



# Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

## Πολυτεχνική Σχολή

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας & Περιφερειακής Ανάπτυξης

Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών:

Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος

### Σύγκριση Μοντέλων Πρόβλεψης Αστικής Εξάπλωσης σε Μεσαίου Μεγέθους Ελληνική Πόλη

Περιοχή Μελέτης: Πόλη της Καρδίτσας



2013

2014

2015

2016

2017

2018

2019

2020

2021

**Κουκόσια Ηλιάνα**

Επιβλέπων :

**Σταθάκης Δημήτριος**

Βόλος, Ιανουάριος 2013

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως σκοπό τη σύγκριση των μοντέλων πρόβλεψης αστικής εξάπλωσης SLEUTH και CA-Markov, σε μεσαίου μεγέθους ελληνική πόλη και την εξέταση του βαθμού προσομοίωσης τους στην πραγματικότητα. Παρουσιάζεται το φαινόμενο στις αστικής εξάπλωσης και εξετάζεται κατά πόσο τα συγκεκριμένα μοντέλα πρόβλεψης μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλείο του πολεοδομικού και χωρικού σχεδιασμού. Τα μοντέλα αυτά βασίζονται στη μέθοδο των Κυψελοειδών Αυτομάτων που λειτουργεί με τη λογική ότι οι γειτονικές χρήσεις γης ασκούν τη μεγαλύτερη επιρροή. Γίνεται η εφαρμογή τους στην πόλη της Καρδίτσας, ακολουθεί η μεταξύ τους σύγκριση και ειδικότερα παρουσιάζονται μερικές προτάσεις για τη βελτίωση του μοντέλου SLEUTH. Η πόλη της Καρδίτσας αποτελεί ενδιαφέρουσα περίπτωση εφαρμογής των μοντέλων, διότι παρόλο το μικρό μέγεθός της εμφανίζει έντονες πιέσεις αστικοποίησης στον εξωαστικό χώρο. Συμπερασματικά, από την εφαρμογή των δύο μεθόδων πρόβλεψης της αστικής διάχυσης προκύπτει ότι το μοντέλο SLEUTH εμφανίζει μεγαλύτερο βαθμό προσομοίωσης με την πραγματικότητα και μπορεί συνδυάζοντας εφαρμογές τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ να αποτελέσει ένα αρκετά δυναμικό εργαλείο του πολεοδομικού σχεδιασμού.

Λέξεις Κλειδιά: Αστική διάχυση, χωρική- αστική μοντελοποίηση, κυψελοειδή αυτόματα, μοντέλο SLEUTH, μοντέλο CA- Markov, τηλεπισκόπηση, ΓΣΠ, πόλη της Καρδίτσας.

## ABSTRACT

The current diploma dissertation examines and compares the urban expansion prediction models of SLEUTH and CA- Markov and their urban simulation in a medium-sized Greek city. The thesis presents the phenomenon of urban sprawl and examines if the specific models can be used as a tool in urban and spatial planning. These models use Cellular Automata method, which is based on the fact that land use, is spatially related and that neighbor land use is the most influenced. The proposed models of SLEUTH and CA- Markov are applied and calibrated in Karditsa, compared to each other and a few suggestions are presented in order to improve the function of SLEUTH model. Especially, the city of Karditsa is a fine example of a medium-sized city where major pressure of urbanization is appeared to the outer non- urban areas. In conclusion, the application of the two methods of prediction of urban sprawl indicates that the SLEUTH model is more simulated to reality than the other and surely combined to certain remote sensing and GIS applications could easily be a quite powerful tool of urban planning.

**Key Words:** Urban sprawl, spatial- urban modeling, cellular automata, SLEUTH model, CA- Markov model, remote sensing, GIS, city of Karditsa.

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	8
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ</b> .....	10
2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ .....	10
2.2 ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ.....	12
2.3 ΑΙΤΙΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ.....	14
2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ.....	15
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ</b> .....	18
3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΣΤΙΚΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ .....	19
3.2 ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗ ΑΥΤΟΜΑΤΑ (CELLULAR ΑΥΤΟΜΑΤΑ).....	20
3.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SLEUTH .....	24
3.4 ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΕΣ ΑΛΥΣΙΔΕΣ (MARKOV CHAINS) .....	26
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ- ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ</b> .....	29
4.1 ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ.....	29
4.2 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	31
4.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ.....	33
4.4 ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	34
4.4.1 ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ .....	38
4.4.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1989-2005.....	41
4.5 ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ .....	43
4.6 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ.....	44
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SLEUTH</b> .....	47
5.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ .....	47
5.1.1 ΑΣΤΙΚΗ ΓΗ (URBAN EXTEND) .....	48
5.1.2 ΚΑΛΥΨΕΙΣ ΓΗΣ (LANDUSE).....	52
5.1.3 ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (TRANSPORTATION) .....	53
5.1.4 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ (EXCLUDED) .....	55
5.1.5 ΚΛΙΣΕΙΣ ΕΛΑΦΟΥΣ (SLOPE) .....	56
5.1.6 ΑΝΑΓΛΥΦΟ (HILLSHADE).....	56
5.2 ΜΕΤΑΓΛΩΤΤΙΣΗ (COMPILATION) .....	57
5.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ (CALIBRATION).....	58
5.4 ΠΡΟΒΛΕΨΗ (PREDICTION) .....	62
5.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ .....	63
5.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ .....	67
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ CA- MARKOV</b> .....	70
6.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ .....	71
6.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	72
6.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	72
6.4 ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ (SUPERVISED CLASSIFICATION) .....	75
6.5 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ.....	80
6.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ – ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ .....	80
6.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ- ΜΟΝΤΕΛΟ CA MARKOV .....	81
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ</b>	
<b>ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ</b> .....	84
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ</b> .....	86
<b>ΠΗΓΕΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ</b> .....	89

