μοντέλου για την πρόβλεψη, με ποσοτικό τρόπο, της αστικής εξάπλωσης της πόλης του Βόλου. Οπότε, ως στόχος θεωρείται η συγκέντρωση των απαιτούμενων δεδομένων, η ανάλυση της περιοχής μελέτης, η χρήση του προγράμματος SLEUTH για την πρόβλεψη της αστικής εξάπλωσης και η εξαγωγή συμπερασμάτων από τα παραγόμενα αποτελέσματα.

2. Αστική Διάχυση

2.1. Το φαινόμενο της αστικής διάχυσης

Πριν γίνει οποιαδήποτε αναφορά στην αστική διάχυση, πρέπει να επισημανθεί η έννοια του οικισμού. Ο οικιστικός χώρος που καταλαμβάνει μια πόλη αποκαλείται ο χώρος που έχει αστικοποιηθεί και δεν θεωρείται πλέον ως υπαίθρος, και ο οποίος καταλαμβάνεται από κτίσματα και λοιπές υποδομές με ανθρωπογενή χαρακτήρα (Οικονόμου Δ., Σημειώσεις Χωροταξικής Πολιτικής 2009, σελ. 4).

Η αστική διάχυση ή αστική εξάπλωση είναι ένα από τα πιο βασικά θέματα σήμερα και έχει απασχολήσει πολλούς επιστήμονες, οι οποίοι έχουν δημιουργήσει πλούσια βιβλιογραφία. Μέσα από την βιβλιογραφία αυτή εμφανίζεται μεγάλη ασυμφωνία ανάμεσα σε μελετητές ως προς το ποιος είναι ο πραγματικός ορισμός για την αστική διάχυση. Παρακάτω θα αναφερθούν και θα εξεταστούν διάφορα ζητήματα που την αφορούν.

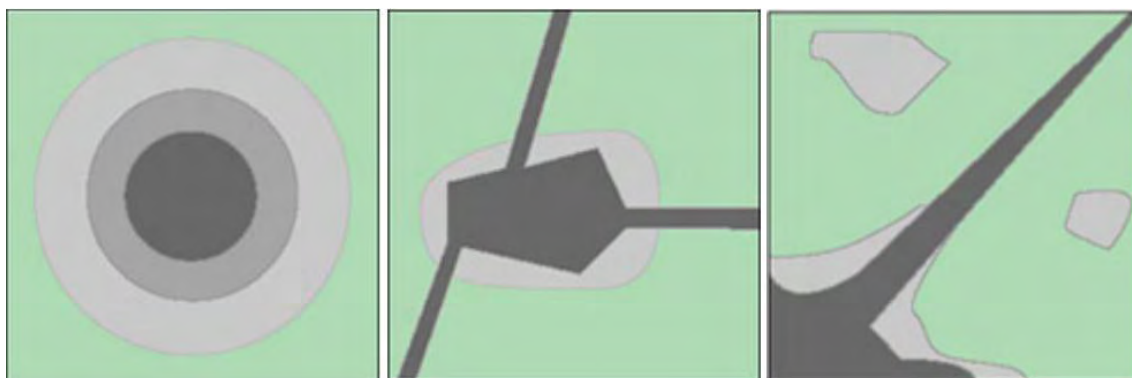
Ο όρος αστική διάχυση έχει χρησιμοποιηθεί με ασάφεια για διάφορες περιπτώσεις αστικών μορφών όπως για τη συνεχόμενη προαστιακή ανάπτυξη ή για τα γραμμικά σχέδια ανάπτυξης. Χρησιμοποιείται σήμερα για να καλύψει ένα μεγάλο εύρος αστικών μορφών και κινήσεων, χωρίς όμως να είναι ουσιαστικά αυτός ο σωστός ορισμός. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα σήμερα ο όρος για την αστική εξάπλωση να χρησιμοποιείται λανθασμένα, ώστε να καλύψει τις αστικές μορφές για τις οποίες χρησιμοποιείται. (Ewing 1994, Pendall 1999, Razin & Rosentraub 2000, Peiser 2001, Audirac, Shermeyen & Smith 1990, Chin 2002).

Ουσιαστικά, η έννοια της αστικής διάχυσης αφορά την ανάπτυξη και την μεγέθυνση των προαστιακών περιοχών των πόλεων, σε ένα πιο συμπαγές επίπεδο. Η ανάπτυξη αυτή αφορά μια συνεχόμενη εξάπλωση από μια υπάρχουσα ανάπτυξη που προέρχεται από έναν ή περισσότερους αστικούς πυρήνες (Chin 2002). Θεωρητικά δηλαδή, ως αστική διάχυση εννοείται, στην ευρεία έννοια, το φαινόμενο που κυριαρχεί στις πόλεις που έχουν μητροπολιτικές τάσεις, κατά το οποίο εμφανίζεται τάση για προαστικοποίηση, δηλαδή αστικοποίηση της περιφερειακής υπαίθρου, και για περιαστικοποίηση των τριτογενών δραστηριοτήτων και ανάπτυξη συστημάτων υποδομών στην περιφέρεια της πόλης.

Με βάση τον Bruegmann, η αστική διάχυση είναι “ένα κοινό χαρακτηριστικό γνώρισμα των πόλεων από την αρχή της αστικής ιστορίας”. Από την αρχαία Ρώμη, οι πιο εύποροι κάτοικοί της συνήθιζαν να χτίζουν βίλες εκτός των αμυντικών τοίχων, όπου είχαν την δυνατότητα να ξεφύγουν από το αστικό χάος. Παρόμοια παραδείγματα έχουμε και στην Κίνα επί την δυναστεία των Ming, αλλά και στο Λονδίνο του 18ου αιώνα. Στα τέλη του 17ου αιώνα, το Λονδίνο είχε ισχυροποιηθεί οικονομικά, με αποτέλεσμα να είναι επιτακτική η ανάγκη για δόμηση. Για τον λόγο αυτό, το Λονδίνο επεκτάθηκε πέρα από τα παραδοσιακά για τότε όρια, και στις επεκτάσεις συνήθιζαν να μετακομίζουν οι πιο εύπορες οικογένειες για να καταφέρουν να ξεφύγουν από το χαοτικό κέντρο του. Παρόμοια επιτάχυνση της αστικοποίησης εμφανίστηκε και στα τέλη του 19ου αιώνα, λόγω του ολοένα και ενισχυόμενου ρόλου που αποκτούσαν οι μητροπόλεις. (Οικονόμου Δ. 2010)

2.2. Είδη αστικής ανάπτυξης

Κατά τους Harvey και Clark (στο Chin 2002), τα είδη της αστικής ανάπτυξης μπορούν να καταταχθούν σε τρεις βασικές κατηγορίες. Και οι τρεις κατηγορίες ορίστηκαν από τα στοιχεία που τείνουν να διαμορφώσουν την αστικοποίηση, όπως οι υπάρχουσες καλύψεις γης, (π.χ. είναι πιο ευνοϊκό μια πόλη να επεκταθεί στα προάστια όπου υπάρχει γεωργία, παρά σε προάστιο με δασική κάλυψη), οι χρήσεις της (π.χ. εάν υπάρχουν ήδη ορισμένες θέσεις εργασίας και χώροι αναψυχής, τότε είναι πιο ευνοϊκό να δημιουργηθούν νέες κατοικίες στην περιοχή, όπως μπορεί να συμβεί και το αντίστροφο), η εγγύτητα με το κέντρο της πόλης και τα δίκτυα μεταφοράς.



Εικόνα 1: Οι τρεις τύποι αστικής διάχυσης

1. Περιαστική ανάπτυξη (Suburban Growth): Είναι ο τύπος της αστικής διάχυσης, κατά τον οποίο θεωρητικά υπάρχει συνεχής ανάπτυξη από έναν πυρήνα. Αυτή είναι η πιο συνεκτική μορφή διάχυσης ενός οικισμού και χαρακτηρίζεται συνήθως από χαμηλή πυκνότητα (σε σχέση με τον υπόλοιπο οικισμό, περίπου στους 25 κατ/Ha) και από χρήση κυρίως κατοικίας.

2. Γραμμική ανάπτυξη παράλληλη των οδικών αρτηριών (Ribbon or Strip Sprawl): Αναπτύσσεται σταδιακά, ξεκινώντας από την γη που έχει επαφή με τους άξονες, λόγω της ευκολίας πρόσβασης σε οδικό δίκτυο. Στην συνέχεια, η διάχυση κατ' αυτόν τον τρόπο συνεχίζεται, με αποτέλεσμα να δημιουργούνται μεγάλες αστικές εκτάσεις. Η ανάπτυξη αυτή μπορεί να είναι είτε συνεχής (όπως φαίνεται στην εικόνα) είτε ασυνεχής, ανάλογα με την θέση της, και χαρακτηρίζεται επίσης από χαμηλή πυκνότητα δόμησης και πλήρη εξάρτηση από μηχανοκίνητο μέσο μεταφοράς.

3. Διάσπαρτη ή αποσπασματική ανάπτυξη (Scattered or Leapfrog Sprawl): Είναι μια μορφή ασυνεχούς αστικής ανάπτυξης, κατά την οποία δημιουργούνται κηλίδες με αστική χρήση. Χαρακτηρίζεται από μικρές περιοχές, χωρίς συγκεκριμένη μορφή (πολεοδόμηση) που βρίσκονται κυρίως στον φυσικό χώρο. Αυτή η μορφή της ανάπτυξης έχει τα περισσότερα μειονεκτήματα καθώς και προσφέρει ελευθερία στην δόμηση και στην χρήση της ιδιοκτησίας, αλλά χωρίς τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η συνεκτικότητα στον σχεδιασμό, όπως για παράδειγμα την ορθή πολεοδόμηση, με φιλοπεριβαλλοντικό χαρακτήρα, τις κοινόχρηστες και κοινωφελείς υποδομές, και τις υπηρεσίες. Για τον λόγο αυτό, η διοίκηση του οικισμού “εξαναγκάζεται” να προσαρτήσει αυτά τα κομμάτια σε κάποιον οργανωμένο οικισμό, ώστε να υπάρχει έλεγχος στην δόμηση, μέσω της δημιουργίας υποδομών. Επίσης, λόγω και της απόστασης τέτοιων περιοχών με το πολεοδομικό κέντρο ενός οικισμού, οι κάτοικοι εξαρτώνται πλήρως από τα μηχανοκίνητα μέσα μεταφοράς.

Από τα παραπάνω μπορεί κανείς να συμπεράνει πως η έννοια της αστικής διάχυσης προκαλεί αρκετές αντιπαραθέσεις μεταξύ των επιστημόνων. Μερικοί υποστηρίζουν πως η αστική διάχυση είναι μόνο η περιαστική ανάπτυξη, η οποία συμβαίνει ως λογικό αποτέλεσμα της αύξησης του πληθυσμού. Άλλοι υποστηρίζουν πως η αστική διάχυση δεν αφορά μόνο την περιαστική ανάπτυξη, αλλά και την εκτός σχεδίου δόμηση. Στην εργασία αυτή γίνεται η παραδοχή πως η αστική διάχυση αφορά τη διασπορά αστικών λειτουργιών στον εξωαστικό χώρο, με αποτέλεσμα ο χώρος αυτός να μετατραπεί

ενδεχομένως είτε σε αστικό/οικιστικό χώρο, είτε σε κάποια από τις υβριδικές μορφές χώρου (οι τρεις που συζητήθηκαν παραπάνω) (Οικονόμου Δ. 2011)

Ειδικότερα στην περίπτωση της Ελλάδας η εκτός σχεδίου δόμηση είναι ένα πολύ συχνό φαινόμενο. Νόμιμη ή όχι, η εκτός σχεδίου δόμηση πρέπει να θεωρείται σαν μια μορφή αστικής διάχυσης, καθώς ακόμα και εάν κάποιος δομήσει εκτός ορίων μιας πόλης, υπάρχει ακόμα η εξάρτησή του από αυτήν. Η εξάρτηση των δομημένων τμημάτων εκτός σχεδίου (εάν για παράδειγμα αναφερόμαστε σε χρήση κατοικίας) μπορεί να είναι η εργασία και η ψυχαγωγία. Οι εξαρτήσεις αυτές δημιουργούνται επειδή όταν κάποιος δομήσει μια κατοικία εκτός σχεδίου, είναι εξαιρετικά απίθανο να υπάρξει συγκέντρωση κλάδων που θα καταστήσει μια περιοχή με εσωτερική χωρική ολοκλήρωση σε μεγάλο βαθμό, ώστε να γίνει σχετικά αυτόνομη (Οικονόμου Δ. 2009). Επιπλέον, εάν υπάρχει διάσπαρτος πληθυσμός οι γραμμές εξυπηρέτησης των ΜΜΜ ενδέχεται να μετατραπούν σε άγονες, με αποτέλεσμα τα ΜΜΜ να διακόπτουν τα άγονα δρομολόγια και ο πληθυσμός να μην μπορεί πλέον να εξυπηρετηθεί. Με αυτόν τον τρόπο αυτόματα αποδεικνύεται και η εξάρτηση από τα μηχανοκίνητα μέσα, κυρίως από τα ιδιωτικά.

2.3. Αίτια της αστικής διάχυσης

Τα αίτια της αστικής διάχυσης έχουν μελετηθεί αρκετά, χωρίς όμως να έχει δοθεί η απαραίτητη σημασία. Για την κατανόηση του φαινομένου της αστικής διάχυσης πρέπει να αναλυθούν οι λόγοι και οι παράγοντες που οδήγησαν στην δημιουργία του. Παρατηρώντας κανείς την ιστορία, ο βασικός παράγοντας της αστικής διάχυσης ήταν η αύξηση του πληθυσμού και ακολούθως η αύξηση των ορίων των πόλεων, αλλά δεν φαίνεται να υπάρχει πλήρης σύνδεση με αυτόν τον παράγοντα. Ανέκαθεν υπήρχαν και άλλες παράμετροι οι οποίοι συνέβαλλαν στην αστική διάχυση, όπως ο ανθρώπινος παράγοντας και η ανάπτυξη της οικονομίας και της τεχνολογίας.

2.3.1. Ανάπτυξη της οικονομίας και της τεχνολογίας

Κατά την διάρκεια του 19ου αιώνα το φαινόμενο της αστικής διάχυσης εντατικοποιήθηκε. Η βιομηχανοποίηση λειτούργησε ως καταλύτης για την αύξηση του πληθυσμού των, ανεπτυγμένων πόλεων, καθώς μεγάλοι αριθμοί πληθυσμών μετακινήθηκαν από την ύπαιθρο και τις επαρχίες στις εκβιομηχανοποιημένες μεγαλουπόλεις για να στελεχώσουν το εργατικό δυναμικό. (Οικονόμου Δ. 2009). Τότε

παρατηρήθηκε και η μεγάλη πτώση της απασχόλησης στον πρωτογενή τομέα, με παράλληλη αύξηση στην απασχόληση του δευτερογενούς.

Το βασικό αίτιο της αστικής διάχυσης, σε μια αυστηρά συνεκτική πόλη, ήταν και είναι η αύξηση του πληθυσμού. Όταν ο πληθυσμός μιας πόλης δεν μπορεί να εξυπηρετηθεί μέσα στα όριά της, φτάνει σε σημείο κορεσμού, οπότε και η διεύρυνση των ορίων της είναι αναπόφευκτη.

Κατ' αυτόν τον τρόπο γίνεται επέκταση μιας πόλης και των υποδομών της. Τα όριά της διευρύνονται, συνήθως περιαστικά, με την χρήση των πολεοδομικών εργαλείων της εκάστοτε χώρας. Η επέκταση των ορίων μιας πόλης θεωρείται, όμως, περισσότερο ως μια διαδικασία αστικοποίησης της περιστασιακής υπαίθρου, στην οποία εμφανίζεται και η μεγαλύτερη πίεση για αστικοποίηση. (Οικονόμου Δ., Πετράκος Γ. 2005).

Κατ' επέκταση η αύξηση του πληθυσμού και η εκβιομηχάνιση μετέτρεψαν τα αστικά κέντρα σε πυκνοδομημένες περιοχές, κάτι που χαρακτήριζε και την χαμηλή ποιότητα ζωής του πληθυσμού που διέμενε στο κέντρο μιας πόλης. Ένα αυξανόμενο μέρος του πληθυσμού διέμενε σε μη-πολεοδομικά σχεδιασμένες φτωχές περιοχές, οι οποίες είχαν περιορισμένη πρόσβαση σε κοινόχρηστες και κοινωφελείς υποδομές. Παρ' όλες τις αντιξοότητες που αντιμετώπιζε, ο πληθυσμός των πόλεων συνέχιζε να αυξάνεται, λόγω των θέσεων εργασίας που προσφέρονταν.

Σήμερα, παρατηρούνται ακόμη τέτοια φαινόμενα στα κέντρα των πόλεων. Κατά τον Μαλούτα (1992), παραδείγματα όπως η εγκατάσταση μεταναστών στα κέντρα των πόλεων, η ρύπανση, η έλλειψη πρασίνου και επαρκούς χώρου, οι γρήγοροι ρυθμοί της ζωής και η αυξημένη εγκληματικότητα, ωθούν τις πιο εύπορες οικογένειες να διαμείνουν στην περιφέρεια των πόλεων, ή ακόμα και εξωαστικά.

Σε συνδυασμό με την ανάπτυξη της τεχνολογίας και των μεταφορικών μέσων, μεγάλα μέρη του πληθυσμού κινητοποιήθηκαν εκτός των ορίων των πόλεων οι οποίες λειτουργούσαν σε βιομηχανικούς ρυθμούς. Ο πληθυσμός που αναζητούσε ένα καλύτερο τρόπο ζωής μεταφέρθηκε στα προάστια των πόλεων που ήταν λιγότερο πυκνοκατοικημένα. Σε αυτήν την μετακίνηση συνέβαλε η ανάπτυξη των μέσων μεταφοράς, τα οποία λειτούργησαν για την μεταφορά των πληθυσμών από τις κατοικίες των προαστίων, στην ψυχαγωγία και τον χώρο εργασίας του κέντρου. (Γοσποδίνη 2006,

Batty et al 2003)

Τα φαινόμενα αυτά παρατηρούνται ακόμα και σήμερα. Η ολοένα και μεγαλύτερη ανάπτυξη των μεταφορικών μέσων με την παράλληλη ανάπτυξη των δικτύων μεταφοράς που υποστηρίζουν αυτά τα μέσα, μαζί με την ανάπτυξη της τεχνολογίας (διαδίκτυο, κινητή τηλεφωνία κτλ.) κατέστησαν δυνατή την κατοίκηση του πληθυσμού στα προάστια. Κατ' αυτόν τον τρόπο διαφαίνεται πως η παγκοσμιοποίηση της οικονομίας επέφερε αλλαγές στην χωρική διανομή του πληθυσμού και της απασχόλησης (Κατσάρα κ.α., 2009). Στο μέλλον, η αστική διάχυση ενδέχεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Όσο αυξάνονται οι τεχνολογίες και οι ταχύτητες μεταφοράς, τόσο πιο πολύ θα ευνοείται η αστική διάχυση.

Παράλληλα με τις υποβοηθητικές νέες τεχνολογίες, η αστική διάχυση ευνοήθηκε και από την τιμή της γης. Οι τιμές στην αγορά ή ενοικίαση γης εκτός ορίων πόλεων είναι πιο χαμηλές λόγω του ότι είναι πιο δύσκολο κανείς να δομήσει. Επειδή όμως η γη είναι πιο φθηνή, σε πολλές πόλεις τα εμπορικά πολύ-καταστήματα ήταν πιο εύκολο να εγκατασταθούν εκτός των ορίων τους (εξωαστικά ή περιαστικά), λόγω του ότι υπάρχει φθηνή και μεγάλης έκτασης αγροτική γη. Οι διάσπαρτες κατοικίες ευνοούνται από την ανάπτυξη των εξωαστικών νέων κεντρικότητων, λόγω της εξυπηρέτησης που μπορούν να προσφέρουν, καθώς είναι σε μικρή εγγύτητα.

2.3.2. Η ελκυστικότητα ως ανθρώπινος παράγοντας

Τα αίτια που με τα χρόνια προκαλούσαν το φαινόμενο της αστικής διάχυσης δεν ήταν πάντοτε τα ίδια. Μπορεί η γενικευμένη αστικοποίηση να είναι φαινόμενο των δύο τελευταίων αιώνων, αλλά ανάλογα με την χρονική περίοδο και τον εκάστοτε πληθυσμό, η αστική διάχυση προκαλείται διαφορετικά. Ξεκινώντας από τον 17ο αιώνα, όπου και εμφανίστηκε για πρώτη φορά το φαινόμενο της αστικής διάχυσης, τότε είχε παρουσιαστεί και ο παράγοντας της ελκυστικότητας μιας περιοχής. Οι ευγενείς τάξεις της αρχαίας Ρώμης συνήθιζαν να έχουν βίλες εκτός των τειχών της πόλης.

Ο κύριος λόγος που εμφανιζόταν αυτό το φαινόμενο ήταν η ελκυστικότητα της αδόμητης και "απείραχτης" (χωρίς να έχει επέμβει ο ανθρώπινος παράγοντας) φύσης, η οποία προσέλκυε και πάντοτε θα προσελκύει το ανθρώπινο είδος, ως καλλωπιστικό φαινόμενο. Για τον λόγο αυτό στην Ελλάδα υπάρχουν παραδείγματα όπου τα

μεγαλύτερα ποσοστά αυθαίρετης δόμησης είναι σε περιοχές ιδιαίτερου φυσικού κάλλους, όπως παραλίες και δάση.