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4.1: Πραγματικός πληθυσμός περιοχής μελέτης .....	31
Πίνακας 4.2: Συγκριτική μεταβολή πραγματικού πληθυσμού.....	31
Πίνακας 4.3: Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής πραγματικού πληθυσμού .....	32
Πίνακας 4.4: Πίνακας: Προβολή του πληθυσμού στο μέλλον .....	33
Πίνακας 4.5: Απασχόληση ανά τομέα παραγωγής, 2001 .....	34
Πίνακας 4.6: Σημαντικές πολεοδομικές εξελίξεις 1980- 2005 .....	37
Πίνακας 4.7: Χρήσεις γης 1989- 2012.....	41
Πίνακας 4.8: Επιφάνεια οικοδομικών αδειών σε τ.μ .....	44
Πίνακας 5.1: Χρονική μεταβολή του αστικού ιστού .....	51
Πίνακας 5.2: Μεταβλητές 2ης φάσης βαθμονόμησης .....	61
Πίνακας 5.3: Μεταβλητές 3ης φάσης βαθμονόμησης .....	61
Πίνακας 5.4: Μεταβλητές 4ης φάσης βαθμονόμησης .....	62
Πίνακας 5.5: Βέλτιστες τιμές μεταβλητών της πρόβλεψης της μεθόδου Lee-Salee στρογγυλοποιημένες ως προς τη μονάδα .....	62
Πίνακας 5.6: Ποσοτικοποίηση αποτελεσμάτων για τα έτη 2012, 2015, 2028 και 2021.....	64
Πίνακας 5.7: Χρώματα πιθανοτήτων αστικής εξάπλωσης στον τελικό χάρτη πρόβλεψης .....	65
Πίνακας 5.8: Επιφάνεια και ποσοστό προβλεπόμενου αστικού σε σχέση με την πιθανότητα διάχυσης.....	67
Πίνακας 5.9: Επικύρωση των σημείων .....	69
Πίνακας 6.1: Διαθέσιμες εικόνες και τα χαρακτηριστικά τους.....	72
Πίνακας 6.2: Αποτίμηση Ακρίβειας των Ταξινομήσεων .....	80
Πίνακας 6.3: Επιφάνεια των καλύψεων γης την περίοδο 1985-2011 .....	81

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 2.1: Μορφές αστικής διάχυσης.....	13
Εικόνα 3.1 : Καταγραφή του τυχαίου μοτίβου στη μονάδα του χρόνου .....	22
Εικόνα 4.1: Περιοχή Μελέτης.....	29
Εικόνα 4.2: Παρόδια δόμηση οδικού άξονα Καρδίτσας- Βόλου.....	46
Εικόνα 4.3: Παρόδια δόμηση οδικού άξονα Καρδίτσας- λίμνης Πλαστήρα.....	46
Εικόνα 5.1: Μεταβολές αστικής κάλυψης για τα έτη 1985, 1990, 2000 και 2007 .....	50
Εικόνα 5.2: Καλύψεις γης 2000 .....	52
Εικόνα 5.3: Καλύψεις γης 2007 .....	53
Εικόνα 5.4 : Οδικό δίκτυο 1998.....	54
Εικόνα 5.5: Οδικό δίκτυο 2007.....	54
Εικόνα 5.6: Περιοχές αποκλεισμού της δόμησης .....	55
Εικόνα 5.7: Κλίσεις εδάφους ευρύτερης περιοχής Δήμου Καρδίτσας .....	56
Εικόνα 5.8: Κλίσεις εδάφους ευρύτερης περιοχής Δήμου Καρδίτσας .....	57
Εικόνα 5.9: Καλύψεις γης για τα έτη πρόβλεψης 2012, 2015, 2018, 2021 .....	64

Εικόνα 5.10: Πρόβλεψη αστικής διάχυσης από το 2007 έως το 2021(αρχική κατάσταση, κίτρινο χρώμα).....	66
Εικόνα 6.1: Δορυφορική Εικόνα Landsat, 1985 .....	73
Εικόνα 6.2: Δορυφορική Εικόνα Landsat, 1992 .....	74
Εικόνα 6.3: Δορυφορική Εικόνα Landsat, 2000 .....	74
Εικόνα 6.4: Δορυφορική Εικόνα Landsat, 2011 .....	75
Εικόνα 6.5: Ταξινόμηση Καρδίτσας για το 1985.....	78
Εικόνα 6.6: Ταξινόμηση Καρδίτσας για το 1992.....	78
Εικόνα 6.7: Ταξινόμηση Καρδίτσας για το 2000.....	79
Εικόνα 6.8: Ταξινόμηση Καρδίτσας για το 2011.....	79
Εικόνα 6.9: Πρόβλεψη για την ευρύτερη περιοχή της πόλης της Καρδίτσας για το 2021 .....	82

### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4.1: Συγκριτική μεταβολή πραγματικού πληθυσμού 1971- 2031 .....	33
---	----

### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ

Χάρτης 4.1: Επεκτάσεις της πόλης της Καρδίτσας.....	40
---	----

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

ΑΕΠ	ΑΚΑΘΑΡΙΣΤΟ ΕΓΧΩΡΙΟ ΠΡΟΪΟΝ
ΒΔ	ΒΑΣΙΛΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ
ΒΙΠΑ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟ ΠΑΡΚΟ
ΓΠΣ	ΓΕΝΙΚΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΧΕΔΙΟ
ΓΣΠ	ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ
ΔΔ	ΔΗΜΟΤΙΚΟ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑ
ΕΓΣΑ	ΕΛΛΗΝΙΚΟ ΓΕΩΔΑΙΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΝΑΦΟΡΑΣ
ΕΠΑ	ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΗ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗΣ ΑΝΑΣΥΓΚΡΟΤΗΣΗΣ
ΖΑΑ	ΖΩΝΗ ΑΣΤΙΚΟΥ ΑΝΑΔΑΣΜΟΥ
ΖΕΕ	ΖΩΝΕΣ ΕΙΔΙΚΗΣ ΕΝΙΣΧΥΣΗΣ
ΖΕΚ	ΖΩΝΕΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΚΙΝΗΤΡΩΝ
ΚΑ	ΚΥΨΕΛΙΚΑ ΑΥΤΟΜΑΤΑ
ΜΕΡΜ	ΜΕΣΟΣ ΕΤΗΣΙΟΣ ΡΥΘΜΟΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ
ΠΔ	ΠΡΟΕΔΡΙΚΟ ΔΙΑΤΑΓΜΑ
ΠΕ	ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗ ΕΝΟΤΗΤΑ
ΥΑ	ΥΠΟΥΡΓΙΚΗ ΑΠΟΦΑΣΗ
ΦΕΚ	ΦΥΛΛΟ ΕΦΗΜΕΡΙΔΑΣ ΚΥΒΕΡΝΗΣΕΩΣ
ΑΟΙ	AREA OF INTEREST
CA	CELLULR AUTOMATA
ETM	ENHANCED THEMATIC MAPPER
GIS	GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS
GPS	GLOBAL POSITIONING SYSTEM
LCD	LAND COVER DELTATRON MODEL
MAS	MULTI AGENT SYSTEMS MODELS
OSM	OPTIMUM SLEUTH METRIC
TM	THEMATIC MAP
UGM	URBAN GROWTH MODEL
USGS	UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY



## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Βασικός επιβλέπων καθηγητής της διπλωματικής εργασίας ήταν ο κ. Σταθάκης Δημήτρης, επίκουρος καθηγητής του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του πανεπιστημίου Θεσσαλίας, στον οποίο οφείλω ιδιαίτερες ευχαριστίες για την υποστήριξη, καθοδήγηση και την αίσθηση της συνεχούς επικοινωνίας που μου παρείχε κατά την εκπόνηση της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Κωνσταντίνο Περάκη, καθηγητή ΤΜΧΠΠΑ καθώς και τον κ. Ιωάννη Φαρασλή, υποψήφιο διδάκτορα του ΤΜΧΠΠΑ, για τη σημαντική βοήθεια όσον αφορά την επεξεργασία και τη διαχείριση τηλεπισκοπικών δεδομένων. Μεγάλο ευχαριστώ θέλω να πω στον Κώστα Νικολάου, πτυχιούχο του ΤΜΧΠΠΑ για το εγχειρίδιο εφαρμογής του SLEUTH που έγραψε και μου διέθεσε.

Ευχαριστίες οφείλω και στην πολεοδομία του Δήμου Καρδίτσας (Τμήμα Σχεδίου Πόλης και Κτηματολογίου) και συγκεκριμένα στον κ. Ανυφαντή Βάιο, Διευθυντή της Υπηρεσίας για την παροχή μελετών και στοιχείων που αποδείχτηκαν ιδιαίτερα χρήσιμα για την εκπόνηση της πτυχιακής εργασίας.

Τέλος, θα ήθελα να εκφράσω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένεια μου και στους φίλους μου που με στήριξαν κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο ΠΜΣ Χωρική Ανάλυση και Διαχείριση Περιβάλλοντος. Συγκεκριμένα θα ήθελα να ευχαριστήσω το Ντίνο, το Θεοδωρή, το Γιάννη Π., το Γιάννη Μ. την Αλεξάνδρα και την Ευαγγελία για την αμέριστη βοήθεια τους καθ' όλη τη διάρκεια της εργασίας.