2.4. Χρήσεις γης και επιπτώσεις της αστικής διάχυσης

Ένας αμερικάνικος οργανισμός εν ονόματι “Transportation Research Board” (TRB) κατέγραψε όλη την ανάπτυξη στις ΗΠΑ μετά τον 2ο Παγκόσμιο Πόλεμο. Αν και είχε ειπωθεί πως είναι αδύνατον να ξεχωρίσει κανείς μια περιοχή η οποία αναπτύχθηκε με βάση την διάχυση, από μια περιοχή η οποία δέχθηκε την συμβατική ανάπτυξη, έχει αποδειχθεί επιστημονικά πως κάτι τέτοιο δεν ισχύει (Chin 2002).

Πριν γίνει ανάλυση των χρήσεων γης, είναι πιο ορθό να παρουσιαστούν οι δύο βασικές κατηγορίες, κατά την Γοσποδίνη, της αστικής διάχυσης, από την πλευρά των χρήσεων γης. Μέσα από την εκβιομηχανοποίηση των πόλεων η αστική διάχυση μπορεί να διακριθεί σε δύο βασικές υποκατηγορίες: τις εξωαστικές νέες κεντρικότητες και την εξωαστική διάσπαρτη κατοικία. Η πρώτη κατηγορία συναντάται στον περιαστικό χώρο των πόλεων, σε παρόδια μορφή, και αποτελείται από διάσπαρτα κτιριακά συγκροτήματα που φιλοξενούν χρήσεις νέων αστικών οικονομιών, όπως αναψυχή, εμπόριο και κέντρα νέων τεχνολογιών. Η κατηγορία της εξωαστικής διάσπαρτης κατοικίας αφορά τις περιοχές εκτός ορίων πόλεων, όπου επιτρέπεται η εκτός σχεδίου δόμηση. Στην κατηγορία αυτήν ενσωματώνονται όλες οι κατοικίες, κυρίως μονοκατοικίες, που δομήθηκαν σε αυτές τις περιοχές, και είναι κυρίως σε διάσπαρτη μορφή, χωρίς να έχουν ενταχθεί σε κάποιες υποδοχές ή άλλον χωρικό σχεδιασμό. (Κατσάρα κ.α. 2009)

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, (με την κύρια βιβλιογραφία των χρήσεων γης των περιοχών που έχουν προέλθει από την αστική διάχυση να προέρχεται από την Αμερική, όπου και έχει αναλυθεί το φαινόμενο), προκύπτει πως υπάρχουν ορισμένα χαρακτηριστικά που τις ξεχωρίζουν από τις περιοχές με την συμβατική ανάπτυξη. Ως χαρακτηριστικά της αστικής διάχυσης καταλέγονται η οικιστική ανάπτυξη χαμηλής πυκνότητας, η απεριόριστη και ασυνεχής ανάπτυξη, η ομοιογενής ανάπτυξη μονοκατοικιών με κάποιες διάσπαρτες μονάδες, οι μη οικιστικές χρήσεις, (όπως αυτές των εμπορικών κέντρων, του λιανικού εμπορίου, των μεμονωμένων βιοτεχνιών ή βιομηχανιών), και οι απομονωμένες, χωρικά, χρήσεις γης. Για τον λόγο αυτό, σήμερα το φαινόμενο της αστικής διάχυσης δεν αφορά μόνο την κατοικία. Το λιανικό εμπόριο

και τα επιχειρηματικά και βιομηχανικά πάρκα έχουν γίνει μια πολύ οικεία εικόνα στην περίμετρο των πόλεων. Η πυκνότητα απασχόλησης στο κέντρο μειώνεται και ανάλογες δραστηριότητες αυξάνονται στην περιαστική ζώνη. Το φαινόμενο της αστικής διάχυσης ενισχύθηκε σημαντικά με την αύξηση των ιδιωτικών αυτοκινήτων, καθώς επίσης και με τα μέσα μαζικής μεταφοράς υψηλής ταχύτητας. Για τον λόγο αυτό υπήρξε προτίμηση του μοντέλου της μονοκατοικίας στα προάστια. (Chin 2002)

Όσον αφορά τα αποτελέσματα της αστικής διάχυσης, έχει αποδειχθεί πως μπορούν να χρησιμεύσουν ώστε να γίνει άλλου είδους διαχωρισμός από αυτόν των χρήσεων γης. Οι επιπτώσεις της διάχυσης είναι αυτές που μπορούν να κάνουν την διάχυση ανεπιθύμητη, και όχι ουσιαστικά η διάχυση σαν φαινόμενο. Κατά τον Ewing (2002), η μικρή δυνατότητα πρόσβασης σε όμοιες χρήσεις γης και η έλλειψη λειτουργικών ελεύθερων χώρων λειτουργούν ως μια μέθοδος προσδιορισμού της διάχυσης.

Μια από τις επιπτώσεις της διάχυσης είναι και η χαμηλή πυκνότητα. Στις περιοχές όπου έχουν εμφανιστεί σημάδια διάχυσης, η πυκνότητα βρίσκεται σε χαμηλά επίπεδα. Επειδή, όμως, η κάθε χώρα ή πόλη έχει τα δικά της σταθμά στο τι θεωρείται χαμηλό επίπεδο πυκνότητας, δεν μπορεί να γίνει ποσοτικοποίηση της πυκνότητας ώστε να κατηγοριοποιηθεί κατ' αυτόν τον τρόπο. Για τον λόγο αυτόν, χρησιμοποιούνται διαφορετικοί μαθηματικοί τύποι, προκειμένου να ελεγχθεί η πυκνότητα μιας περιοχής, και συγκεκριμένα αυτοί που χρησιμοποιούνται ως εργαλεία για την πολεοδόμηση. Οι δυο αυτοί δείκτες είναι ο συντελεστής κορεσμού μιας περιοχής και η πυκνότητα, με ή χωρίς τους κοινωφελείς χώρους (ακαθάριστη ή καθαρά κατοικημένη πυκνότητα) (Chin 2002).

Με βάση τον Πορτοκαλίδη και την Ζυγούρη, υπάρχουν διάφοροι δείκτες οι οποίοι αν μελετηθούν μπορούν να δείξουν αν μια περιοχή έχει αναπτυχθεί συμβατικά ή μέσω της διάχυσης. Οι παράμετροι αυτοί παρατηρούνται μέσα από τις επιπτώσεις που έχει η αστική διάχυση (Πίνακας 1).

Μακροοικονομικοί Παράμετροι	Μικροοικονομικοί Παράμετροι
Οικονομική Ανάπτυξη Παγκοσμιοποίηση Ευρωπαϊκή Συνοχή	Βελτίωση των συνθηκών διαβίωσης Αξίες γης (γαιοπρόσοδος) Διαθεσιμότητα φτηνής αγροτικής γης Ανταγωνισμός των Πόλεων
Προτιμήσεις Κατοίκησης	Προβλήματα στο εσωτερικό των Πόλεων
Μεγαλύτερος χώρος ανά άτομο Προτιμήσεις κατοικίας	Ατμοσφαιρική ρύπανση, ηχορύπανση κλπ Μικρές κατοικίες Μη ασφαλές περιβάλλον Κοινωνικά προβλήματα Στενότητα ελεύθερων χώρων πρασίνου Κακή ποιότητα εκπαίδευσης
Συγκοινωνίες	Θεσμικό Πλαίσιο
Δείκτης κατοχής αυτοκινήτου Διαθεσιμότητα οδικής υποδομής Χαμηλό κόστος καυσίμων Φτωχή δημόσια συγκοινωνία	Φτωχός χωρικός σχεδιασμός Φτωχή υλοποίηση των χωρικών σχεδίων Έλλειψη οριζόντιας και κάθετης διοικητικής συνεργασίας και συντονισμού

Πίνακας 1: Οι παράμετροι που δείχνουν τις επιπτώσεις της αστικής διάχυσης (Πηγή: Πορτοκαλίδης και Ζυγούρη με στοιχεία από το Ευρωπαϊκό Γραφείο Περιβάλλοντος (2006:17))

2.5. Τρόποι διαχείρισης της αστικής διάχυσης

Η εξωαστική ανάπτυξη και η διάχυση εξελίσσεται γρήγορα, με ταχείς ρυθμούς, όπως και η ανάπτυξη της τεχνολογίας. Για τον λόγο αυτόν θα ήταν ορθότερο να υπάρχει οργάνωση των εξωαστικών περιοχών με την χρήση χωροταξικών εργαλείων, ώστε να συντονισθεί η εξωαστική δόμηση και να μειωθούν τα αρνητικά στοιχεία που την χαρακτηρίζουν.

Ένα από τα βασικότερα μέτρα που μπορούν να ληφθούν για να αντιμετωπιστούν τα αρνητικά αποτελέσματα που προκύπτουν από την ανεξέλεγκτη αστική διάχυση είναι η προώθηση της θεωρίας της συνεκτικής πόλης. Μέσω συνεχόμενων μελετών, μπορεί όχι μόνο να αναδειχθεί ο κορεσμός μίας πόλης, αλλά και η τάση του πληθυσμού να μετακινείται προς τα προάστια (λόγω των μειονεκτημάτων των κέντρων των πόλεων που αναφέρθηκαν προηγουμένως). Έτσι, είναι δυνατόν να προβλεφθεί και η τάση για δόμηση, με αποτέλεσμα να προηγηθεί ο σχεδιασμός του χώρου πριν πραγματοποιηθεί η δόμηση. Κατ' αυτόν τον τρόπο, ενδέχεται να οργανωθεί η περιαστική δόμηση σε προαστιακή (εντός ορίων πόλεως δηλαδή) και να μειωθεί η δόμηση χωρίς σχέδιο (Πορτοκαλίδης & Ζυγούρη).

Η θεσμοθέτηση χρήσεων γης στον εξωαστικό χώρο μπορεί να λειτουργήσει επικουρικά στην ορθή διαχείριση της αστικής διάχυσης. Μέσω της σωστής διαχείρισης των χρήσεων γης, η αστική διάχυση μπορεί να γίνει κατευθυνόμενη, υποβοηθώντας έτσι τον στρατηγικό σχεδιασμό των πόλεων, και αποτρέποντας την άναρχη και ασχεδίαστη επέκτασή τους.

Μία ακόμα λύση θα μπορούσε να είναι η επαναχρησιμοποίηση των υπαρχόντων εδαφών της πόλης, τα οποία έχουν σταματήσει να χρησιμοποιούνται. Παλαιά κτίρια μέσα στα όρια της πόλης, όπως βιομηχανίες, σχολεία, ορφανοτροφεία κ.α. μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ως παρθένα εδάφη μέσα στις πόλεις. Κατ' αυτόν τον τρόπο αποτρέπεται η μετακίνηση των πολιτών προς τα έξω, αφού αυξάνεται η αστική πυκνότητα στις συγκεκριμένες περιοχές, χωρίς όμως να μειώνεται η ποιότητα ζωής (Κατσάρα κ.α. 2009).

3. Μοντέλα αστικής εξάπλωσης

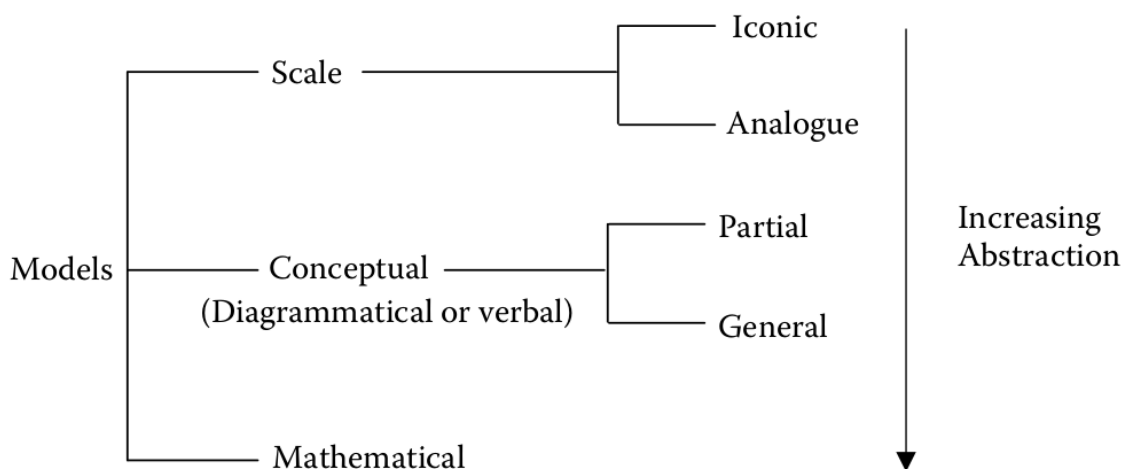
Πρόσφατη έρευνα έχει δείξει πως οι πόλεις είναι περίπλοκα συστήματα, που μεγαλώνουν συνεχώς από τον ασταμάτητο πόθο για χώρο (Batty 2008). Από τα αρχαία ακόμα χρόνια, ο Ιππόδαμος ο Μιλήσιος ο οποίος έζησε τον 5ο αιώνα π.Χ., ήταν από τους πρώτους που ασχολήθηκαν με τον αστικό σχεδιασμό. Το Ιπποδάμειο σύστημα που εισήγαγε τότε και χρησιμοποιείται μέχρι σήμερα, προέβλεπε μεγάλα τμήματα γης χωρίς κάλυψη και χρήση, έτσι ώστε όταν αυξανόταν αργότερα ο πληθυσμός να υπήρχε διαθέσιμος χώρος για την δημιουργία νέου κεντρικού τόπου. Αυτό ήταν το υπόδειγμα για το πρώτο μοντέλο αστικής εξάπλωσης, κατά το οποίο μια μονοκεντρική πόλη μετατρέποταν σε πολυκεντρική (Μαντέλας 2011).

Σκοπός της μοντελοποίησης στη γεωγραφία είναι η εκτίμηση μιας μελλοντικής κατάστασης και η προσομοίωσή της, υπό συγκεκριμένες προϋποθέσεις, έτσι ώστε να είναι δυνατή η ορθότερη διαχείριση της αστικής διάχυσης. Μέσω ενός μοντέλου για την αστική διάχυση πραγματοποιείται εξιδανίκευση μιας κατάστασης που ουσιαστικά δεν υπάρχει, αλλά θα ήταν επιθυμητό να υπάρχει. Με βάση τον Sir Abercrombie (από Batty 2008), το μοντέλο μιας πόλης αντιπροσωπεύει την ιδέα της “ιδανικής πόλης”, μέσω μελλοντικών σχεδίων ή πλαισίων για το πως αυτή πρέπει να σχεδιαστεί.

Η μοντελοποίηση εξιδανικευμένων πόλεων έγινε εφικτή σε μεγάλο βαθμό με την έλευση του Ηλεκτρονικού Υπολογιστή (H/Y). Οι H/Y επέτρεψαν την απλοποίηση και την διαχείριση ανθρώπινων δεδομένων, η οποία προηγουμένως ήταν πολύ δύσκολο έως αδύνατο να πραγματοποιηθεί, καθώς επίσης και την απεικόνισή τους. Μπορεί πριν από τους υπολογιστές να υπήρχε η δισδιάστατη σχεδίαση σε χάρτες, αλλά δεν ήταν καθόλου εύκολο να γίνει η διαχείριση των στατιστικών δεδομένων που χαρακτηρίζουν μια περιοχή, έτσι ώστε να είναι δυνατή η αξιοποίησή τους για τον βέλτιστο σχεδιασμό. Παράλληλα, ο H/Y επέτρεψε την μοντελοποίηση των πόλεων σε τρισδιάστατη μορφή, με αποτέλεσμα να γίνει καλύτερη παρουσίαση των ηλεκτρονικών ιδεακών μοντέλων μιας πόλης, αφού παράλληλα αναδεικνύεται και η γεωγραφία της περιοχής. (Batty, 2008). Στην πρακτική μορφή ενός μοντέλου μιας μελλοντικής κατάστασης, η ευρεία έννοιά του είναι: μοντέλο είναι οποιοσδήποτε κανόνας μπορεί να βγάλει αποτελέσματα από δεδομένα εισαγωγής.

3.1. Κατηγορίες Μοντέλων Αστικής Εξάπλωσης

Τα μοντέλα μπορούν να κατηγοριοποιηθούν με διάφορους τρόπους. Ο πιο γενικευμένος διαχωρισμός τους, κατά την Liu (2009), είναι με βάση την απλοϊκότητά τους και το κατά πόσο διαφέρουν από την πραγματικότητα. Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται ένα διάγραμμα το οποίο βασίζεται σε αυτήν την θεωρία, και το οποίο δείχνει πως όσο αυξάνεται η αφαιρετικότητα, τόσο μειώνεται η απεικόνιση της πραγματικότητας από το μοντέλο.



Εικόνα 2: Γενική κατηγοριοποίηση των μοντέλων (Πηγή: Liu 2009, σελ.4)

Τα μοντέλα κλίμακας είναι ουσιαστικά και τα πιο ακριβή στην συμφωνία τους με την πραγματικότητα, αφού ουσιαστικά αλλάζει η κλίμακα της πραγματικής κατάστασης. Τα μαθηματικά μοντέλα είναι λιγότερο ακριβή και περισσότερο φανταστικά και χρησιμοποιούνται περισσότερο για επιστημονική έρευνα. Για παράδειγμα, το μοντέλο SLEUTH, που εξετάζεται στην παρούσα εργασία, είναι ένα μαθηματικό μοντέλο, όπως και πληθώρα άλλων μοντέλων που σχετίζονται με την αστική γεωγραφία.

Η χρήση των μοντέλων στην αστική γεωγραφία ξεκίνησε στα τέλη του 1950 στις ΗΠΑ, όταν και εμφανίστηκε μεγάλη αύξηση των αυτοκινήτων. Για τον λόγο αυτόν χρησιμοποιήθηκε ένας συνδυασμός H/Y και εξειδικευμένων σύνθετων μαθηματικών μοντέλων, προκειμένου να γίνει μοντελοποίηση των υποδομών μεταφοράς. Στα τέλη του 1980 υπήρξε μεγάλη ανάπτυξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Systems – GIS), τα οποία έφεραν τη νέα εποχή στην μοντελοποίηση γεωγραφικών δεδομένων.

Με βάση την σημαντικότητα και την προσέγγιση που ακολουθείται για τα αστικά ζητήματα, η Liu (2009) δημιούργησε 5 βασικές κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται τα περισσότερα μοντέλα.

- Αστική οικολογική προσέγγιση (Urban ecological approach): Βασίζεται στο ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά έχει άμεση σχέση με τις βιολογικές αξίες που χαρακτηρίζουν το ανθρώπινο είδος, όπως η επιλογή, ο ανταγωνισμός, η διαδοχή και η επικράτηση.
- Κοινωνιολογική φυσική προσέγγιση (Social physical approach): Η προσέγγιση αυτή βασίζεται στην αλληλεπίδραση του ανθρώπου με τον χώρο, και η έμπνευσή της προήλθε από τους νόμους της φυσικής (όπως ο Νόμος της Βαρύτητας).
- Νεοκλασική προσέγγιση (Neoclassical approach): Προέρχεται από τις παραδοσιακές οικονομικές θεωρίες και κατατάσσει την αστική εξάπλωση ως αμιγώς οικονομικό φαινόμενο.
- Προσέγγιση συμπεριφοράς (Behavioral approach): Δίνει μεγαλύτερο βάρος στα θέλητρα του ανθρώπου, όταν ο κάθε άνθρωπος θεωρείται πως επιδιώκει το ίδιο όφελος.
- Συστημική προσέγγιση (Systems approach): Αντιμετωπίζει την πόλη σαν ένα αστικό σύμπλεγμα, το οποίο αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων και υποσυστημάτων.

3.2. Μοντέλα αστικής εξάπλωσης και παραδείγματα από εφαρμογές στον Ελλαδικό χώρο

Λόγω της εξέλιξης του Η/Υ έχουν χρησιμοποιηθεί πολύ τα μοντέλα αστικής εξάπλωσης, τόσο οι παλαιότερες, όσο και οι νεότερες εκδοχές τους. Ανάλογα με την περίπτωση και τα ζητούμενα, έχουν αναπτυχθεί διαχρονικά διάφορα μοντέλα, και η βασικότερη κατηγοριοποίησή τους έγινε από τον Μαντέλα (2011). Όπως αναφέρει ο ίδιος, μέσα από βιβλιογραφίες οι κατηγορίες δεν ήταν ολοκληρωμένες και υπήρχαν επικαλύψεις, με αποτέλεσμα να προκύψει και ένας μεγάλος αριθμός υβριδικών

μοντέλων.

- Μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης (Spatial interaction models): Τα μοντέλα αυτά παρουσιάζουν την αλληλεπίδραση δύο οντοτήτων, οι οποίες είναι ανάλογες του μεγέθους τους και αντιστρόφως ανάλογες της μεταξύ τους απόστασης. Περιλαμβάνονται τα μοντέλα βαρύτητας, με την εισαγωγή των εννοιών της κλίμακας και της απόστασης για να εξηγηθούν οι χωρικές συσχετίσεις.