Ιανουάριος, 2013

Κουκόσια Ηλιάνα



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η αστική εξάπλωση- διάχυση είναι ένα παγκόσμιο φαινόμενο και αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές διαδικασίες αναμόρφωσης τόσο του φυσικού όσο και του ανθρωπογενούς περιβάλλοντος. Η αστική επέκταση, έχει άμεσες και έμμεσες επιπτώσεις στο περιβάλλον, καθώς προκαλεί μείωση της αγροτικής γης και αλλαγή των κλιματικών συνθηκών. Υπάρχουν διάφορα μοντέλα υπολογισμού της αστικής εξάπλωσης και καθένα διαφοροποιείται βάσει των χαρακτηριστικών του σε θεωρητικό και τεχνικό επίπεδο. Τα Κυψελοειδή Αυτόματα (Cellular Automata) ΚΑ αποτελούν μια υπολογιστική μέθοδο ικανή να προσομοιώσει τις εξελικτικές διαδικασίες περιγράφοντας ένα πολύπλοκο σύστημα με ένα σύνολο απλών κανόνων. Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως θέμα ‘Σύγκριση μοντέλων πρόβλεψης αστικής εξάπλωσης σε μεσαίου μεγέθους ελληνική πόλη’ και σκοπός είναι να εξεταστεί το αν μπορούν τα μοντέλα αυτά να αποτελέσουν εργαλείο του χωρικού σχεδιασμού. Γίνεται η εφαρμογή δύο μοντέλων στην πόλη της Καρδίτσας, η μεταξύ τους σύγκριση και προτείνεται η καλύτερη δυνατή μέθοδος.

Όσον αφορά τη δομή της εργασίας, διαρθρώνεται στα εξής επιμέρους κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1: Εισαγωγή, πρόκειται για το παρόν κεφάλαιο στο οποίο παρουσιάζεται συνοπτικά ο σκοπός της εργασίας καθώς και ο τρόπος δόμησής της. Το κεφάλαιο 2 (φαινόμενα αστικής διάχυσης) περιλαμβάνει τον προσδιορισμό του όρου της αστικής διάχυσης, τις μορφές του φαινομένου, τα αίτια της εμφάνισής του και τις επιπτώσεις που προκαλεί. Στο κεφάλαιο 3: Μοντέλα αστικής εξάπλωσης, παραθέτεται η ανάγκη χρησιμοποίησης των μοντέλων πρόβλεψης της αστικής εξάπλωσης στο χωρικό σχεδιασμό, οι κατηγορίες τους, η περιγραφή της μεθόδου των ΚΑ, του μοντέλου SLEUTH και των Μαρκοβιανών αλυσίδων. Κεφάλαιο 4: Περιοχή μελέτης- Πόλη της Καρδίτσας. Η πόλη της Καρδίτσας αποτελεί μια ενδιαφέρουσα περίπτωση προς εξέταση καθώς οι πιέσεις προς αστικοποίηση στον εξωαστικό χώρο είναι έντονες και εμφανείς. Σε αυτό το κεφάλαιο πραγματοποιήθηκε μια προσέγγιση προκειμένου να αναδειχθούν οι λόγοι που συσχετίζονται, άμεσα ή έμμεσα, με την ενδεχόμενη αστική εξάπλωση. Επίσης παρέχονται κάποια πολεοδομικά στοιχεία όπως τα πολεοδομικά σχεδιαστικά εργαλεία που εφαρμόστηκαν διαχρονικά στην περιοχή μελέτης, οι όροι δόμησης και η εξέλιξη των χρήσεων γης. Κεφάλαιο 5: Εφαρμογή του μοντέλου

SLEUTH. Για την διεκπεραίωση της πρόβλεψης του φαινομένου χρησιμοποιήθηκε το μοντέλο SLEUTH. Τα δεδομένα εισαγωγής που χρησιμοποιήθηκαν είναι: οι κλίσεις εδάφους, οι χρήσεις γης, οι περιοχές που δεν προσφέρονται για αστικοποίηση, τα αστικά όρια, τα μεταφορικά δίκτυα και το ανάγλυφο της περιοχής. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εφαρμογή του μοντέλου αφορούσαν αρχικά την προετοιμασία των αρχείων, έπειτα τη μεταγλώττιση και τη βαθμονόμηση, και τέλος την πρόβλεψη για την αστική εξάπλωση. Κεφάλαιο 6: Εφαρμογή του μοντέλου CA- Markov. Δορυφορικές εικόνες και γεωχωρικά εργαλεία χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση των χωροχρονικών μεταβολών των αστικών χρήσεων γης και εφαρμόστηκε το μοντέλο CA- Markov για την πρόβλεψη της διάχυσης της αστικής γης. Στο κεφάλαιο 7 (Σύγκριση των δύο μεθόδων πρόβλεψης της αστικής διάχυσης) έγινε σύγκριση των δύο μεθόδων που χρησιμοποιήθηκαν για την πρόβλεψη του αστικού της πόλης της Καρδίτσας, τονίστηκαν τα δυναμικά και αδύναμα χαρακτηριστικά του καθενός και προτάθηκε το καλύτερο. Στο τελευταίο κεφάλαιο(συμπερασματικές προτάσεις) επισημαίνονται ορισμένα συμπεράσματα που προκύπτουν από τη αξιολόγηση της αστικής εξάπλωσης και των μοντέλων πρόβλεψης και διατυπώνονται κάποιες προτάσεις που αφορούν κυρίως τα μοντέλα ΚΑ γενικά αλλά το SLEUTH ειδικότερα.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

### 2.1 Η ΕΝΝΟΙΑ ΤΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Η σύγχρονη έννοια του όρου αστική εξάπλωση (urban sprawl) επινοήθηκε το 1937 από τον Earle Draper, έναν από τους πρώτους πολεοδόμους των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής. Μέχρι το τέλος του Β' Παγκοσμίου Πολέμου θέματα που αφορούν την αστική εξάπλωση και τις σχέσεις του φαινομένου με τις μεταφορές και το εισόδημα είχαν ήδη εμφανιστεί. Τα θέματα αυτά μελετήθηκαν στη δεκαετία του 1940 από τον Βρετανό πολεοδόμο σχεδιαστή F. J Osborn (Nechyba και Walsh, 2004).

Το φαινόμενο της αστικής εξάπλωσης ή διάχυσης αναφέρεται στην εξάπλωση των αστικών περιοχών. Είναι το φυσικό μοτίβο της χαμηλής σε πυκνότητα επέκτασης μεγάλων αστικών περιοχών υπό την επιρροή της αγοράς, κυρίως στις περιαστικές αγροτικές περιοχές. Αποτέλεσμα αυτού του φαινομένου είναι η δημιουργία κέντρων και περιοχών, συμπληρωματικών του αρχικού κέντρου της πόλης (EEA, 2006).

Οι πόλεις είναι το κατ'εξοχήν παράδειγμα πολύπλοκων συστημάτων αφού εμφανίζουν έντονες ανισότητες μέσα στους οικισμούς και ανταγωνισμό για την εξεύρεση χώρου και κορεσμένα συστήματα ροής που χρησιμοποιούν τη χωρητικότητα σε ότι φαίνεται να είναι βιώσιμο, παραδόξως όμως αποτελούν ανθεκτικά δίκτυα. Η αστική πολυπλοκότητα έχει τη βάση της στην τακτική διάταξη του μεγέθους και του σχήματος πολλών χωρικών κλιμάκων. Οι πόλεις μεγαλώνουν για να διευκολυνθεί η κατανομή της εργασίας δημιουργώντας οικονομίες κλίμακας και αποτελούν συνέπεια του ανταγωνισμού για αυτό και σήμερα υπάρχουν λιγότερες μεγάλες πόλεις από ότι μικρές. Ωστόσο, η ομοιότητα που παρατηρείται σε πολλά χωρικά επίπεδα συνεπάγεται ότι οι μετακινήσεις που παρατηρούνται σε μικρές πόλεις είναι παρόμοιες με εκείνες των μεγάλων πόλεων (Batty, 2008).

Σημαντική επίσης αποτελεί και η εννοιολογική προσέγγιση του οικιστικού χώρου καθώς επίσης και ο τρόπος καθορισμού των ορίων του. Ο οικιστικός χώρος που καταλαμβάνει μια πόλη αποκαλείται ο χώρος που έχει αστικοποιηθεί και δεν θεωρείται πλέον ως ύπαιθρος, και ο οποίος καταλαμβάνεται από κτίσματα και λοιπές υποδομές με

ανθρωπογενή χαρακτήρα (Οικονόμου, 2009). Υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τον καθορισμό των ορίων ενός οικισμού, με φυσικά, οικιστικά, διοικητικά, ιστορικά-ανθρωπολογικά ή άλλα κριτήρια, που ανάλογα με τις περιπτώσεις ο ένας ή ο άλλος τρόπος θα προσφέρεται περισσότερο. Ωστόσο με όποιο τρόπο και να γίνει ο καθορισμός, τα όρια που θα διαγραφούν γύρω από τον οικισμό για τη μελέτη του θα είναι πάντα αυθαίρετα, εφόσον ο οικισμός ως κοινωνικο-οικονομικό σύστημα δε σταματάει εκεί που τελειώνουν οι κατοικίες ή εκεί που τράβηξε τη γραμμή η διοίκηση, αλλά ακτινοβολεί και δέχεται επιδράσεις από μία πολύ ευρύτερη περιοχή (Αραβαντινός, 1997).

Η αστικοποίηση χρησιμοποιείται για να αναφερθεί στην μετακίνηση των ατόμων στις πόλεις και στο μετασχηματισμό του φυσικού τοπίου σε αστικό (Mills, 2007). Η αστικοποίηση κάτω από ένα παγκόσμιο περιβαλλοντικό πλαίσιο λοιπόν, είναι η μετατροπή της φυσικής γης σε τεχνητή η οποία χαρακτηρίζεται από ανθρωπογενείς εγκαταστάσεις. Αυτός ο μετασχηματισμός από μόνος του συνεπάγεται την τροποποίηση των φυσικών διεργασιών, ενώ τόσο οι βραχυπρόθεσμες όσο και οι μακροπρόθεσμες επιπτώσεις αφορούν κάθε μέλος της ανθρωπότητας και κάθε χρονική στιγμή (Clarke κ.α., 1997).