Μοντέλα: Lowry (1964), MEPLAN (Abraham, 1998) και Tranus (Vichiensan et al., 2003)

- Χωρικά οικονομικά/οικονομετρικά μοντέλα και χωρικά μοντέλα εισροών/εκροών (Spatial economic/econometric model and spatial input/output model): Τα μοντέλα της πρώτης υποκατηγορίας αφορούν την επίδραση των γεω-δημογραφικών παραγόντων στην αγορά γης κατά την εφαρμογή διάφορων οικονομικών θεωριών. Αυτά της δεύτερης υποκατηγορίας βασίζονται σε οικονομικές θεωρίες, αλλά με την διαφορά ότι έχουν περισσότερη βαρύτητα στην κατανομή της παραγωγής και της κατανάλωσης, και τις μετακινήσεις αγαθών σε περιοχές/ζώνες

Μοντέλα: (α) Von Thunen (1826), (β) Land Use Scanner (Kuhlman et al. 2005)

- Αριθμητικά μοντέλα, και μοντέλα γραμμικού και μη-γραμμικού προγραμματισμού (Equation-based models, and linear and non-linear programming models): Σε αυτή την κατηγορία των μοντέλων χρησιμοποιούνται μαθηματικές συναρτήσεις για να αναδειχθούν οι θεωρητικές συσχετίσεις μεταξύ μεγεθών. Μια υποκατηγορία των αριθμητικών μοντέλων αφορά την θεωρία βελτιστοποίησης και τον γραμμικό προγραμματισμό.

Μοντέλα: (α) Sklar and Costanza (1991), (β) Polis (Prastacos, 1985 και 1986), LUMASS (Herzig 2008)

- Συστημικά μοντέλα / Δυναμικά Συστήματα (System models / System dynamics): Το αστικό σύστημα αναλύεται με όρους αποθεμάτων, ροών και ανατροφοδοτικών μηχανισμών ως προς τις πληροφορίες, τις πρώτες ύλες και

την ενέργεια, καταλήγοντας σε σύστημα διαφορικών εξισώσεων με γνωστές αρχικές συνθήκες.

Μοντέλα: (α) Forester (1969), (β) Sanders (2004)

- Έμπειρα συστήματα και μοντέλα βάσει γνώσης (Expert systems and knowledge based models): Με την εισαγωγή κανόνων, αναλύεται η αστική εξάπλωση σε έναν αριθμό φυσικών διαδικασιών. Συνδυάζεται επίσης με πιθανοθεωρητικές τεχνικές, μετατρέποντας τα ποιοτικά δεδομένα σε ποσοτικά.

Μοντέλα: CLUE (Verburg et al. 2002), WhatIf? (Klosterman 1999)

- Μοντέλα μικρο-προσομοίωσης (Micro-simulation models): Αφορούν την προσομοίωση των διαδικασιών σε μικροσκοπικό επίπεδο και εστιάζουν στις ομάδες των ατόμων που επηρεάζουν τις μεταβολές των χρήσεων γης και αναφέρουν την διαδικασία λήψης αποφάσεων.

Μοντέλα: UrbanSim (Alberti and Waddell 2000, Waddell 2004) Dortmund (Wegener 1985)

- Ασαφή μοντέλα (Fuzzy models): Χρησιμοποιούν βάση γνώσης, η οποία διαχειρίζεται δεδομένα με τη λογική της ασάφειας, δηλαδή με τη σύνδεση της φυσικής γλώσσας, τη χρήση της εμπειρικής γνώσης και την υποστήριξη της αμφίρροπης σύνδεσης ανάμεσα σε ποσοτικά και ποιοτικά δεδομένα.

Μοντέλα: Wu (1996, 1998)

- Μοντέλα πρακτόρων και συστήματα πολλαπλών πρακτόρων (Agent-based models and multi-agent systems): Είναι τα πιο πρόσφατα ανεπτυγμένα μοντέλα, και προσομοιώνουν την δυναμική συμπεριφορά μεμονομένων (αυτόνομων) “πρακτόρων”, εστιάζοντας στην αλληλεπίδρασή τους με τον χώρο και άλλα άτομα.

Μοντέλο: Obeus (Benenson and Kharbash 2006)

- Μοντέλα κυβελικών αυτομάτων, ΚΑ (Cellular automata, CA, models): Το μοντέλο των CA είναι διακριτό και αποτελείται από ένα κανονικό πλέγμα

κελιών, στο κάθε ένα εκ των οποίων δίνεται και από ένα σύνολο πεπερασμένων στοιχείων (Neumann, 1951). Είναι ουσιαστικά εγγενείς χωρικές οντότητες, οι οποίες παρουσιάζουν τοπικές συσχετίσεις, και προσεγγίζουν την εξέλιξη ενός συστήματος. Τα μοντέλα CA θα αναλυθούν περαιτέρω σε επόμενο κεφάλαιο.

Μοντέλα: SLEUTH (Clarke 1997), Cage (Blecic et al. 2004)

Τέτοιες μέθοδοι έχουν εφαρμοστεί τόσο στο εξωτερικό όσο και στην Ελλάδα. Τα παραδείγματα ΚΑ που έχουν πραγματοποιηθεί στον Ελλαδικό χώρο αφορούν την εφαρμογή ασαφών (fuzzy) συνόλων για τα Μεσόγεια της Αττικής (Μαντέλας, Πραστάκος & Χατζηχρήστος, 2008), ενώ τα παραδείγματα βασισμένα στο SLEUTH αποτελούνται από το μοντέλο της Μυτιλήνης (Ρετσιλίδου, 2011) και το μοντέλο για την Πάτρα (Γαροφαλάκης, 2012).

3.3. Κυτταρικά Αυτόματα και το μοντέλο SLEUTH

Πρόσφατες μελέτες έχουν δείξει πως οι πόλεις συμπεριφέρονται ως πολύπλοκα και προοδευτικά συστήματα. Τα ΚΑ έχουν την δυνατότητα με την εισαγωγή απλών κανόνων και δεδομένων να δουλέψουν πάνω σε πολύπλοκα πρότυπα και να εξάγουν αποτελέσματα. Για τον λόγο αυτόν, παρατηρώντας τα μη-γραμμικά συστήματα, τα ΚΑ χρησιμοποιούνται σε πολλά μοντέλα για επεξήγηση φαινομένων. Ειδικότερα, τα ΚΑ έχουν αποδειχθεί πολύ χρήσιμα για την μοντελοποίηση του χώρου.

Τα Κυτταρικά/Κυψελικά Αυτόματα – ΚΑ (Cellular Automata – CA) επινοήθηκαν κατά τη δεκαετία του 1940 από τον μαθηματικό John von Neumann στην προσπάθειά του να αναπτύξει ένα αυτοματοποιημένο αντίγραφο ρομποτ. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, τα ΚΑ αποτελούν ένα διακριτό μοντέλο, περιέχει ένα κανονικό πλέγμα κελιών, που στο κάθε ένα δίνεται ένα σύνολο πεπερασμένων στοιχείων (Neumann, 1951).

Τα πέντε βασικά στοιχεία ενός ΚΑ είναι τα εξής (Liu, 2009):

1. Το κύτταρο (The cell): Είναι το στοιχείο που αντιπροσωπεύει τον χώρο. Πολλά κύτταρα μαζί δημιουργούν ένα δισδιάστατο πλέγμα, το οποίο είναι το πιο συνηθισμένο για την παρουσίαση χωρικών δεδομένων σε μοντέλα.

2. Η κατάσταση (The state): Η τιμή της παρουσιάζει την κατάσταση που δύναται να υπάρχει, ανάλογα με το αντικείμενο που εξετάζεται (π.χ. Αστικό ή μη-αστικό, εάν εξετάζεται ο αστικός χώρος).
3. Η γειτονιά (The neighbourhood): Είναι μια ομάδα από κύτταρα τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, λόγω του ότι εφάπτονται. Στην θεωρία υπάρχουν δύο τύποι γειτνίασης: ο ένας είναι του Von Neumann, κατά τον οποίο ένα κύτταρο αλληλεπιδρά με τα τέσσερα κύτταρα που βρίσκονται Βόρεια, Νότια, Ανατολικά και Δυτικά από αυτό (αλληλεπίδραση σταυρός), ενώ ο δεύτερος τύπος (Moore) προτείνει την αλληλεπίδραση και με τα οχτώ εφαπτόμενα κύτταρα.
4. Ο κανόνας μετάβασης (The transition rule): Θέτει τους κανόνες για το πώς ένα κύτταρο αλληλεπιδρά και δύναται να αλλάξει η κατάστασή του μέσα από την επαφή που έχει με τα γειτονικά κύτταρα.
5. Ο χρόνος (The time): Μέσα από τον χρόνο συγκεκριμενοποιείται (στην πρακτική εφαρμογή ενός μοντέλου ΚΑ) ποια θα είναι η χρονική διάσταση κατά την οποία ένα κύτταρο θα φέρει μια κατάσταση.

Τα ΚΑ είχαν διαχρονικά πολλές αναγνωρισμένες εφαρμογές. Μερικές από αυτές είναι στον τομέα της βιολογίας με την εφαρμογή του Game of Life, και στην μοντελοποίηση των χωρικών δεδομένων, όπως το μοντέλο SLEUTH.

3.3.1. Conway's "Game of Life"

Την δεκαετία του 1970, ο βιολόγος και μαθηματικός John Conway χρησιμοποίησε την θεωρία των ΚΑ με σκοπό να περιγράψει την λειτουργία του τεχνητού κυττάρου. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε το διάσημο Conway's Game of Life. Το GoL είναι ένα μοντέλο παρουσίασης της συμπεριφοράς των κυττάρων, τα οποία αντιπροσωπεύονται ως εικονοστοιχεία, πάνω σε ένα πλέγμα, και κατά το οποίο ακολουθούνται οι εξής τέσσερις βασικοί κανόνες:

1. Απομόνωση – Οποιοδήποτε ζωντανό κύτταρο με λιγότερους από δύο ζωντανούς γείτονες πεθαίνει.

2. Επιβίωση – Οποιοδήποτε ζωντανό κύτταρο με δύο ή τρεις γείτονες ζει για την επόμενη γενιά.
3. Ασφυξία – Οποιοδήποτε ζωντανό κύτταρο που έχει παραπάνω από τρεις γείτονες πεθαίνει.
4. Γέννηση – Οποιοδήποτε νεκρό κύτταρο με ακριβώς τρεις γείτονες, ζωντανεύει στην επόμενη γενιά.

Το GoL είναι ένα παιχνίδι με μηδέν παίχτες. Ουσιαστικά, αυτός που θέλει να “παίξει” εφαρμόζει την αρχική κατάσταση και μετά ξεκινάει την εφαρμογή των παραπάνω κανόνων. Οι κανόνες αυτοί εφαρμόζονται συνεχόμενα για όλα τα εικονοστοιχεία, εκ νέου για κάθε κατάσταση που προκύπτει από την προηγούμενη εφαρμογή τους, με αποτέλεσμα να παρουσιάζονται συνεχόμενα οι γενεές. Ο κάθε ένας από τους δύο τύπους κυττάρων (ζωντανό ή νεκρό) αντιπροσωπεύεται από ένα χρώμα. (Μαντζαφάρης & Πολυνέμας 2007, Liu 2009)



Εικόνα 3: Gosper's Glitter Gun – Μια εφαρμογή του Game of Life κατά την οποία τα εικονοστοιχεία δημιουργούν ένα «όπλο» το οποίο όταν δημιουργεί εικονοστοιχεία φαίνεται σαν να «προβολεί» (Πηγή: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Gospers_glider_gun.gif)

Στην εφαρμογή του, το GoL φαίνεται πως η συμπεριφορά των εικονοστοιχείων είναι μη τυχαία, και αν ξεκινήσει με διαφορετικές αρχικές καταστάσεις, θα προκύψουν διαφορετικές συμπεριφορές.

3.3.2. Κυτταρικά Αυτόματα και χώρος

Τα ΚΑ έχουν την δυνατότητα να μοντελοποιήσουν τον χώρο, και με την εισαγωγή απλών κανόνων, να πραγματοποιηθούν οι πολύπλοκοι υπολογισμοί. Στην εφαρμογή των ΚΑ, ο αστικός χώρος μοντελοποιείται σε δισδιάστατο κανονικό πλέγμα εικονοστοιχείων. Εφόσον τα ΚΑ λειτουργούν πάνω στο δυαδικό σύστημα, κάθε ένα από αυτά τα εικονοστοιχεία μπορεί να λάβει μία εκ των δύο τιμών-κατάστασης: αστικό ή μη-αστικό.

Για την εκτέλεση ενός μοντέλου απαιτούνται ορισμένοι κανόνες, όπως αυτοί του Game of Life, δηλαδή τύπου “εάν” και “τότε” (if – then). Οι κανόνες εφαρμόζονται με τον δεύτερο τρόπο γειτνίασης, δηλαδή το ότι ένα κύτταρο έχει οχτώ γείτονες (Liu, 2009):

1. Εάν υπάρχουν τρία γειτονικά κύτταρα με αστική χρήση δίπλα σε ένα με μη-αστική χρήση, τότε αυτό μετατρέπεται σε κύτταρο αστικής χρήσης.
2. Εάν το relief του τοπίου είναι πάνω από 300μ., τα μη-αστικά στοιχεία στην περιοχή αυτήν δεν μπορούν να γίνουν αστικά.
3. Εάν υπάρχουν ένα ή δύο αστικά γεωτεμάχια (cluster από κύτταρα) γειτονικά από ένα μη-αστικό, και διέρχεται ένα μεγάλος δρόμος μέσα από αυτό, τότε το μη-αστικό μετατρέπεται σε γεωτεμάχιο αστικής χρήσης.

Τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής των ΚΑ για την αστικοποίηση έχουν αρχίσει να φαίνονται από τα τέλη του 1980. Τότε τα γραφικά των Η/Υ βελτιστοποιήθηκαν και όλες οι θεωρίες της αστικής διάχυσης μπόρεσαν να εφαρμοστούν σε μοντέλα με την βοήθεια των ΚΑ. Τα ΚΑ με τα γεωγραφικά προβλήματα έχουν μια άρρηκτη, εγγενή σχέση, κι αυτό συμβαίνει διότι τα ΚΑ προσφέρουν την δυνατότητα επαναλαμβανόμενης εφαρμογής των κανόνων (Liu, p.33). Η εφαρμογή του τύπου “εάν” και “τότε” (if – then) διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό την εφαρμογή των ΚΑ σε χωρικά προβλήματα, όπως επίσης και η δυνατότητα απεικόνισης χωρικών δεδομένων σε εικόνες (raster).

3.3.3. Το μοντέλο SLEUTH

Ο Κ. Clarke και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν το 1997 ένα μοντέλο βασισμένο στα ΚΑ, το οποίο παρουσίαζε την διαδικασία της αστικής διάχυσης, για λογαριασμό του USGS

(United States Geological Survey). Το μοντέλο αυτό ήταν το UGM (Urban Growth Model), το οποίο σε συνδυασμό με το LCD (Land Cover Deltatron model) δημιούργησαν το μοντέλο SLEUTH.

Το κομμάτι του UGM έχει την δυνατότητα όχι μόνο να δείξει ποια είναι διαχρονικά η δόμηση στα στοιχεία που έχουν εισαχθεί, αλλά και να προβλέψει την αστική διάχυση σε μια πόλη. Το LCD χρησιμοποιήθηκε για την απεικόνιση των αποτελεσμάτων του UGM. Κατ' αυτόν τον τρόπο δημιουργήθηκε το μοντέλο SLEUTH, το οποίο χρησιμοποιείται σήμερα από πολλούς επιστήμονες ως ένα μοντέλο πρόβλεψης της αστικής διάχυσης, καθώς έχει έναν από τους μεγαλύτερους βαθμούς ακρίβειας.

Έχοντας ως βάση τα CA, το SLEUTH δουλεύει πάνω σε δεδομένα raster. Η δομή raster είναι σαφώς καταλληλότερη για την αναγνώριση των γειτόνων από ό,τι αν το μοντέλο λειτουργούσε με δεδομένα δομής vector, λόγω της θεωρίας των ΚΑ. Το όνομα του προγράμματος προέκυψε από τα αρχικά των δεδομένων που εισάγονται στο μοντέλο, και τα οποία είναι:

- **Slope:** Ποσοστό κλίσης
- **Landuse:** Καλύψεις γης
- **Excluded:** Περιοχές από τις οποίες αποκλείεται η δόμηση, όπως αρχαιολογικοί χώροι και προστατευόμενες περιοχές
- **Urban:** Αστική γη
- **Transportation:** Οδικό δίκτυο και λοιπά μεταφορικά, μη νοητά, δίκτυα
- **Hillshade:** Ανάγλυφο, χρησιμοποιείται μόνο για την παρουσίαση των αποτελεσμάτων

(www.ncgia.ucsb.edu, πρόσβαση 17/08/2012)

Τα αρχεία εισάγονται σε μορφή εικόνας (gif) και είναι απαραίτητο να έχουν όλες τους τα ίδια όρια πλαισίου, το ίδιο προβολικό σύστημα και την ίδια ανάλυση. Αυτό γίνεται ώστε οι εικόνες να έχουν σύμπτωση μεταξύ τους, να μπορεί να πραγματοποιηθεί ορθά η μέτρηση, και το εκάστοτε εικονοστοιχείο της μιας εικόνας να εφαρμόζει ακριβώς πάνω στο αντίστοιχο οποιασδήποτε άλλης εικόνας.

Το μοντέλο SLEUTH παρέχεται ως πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα (Open Source) και

δουλεύει πάνω σε περιβάλλον UNIX (Linux).

Για την ορθή λειτουργία του SLEUTH έχει εισαχθεί ένα σύστημα μεθόδου επιλογής, το Monte Carlo. Η μέθοδος επιλογής Monte Carlo (MC) αφορά μια κατηγορία υπολογιστικών αλγορίθμων, οι οποίοι βασίζονται σε επαναλαμβανόμενη δειγματοληψία για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων τους. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε το 1940 με βάση τις εργασίες των Neumann, Ulam και Metropolis σχετικά με πυρηνικά όπλα. Το μοντέλο του Monte Carlo ακολουθεί κάποια συγκεκριμένα βήματα λειτουργίας, κατά τα οποία αρχικά ορίζει το πεδίο πιθανών εισροών, έπειτα τις δημιουργεί τυχαία, με βάση την κατανομή πιθανότητας μέσα στο πεδίο, και τέλος εκτελεί έναν ντετερμινιστικό υπολογισμό των εισροών και παρουσιάζει συγκεντρωτικά τα αποτελέσματα (Kalos & Whitlock, 2008).

Εφόσον έχει αναφερθεί η λογική της λειτουργίας των ΚΑ και του SLEUTH, παρακάτω θα παρουσιαστεί η περιοχή μελέτης και η διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου SLEUTH.

B. ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

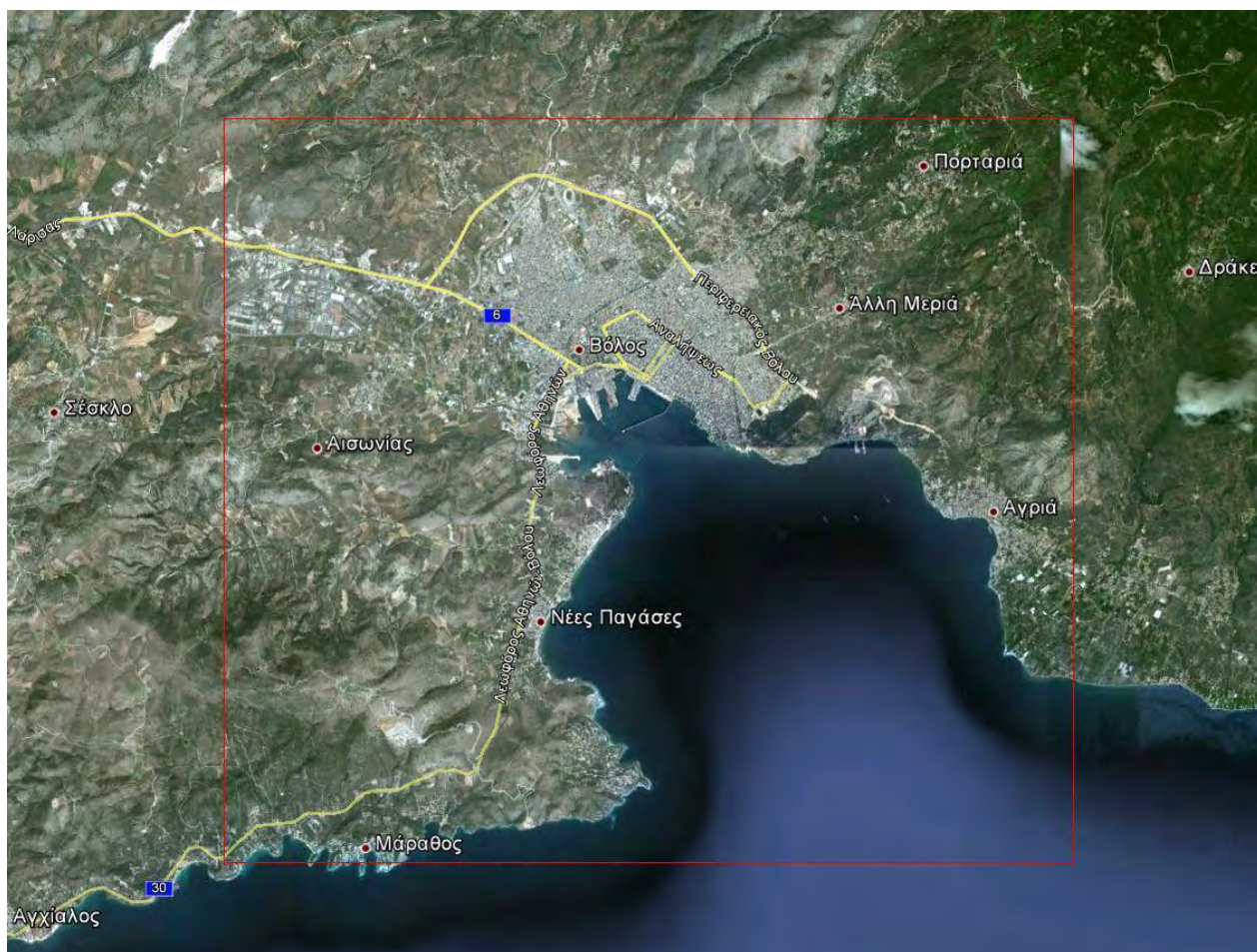
4. Παρουσίαση περιοχής μελέτης

4.1. Το Πολεοδομικό Συγκρότημα Βόλου

Ο Βόλος είναι μια πόλη στο κεντρο-ανατολικό χερσαίο τμήμα της Ελλάδας. Ο Καλλικρατικός Δήμος Βόλου περιλαμβάνει τους καποδιστριακούς Δήμους του Βόλου (νυν Δημοτικά Διαμερίσματα), Νέας Ιωνίας, Αγριάς, Πορταριάς, Αισωνίας και Ιωλκού. Είναι η πρωτεύουσα του Νομού Μαγνησίας και της Περιφέρειας Θεσσαλίας, και εφάπτεται στον Παγασητικό κόλπο. Επίσης, πολύ κοντά βρίσκεται η ΠΑΘΕ, η οποία επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση στην περιοχή. Οι κυριότεροι τομείς ανάπτυξης της πόλης είναι η βιομηχανία (ΑΓΕΤ Ηρακλής, Χαλυβουργία, εργοστάσιο ρητίνης, εμφιαλωτήριο ΕΨΑ κτλ), ο τουρισμός (Πήλιο, πρόσβαση σε θάλασσα) και η προσέλκυση φοιτητών στην σχολές του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας. (<http://el.wikipedia.org/wiki/Βόλος>)

Η περιοχή μελέτης αφορά ένα συγκεκριμένο τμήμα του Δήμου Βόλου. Συγκεκριμένα, η περιοχή όπου εφαρμόστηκε το μοντέλο SLEUTH περιλαμβάνει τα παρακάτω Δημοτικά Διαμερίσματα: Βόλου, Νέας Ιωνίας, Δημνίου, Πορταριάς, Άλλης Μεριάς, Κατηχωρίου, Σταγιατών, Άνω Βόλου, Άγιου Ονούφριου και Ανακασιάς. Όλα αυτά τα Δημοτικά Διαμερίσματα υπάγονται, πλέον, με τον Καλλικράτη στον Δήμο Βόλου. Επιπλέον, στην περιοχή μελέτης υπάγονται και οι Παγασές.

Παράλληλα, γίνεται μια παραδοχή πως η Βιομηχανική περιοχή (δυτικά του Βόλου, εικόνα 3) θεωρείται ως αστική χρήση. Κατά την επιλογή της περιοχής λήφθηκε υπόψη η τάση αστικοποίησης, καθώς επίσης και η ανάγκη για την απεικόνιση ενός υποδείγματος περιοχής, η οποία θα φέρει όλα τα χαρακτηριστικά τα οποία χρησιμοποιεί το SLEUTH. Κατά αυτόν τον τρόπο προέκυψε η περιοχή μελέτης (εικόνα 3).



Εικόνα 4: Παρουσίαση της περιοχής μελέτης (κόκκινο πλαίσιο) και ειδικότερα των περιοχών που εξετάζονται (πηγή: Google, ίδια επεξεργασία).

Οι ακριβείς συντεταγμένες της περιοχής μελέτης στο ΕΓΣΑ/87, είναι 402.000, 4.361.000 του βορειοδυτικού άκρου, και 416.000, 4.349.000 του νοτιοανατολικού άκρου.

4.1.1. Πληθυσμιακά στοιχεία

Από θέμα πληθυσμού, ο Καλλικρατικός Δ. Βόλου εμφανίζει ιστορικά μια ανοδική τάση. Όπως φαίνεται στον πίνακα 2, ο μόνιμος πληθυσμός του Δ. Βόλου έχει σημειώσει άνοδο τα τελευταία 20 χρόνια.

	1991	2001	2011
Δ.Δ. Βόλου	79.155	85.001	-
Δ.Δ. Νέας Ιωνίας	29.759	32.979	-

Δ.Δ. Αγριάς	5.312	5.835	-
Δ.Δ. Πορταριάς	2.795	2.033	-
Δ.Δ. Αισωνίας	2.906	3.059	-
Δ.Δ. Ιωλκού	2.143	2.081	-
Σύνολο Δ. Βόλου	122.070	130.988	144.420

Πίνακας 2: Μόνιμος πληθυσμός Καλλικρατικού Δ. Βόλου τα έτη 1991, 2001 και προσωρινός (με πολύ μικρή απόκλιση) 2011 (Ιδία επεξεργασία, πηγή www.e-demography.gr και www.statistics.gr)

Με βάση τον παραπάνω πίνακα, μπορεί κανείς εύκολα να υπολογίσει την προβολή στο μέλλον.

	Μέση ετήσια μεταβολή 1991-2001	Μέση ετήσια μεταβολή 2001-2011	Μέση ετήσια μεταβολή 2011-2029	Προβολή πληθυσμού 2029
Δ.Δ. Βόλου	0,7%	-	-	-
Δ.Δ. Νέας Ιωνίας	1%	-	-	-
Δ.Δ. Αγριάς	0,9%	-	-	-
Δ.Δ. Πορταριάς	-3%	-	-	-
Δ.Δ. Αισωνίας	0,5%	-	-	-
Δ.Δ. Ιωλκού	-0,3%	-	-	-
Σύνολο Δ. Βόλου	0,7%	0,9%	0,8%	166.693

Πίνακας 3: Προβολή πληθυσμού για το 2029 (ιδία επεξεργασία)

Όπως προκύπτει από τα παραπάνω διαγράμματα, η μέση ετήσια μεταβολή για την περίοδο 2011-2029 ανέρχεται στο 0,8% ως η μέση τιμή από τις μέσες ετήσιες μεταβολές των περιόδων 1991-2001 και 2001-2011. Ο τύπος που χρησιμοποιήθηκε για την εύρεση της μέσης ετήσιας μεταβολής του πληθυσμού είναι ο εξής:

$$r = \left(\frac{P_{2021}}{P_{2007}} \right)^{(1/14)} - 1$$

και ο οποίος αλλιώς αναφέρεται και ως “τύπος ανατοκισμού” (Κοτζαμάνης, 2009). Οπότε, με βάση αυτούς τους υπολογισμούς προκύπτει πως η προβολή του πληθυσμού του Δ. Βόλου για το έτος 2029 ανέρχεται στους 166.693 μόνιμους κατοίκους, δηλαδή αύξηση κατά 22.273 κατοίκους ή 15,42% του πληθυσμού 2011.

4.1.2. Αστική εξάπλωση και περιοχή μελέτης

Σε αυτό το υποκεφάλαιο θα πραγματοποιηθεί μια αρχική προσέγγιση προκειμένου να αναδειχθούν οι λόγοι που συσχετίζονται, άμεσα ή έμμεσα, με την ενδεχόμενη αστική εξάπλωση.

Ο Βόλος και οι γύρω περιοχές βασίζονται σε πολύ μεγάλο βαθμό στον τουρισμό, είτε κατά τους θερινούς μήνες στις παραλιακές περιοχές, είτε κατά τους χειμερινούς στις ορεινές περιοχές. Όπως και να έχει, ο Δ. Βόλου συγκεντρώνει κάθε χρόνο τουρίστες από όλη την Ελλάδα. Ειδικότερα, τους θερινούς μήνες υπάρχουν πολλοί τουρίστες που έρχονται από το εξωτερικό. Σ' αυτό βοηθάει πολύ και το αεροδρόμιο της Νέας Αγχιάλου, καθώς προσφέρει πτήσεις πολύ χαμηλού κόστους από και προς Ευρωπαϊκές χώρες από τον Μάρτιο έως και τον Οκτώβρη. Γι' αυτό το λόγο το αεροδρόμιο θεωρείται ένας από τους βασικότερους πόλους έλξης τουριστών.

Ο Βόλος αποτελεί επίσης το διοικητικό κέντρο του Ν. Μαγνησίας. Οι περισσότερες διοικητικές υπηρεσίες του νομού βρίσκονται στην πόλη του Βόλου, με αποτέλεσμα να υπάρχουν άμεσες σχέσεις όλων των Δημοτικών Διαμερισμάτων του Δ. Βόλου με την πόλη προκειμένου να επιτευχθεί η εξυπηρέτηση του πληθυσμού του Δ. Βόλου από απ' αυτές. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιούνται επίσης συζητήσεις προκειμένου να γίνει αποκέντρωση των διοικητικών υπηρεσιών, ώστε να εξυπηρετούνται προς το βέλτιστο οι δημότες του Δ. Βόλου και της περιφέρειας Θεσσαλίας.

Πέρα από τις διοικητικές υπηρεσίες, στον Βόλο υπάρχουν και άλλες υποδομές οι οποίες προσελκύουν μεγάλο κομμάτι πληθυσμού της περιφέρειας λόγω της ιδιότητάς τους. Τέτοιες υποδομές είναι αυτές της εκπαίδευσης (πανεπιστήμια, ΙΕΚ κτλ), της υγείας και πρόνοιας (πανεπιστημιακό νοσοκομείο, ορφανοτροφείο, γηροκομεία κτλ), της κατάρτισης (ΔΕΟΒ κτλ.) και οι υποδομές μεταφοράς (αεροδρόμιο, σιδηροδρομικός σταθμός). (Στρατηγικός Σχεδιασμός Δ. Βόλου 2007).

Μεγάλος βαθμός σχέσης υπάρχει μεταξύ του Βόλου και της Λάρισας. Οι δύο μεγαλύτερες πόλεις της Περιφέρειας Θεσσαλίας έχουν δημιουργήσει μια αρκετά δυνατή συνεργασία, στα πλαίσια ενός “διπόλου”, το οποίο παρουσιάζει υψηλό βαθμό σημαντικότητας. Εκτός του γεγονότος ότι πολλές επιχειρήσεις εγκαθίστανται στην περιφέρεια λόγω αυτού, η σημαντικότητα διακρίνεται τόσο στην περιφέρεια όσο και

στην εκάστοτε πόλη χωριστά. Μέσα από έρευνα έχει προκύψει πως η συνεργασία μεταξύ των πόλεων θα είναι ευεργετική και για τις δύο, και δεν ισχύει το γεγονός πως εάν μια πόλη ευνοείται αυτό επιφέρει οικονομική υστέρηση στην άλλη. Λόγω των χαρακτηριστικών τους, οι δύο πόλεις μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά η μία ως προς την άλλη. Επιπλέον, μέσα από την ισχυροποίηση του διπόλου αυτού, η περιφέρεια Θεσσαλίας ενδέχεται να ενισχυθεί σημαντικά, με αποτέλεσμα να αυξηθεί η ανταγωνιστικότητα προς τα μεγαλύτερα αστικά κέντρα (Αθήνα – Θεσσαλονίκη). (Στρατηγικός σχεδιασμός Δ. Βόλου 2007) Τέλος, δίνεται προσοχή και στον άξονα Βόλος – Αγχίαλος – Μικροθήβες προς ανάπτυξη, αλλά και στο παραλιακό μέτωπο του Δ. Βόλου, το οποίο αποτελεί σημαντικό άξονα αναφοράς και ανάπτυξης (νέο ΓΠΣ Βόλου).

4.1.3. Τάσεις αστικής εξάπλωσης

Η περιοχή του Δ. Βόλου αποτελείται από διάφορα φυσικά και ανθρωπογενή χαρακτηριστικά τα οποία αποτελούν ανασταλτικούς παράγοντες για την αστική εξάπλωση. Πρώτα απ' όλα, οι φυσικοί παράγοντες είναι και οι βασικότεροι που επηρεάζουν την αστική εξάπλωση. Για παράδειγμα, τα μεγάλα ποσοστά κλίσης όπως στις θάλασσες και στα ποτάμια, δεν επιτρέπουν εύκολα την δόμηση, με αποτέλεσμα οι κλίσεις αυτές να αποτελούν έναν φυσικό φραγμό-όριο της πόλης. Από την άλλη, οι θάλασσες, τα ποτάμια και τα τοπία δύναται να προσελκύσουν κόσμο λόγω φυσικής ομορφιάς. Στην περιοχή του Βόλου, το όρος Πήλιο (Βόρεια-Βορειοανατολικά) και το όρος Γορίτσα (Ανατολικά) αποτελούν “φραγμό” της πόλης για την ενδεχόμενη επέκτασή της προς εκεί. Επιπλέον, ως φραγμοί της αστικής επέκτασης λειτουργούν και οι χαρακτηρισμένες και προστατευόμενες δασικές περιοχές. Τα δάση δομούνται λιγότερο εύκολα σε σχέση με τις γεωργικές εκτάσεις.

Από την άποψη των ανθρώπινων ανασταλτικών παραγόντων της δόμησης, από τα παλαιότερα χρόνια υπήρχαν αυτοί που δεν επέτρεπαν την διάχυση της δόμησης (πχ τα τείχη μιας πόλης). Πλέον ο ανθρωπογενής ανασταλτικός παράγοντας της δόμησης εμφανίζεται μέσα από διάφορες νομοθεσίες, οι οποίες έχουν δημιουργήσει ζώνες στις οποίες απαγορεύεται η δόμηση. Τέτοιες ζώνες αφορούν για παράδειγμα αρχαιολογικούς χώρους και τόπους ιστορικής σημασίας, τοπία ιδιαίτερου φυσικού κάλλους (ΤΙΦΚ), και γενικότερα περιοχές όπου απαγορεύεται η δόμηση ή επιτρέπεται μια συγκεκριμένη χρήση στην δόμηση. Τέτοιες περιοχές στην περιοχή μελέτης βρίσκονται στα δυτικά, και

αφορούν κυρίως αρχαιολογικούς χώρους.

Εάν κάποιος μελετήσει τους παραπάνω παράγοντες απαγόρευσης της δόμησης, τότε μπορεί λογικά να συμπεράνει σε ποιες περιοχές τείνει να γίνει επέκταση της πόλης του Βόλου. Πιο συγκεκριμένα, η τάση για δόμηση εμφανίζεται περισσότερο στα δυτικά προς το Δημίσι και την ΒΙΠΕ, στα νοτιοδυτικά προς τις Νέες Παγασές, καθώς και βόρεια της Νέας Ιωνίας, παρόδια στον περιφερειακό οδικό άξονα του Βόλου (εικόνα 4)



Εικόνα 5: Περιοχή μελέτης και τάσεις εξάπλωσης (πηγή: κτηματολόγιο, ιδία επεξεργασία)

4.2. Δεδομένα εισαγωγής στο SLEUTH

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, για την λειτουργία του SLEUTH εισάγονται, σε μορφή εικόνων (gif), 6 τύποι δεδομένων. Τα δεδομένα αυτά λαμβάνονται υπόψη για την λειτουργία του SLEUTH διότι ουσιαστικά είναι δεδομένα τα οποία επηρεάζουν άμεσα την αστική διάχυση. Όλα τα δεδομένα είναι ασπρόμαυρα (πάνω στην κλίμακα 0-255), και οι τιμές που δέχονται τα εικονοστοιχεία της κάθε εικόνας, δείχνουν και την κατάσταση στο αντίστοιχο κομμάτι γης.

Τα δεδομένα εισαγωγής βασίζονται κυρίως σε δεδομένα από το Corine Land Cover (CLC) των αντίστοιχων ετών. Η κάθε χώρα που συμβάλλει με τα δεδομένα της στο CLC καταγράφει τα δεδομένα σχετικά με τις καλύψεις γης και έπειτα τα δεδομένα συνδυάζονται ώστε να προκύψει το τελικό CLC και να διατεθεί προς τους μελετητές των χωρών και της Ε.Ε. Για να αποφευχθεί αυτή η χειροκίνητη φωτοερμηνεία του CLC, έχει προταθεί η χρήση της μεθόδου VIBI (Stathakis et al., 2012), κατά την οποία αναλύονται δορυφορικές εικόνες του Proba-V (κομμάτι του προγράμματος SPOT) ανάλυσης 300μ., και από τις οποίες μπορούν να εξαχθούν οι περιοχές αστικής κάλυψης με πολύ μεγάλη ακρίβεια.

Επιπλέον, όσον αφορά τις εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν, επειδή οι περισσότερες που διαρθρώνουν τα δεδομένα εισόδου προέρχονται από εικόνες του Corine, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της διγραμμικής παρεμβολής (bilinear interpolation) ή η τεχνική του πλησιέστερου γειτονικού σημείου (nearest neighbour). Κατά την μέθοδο της διγραμμικής παρεμβολής, σε μια εικόνα κάθε εικονοστοιχείο αντικαθίσταται από τέσσερα εικονοστοιχεία, τα οποία φέρουν την τιμή του προηγούμενου ενός εικονοστοιχείου το οποίο αντικαταστήσανε. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να παράγονται καθαρότερες εικόνες, αφού ο αριθμός της πυκνότητας των εικονοστοιχείων αυξάνεται. Για τις εικόνες στις οποίες χρειάστηκε να εφαρμοστεί η αντίστροφη διαδικασία, η μέθοδος resampling που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται downsampling. Κατά την διαδικασία αυτή, τα εικονοστοιχεία μιας περιοχής σχηματίζουν ένα εικονοστοιχείο, με σκοπό την μείωση της ανάλυσης (μείωση της πυκνότητας των εικονοστοιχείων) σε μια εικόνα. Το νέο εικονοστοιχείο σχηματίζεται είτε από την μέση τιμή των γειτονικών εικονοστοιχείων, είτε από την επικρατέστερη, ανάλογα με την μέθοδο που χρησιμοποιείται.

(ftp://ftp.rrzn.uni-hannover.de/pub/mirror/grass/manuals/html70_user/r.resample.html, Μέρτικας 2006, Richards & Jia 1995, http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge770e_lab/k4_methodoi.swf)

Κατά την εφαρμογή των δύο προαναφερόμενων περιπτώσεων, δεν υπάρχει πάντοτε η απόλυτη ακρίβεια στις εικόνες. Παρ' όλα αυτά, η απώλεια ακρίβειας θεωρείται αμελητέα στην κλίμακα την οποία πραγματοποιείται η έρευνα και στην πρόβλεψη της αστικής διάχυσης από το SLEUTH, οπότε δεν λαμβάνεται υπόψη.

Παρακάτω παρουσιάζονται τα δεδομένα εισόδου, ανάλογα σε ποια από τις έξι

κατηγορίες ανήκουν.

1. Κλίση (Slope): Ανάλογα με το αν το ποσοστό είναι μεγάλο ή μικρό, δείχνει κατά πόσο επηρεάζεται η κλίση. Ο υπολογισμός των κλίσεων έγινε με βάση τις υψομετρικές καμπύλες και το DEM που προέκυψε από αυτές.



Εικόνα 6: Ποσοστό κλίσης (Με αντιστροφή χρωμάτων, ίδια επεξεργασία)

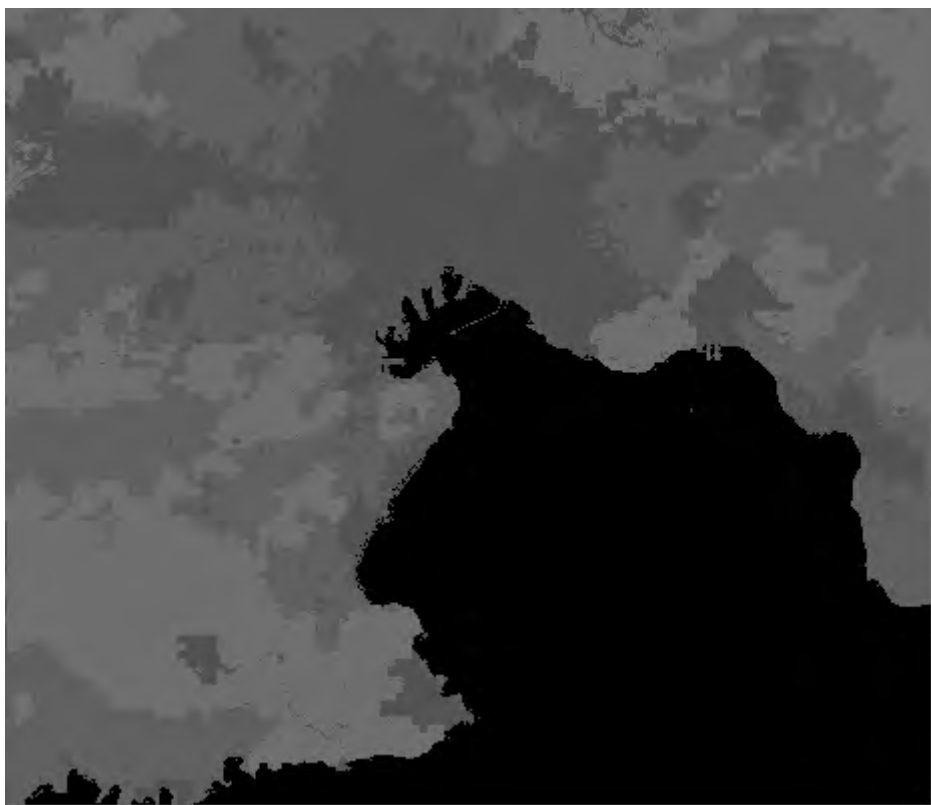
2. Κάλυψη γης (Landuse): Οι καλύψεις γης βοηθάνε στην προσαρμογή του μοντέλου στην κατάσταση της γης της περιοχής μελέτης. Το πρόγραμμα αναγνωρίζει τα δεδομένα ανάλογα με την τιμή των εικονοστοιχείων, τα οποία αντιστοιχούν στην κάλυψη γης. Στην κλίμακα του γκρι 0-255, η τιμή μηδέν αντιστοιχεί στα εικονοστοιχεία της θάλασσας, τα οποία δεν ενδιαφέρουν το μοντέλο για την διάχυση. Η τιμή ένα αντιστοιχεί στο αστικό, η τιμή δύο στο αγροτικό και την αραιή βλάστηση και η τιμή τρία στο δασικό και την πυκνή βλάστηση.