Περισσότερο από το 50% του παγκόσμιου πληθυσμού ζει σε αστικές περιοχές, ενώ οι ρυθμοί αύξησης του αστικού πληθυσμού αυξάνονται συνεχώς (Mantelas κ.α., 2008). Επίσης η αστική ταυτότητα ακόμη και σε επίπεδο γειτονιών, μεταλλάσσεται συνεχώς χρονικά (Σιδηρόπουλος και Στεργίου, 2012).

Σύμφωνα με τη μελέτη των σεναρίων μελλοντικής αστικής εξάπλωσης στην Ευρώπη που έγινε από τους Reginster και Rounsevell (2005), τα ποσοστά αστικής γης της Ευρώπης θα ακολουθήσουν ανοδική πορεία με το πέρασμα του χρόνου, έστω και αν ο πληθυσμός παραμείνει σταθερός ή μειωθεί.

Από τα πρώτα έτη του 20ου αιώνα, η μελέτη των πόλεων, και ιδίως η αστική ανάπτυξη, έχει προσελκύσει ερευνητές από διάφορους επιστημονικούς κλάδους (γεωγραφία, οικονομικές επιστήμες κλπ). Τα στοιχεία που θα μπορούσαν να καθορίσουν την αστική

εξάπλωση, μπορούν να εντοπιστούν στην αστική μορφή, στις χρήσεις γης και στις λειτουργικές σχέσεις χρήσεων και πολιτών (Benguigui κ.α., 2007).

## 2.2 ΜΟΡΦΕΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

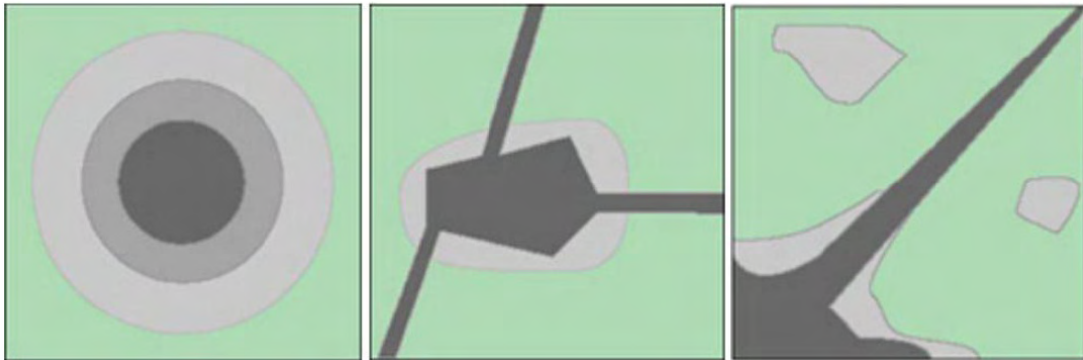
Η αστική ανάπτυξη εξελίσσεται σε περιοχές όπου έχει ήδη συμβεί (κάθετη επέκταση) με συνεχή εξάπλωση των συνόρων της ή εμφανίζεται σε ξεχωριστές περιοχές (οριζόντια επέκταση) (Mohamed και Mantelas., 2008).

Όσο αφορά την μορφή μπορούν να αναγνωριστούν ποικίλες τυπολογίες (Ewing, 1994, Peiser, 2001, Γιώτη, 2012):

- ✚ Η περιαστική ανάπτυξη (Suburban Growth), που είναι η διαμόρφωση χρήσης της γης για αστικούς λόγους γύρω από τα όρια της πόλης με παράλληλη ανάπτυξη υποδομών υποστήριξης. Αφορά την οργανωμένη οικιστική ανάπτυξη περιοχών εκτός πόλεων με χαμηλές πυκνότητες δόμησης και με βασική χρήση κυρίως την κατοικία.
- ✚ Η παρόδια ανάπτυξη (Ribbon or Strip Sprawl), αρχικά αναπτύσσεται η γη που βρίσκεται σε επαφή με τους άξονες και έπειτα μετατρέπεται σε μεγαλύτερες αστικές εκτάσεις κάθετα προς τους άξονες. Χαρακτηρίζεται από πολύ χαμηλή πυκνότητα και πλήρη εξάρτηση από τα μεταφορικά μέσα.
- ✚ Η τυχαία (διάσπαρτη ή αποσπασματική) ανάπτυξη (Scattered or Leapfrog Sprawl) που ορίζεται ως μια ασυνεχής μορφή αστικοποίησης (αστικές κηλίδες). Εμφανίζεται χωρίς συγκεκριμένη μορφολογία και δημιουργεί αστικές συστάδες που απομονώνονται από την πόλη. Μπορεί να θεωρηθεί ως η πιο επιβλαβής, αφού οδηγεί σε αστικοποίηση των απομακρυσμένων περιοχών και άλλων περιβαλλοντικών επιπτώσεων (υποβάθμιση γης και τοπίου).

Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζονται σχηματικά οι τρεις μορφές αστικής εξάπλωσης-διάχυσης.

Εικόνα 2.1: Μορφές αστικής διάχυσης



Πηγή: Γαροφαλάκης, 2012

Οι επιδράσεις από την παροχή ή τη βελτίωση της συγκοινωνιακής υποδομής, όσον αφορά το χρόνο, διακρίνονται σε τρία επίπεδα αναφοράς (Ανδρικοπούλου κ.α., 2007):

- Βραχυπρόθεσμες, που σχετίζονται με την άμεση ανταπόκριση του ενδιαφερόμενου κοινού στις νέες συνθήκες (π.χ. εκτρεπόμενη κυκλοφορία στην περίπτωση κατασκευής μιας νέας οδού).
- Μεσοπρόθεσμες, που σχετίζονται με τη βελτίωση της προσπελασιμότητας κάποιων χρήσεων γης και τη γένεση νέων επιθυμιών από τους μετακινούμενους (παράγωγη κυκλοφορία)
- Μακροπρόθεσμες, που σχετίζονται με την παρέλευση αρκετών χρόνων και την πλήρη αξιοποίηση των πλεονεκτημάτων τα οποία δημιούργησε η συγκοινωνιακή υποδομή. Οι αρχικές χρήσεις ενδέχεται να αντικατασταθούν μερικώς ή εξολοκλήρου από νέες, με αποτέλεσμα τη δημιουργία ενός νέου πλέγματος επιθυμιών για μετακινήσεις.

Η άναρχη αστική επέκταση μπορεί επίσης να περιλαμβάνει χαμηλής πυκνότητας περιοχές κατοικίας τις λεγόμενες "edge cities" (clusters πληθυσμού και οικονομικής δραστηριότητας στο αστικό περιθώριο), που περιλαμβάνουν επιχειρηματικές δραστηριότητες, όπως κτίρια γραφείων, λιανικής πώλησης και άλλα. Μπορεί επίσης να λάβει τη μορφή προγραμματισμένων κοινοτήτων που έχουν το δικό τους «κέντρο». Η αστική εξάπλωση μπορεί να εμφανιστεί και ως μεμονωμένα κτίσματα σε πρώην αγροτικά τοπία. Σε κάθε περίπτωση, υπάρχει ένας κοινός τρόπος για την μελέτη και τεκμηρίωση της άναρχης δόμησης στην πάροδο του χρόνου. Αρχικά πρέπει να γίνει μελέτη της εξέλιξης των αγροτικών και αστικών πληθυσμών και στη συνέχεια να

ερευνηθεί η εξελισσόμενη σχέση μεταξύ προαστίων (περιαστικού χώρου) και κεντρικών περιοχών των πόλεων (Nechyba και Walsh, 2004).

### 2.3 ΑΙΤΙΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΧΥΣΗΣ

Η σύγχρονη οικονομική ανάπτυξη οδηγεί στη συνεχή αστική επέκταση με πολύ ταχύτερους ρυθμούς σε σύγκριση με την πληθυσμιακή αύξηση και με κυρίαρχο χαρακτηριστικό τη διάχυση των αστικών δραστηριοτήτων στην περιφέρεια των πόλεων, συχνά σε μια πολύ εκτεταμένη περιοχή. Το φαινόμενο της συνεχούς επέκτασης και διάχυσης αφορά όλες τις δραστηριότητες και χρήσεις και όχι κυρίως την κατοικία. Η αστική εξάπλωση των παλαιότερων περιόδων συνδεόταν στενά με την αναζήτηση των νοικοκυριών για κατοικία με καλύτερο περιβάλλον, στοιχεία που καθόρισαν την ανάπτυξη των προαστίων στις μεγαλουπόλεις, ενώ ειδικότερα στις αμερικανικές πόλεις η προαστικοποίηση, πήρε τον προηγούμενο αιώνα τέτοιες διαστάσεις που καθόρισε τη φυσιογνωμία τους (Ανδρικοπούλου κ.α., 2007).

Στη σημερινή εποχή, σημαντικός παράγοντας αστικής εξάπλωσης είναι το οικονομικό υπόβαθρο. Ο ρυθμός αύξησης της αστικής επέκτασης είναι πιο αργός στις χώρες με χαμηλό εισόδημα από ότι στις χώρες υψηλού εισοδήματος, γεγονός που οφείλεται στις μεγαλύτερες τιμές του ΑΕΠ στις δεύτερες (Seto κ.α., 2011).

Σε συνδυασμό με την άνοδο των εισοδημάτων, οι ταχείς ρυθμοί ανάπτυξης των μεταφορών και της τεχνολογίας οδήγησαν στη μετακίνηση ατόμων έξω από τα αστικά κέντρα για την αναζήτηση νέου οικιστικού περιβάλλοντος μακριά από τις οχλήσεις του κέντρου. Σημαντικό παράγοντα αστικής εξάπλωσης αποτελεί ο μεγάλος αριθμός μεταναστών από τις αγροτικές στις αστικές περιοχές κυρίως λόγω των μακροχρόνιων και δαπανηρών καθημερινών μετακινήσεων προς και από την εργασία. Επιπλέον η ζωή της τοπικής κοινότητας έχει αποδυναμωθεί, καθώς η πρόσβαση στα κέντρα γίνεται όλο και πιο δύσκολη, με αποτέλεσμα μεγάλος αριθμός κατοίκων να συνεχίζει να παραμένει στα κέντρα των πόλεων (Nechyba και Walsh, 2004).