Για την ορθή λειτουργία του, το SLEUTH χρησιμοποίησε 2 εικόνες καλύψεων γης, μία από το 1990 και μία από το 2009. Η εικόνα με τις καλύψεις γης του 1990 προέρχεται από το corine της ίδιας χρονικής περιόδου. Επειδή το corine

1990 ήταν ανάλυσης 100μ. (δηλαδή το κάθε εικονοστοιχείο καταλαμβάνει στον πραγματικό χώρο 100*100μ.), πραγματοποιήθηκε η μέθοδος της παρεμβολής, όπως αναφέρθηκε στην αρχή του κεφαλαίου, ώστε να αυξηθεί η πυκνότητα των pixel, και η παραγόμενη εικόνα να συμπίπτει με τις υπόλοιπες που χρησιμοποιεί το SLEUTH. Οι καλύψεις γης του 2009 προέρχονται από το urban atlas του ίδιου χρόνου. Οι εικόνες που τραβήχτηκαν ήταν ανάλυσης 2,50μ. και προήλθαν από τον δορυφόρο ALOS.



Εικόνα 7: Καλύψεις γης 1990 (Πηγή: Corine Land Cover 1990)



Εικόνα 8: Καλύψεις γης 2009 (Πηγή: Urban Atlas)

3. Περιοχές αποκλεισμού της δόμησης (Excluded): Οι περιοχές αυτές χρησιμοποιούνται από το μοντέλο προκειμένου να μην υπάρξει δόμηση σε αυτές. Οι κατηγορίες των περιοχών αποκλεισμού της δόμησης ουσιαστικά περιλαμβάνουν τις περιοχές που νομικά δεν επιτρέπουν την δόμηση, είτε είναι φυσικές (π.χ. δάση, βιότοποι, natura κτλ.) είτε ανθρωπογενείς (π.χ. αρχαιολογικοί χώροι, χώροι ιδιαίτερης σημασίας κτλ.) περιοχές. Στην παρούσα εργασία, οι περιοχές που έχουν οριστεί ως αποκλειόμενες από την δόμηση δεν αντικατοπτρίζουν πλήρως τις πραγματικές. Υπάρχουν δηλαδή ελλείψεις στις περιοχές, καθώς τον τελευταίο καιρό έχουν προστεθεί κι άλλες. Παρ' όλα αυτά, η εργασία εξετάζει περισσότερο την λειτουργικότητα του μοντέλου, και το αν τα αποτελέσματα είναι λογικά με βάση τα δεδομένα που εισήχθησαν.



Εικόνα 9: Περιοχές αποκλεισμού της δόμησης (Ιδία επεξεργασία)

4. Αστική γη (Urban): Αυτά τα δεδομένα είναι ίσως τα βασικότερα που χρησιμοποιεί το μοντέλο. Η απεικόνιση της δομημένης γης μεταφράζεται στο μοντέλο ως η μονάδα μέτρησης που θα χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της διάχυσης. Είναι κάτι αντίστοιχο με τον πληθυσμό στα ΓΠΣ: λαμβάνονται υπόψην τρεις τουλάχιστον απογραφές πληθυσμού, ώστε να γίνει η προβολή του στο μέλλον. Για τον λόγο αυτό, το μοντέλο SLEUTH απαιτεί τουλάχιστον τέσσερις χρονικές περιόδους της αστικής γης, ώστε να μπορέσει να παράγει τα βέλτιστα αποτελέσματα. Οι χρονικές περίοδοι που χρησιμοποιήθηκαν ήταν του 1980, 1990, 2003 και 2009.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την δομημένη γη για το 1980 προήλθαν από την ψηφιοποίηση των αστικών περιοχών, για την περιοχή του Βόλου, από χάρτες της ΓΥΣ. Όσον αφορά τα αστικά του 1990, αυτά προέρχονται από το corine της αντίστοιχης χρονιάς, όπως αναφέρθηκε στην κατηγορία των καλύψεων γης. Τέλος, τα αστικά για το 2009 προήλθαν επίσης από το urban atlas, όπως αναφέρεται στις καλύψεις γης.

Αξίζει να αναφερθεί πως τα δεδομένα για την αστική δόμηση προέρχονται από δορυφορικές λήψεις εικόνων, και η ακρίβειά τους δεν μπορεί να είναι μεγάλη, διότι η ανάλυση των εικόνων πραγματοποιείται βασιζόμενη σε ορισμένα προϋπάρχοντα στοιχεία σχετικά με την αστική δόμηση και τις πόλεις στο Δ. Βόλου. Δηλαδή, δεν λαμβάνεται υπ' όψη, κατά μεγάλο βαθμό, η αυθαίρετη δόμηση η οποία αποτελεί ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα στον σχεδιασμό του Ελλαδικού χώρου. Για την επίλυση αυτού του προβλήματος στην περιοχή του Βόλου, πραγματοποιείται μια σοβαρή προσπάθεια από τον Ρεμπή (2012) κατά την οποία καταγράφεται και αναλύεται η αυθαίρετη δόμηση στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Βόλου.



Εικόνα 10: Αστική κάλυψη 1980 (Με αντιστροφή χρωμάτων, ιδία επεξεργασία, πηγή δεδομένων ΓΥΣ)



Εικόνα 11: Αστική κάλυψη 1990 (Με αντιστροφή χρωμάτων, ιδία επεξεργασία, πηγή δεδομένων Corine 1990)



Εικόνα 12: Αστική κάλυψη 2003 (Με αντιστροφή χρωμάτων, ιδία επεξεργασία, πηγή

δεδομένων Corine 2000)



Εικόνα 13: Αστική κάλυψη 2009 (Με αντιστροφή χρωμάτων, ιδία επεξεργασία, πηγή δεδομένων Urban Atlas)

5. Οδικό δίκτυο (Transportation): Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι υποδομές μεταφοράς, και συγκεκριμένα οι υποδομές οδικών μεταφορών, οι οποίες δύναται να επηρεάσουν την δόμηση, προσελκύντάς την (παρόδια δόμηση). Οι χρονιές που απαιτούνται για την ορθή λειτουργία του SLEUTH είναι δύο, και για αυτό επιλέχθηκαν οι χρονολογίες 2000 και 2009. Η πιο ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο χρονολογιών είναι η περιφερειακός δρόμος που δημιουργήθηκε στον Βόλο το 2008. Αυτή η υποδομή αναμένεται να αυξήσει την προσέλκυση της δόμησης κατά πολύ μεγάλο βαθμό σε εκείνη την περιοχή.

Για να μπορέσει το μοντέλο να αναγνωρίσει την διαφορά μεταξύ του είδους του οδικού δικτύου, το SLEUTH μπορεί να αναγνωρίσει τους δρόμους ανάλογα με την διαβάθμιση του γκρι που έχουν. Για τον λόγο αυτόν, το οδικό δίκτυο στην περιοχή μελέτης διαχωρίστηκε σε δύο βασικές κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιέχει τον περιφερειακό μαζί με τα οδικά δίκτυα υψηλής ταχύτητας, τα οποία έχουν πιο υψηλή διαβάθμιση στην κλίμακα 0-255 του γκρι, ενώ το υπόλοιπο

δίκτυο (κυρίως αστικό) έχει πιο χαμηλή διαβάθμιση.

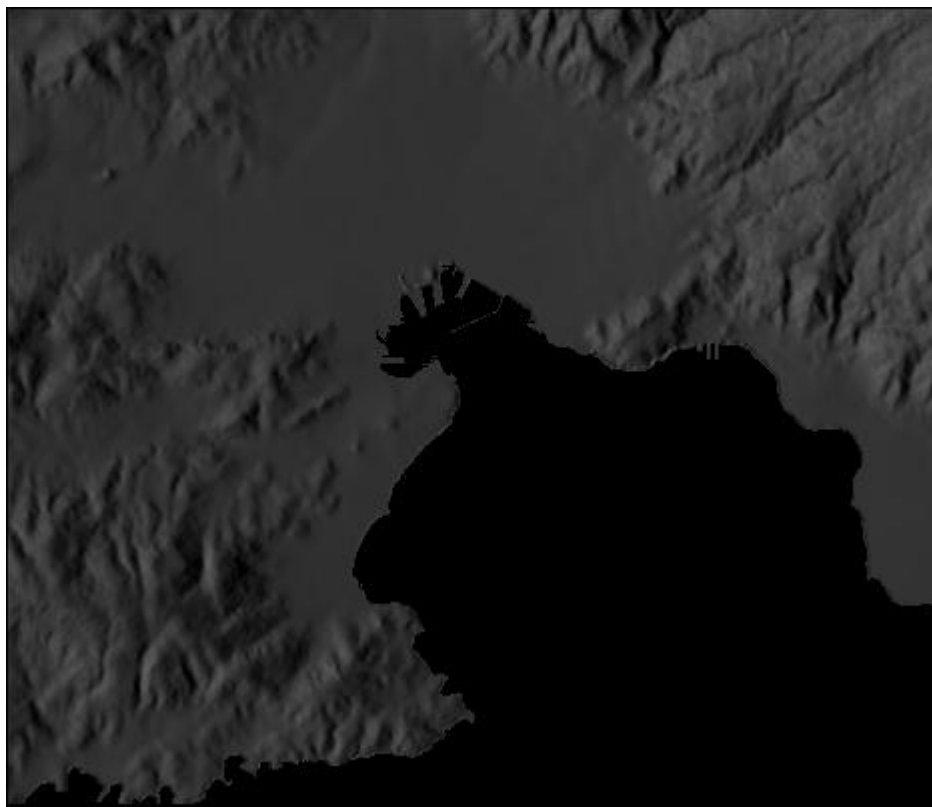


Εικόνα 14: Οδικό δίκτυο 2002 (Ιδία επεξεργασία, πηγή OpenStreetMaps)



Εικόνα 15: Οδικό δίκτυο 2009 (Ιδία επεξεργασία, πηγή OpenStreetMaps)

6. Ανάγλυφο (Hillshade): Το ανάγλυφο για την περιοχή μελέτης προέκυψε από τις αντίστοιχες υψομετρικές καμπύλες. Με την χρήση της εντολής Hillshade / Digital Elevation Model στο πρόγραμμα QGis δημιουργήθηκε το ανάγλυφο, το οποίο χρησιμοποιείται από το μοντέλο για την απεικόνιση των δεδομένων.



Εικόνα 16: Ανάγλυφο περιοχής μελέτης (Ιδία επεξεργασία)

Η κάθε εικόνα που εισήχθη στο μοντέλο ήταν ανάλυσης 467*401 εικονοστοιχείων (σύνολο 187.267 εικονοστοιχεία), με ανάλυση 30μ. (δηλαδή το κάθε εικονοστοιχείο αντικατοπτρίζει μια επιφάνεια 30μ.*30μ.). Κατά τη διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου, όπως αναφέρθηκε παραπάνω, το SLEUTH μοντελοποιεί την αστική εξάπλωση σε δισδιάστατο περιβάλλον. Οι εικόνες που εισήχθησαν ήταν μονόχρωμες (grayscale), με το απόλυτο μαύρο (0 στην κλίμακα του γκρι) να αντιπροσωπεύει τα εικονοστοιχεία τα οποία δεν έχουν πληροφορία και με οποιαδήποτε τιμή να αντιπροσωπεύεται η πληροφορία ανάλογα με το ζητούμενο βαθμό μεγέθους.

5. Εφαρμογή του μοντέλου SLEUTH

Το SLEUTH είναι ένα μοντέλο που για την λειτουργία και την καθοδήγησή του οι εντολές δίνονται μέσω σεναρίων γραμμένων στην γλώσσα προγραμματισμού C, καθώς δεν υπάρχει περιβάλλον εργασίας χρήστη. Για τον λόγο αυτό, η ελάχιστη γνώση γλώσσας προγραμματισμού C είναι απαραίτητη για την δημιουργία των αρχείων σεναρίων, καθώς επίσης απαραίτητη είναι και η γνώση ενός συνόλου εντολών που είναι αναγκαίες τόσο για τη μεταγλώττιση (compilation) (“μετάφραση” της γλώσσας προγραμματισμού) όσο και για την βαθμονόμηση (calibration) του μοντέλου.

Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή του SLEUTH αφορούσαν αρχικά την προετοιμασία των αρχείων, έπειτα τη μεταγλώττιση και τη βαθμονόμηση, και τέλος τη πρόβλεψη για την αστική εξάπλωση, η οποία εξάγει και τα αρχεία που την καταδεικνύουν.

5.1. Μεταγλώττιση (Compilation)

Κατά την διαδικασία της μεταγλώττισης, με βάση συγκεκριμένες εντολές, γίνεται η μετάφραση του πηγαίου κώδικα (source code) που χρησιμοποιεί το SLEUTH.

5.2. Βαθμονόμηση (Calibration)

Αφού τελειώσει η διαδικασία για το compilation, το επόμενο βήμα είναι η διαδικασία της βαθμονόμησης. Η διαδικασία αυτή χρειάζεται αρκετό χρόνο και θέλει αρκετή προσοχή στην εφαρμογή της. Ίσως είναι η σημαντικότερη διαδικασία για την λειτουργία του SLEUTH. Το μοντέλο κάνει αναγνώριση των εικόνων εισόδου, και παράγει τα αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία σχετικά με τις εικόνες, δηλαδή τις αστικές περιοχές, τα ποσοστά αύξησης με τα χρόνια κτλ. Έπειτα, εξάγει αποτελέσματα σχετικά με πέντε μεταβλητές, οι οποίες επηρεάζουν τα τελικά αποτελέσματα της πρόβλεψης του SLEUTH. Ουσιαστικά είναι μεταβλητές που σχετίζονται άμεσα τόσο με τα κυτταρικά αυτόματα όσο και με την αστική διάχυση.

Η διαδικασία της βαθμονόμησης είναι αρκετά χρονοβόρα εάν ο χρήστης επιθυμεί να είναι ακριβής. Κατά τη διαδικασία αυτή, υπολογίζονται οι 5 μεταβλητές που ουσιαστικά

καθοδηγούν με τις τιμές τους τη λειτουργία των CA και του SLEUTH για την πρόβλεψη, και οι οποίες είναι:

- **Diffusion:** Επηρεάζει την αυθόρμητη ανάπτυξη και την ανάπτυξη με βάση το οδικό δίκτυο.
- **Breed:** Δείχνει την πιθανότητα για νέα κέντρα εξάπλωσης και επηρεάζει κατά έναν βαθμό την ανάπτυξη που βασίζεται στο οδικό δίκτυο.
- **Spread:** Πιθανότητα για οργανική ανάπτυξη από υπάρχοντα εικονοστοιχεία που δείχνουν το αστικό.
- **Slope:** Η κλίση του εδάφους, η οποία επηρεάζει αντιστρόφως ανάλογα την τάση για αστικοποίηση.
- **Road:** Επηρεάζει, με βάση την βαρύτητα του κάθε εικονοστοιχείου ως προς το οδικό δίκτυο, την εξωγενή απόσταση για το οποίο ένα εικονοστοιχείο του οδικού δικτύου θα επηρεάσει την δημιουργία ενός αστικού εικονοστοιχείου, ως μέρος της ανάπτυξης που βασίζεται στο αστικό δίκτυο.

(www.ncia.ucsb.edu, πρόσβαση 29/03/2012)

Η πιο διαδεδομένη μέθοδος βαθμονόμησης είναι η μέθοδος Lee-Salee Metric. Αυτή η μέθοδος χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια και αρκετή απαίτηση σε χρόνο, προκειμένου να εξαχθούν τα απαιτούμενα αποτελέσματα. Ουσιαστικά, η μέθοδος αυτή εκτελεί πολλαπλούς ελέγχους (μέσω του σεναρίου πάντα) προκειμένου να εξάγει τις βέλτιστες τιμές των προαναφερόμενων 5 μεταβλητών, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν έπειτα για την πρόβλεψη της αστικής διάχυσης. Μια άλλη μέθοδος είναι η Optimum SLEUTH Metric (OSM), η οποία σου μια μέση τιμή από τη βαθμονόμηση για τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθεί για prediction best fit. Στην περίπτωση της μελέτης για την εξάπλωση της πόλης του Βόλου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος Lee-Salee, κατά την οποία πραγματοποιήθηκαν πολλαπλές βαθμονομήσεις. Στην αρχή τίθεται ένα εύρος τιμών για κάθε μεταβλητή, και μετά από κάθε βαθμονόμηση το εύρος αυτό μειώνεται, ώστε να βρεθεί η βέλτιστη τιμή (prediction best fit). Κατά αυτόν τον τρόπο, τα στοιχεία από τα αποτελέσματα της κάθε βαθμονόμησης χρησίμευσαν για τον καθορισμό του (μειωμένου σε κάθε επανάληψη) εύρους τιμών, ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες τιμές για την διαδικασία της πρόβλεψης.

Η εξαγωγή αυτών των συμπερασμάτων πραγματοποιείται μέσω της ανάλυσης των εικόνων εισαγωγής. Το κάθε εικονοστοιχείο στις εικόνες λαμβάνει μια τιμή, η οποία μπορεί να μεταβληθεί με τα χρόνια (αν ανήκει στις εικόνες δομημένης γης, οδικού δικτύου ή καλύψεων γης), οπότε κατά αυτόν τον τρόπο πραγματοποιούνται οι μετρήσεις από το μοντέλο προκειμένου να υπολογιστούν οι τιμές. Οι επαναλήψεις γίνονται αργότερα για να επιτευχθεί η ακρίβεια στις τιμές.

diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
1.32	100.00	100.00	6.74	56.83

Πίνακας 4: Οι βέλτιστες τιμές που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του μοντέλου (στρογγυλοποιημένες ως προς την μονάδα), όπως προέκυψαν από την μέθοδο Lee-Salee. (Ιδία επεξεργασία)

5.3. Πρόβλεψη (Prediction)

5.3.1. Εφαρμογή του σεναρίου

Το επόμενο βήμα της εφαρμογής του μοντέλου και το τελικό ως προς την χρήση του SLEUTH, είναι η πρόβλεψη. Κατά τη διαδικασία αυτή, εισάγονται στο μοντέλο τα απαιτούμενα δεδομένα για την λειτουργία του, δηλαδή οι εικόνες εισόδου και οι βέλτιστοι δείκτες που εξήχθησαν από τη διαδικασία της βαθμονόμησης. Για την εκτέλεση της προσομοίωσης της αστικής εξάπλωσης πραγματοποιήθηκαν 100 επαναλήψεις Monte Carlo, ώστε να εξαχθούν πιο ακριβή αποτελέσματα.

Το εύρος των ετών για το οποίο το SLEUTH έκανε την πρόβλεψη της αστικής διάχυσης είναι το 2010-2029. Τα τελευταία δεδομένα εισαγωγής αφορούσαν το έτος 2009, οπότε η πρόβλεψη έγινε για τα επόμενα 20 χρόνια. Το συγκεκριμένο εύρος επιλέχθηκε ώστε να υπάρχει μια επαρκής εικόνα για το μέλλον, χωρίς όμως να μειώνεται η αξιοπιστία και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Δηλαδή, εάν η πρόβλεψη γινόταν π.χ. για 10 χρόνια, τότε τα αποτελέσματα μπορεί να μην έδιναν μια επαρκή εικόνα για το μέλλον, ενώ αν π.χ. η πρόβλεψη γινόταν για 30 χρόνια τα αποτελέσματα θα έχαναν την αξιοπιστία και την ακρίβειά τους. Αυτό θα συνέβαινε διότι, όσο αυξάνονται τα χρόνια πρόβλεψης πληθυσμού, τόσο πιο ανακριβής ενδέχεται να είναι η προβολή, και επίσης

υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβούν γεγονότα τα οποία μπορούν να επηρεάσουν την γεννητικότητα και την θνησιμότητα (π.χ. Οικονομική κρίση).

Μέσα στα αρχεία του σεναρίου πρόβλεψης μπορεί κανείς να πραγματοποιήσει πολλές ρυθμίσεις σχετικά με την λειτουργία του μοντέλου SLEUTH αλλά και με τα αρχεία που θα παράγει. Μία από αυτές τις αλλαγές είναι και η επιλογή των χρωμάτων των αποτελεσμάτων που εξάγει το μοντέλο. Στην συγκεκριμένη εφαρμογή του μοντέλου, τα χρώματα που χρησιμοποιήθηκαν τα οποία δείχνουν την πρόβλεψη είναι τα εξής και διαχωρίζονται με βάση την πιθανότητα κάλυψης:

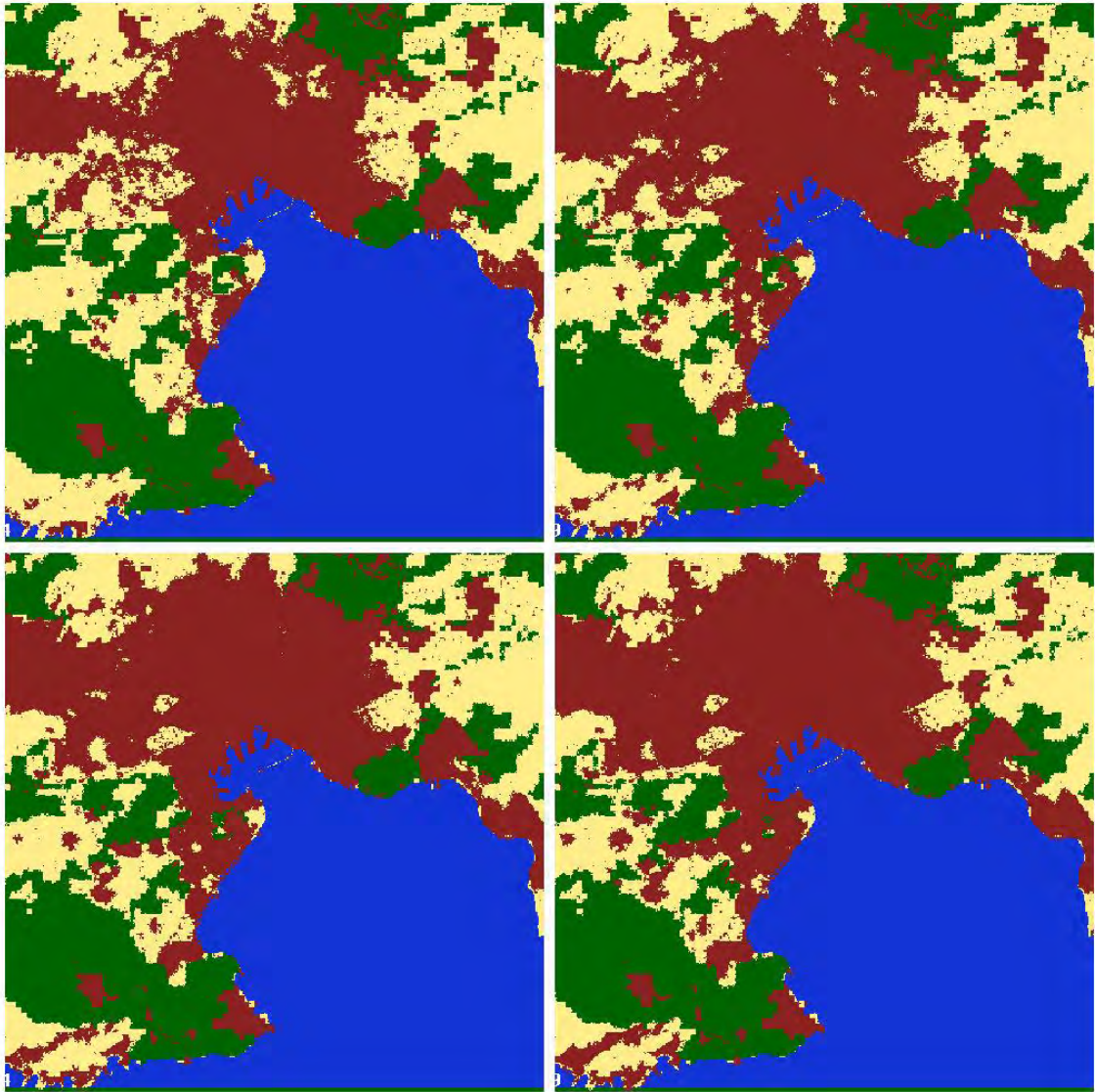
Χρώμα	Πιθανότητα διάχυσης
Κόκκινο	>90%
Ανοιχτό κόκκινο	80-90%
Σκούρο πορτοκαλί	70-80%
Ανοιχτό πορτοκαλί	60-70%
Μπλε	30-60%
Πράσινο	1-30%

Πίνακας 5: Χρώματα πιθανοτήτων αστικής διάχυσης στους τελικούς χάρτες.

Εκτός από τις αλλαγές που μπορεί κανείς να πραγματοποιήσει για τα χρώματα της αστικής διάχυσης, βασισόμενα στην πιθανότητα, ένας χρήστης έχει την δυνατότητα να ρυθμίσει τα χρώματα των καλύψεων γης, την ευαισθησία του μοντέλου στην κλίση εδάφους και του επιπέδου οδικού δικτύου, τα επίπεδα γήρανσης (1 χρόνος = 1 επίπεδο γήρανσης), τα στατιστικά αρχεία που επιθυμεί να παράγονται κτλ.

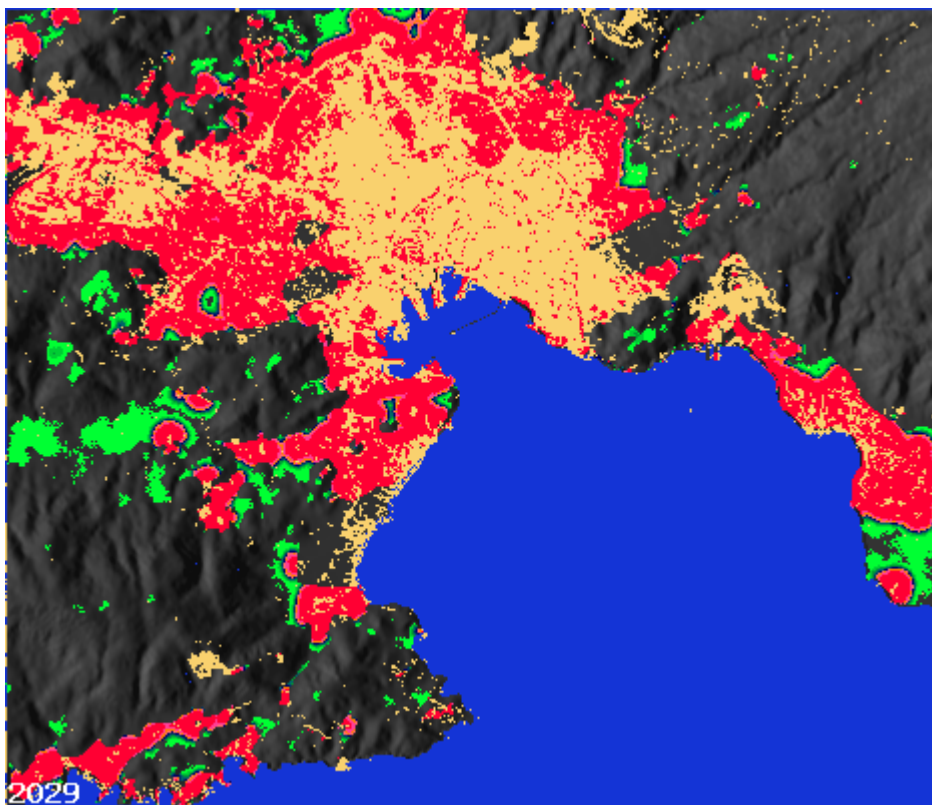
5.3.2. Αποτελέσματα πρόβλεψης

Μετά την εφαρμογή του μοντέλου, τα αρχεία εξάγονται σε εικόνα τύπου gif, στην ίδια ανάλυση και πυκνότητα pixel με τις εικόνες input. Οι εικόνες δείχνουν την αστική γη σε σχέση με τις άλλες καλύψεις γης για κάθε χρονικό βήμα που έχει τεθεί (1 έτος στην προκειμένη δηλαδή) έως το 2029. Τα χρώματα της κάλυψης γης καθορίστηκαν προηγουμένως κατά την δημιουργία σεναρίων: Κόκκινο για την αστική γη, απαλό κίτρινο για την αραιή βλάστηση και τις γεωργικές περιοχές και πράσινο για την πυκνή βλάστηση και δασική γη.



Εικόνα 17: Οι καλύψεις γης τις χρονιές 2014, 2019, 2024 και 2029 (Ιδία επεξεργασία)

Επιπλέον, στα εξαγόμενα αρχεία παράγεται και μια εικόνα που απεικονίζει την μεταβολή της αστικής χρήσης στην περιοχή μελέτης, από το 2009 έως το 2029. Αυτή η εικόνα παρουσιάζει την πιθανότητα για αστική διάχυση έως το 2029 στην περιοχή μελέτης, με τα χρώματα πιθανοτήτων όπως αναφέρθηκαν προηγουμένως.



Εικόνα 18: Πρόβλεψη αστικής διάχυσης από το 2009 (αρχική κατάσταση, χρώμα κίτρινο) έως το 2029. Τα χρώματα αντιπροσωπεύουν την κατηγορία πιθανοτήτων όπως αναφέρθηκε προηγουμένως (βλ. πίνακας 5).

Εκτός όμως από τα αρχεία εικόνων, κατά την εφαρμογή της πρόβλεψης του μοντέλου παράγονται ορισμένα στατιστικά αρχεία (log files). Ένα από αυτά παρουσιάζει στατιστικά τα οποία αναφέρουν π.χ. την αύξηση των αστικών εικονοστοιχείων ανά έτος, τα στατιστικά στοιχεία που σχετίζονται άμεσα με τα CA της γεωγραφίας (edges, clusters κτλ.), τα ποσοστά των δεδομένων εισαγωγής (καλύψεις γης, αστική γη, οδικό δίκτυο) πάνω στις εικόνες. Επίσης, ένα από αυτά τα .log αρχεία, και το πιο σημαντικό για την μελέτη της περίπτωσης, είναι το avg.log. Το αρχείο αυτό έχει τις μέσες τιμές για διάφορες μεταβλητές, όπως αυτές των “pop” και “area”, οι οποίες απαριθμούν τα συνολικά εικονοστοιχεία αστικού που υπάρχουν σε κάθε χρονιά για την οποία λειτούργησε το μοντέλο. Έχοντας αυτά τα στοιχεία, μπορεί να εξαχθεί το εμβαδόν της περιοχής του αστικού για κάθε χρονιά πρόβλεψης, ώστε να υπάρξει η δυνατότητα για την δημιουργία συγκρίσιμων μεγεθών.

6. Σύγκριση με το νέο ΓΠΣ Βόλου

Το νέο ΓΠΣ του Βόλου ανατέθηκε το 2005 και το 2011 ολοκληρώθηκε η μελέτη, η οποία πέρασε σε ανοιχτή διαβούλευση. Η περιοχή την οποία μελετά το ΓΠΣ είναι ο Δ. Βόλου, το οποίο περιέχει τα 6 Δημοτικά Διαμερίσματα που μελετήθηκαν και προηγουμένως (Βόλου, Ν. Ιωνίας, Αγριάς, Ιωλκού, Πορταριάς και Αισωνίας).

Η μελέτη και τα νέα μέτρα τα οποία θα εφαρμοστούν θα ισχύουν για 20 χρόνια (έως το 2021). Κατά την μελέτη, τα αποτελέσματα τα οποία προέκυψαν σχετικά με τους θεσμοθετημένους οικιστικούς υποδοχείς στην περιοχή μελέτης είναι πως επαρκούν για την κάλυψη των αναγκών για κατοικία για τον πραγματικό πληθυσμό της απογραφής του 2001 (128.783 κατ.), ενώ δεν επαρκούν για να καλύψουν τις ανάγκες από την προβολή του πραγματικού πληθυσμού στο 2021 (165.306 κατ.). Με την προσθήκη του εποχιακού πληθυσμού, το συνολικό έλλειμμα χωρητικότητας αυξάνεται.

Οικιστικά κατάλοιπα

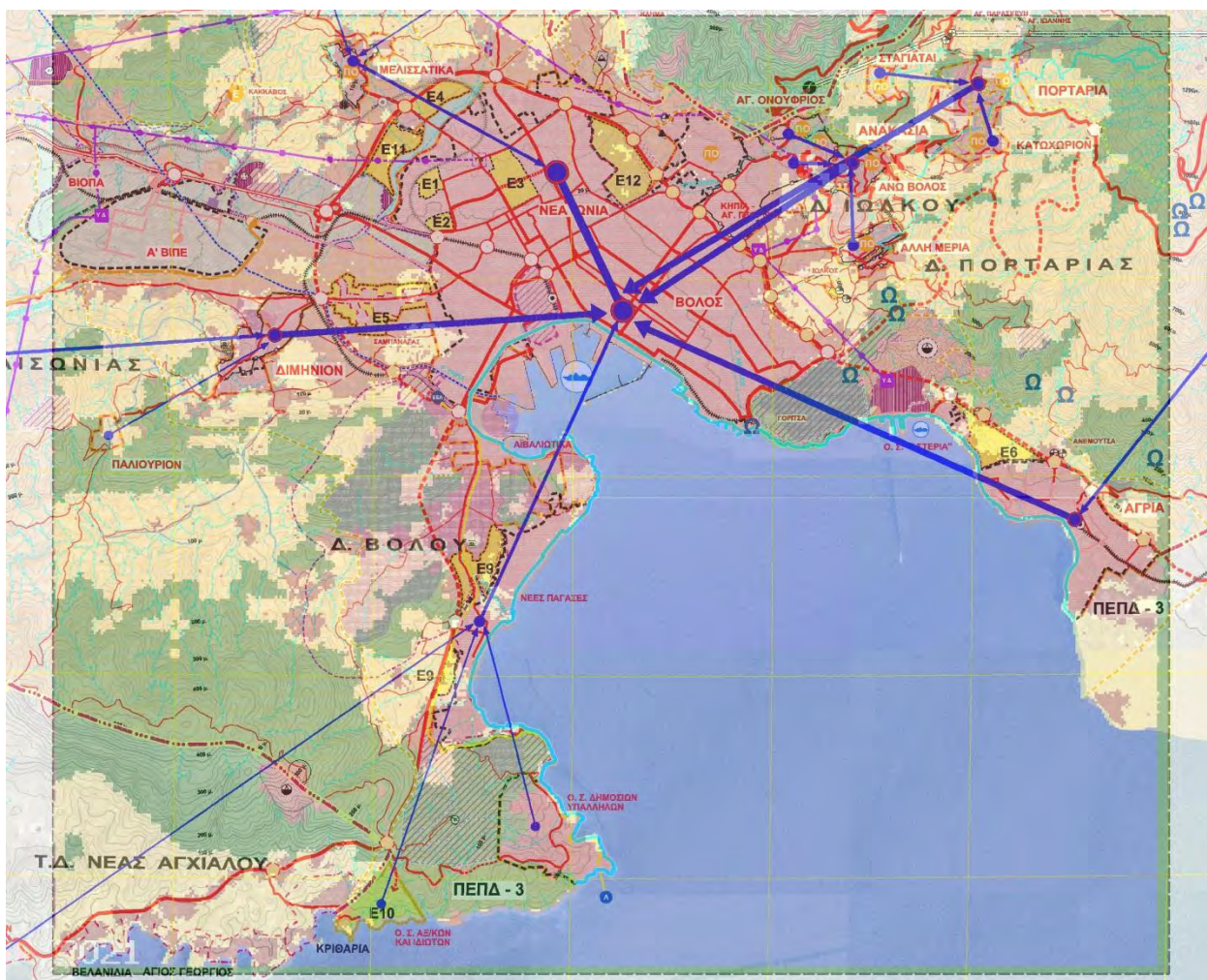
Στα πλαίσια της παρούσας μελέτης με προγραμματικό μέγεθος 183.000 κατοίκων για το 2021, εντοπίζεται αρνητικό ισοζύγιο της τάξεως των 21.000 κατ. στα Δ.Δ. Βόλου και Ν. Ιωνίας, και 1.550 κατ. στο Δήμο Πορταριάς (εξαιρείται ο οικισμός της Άλλης Μεριάς διότι έχει ενσωματωθεί στην ΠΕ-8 του Βόλου). Οι περιοχές των Δ.Δ. όπου αναμένεται να ασκηθούν οι μεγαλύτερες πιέσεις για δόμηση, θα έχουν την προτεραιότητα για επέκταση των ορίων του με βάση τα προτεινόμενα. Τα υπόλοιπα Δ.Δ. εκτιμάται ότι έχουν την δυνατότητα να εξυπηρετήσουν τόσο τον τωρινό πληθυσμό, όσο και αυτόν του 2021.

Στο ΓΠΣ προτείνεται, προφανώς, να γίνει η κάλυψη των αστικών κενών της υπό αστικοποίησης περιοχής, η οποία ορίζεται έως τον περιφερειακό δρόμο του Βόλου. Ο περιφερειακός θα λειτουργήσει σαν ένας φραγμός στα Βόρεια της πόλης, και η επέκταση θα γίνει προς τα εκεί αρχικά. Επιπλέον, στην πρόταση του ΓΠΣ λήφθηκε υπόψη πως οι μικρότερες θεσμοθετημένες οικιστικές συγκεντρώσεις θα ενώνονται με τους γειτονικούς αντίστοιχους οικιστικούς υποδοχείς. Παράλληλα, το ΓΠΣ προτείνει να γίνει τόνωση του περιαστικού οικιστικού δικτύου, αλλά να γίνει και δέσμευση προς μελλοντική επέκταση νέων περιαστικών φυσικών περιοχών.

Εκτός όμως των οικιστικών υποδοχέων, υπάρχουν κι άλλες ρυθμίσεις οι οποίες ενδέχεται να αφήσουν οικιστικά κατάλοιπα, εάν τεθούν υπόψη ΓΠΣ. Τέτοια για παράδειγμα θα μπορούσαν να είναι νέες περιοχές θεσμοθετημένες για ΒΙΠΕ ή ΒΙΟΠΑ. Μετά όμως από μελέτη, όπως αναφέρεται στο ΓΠΣ, τα διαθέσιμα γεωτεμάχια προς χρήση στις υφιστάμενες ΒΕΠΕ είναι πολλαπλάσια αυτών που είναι απαραίτητα έως το 2021, οπότε δεν γίνεται πρόταση για επέκτασή τους ή θεσμοθέτηση νέων περιοχών προς αυτήν την χρήση.

Σύγκριση με τα αποτελέσματα του SLEUTH

Ο σκοπός σε αυτό το υποκεφάλαιο είναι να φανεί η σχέση μεταξύ των ικανοτήτων και δυνατοτήτων της πρόβλεψης της δόμησης από το μοντέλο SLEUTH και των ικανοτήτων ενός σχεδιαστή. Για τον λόγο αυτό πραγματοποιείται παρακάτω μια σύγκριση μεταξύ του χάρτη πρότασης 1 του ΓΠΣ και του χάρτη που απεικονίζει τα αποτελέσματα από το SLEUTH για το 2021.

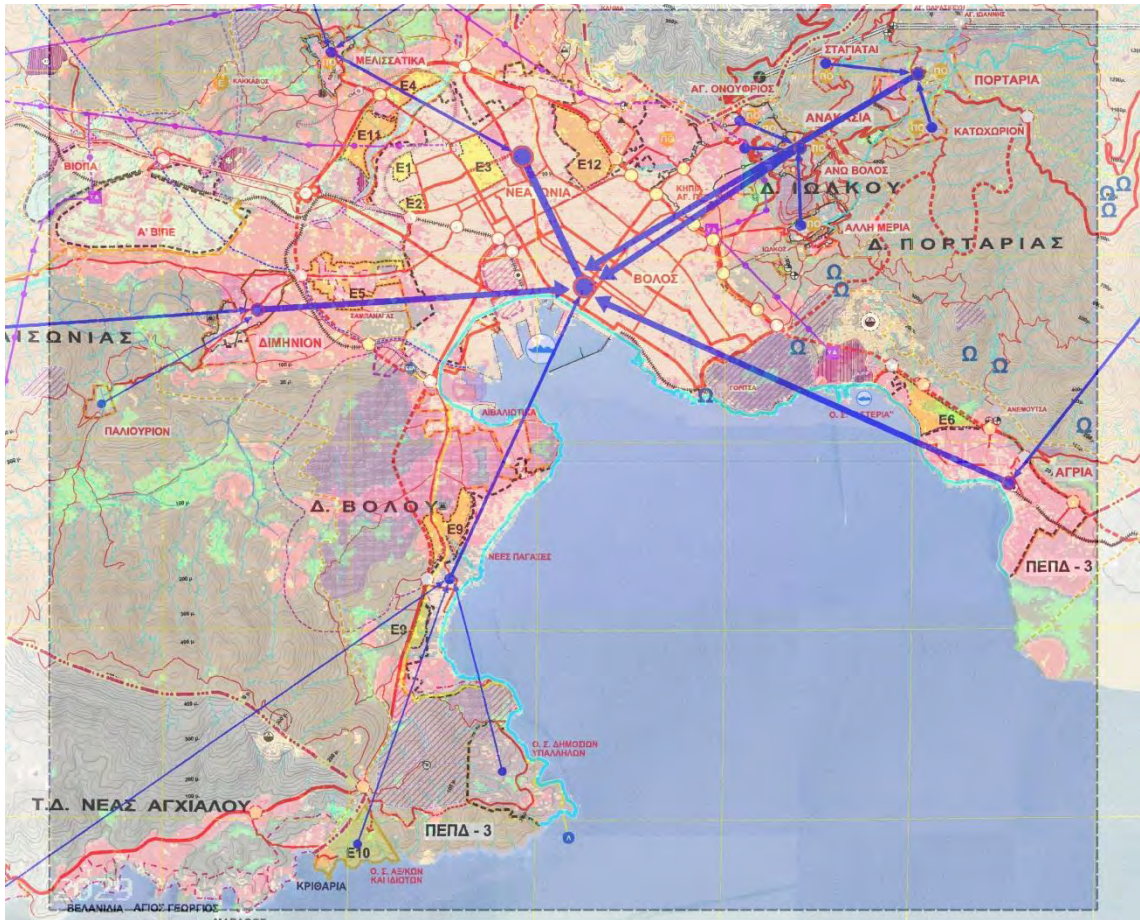


Εικόνα 19: Σύγκριση ΓΠΣ με πρόβλεψη 2021

Στον παραπάνω χάρτη μπορεί κανείς να διακρίνει με κόκκινο χρώμα την αστική γη κατά το SLEUTH (δηλαδή μαζί με την ΒΠΠΕ), την γεωργική γη και την γη χαμηλής βλάστησης με κίτρινο και την δασική γη και γη υψηλής βλάστησης με πράσινο, για το έτος 2021. Επί προσθέτως, πάνω στον κομμένο χάρτη της πρότασης του ΓΠΣ φαίνονται οι επεκτάσεις και οι προσθήκες στους ήδη υπάρχοντες οικισμούς με τον χαρακτηρισμό “Ε”.

Εάν παρατηρήσει κανείς τις μεταβολές στην αστική χρήση θα διακρίνει πως και το ΓΠΣ και το SLEUTH κινούνται με παρόμοια μέτρα. Κατ' αρχάς, η δόμηση φαίνεται να κινείται προς τον περιφερειακό οδικό άξονα του Βόλου, καθώς επίσης και προς το Διμήνιον, και στις 2 περιπτώσεις. Πέρα από αυτές τις δύο περιοχές όπου διακρίνονται οι βασικότερες μεταβολές, μπορεί να παρατηρήσει κανείς παρόμοια αποτελέσματα και στις άλλες περιοχές της περιοχής μελέτης.

Από την άλλη, μπορεί κανείς να συμπεράνει για το μοντέλο πως το μοντέλο δε λαμβάνει υπόψη τα αστικά κενά που ενδέχεται να προκύψουν σε μια πόλη, όπως για παράδειγμα το στρατόπεδο Γεωργούλας μέσα στην πόλη του Βόλου.



Εικόνα 20: Σύγκριση ΓΠΣ με πρόβλεψη 2029

Η εικόνα αυτή παρουσιάζει τον συνδυασμό του χάρτη 1 της πρότασης του νέου ΓΠΣ Βόλου μαζί με τον χάρτη που απεικονίζει την αρχική κατάσταση (αχνό άσπρο/κίτρινο) μαζί με τα αποτελέσματα πρόβλεψης του SLEUTH για το 2029 (κόκκινο οι περιοχές που έχουν την μεγαλύτερη πιθανότητα για δόμηση, πράσινο αυτές που έχουν την μικρότερη πιθανότητα για δόμηση βλ. πίνακας 5). Αυτή η σύγκριση πραγματοποιείται για να διακρίνει κάποιος και την αρχική κατάσταση στην δόμηση παράλληλα με την πρόβλεψη του SLEUTH και το νέο ΓΠΣ Βόλου. Στις παρατηρήσεις μπορεί κανείς να αναφέρει πως η παρόδια δόμηση ενισχύεται από το μοντέλο, όπως άλλωστε και από το ΓΠΣ αλλά σε πιο οργανωμένη μορφή, καθώς επίσης πως ενισχύεται και η δόμηση με κατεύθυνση προς τις περιοχές που αναφέρθηκαν και στην προηγούμενη εικόνα (η οποία συγκρίνει τα αποτελέσματα του SLEUTH για το 2021 με το ΓΠΣ).

Οπότε τα συμπεράσματα από αυτήν τη σύγκριση είναι πως το μοντέλο με λογικά, εφαρμοσμένα μαθηματικά, μπορεί να μας δείξει την τάση για αστική διάχυση στον χώρο, με σχετικά μεγάλη ακρίβεια ως προς το μέγεθος της ανάγκης για δόμηση. Παρ'

όλα αυτά, το μοντέλο χάνει ακρίβεια από ζητήματα όπως τα αστικά κενά σε μια πόλη, χωρίς όμως αυτές οι ανακρίβειες να αποβούν σημαντικές ώστε να θεωρηθεί ανακριβές.

7. Συμπεράσματα και μελλοντικές εφαρμογές

7.1. Ανάλυση αποτελεσμάτων και εξαγωγή συμπερασμάτων

7.1.1. Ως προς το φαινόμενο

Τα αποτελέσματα του μοντέλου φαίνονται αρκετά λογικά και ρεαλιστικά, δεδομένου του μεγάλου ρυθμού αύξησης του αστικού τμήματος που εμφανίστηκε από το 1980 έως το 2009, (και ο οποίος διαφαίνεται από τις εικόνες), καθώς επίσης και η κατεύθυνση της δόμησης με βάση την ανάλυση που προηγήθηκε (πχ η υψηλή κλίση αποτελεί φραγμό της δόμησης, η θάλασσα, οι προστατευόμενες περιοχές κτλ).

Μέσα από τα αποτελέσματα του μοντέλου παρατηρείται πως ο περιφερειακός οδικός άξονας της πόλης, η περιοχή του Διμηνίου και η ΒΙΠΕ (δυτικά του Βόλου) ευνοεί κατά μεγάλο βαθμό την αστική εξάπλωση. Επιπλέον, παρατηρείται η επέκταση της περιοχής της Αγριάς (ανατολικά του Βόλου) κατά μήκος της ακτογραμμής, και με κατεύθυνση τόσο προς τον Βόλο όσο και προς τα Κάτω Λεχώνια, αλλά και προς το Εθνικό οδικό δίκτυο, βόρεια της Αγριάς. Τέλος, παρατηρείται μεγάλη αύξηση της αστικής διάχυσης προς την περιοχή Αιβαλιώτικα και τις Νέες Παγασές, σε σημείο που επιτρέπεται από τους φυσικούς και ανθρωπογενείς περιορισμούς.

7.1.2. Ως προς το μοντέλο

Το μοντέλο παρουσίασε πολύ καλή λειτουργία και ορθά αποτελέσματα. Φαίνεται πως το Εθνικό οδικό δίκτυο αποτελεί πόλο έλξης προς επέκταση της αστικής περιοχής του Βόλου. Όμως, το μοντέλο δε λαμβάνει υπόψη κάποιους παράγοντες για την αστική εξάπλωση, οι οποίοι βασίζονται περισσότερο στην ανθρώπινη ψυχολογία. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι η καλαισθησία: ένα όμορφο τοπίο δύναται να προσελκύσει περισσότερο πληθυσμό, από μια άλλη περιοχή, η οποία έχει την ίδια εύνοια στο να προσελκύσει τον πληθυσμό για εγκατάσταση, αλλά δεν είναι και τόσο ελκυστική. Παρ' όλα αυτά, το μοντέλο φαίνεται να παρουσιάζει την καλύτερη κατεύθυνση προς επέκταση, δεδομένων των μεταβλητών που ισχύουν, όπως θα έκανε κατά βάση και ένας πολεοδόμος.

Ενδεχομένως, ορθότερο θα ήταν το μοντέλο να παράγει αποτέλεσμα που θα αντιστοιχούσε για κάθε μονάδα χρόνου (1 χρόνος, 2 χρόνια κτλ), και όχι για ένα συγκεκριμένο έτος (2010, 2011 κτλ.). Και αυτό διότι, με σταθερούς όλους τους παράγοντες, το μοντέλο δε μπορεί να προβλέψει ακριβώς το πότε θα πραγματοποιηθεί αυτή η ανάπτυξη, αλλά τον ρυθμό και το μέγεθος της ανάπτυξης, για κάθε μονάδα χρόνου. Για παράδειγμα, λόγω της οικονομικής κρίσης που διανύει η Ελλάδα τα τελευταία χρόνια, η οποία μειώνει την ανάπτυξη και ενδεχομένως την εξάπλωση των πόλεων, η επέκταση που προβλέπεται πως θα γίνει το 2015 μπορεί να μην γίνει την χρονιά αυτή, αλλά να παρουσιαστεί π.χ. 5 χρόνια αργότερα, δηλαδή εν έτη 2020. Με άλλα λόγια, το μοντέλο μπορεί να δείξει σε πολύ μεγάλο βαθμό τις τάσεις για δόμηση, και με σταθερούς όλους τους παράγοντες (μηδενικό σενάριο), μπορεί να κάνει πρόβλεψη της αστικής διάχυσης.

Εκτός όμως από την τάση διάχυσης αυτή καθαυτή, μέσα από τα αποτελέσματα του μοντέλου μπορεί κανείς να εξάγει συμπεράσματα σχετικά με τα ανθρωπογενή κατάλοιπα από την μελλοντική διάχυση των πόλεων. Κατά αυτόν τον τρόπο, μέσω των αποτελεσμάτων του μοντέλου, ένας μελετητής μπορεί να έχει μια εικόνα για την κατάσταση της αστικής κάλυψης γης του μέλλοντος, και έτσι να έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει πολιτικές σχετικά με την προστασία του περιβάλλοντος από αυτά τα κατάλοιπα.

7.2. Μελλοντικές εφαρμογές

Για τη μελλοντική επέκταση αυτής της εφαρμογής του μοντέλου, θα μπορούσε κανείς να πραγματοποιήσει αλλαγή των εικόνων input, για να μπορέσει να δει πώς θα εμφανιζόταν η αστική εξάπλωση εάν υπήρχε αλλαγή στα δεδομένα που την επηρεάζουν. Για παράδειγμα, εάν υπήρχε επέκταση του περιφερειακού οδικού άξονα προς την Αγριά, θα μπορούσε με αυτόν τον τρόπο να βρεθεί πώς θα επηρεαζόταν η δόμηση για εκείνη την περιοχή ή τουλάχιστον η κατευθυντήρια τάση για δόμηση.

Επιπλέον, κάποιος που θα επιθυμούσε να εφαρμόσει το μοντέλο, θα μπορούσε να αλλάξει τις τιμές των πέντε μεταβλητών, βλέποντας κατ' αυτόν τον τρόπο πώς επηρεάζεται ο ρυθμός επέκτασης. Όπως αναφέρθηκε στο αντίστοιχο κεφάλαιο, οι πέντε μεταβλητές καθοδηγούν τα γεωγραφικά ΚΑ ανάλογα με τις τιμές που δέχονται από την

διαδικασία της βαθμονόμησης. Εάν όμως κάποιος, για παράδειγμα, άλλαζε την τιμή της μεταβλητής “slope” προς τα πάνω, τότε θα παρατηρούσε πως η δόμηση θα περιοριζόταν σε ακόμα μεγαλύτερο βαθμό από την αύξηση της κλίσης της γης, απ' όταν η τιμή της μεταβλητής παρέμενε βέλτιστη, όπως δηλαδή υπολογίστηκε κατά την διαδικασία της βαθμονόμησης.

Τέλος, μελλοντικά δύναται να υπάρξει εφαρμογή του μοντέλου και για άλλες πόλεις, αφού αυτή η μέθοδος μπορεί να αποτελέσει βασικό εργαλείο για έναν πολεοδόμο. αφού Ο σχεδιασμός, όπως και ο έλεγχος για οικιστικά κατάλοιπα στο μέλλον, θα μπορούσε, πλέον, να βασιστεί σε μεγάλο βαθμό στο μαθηματικό μοντέλο αλγορίθμων του SLEUTH.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Ελληνόγλωσση**

Γαροφαλάκης Γ. (2012) “Αστική εξάπλωση και κυψελοειδή αυτόματα: η μελέτη του Δ. Πατρεών”, διπλωματική εργασία προπτυχιακού επιπέδου για το Τμ. Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Γοσποδίνη Α. (2007) “Ιστορία Πόλης και Πολεοδομίας – Σημειώσεις μαθήματος”

Γραφείο Δοξιάδη (2011) “Αναθεώρηση και Επέκταση του Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου (Γ.Π.Σ) του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Βόλου”

Κατσάρα Α., Φαρασλής Ι., Γοσποδίνη Α., Περάκης Κ. (2009) “Οι διαχρονικές αλλαγές της αστικής διάχυσης της αττικής με τη χρήση της τηλεπισκόπησης”, από τα πρακτικά του 2^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, τόμος 3, σελ. 1651

Κοτζαμάνης Β., Ανδρουλάκη Ε. (2009) “Στοιχεία Δημογραφίας – Σημειώσεις μαθήματος”

Κουρσάρη Ε. (2008) “Αθήνα και Αστική Διάχυση – Νέες διαρθρώσεις του περιαστικού χώρου και αναδυόμενες γεωγραφίες της πόλης”, Διπλωματική εργασία

Μαλούτας Θ., Οικονόμου Δ. (1992) “Κοινωνική δομή και πολεοδομική οργάνωση στην Αθήνα”, Εκδόσεις Παρατηρητής

Μαντέλας Ε. (2011) “CaFe – Cellular Automata Fuzzy Engine: Υπολογιστική Προσομοίωση Αστικής Επέκτασης με χρήση Ασαφών Κυψελοειδών Αυτομάτων”, Διδακτορική διατριβή για το Τμ. Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου

Μερτίκας Σ. (2006) “Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας”, Εκδόσεις ΙΩΝ

Μπεριάτος Η., Παπαγεωργίου Μ. (2010) “Χωροταξία – Πολεοδομία – Περιβάλλον στον 21^ο αιώνα, Ελλάδα – Μεσόγειος”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

Οικονόμου Δ., Πετράκος Γ. (2005) “Η ανάπτυξη των Ελληνικών πόλεων – Διεπιστημονικές προσεγγίσεις αστικής ανάλυσης και πολιτικής”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας - Gutenberg

Οικονόμου Δ. (2009) “Σημειώσεις Χωροταξικής Πολιτικής”, μαθήματος Χωροταξικής Πολιτικής 3^{ου} έτους

Οικονόμου Δ. (2011) “Σημειώσεις Πολεοδομικής Πολιτικής” μαθήματος Πολεοδομικής Πολιτικής 4^{ου} έτους

Πολυμενέας Α., Μαντζαφλάρης Α. (2007) “Το «Παιχνίδι της Ζωής» του John Conway”, εργασία στο ΠΜΣ Υπολογιστικής Επιστήμης του Τμήματος Πληροφορικής και Τηλεπικοινωνιών στο Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Πορτοκαλίδης Κ., Ζυγούρη Φ. “Η ιδιότυπη «Συμπαγής Διάχυση» των Ελληνικών πόλεων”

Ρετσιλινίδου Ο. (2011) “Χρήση του Μοντέλου SLEUTH για την Εκτίμηση της Μελλοντικής Αστικής Εξάπλωσης του Δήμου Μυτιλήνης, με την Βοήθεια Τηλεπισκοπικών Δεδομένων”

Σταθάκης Δ. (2009) “Σύγχρονα Μοντέλα Χρήσεων Γης, Ειδικός τόμος για τα 20 χρόνια του ΤΜΧΠΠΑ (ΠΘ)”, Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

Σταθάκης Δ. (2010) “Σημειώσεις Τηλεπισκόπησης” για το μάθημα Τηλεπισκόπηση, 2^{ου} έτους.

Σταθάκης Δ. (2012) “Το παράδοξο της αστικής εξάπλωσης με μειούμενο πληθυσμό”, Εργαστήριο ΣΕΠΟΧ "Οι πρόσφατες με τη διαχείριση του χώρου ρυθμίσεις, η οικονομική κρίση και οι προσπάθειες αντιμετώπισής της", 16 Μαρτίου 2012, κτίριο ΤΕΕ, Αθήνα

Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας και Δ. Βόλου “Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δ. Βόλου 2007-2010”

Ξενόγλωσση

- Batty M., Besussi E., Chin N. (2003) “Traffic, urban growth and suburban sprawl”
- Batty M. (2007) “Model Cities”, working paper series: paper 113, Centre for Advanced Spatial Analysis, UCL
- Batty M. (2008) “Cities as complex systems: Scaling, interactions, networks, dynamics and urban morphologies” working paper series: paper 131, Centre for Advanced Spatial Analysis, UCL
- Batty M. (2008) “The size, scale and shape of cities”, περιοδικό «Science», εκδόσεις AAAS
- Chin N. (2002) “Unearthing the roots of urban sprawl: A critical analysis of form, function and methodology”, working paper series: paper 47, Centre for Advanced Spatial Analysis, UCL
- Dietzel C., Clarke K. C. (2007) “Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model”, περιοδικό «The authors: journal compilation, Transactions in GIS», εκδόσεις Blackwell Publishing
- Ewing R., Pendall R., Chen D. (2002) “Measuring sprawl and its impact”
- Jantz C. (2009) “Simulating urban growth with the SLEUTH Model: A training manual”
- Jantz C., Goetz S., Shelley M. K. (2003) “Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Baltimore – Washington metropolitan area” *Environment and Planning B: Planning and Design* 2003, τόμος 30, σελ. 251 – 271
- Kalos M. H., Whitlock P. A. (2008) “Monte Carlo Methods”, Wiley-VCH, Berlin
- Liu Y. (2009) “Modelling urban development with Geographical Information Systems and Cellular Automata”, CRC press
- von Neumann J. (1951) “The general and logical theory of automata”, J. V. Neumann Collected Works, τόμος 5: «Design of computers theory of automata and numerical analysis», εκδόσεις Pergamon Press

Oguz H., Klein A. G., Srinivasan R. (2007) “Using the SLEUTH urban growth model to simulate the impacts of future policy scenarios on urban land use in the Houston-Galveston-Brazoria CMSA ”

Silva E. A., Clarke K. C. (2001) “Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal”, περιοδικό «Computers, Environment and Urban Systems», εκδόσεις Elsevier

Διαδικτυακοί τόποι

Project Gigalopolis, <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/index.html>, πρόσβαση 29/05/2012

Υπηρεσία θέασης ορθοφωτογραφιών Κτηματολογίου,
<http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx> , πρόσβαση 10/08/2012

Open street map, www.openstreetmap.org , Πίρσβαση 19/08/2012

Χάρτες από την Google, maps.google.com , πρόσβαση 10/08/2012

Wikipedia, <http://en.wikipedia.org> , πρόσβαση 15/08/2012

Ιστότοπος του Εργαστηρίου Δημογραφικών και Κοινωνικών αναλύσεων, www.e-demography.gr , πρόσβαση 20/08/2012

Ελληνική Στατιστική Αρχή, www.statistics.gr , πρόσβαση 20/08/2012

Τμήμα Γεωλογίας, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης,
<http://www.geo.auth.gr/> , πρόσβαση 09/08/2012

European Environmental Agency, <http://www.eea.europa.eu/> , πρόσβαση 12/08/2012

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Οδηγίες εγκατάστασης του SLEUTH στα Ελληνικά

Κωνσταντίνος Νικολάου

**Τμ. Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής
Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος**

mail: konikolaou9@gmail.com

1. Εγκατάσταση του Cygwin

1. Κατεβάστε το Cygwin από το www.cygwin.com/setup.exe
2. Είναι καλύτερο τα αρχεία της εγκατάστασης να τοποθετηθούν απευθείας σε υποφάκελο με όνομα Cygwin στο C:/, και όχι σε κάποιον άλλον υποφάκελο
3. Επιλέξτε τον server ftp.ntua.gr ή ftp.cc.uoc.gr για Ελλάδα
4. Κατά την εγκατάσταση τοποθετείστε, πέρα από τα ήδη επιλεγμένα, και τα πακέτα “gcc” και “make”

2. Αρχεία του SLEUTH

Κατ' αρχάς, κατεβάζουμε τα αρχεία για το SLEUTH (SLEUTH3.0beta_p01
LINUX released 6/2005) από το
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Dnload/download.htm>

Όταν τα κάνουμε εξαγωγή (extract) είναι πιο εύκολο αν τα αποθηκεύσουμε απευθείας σε έναν νέο φάκελο στο C:/ με όνομα SLEUTH.

3. Αρχεία εισαγωγής

Κατ' αρχάς, τα αρχεία που θα χρειαστούμε είναι:

- Slope – Κλίσεις γης
- Landuse – Καλύψεις γης, 2 χρονιές τουλάχιστον
- Excluded – Περιοχές απαγόρευσης της δόμησης
- Urban – Κάλυψη της αστικής γης, 4 χρονιές τουλάχιστον
- Transport – Οδικό δίκτυο, 2 χρονιές τουλάχιστον
- Hillshade – Ανάγλυφο γης

Ετοιμάζουμε τα αρχεία για το SLEUTH. Τα δεδομένα εισαγωγής θα είναι σε μορφή εικόνας, τύπου .gif. Όλες οι εικόνες θα ακολουθούν τρεις βασικούς κανόνες:

- Ίδια όρια
- Ίδιο προβολικό σύστημα
- Ίδια ανάλυση

Όσον αφορά τα επιμέρους δεδομένα, η τελευταία χρονιά του αστικού πρέπει να είναι η ίδια με αυτή των καλύψεων γης. Επίσης, καλό είναι η τελευταία χρονιά του οδικού δικτύου να είναι επίσης η ίδια με αυτή των αστικών και των καλύψεων γης.

Τα δεδομένα πάνω στα οποία δουλεύουμε πρέπει να είναι σε grayscale, με το απόλυτο μηδέν (0) να αντιπροσωπεύει το no values. Η τιμές που δέχονται οι εικόνες ώστε να απεικονίζουν ορθά το θέμα τους και να γίνονται αποδεκτές από το μοντέλο, βασίζονται στο πόσες κατηγορίες ενδέχεται να έχει μια εικόνα. Για παράδειγμα, στις εικόνες με το αστικό, οι τιμές του grayscale είναι 0 (μη αστικό) και 1 (αστικό), όπως επίσης αντίστοιχα στις εικόνες με τις περιοχές αποκλεισμού της δόμησης. Οι εικόνες με τις καλύψεις γης δέχονται τιμές ανάλογα με το είδος στο οποίο ανήκουν. Αυτές οι κατηγορίες δύναται να κατανεμηθούν στο SLEUTH μέσα από τα σενάρια. Εάν κάποιος δεν επιθυμεί να κάνει δικές του κατηγοριοποιήσεις, μπορεί να δημιουργήσει εικόνες καλύψεων γης με βάση τις προυπάρχουσες που αναγράφονται στα σενάρια, με τις αντίστοιχες τιμές του grayscale να αντιπροσωπεύουν τις κατηγορίες καλύψεων γης:

```
LANDUSE_CLASS= 0, Unclass , UNC , 0X000000
LANDUSE_CLASS= 1, Urban , URB , 0X8b2323 #dark red
LANDUSE_CLASS= 2, Agric , , 0Xffec8b #pale yellow
LANDUSE_CLASS= 3, Range , , 0Xee9a49 #tan
LANDUSE_CLASS= 4, Forest , , 0X006400
LANDUSE_CLASS= 5, Water , EXC , 0X104e8b
LANDUSE_CLASS= 6, Wetland , , 0X483d8b
LANDUSE_CLASS= 7, Barren , , 0Xeec591
```

Αντίστοιχη διαδικασία πραγματοποιείται για την κατηγοριοποίηση του οδικού δικτύου, με το 0 να αντιπροσωπεύει τις τιμές no values και οι τιμές 1, 2 και 3 (ή 25, 50 και 100 αντίστοιχα για όποιον θέλει να χρησιμοποιήσει τις δεύτερες κατηγοριοποιήσεις, χωρίς να αλλάζει τίποτα ουσιαστικά) στην κλίμακα του γκρι να δείχνουν το βάρος του οδικού

δικτύου (χαμηλής, μέτριας και υψηλής βαρύτητας οδικό δίκτυο).

Περισσότερες πληροφορίες μπορεί κανείς να βρει στο site του μοντέλου SLEUTH:
<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/About/dtInput.htm>

Τα αρχεία που έχουμε ετοιμάσει, τοποθετούνται σε έναν νέο φάκελο στο directory [C:/SLEUTH/input](#), με το όνομα του φακέλου στα αγγλικά. Το όνομα του κάθε αρχείου είναι της μορφής (περιοχή).(τύπος_δεδομένων).gif (Για παράδειγμα, volos.excluded.gif ή volos.urban.2000.gif).

4. Εφαρμογή του SLEUTH

Το SLEUTH τρέχει μέσω του cygwin, οπότε ανοίγουμε το τελευταίο με δικαιώματα διαχειριστή (δεξί κλικ --> εκτέλεση ως διαχειριστής – run as administrator)

Οι βασικές εντολές που θα χρειαστεί να γνωρίζουμε είναι:

- “cd”: Change Directory – Αλλαγή φακέλου
- “ls”: List Files – Παρουσιάζει τα αρχεία που εμπεριέχει ο φάκελος στον οποίο βρισκόμαστε
- “cd ..”: Πηγαίνει στον προηγούμενο φάκελο/directory
- “make clean” και “make”: Χρήσιμες εντολές για το compilation/μετάφραση
- “./grow.exe (μία εκ των calibrate, predict, test) (το όνομα του scenario, πχ scenario.volos_predict)”: πχ για την πρόβλεψη η εντολή θα ήταν “./grow.exe predict scenario.demo200_predict”

Για να κατευθυνθούμε π.χ. στον φάκελο C:/SLEUTH/Whirligf, πατάμε στην αρχή “cd [C:/](#)”, μετά “cd SLEUTH” και τέλος “cd Whirligf”. Εάν π.χ. από εκεί θέλει κανείς να γυρίσει πίσω στον φάκελο SLEUTH, τότε δίνει την εντολή “cd ..”

5. Επεξεργασία των αρχείων σεναρίου

Πηγαίνουμε στον φάκελο όπου βρίσκονται τα σεναρία ([C:/SLEUTH/Scenarios](#)). Από τα σεναρία που υπάρχουν επιλέγουμε τα σεναρία σχετικά με το calibration και το predict,

και τα κάνουμε αντιγραφή και επικόλληση στον ίδιο φάκελο, με διαφορετικό όνομα. Το όνομα θα είναι της μορφής `scenario.(περιοχή)_(λειτουργία)` (π.χ. `scenario.volos_predict`).

Για να λειτουργήσουν τα σενάρια, τα οποία ουσιαστικά καθοδηγούν το πρόγραμμα προκειμένου να παρουσιάσει τα αποτελέσματα, πρέπει να επεξεργαστούν ώστε να προσαρμοστούν στα δικά μας στοιχεία. Ένα πολύ καλό free πρόγραμμα επεξεργασίας για αρχεία γραμμένα στην γλώσσα C είναι το Netbeans, το οποίο μπορείτε να κατεβάσετε από εδώ: <http://netbeans.org/downloads/start.html?platform=windows&lang=en&option=cpp>

Αφού κατέβει το netbeans και εγκατασταθεί, μπορούμε να το ανοίξουμε προκειμένου να επεξεργαστούμε τα σενάρια. Τα βασικά σημεία που επεξεργαζόμαστε είναι τα εξής:

- Θέση των εικόνων που εισάγουμε (π.χ. `../Input/Volos`)
- Θέση των δεδομένων που εξάγονται (π.χ. `../Output/Volos_cal`), ανάλογα με το σενάριο
- Τα ονόματα των εικόνων που εισάγουμε
- Monte Carlo Iterations – Επαναλήψεις της διαδικασίας Monte Carlo, αλλάζουν ανάλογα με την διαδικασία
- Coefficients – Οι μεταβλητές οι οποίες παράγονται μετά την διαδικασία της βαθμονόμησης και διαχωρίζονται σε:
 - Calibration – Οι μεταβλητές που ρυθμίζονται για την διαδικασία της βαθμονόμησης
 - Prediction – Οι μεταβλητές που ρυθμίζονται για την διαδικασία της πρόβλεψης

6. Compilation – Μετάφραση της γλώσσας προγραμματισμού

Όταν ανοίγει το cygwin, κατευθυνόμαστε στον φάκελο που έχουμε αποθηκεύσει το SLEUTH (στην προκειμένη το [C:/SLEUTH](#)), και πηγαίνουμε στον υποφάκελο Whirlgif. Έπειτα, “καθαρίζουμε” το προηγούμενο cache και κάνουμε το νέο

compilation με τις εντολές make clean και αφού τελειώσει με την εντολή make. Ακολουθούμε την ίδια διαδικασία και στον υποφάκελο με directory [C:/SLEUTH/GD](#), καθώς επίσης και στον φάκελο [C:/SLEUTH](#).

Πιο αναλυτικά τα ακριβή βήματα που ακολουθούνται:

Ανοίγουμε το cygwin terminal με δικαιώματα διαχειριστή

```
cd C:/
```

```
cd SLEUTH (για να μπεις στον φάκελο του SLEUTH)
```

```
cd Whirlgif (-----//----- του whirlgif)
```

```
make clean (θα σου γράψει την διαδικασία, κι αφού τελειώσεις συνεχίζεις)
```

```
make (-----//-----)
```

```
cd .. (σε γυρίζει πίσω στον φάκελο του SLEUTH)
```

```
cd GD (σε πάει στο GD)
```

```
make clean
```

```
make
```

```
cd ..
```

```
make clean
```

```
make
```

7. Calibration – Βαθμονόμηση του μοντέλου

Αφού τελειώσουμε με την διαδικασία για το compilation, προχωράμε στην διαδικασία της βαθμονόμησης. Η διαδικασία αυτή χρειάζεται αρκετό χρόνο και θέλει αρκετή προσοχή για την εφαρμογή της.

Για την επίτευξη της βαθμονόμησης, μπορούν να πραγματοποιηθούν δύο διαφορετικές διαδικασίες. Η ρύθμιση του εύρους των προαναφερόμενων μεταβλητών γίνεται μέσω ενός παραγόμενου αρχείου το οποίο μετά από έλεγχο δείχνει τις μεταβολές των παραπάνω μεταβλητών μέσα από στατιστικές. Μία από της μεθόδους για την ρύθμιση των μεταβλητών είναι το OSM (Optimum SLEUTH Metric) και τα αποτελέσματα που εξάγει μπορεί να χρησιμοποιηθούν για την εισαγωγή του εύρους των μεταβλητών που θα έχουν τις καλύτερες επιδόσεις. Οι βέλτιστοι συντελεστές για το μοντέλο δύναται να βρεθούν και μέσω της διαδικασίας Lee-Salee Metric, για την εύρεση των οποίων ακολουθείται μια πιο χρονοβόρα διαδικασία, αλλά με πιο ακριβή αποτελέσματα. Οι δύο αυτές μέθοδοι μπορούν να καθορίσουν τις βέλτιστες τιμές για τη διαδικασία της πρόβλεψης (prediction best fit) έπειτα από πολλαπλούς ελέγχους.

7.1. Εφαρμογή της μεθόδου βαθμονόμησης Lee-Salee

Η μέθοδος Lee-Salee πραγματοποιεί πολλαπλές βαθμονομήσεις ώστε να

μπορέσει να βρει τις βέλτιστες τιμές για την πρόβλεψη. Κατά αυτόν τον τρόπο, τα στοιχεία από τα αποτελέσματα της κάθε βαθμονόμησης χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό του (μειωμένου σε κάθε επανάληψη) εύρους τιμών, ώστε να βρεθούν οι βέλτιστες τιμές για την διαδικασία της πρόβλεψης.

Φάση 1

Πιο συγκεκριμένα, για την εφαρμογή της μεθόδου Lee-Salee ακολουθούνται 3 στάδια: coarse, fine και final calibration (Αναλυτικές οδηγίες στα αγγλικά: <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Imp/imCalibrate.htm>). Για την εφαρμογή του πρώτου (coarse) σταδίου αλλάζουμε ορισμένα στοιχεία του σεναρίου για την βαθμονόμηση (calibration). Συγκεκριμένα, αυτά που αλλάζουμε είναι τα εξής:

- Monte Carlo Iterations: 4-5
- Όλες οι μεταβλητές (Coefficients) να έχουν τις τιμές:
 - Start: 0
 - Stop: 100
 - Step: 25

Αφού τρέξει το σενάριο με τα παραπάνω στοιχεία (δεδομένου ότι έχουμε κάνει και τις αλλαγές που αναφέρονται στο βήμα 5) πηγαίνουμε στο directory C:/SLEUTH/Output/Volos_cal και ανοίγουμε το αρχείο control_stats.log (κατά προτίμηση με κάποιο πρόγραμμα όπως το LibreOffice calc ή το Microsoft Excel). Έπειτα, κάνουμε sort by Leesalee value, από το μεγαλύτερο στο μικρότερο. Για τις τρεις μεγαλύτερες τιμές τις leesalee (είναι πιθανόν δυο γραμμές να έχουν την ίδια τιμή leesalee) παρατηρούμε τις τιμές για τα πεδία: breed, spread, slope, road gravity (RG) και dispersion (Diff). Από αυτές τις τιμές εξάγουμε την μικρότερη και την μεγαλύτερη, οι οποίες τοποθετούνται ως start και stop τιμές αντίστοιχα για την επόμενη φάση της βαθμονόμησης. Επιπλέον, ως τιμή step για την επόμενη φάση της βαθμονόμησης τοποθετείται ένας αριθμός ο οποίος προκύπτει από την διαφορά μεταξύ της start και stop τιμής, διά

ενός αριθμού μεταξύ 4-6. Για παράδειγμα, εάν από τον πίνακα προκύπτει πως για την επόμενη φάση το πεδίο ορισμού είναι 0-20, τότε το step είναι 5. Επίσης, 2 παρατηρήσεις που προκύπτουν είναι:

- Η τιμή 1 στον πίνακα για τις 5 μεταβλητές που αναφέρθηκαν αναγράφεται ως 0 στο πεδίο ορισμού
- Εάν οι τιμές των 5 μεταβλητών του πίνακα είναι μόνο 1, τότε τοποθετείται πεδίο ορισμού 0-20, με βήμα 5, ώστε να ελεγχθεί καλύτερα και στην επόμενη φάση.

Για παράδειγμα, δείτε την εικόνα 1 ή πηγαίστε στην ιστοσελίδα <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Imp/calCoarseSelect.htm>

Run	Product	Compare	Pop	Edges	Clusters	Cluster Size	sort	Initial coefficient values										
							value	Leesalee	Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch	Diff	Brd	Sprd	Slp
15	0.08234	0.64331	0.92749	0.92189	0.99241	0.86224	0.34437	0.99988	0.88769	0.91861	0.94748	0.94694	0.6944	1	1	1	75	1
16	0.08234	0.64331	0.92749	0.92189	0.99241	0.86224	0.34437	0.99988	0.88769	0.91861	0.94748	0.94694	0.6944	1	1	1	75	25
17	0.08234	0.64331	0.92749	0.92189	0.99241	0.86224	0.34437	0.99988	0.88769	0.91861	0.94748	0.94694	0.6944	1	1	1	75	50
20	0.00213	0.61402	0.98361	0.9887	0.99985	0.89286	0.33744	0.85379	0.91667	0.97736	0.0221	0.99266	0.7044	1	1	1	100	1
21	0.00213	0.61402	0.98361	0.9887	0.99985	0.89286	0.33744	0.85379	0.91667	0.97736	0.0221	0.99266	0.7044	1	1	1	100	25
22	0.00213	0.61402	0.98361	0.9887	0.99985	0.89286	0.33744	0.85379	0.91667	0.97736	0.0221	0.99266	0.7044	1	1	1	100	50
145	0.02022	0.64854	0.98469	0.98736	0.97959	0.7033	0.31584	0.29837	0.91965	1	0.80372	0.99308	0.6728	1	25	1	100	1
146	0.02022	0.64854	0.98469	0.98736	0.97959	0.7033	0.31584	0.29837	0.91965	1	0.80372	0.99308	0.6728	1	25	1	100	25
147	0.02022	0.64854	0.98469	0.98736	0.97959	0.7033	0.31584	0.29837	0.91965	1	0.80372	0.99308	0.6728	1	25	1	100	50

Coefficient range for fine calibration:

coefficient type	{ _START - _STOP, _STEP }
dispersion	{ 0 - 20, 5 }
breed	{ 0 - 25, 5 }
spread	{ 0 - 20, 5 }
slope	{ 75 - 100, 5 }
road gravity	{ 0 - 50, 10 }

Εικόνα 1: Παράδειγμα για την εξαγωγή των τιμών για τις 5 μεταβλητές στην 1η Φάση (Coarse)

Φάση 2

Για την εκτέλεση του 2ου βήματος της βαθμονόμησης, εκτελείται το σενάριο calibration με τις τιμές των μεταβλητών που εξήχθηκαν από το 1ο βήμα. Προσέχουμε όμως να έχουμε δημιουργήσει έναν άλλο φάκελο για τα

παραγόμενα (output) αρχεία, ώστε να μην υπάρξει πρόβλημα, και αναγράφουμε το όνομα του νέου φακέλου μέσα στο σενάριο για την 2η εκτέλεση του σεναρίου βαθμονόμησης. Επιπλέον, θέτουμε την τιμή Monte Carlo Iterations με αριθμό 7-8.

Αφού εκτελεστεί το σενάριο της βαθμονόμησης για την 2η φάση (fine calibration), ανοίγουμε το αρχείο control_stats.log. Έπειτα, ακολουθείται η ίδια διαδικασία με το 1ο βήμα, προκειμένου να εξαχθούν οι τιμές για την τελευταία φάση της βαθμονόμησης. Μία παρατήρηση που προκύπτει είναι πως εάν οι τιμές των 5 μεταβλητών του πίνακα είναι μόνο 1, τότε τοποθετείται πεδίο ορισμού 0-5, με βήμα 1, ώστε να ελεγχθεί καλύτερα και στην επόμενη φάση.

(<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Imp/calFineSelect.htm>)

Φάση 3

Από το παραγόμενο αρχείο control_stats.log, κάνουμε πάλι την ταξινόμηση με βάση το leesalee, από το μεγαλύτερο στο μικρότερο. Έπειτα, επιλέγουμε για το σενάριο μόνο από την πρώτη σειρά τις τιμές για τις 5 μεταβλητές, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν ως start και stop, με βήμα 1, για την τελευταία φάση της βαθμονόμησης. Επίσης, οι τιμές Monte Carlo Iterations ορίζονται σε 8-10. Δεν ξεχνάμε πως, όπως και στα προηγούμενα βήματα, να δημιουργηθεί ένα νέος φάκελος για τα παραγόμενα αρχεία, ο οποίος θα αναγραφεί στο σενάριο της βαθμονόμησης. Τέλος, στο πεδίο που αναγράφει WRITE_AVG_FILE βάζουμε την τιμή YES., προκειμένου να παραχθούν οι μέσες τιμές (<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Imp/calFinalSelect.htm>).

Φάση 4

Στο τελευταία βήμα, αφού έχουμε τρέξει για τρίτη φορά το σενάριο της βαθμονόμησης, ανοίγουμε το αρχείο avg.log που παράχθηκε από το προηγούμενο σενάριο. Στην σειρά όπου βρίσκεται η τελευταία ημερομηνία της βαθμονόμησης, βλέπουμε τις τιμές για τις 5 μεταβλητές (diffus, spread, breed, slp_res, rd_grav). Αυτές οι τιμές τοποθετούνται στο πεδίο

PREDICTION_BEST_FIT του σεναρίου της πρόβλεψης (εικόνα 2, <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Imp/calForecastSelect.htm>).

run	year	index	sng	sdg	og	rt	pop	edges	clusters	cl_size	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav	%urban	grw_rate	leesalee	grw_pix
0	1950	1	1.15	0.1	22.27	2.28	993.09	490.46	64.65	15.02	1.2	13.13	3.58	80.95	1.61	4.72	2.59	0.58	25.8
0	1970	2	1.55	0.1	38.09	4.17	1664.3	723.58	102.21	15.88	1.47	16.03	4.37	70.02	2.71	7.49	2.63	0.48	43.91
0	1990	3	1.65	0.14	63.07	3.73	2777.29	1033.16	141.46	19.21	1.79	19.55	5.33	52.38	4.47	11.19	2.46	0.41	68.59

(While we're here, notice that this file contains data showing how the metric values change over time. Several of these metrics are created for the control data and written to the LOG_# file if the LOG_BASE_STATISTICS flag in the scenario file is set to YES.)

Coefficient values used to predict growth:

coefficient type	PREDICTION_*_BEST_FIT
dispersion	2
breed	5
spread	20
slope	52
road gravity	4

Εικόνα 2: Παράδειγμα για την εξαγωγή των τιμών για τις 5 μεταβλητές από το τελευταίο στάδιο της βαθμονόμησης (final) για το στάδιο της πρόβλεψης

8. Prediction – Πρόβλεψη

Ανοίγουμε το σενάριο για την πρόβλεψη και, αφού γίνουν όλες οι αλλαγές που αναφέρονται στο πέμπτο βήμα, τοποθετούνται οι τιμές που προέκυψαν από την τέταρτη φάση του εβδομο βήματος. Η τιμή Monte Carlo Iterations ορίζεται σε 100 και το output σε φάκελο με παράδειγμα ονόματος volos_pre στο directory του output. Τρέχουμε το σενάριο και αναλύουμε τα αποτελέσματα.

(<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/Imp/imPredict.htm>)

*Υπάρχει το ενδεχόμενο το σενάριο που κατεβάζετε από το site του gigaopolis να έχει διαφορετικά πρότυπα (π.χ. Τα ονόματα για τα αρχεία να είναι του τύπου volos.urban2000.gif, αντί του volos.urban.2000.gif, ή ακόμα και τα χρώματα να είναι διαφορετικά). Σε αυτήν την περίπτωση ακολουθήστε τα πρότυπα του σεναρίου που κατεβάσατε.