Οι ΗΠΑ και οι χώρες της Δυτικής Ευρώπης έχουν εφαρμόσει διαφορετικά μοντέλα αστικής ανάπτυξης, γεγονός που υποδηλώνει την πολυπλοκότητα της προσπάθειας να



εξηγηθεί η άναρχη δόμηση. Και οι δύο περιοχές γνώρισαν μεγάλη ανάπτυξη σε επίπεδο εισοδήματος τον εικοστό αιώνα. Αλλά το αστικό τοπίο των ΗΠΑ ήταν αποτέλεσμα της αγοράς αυτοκινήτων, μεγάλων δημόσιων επενδύσεων στις οδικές υποδομές, περιορισμένων δημόσιων επενδύσεων στις κεντρικές πόλεις και της ετερογένειας του πληθυσμού εντός των πόλεων (Nechyba και Walsh, 2004). Στη δυτική Ευρώπη από την άλλη πλευρά η αστική εξάπλωση μπορεί να θεωρηθεί ως αποτέλεσμα των δημόσιων επενδύσεων για τις μεταφορές κυρίως εντός των πόλεων. Οι δαπάνες αποσκοπούσαν στη διατήρηση των κεντρικών ανέσεων των πόλεων και στην πολιτισμική ανάπτυξη. Υπήρχε λιγότερη προθυμία να εξεταστεί η οικιστική κινητικότητα με σκοπό τη βελτίωση της ευημερίας των πόλεων (Nechyba και Walsh, 2004).

Οι πιέσεις της εκτεταμένης αστικής ανάπτυξης εκτιμάται ότι θα συνεχιστούν, καθώς αυξάνεται ο πληθυσμός. Μέχρι το 2020 εκτιμάται ότι το 80% των Ευρωπαίων θα ζει στις αστικές περιοχές (Ανδρικοπούλου κ.α., 2007).

Ένας ακόμη παράγοντας που οδηγεί σε αστική εξάπλωση είναι και η γεωμορφολογία της κάθε περιοχής. Οι αστικές περιοχές με χαμηλό υψόμετρο παράκτιων ζωνών εξαπλώνονται ταχύτερα από οποιοσδήποτε άλλες (σχεδόν τα δύο τρίτα των αστικών περιοχών του κόσμου με πληθυσμό μεγαλύτερο των 5 εκατομμυρίων αναπτύσσονται σε χαμηλού υψομέτρου παράκτιες ζώνες) (Seto κ.α., 2011).

#### 2.4 ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ ΤΟΥ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟΥ

Η αστική εξάπλωση ή διάχυση έχει αποκτήσει μια αρνητική χροιά, θεωρείται ως κάτι το ακαλαίσθητο που δημιουργεί περιοχές με μικρά περιθώρια πρόσβασης. Αν και αποτελεί μια φυσική εξέλιξη μιας πόλης, οι αρνητικές επιπτώσεις είναι περισσότερο εμφανείς ιδιαίτερα στον ελλαδικό χώρο. Το κύριο αρνητικό χαρακτηριστικό που εντοπίζεται είναι πως η εξάπλωση έγινε άναρχα και αλογικά. Οι υψηλές δαπάνες κατασκευής υποδομών, η απώλεια αγροτικής γης και ελεύθερων χώρων, είναι μερικά από τα αρνητικά αποτελέσματα. Αυτά είναι δυνατόν να αντιμετωπιστούν με την εφαρμογή ορθής πολιτικής στον αστικό χώρο. Δεδομένης όμως της αδυναμίας της

ελληνικής δημόσιας διοίκησης σε θέματα σχεδιασμού και ελέγχου, οι επιπτώσεις είναι προφανείς και η ανάγκη σχεδιασμού επιτακτική (Οικονόμου και Πετράκος, 2007).

Το φαινόμενο της συνεχούς επέκτασης και διάχυσης είναι κοινό σε όλες τις πόλεις ανεξάρτητα από τα γεωγραφικά, οικονομικά και διοικητικά χαρακτηριστικά και συνδέεται στενά με τις μεταφορές και την κατανάλωση. Η σύγχρονη αστικοποίηση είναι μια διαδικασία διάχυσης της νεοτερικότητας η οποία προκαλεί αλλαγές ακόμη και στις απομακρυσμένες αγροτικές περιοχές και δημιουργεί χαοτικά τοπογραφικά πρότυπα. Επίσης η ανάπτυξη διεθνών κόμβων και αξόνων μεταφοράς (π.χ. περιφερειακές οδοί), παράγουν μια σειρά από συγκρούσεις στην ανάπτυξη των χρήσεων γύρω από αυτές (Ανδρικοπούλου κ.α., 2007).

Η αστική μεγέθυνση στην περίμετρο της πόλης δεν αποτέλεσε μόνο ένα από τα κλασικά αντικείμενα του σχεδιασμού, αλλά επηρέασε άλλοτε την εφαρμοσιμότητά του (όπως σε χώρες με αδύναμη παράδοση σχεδιασμού, για παράδειγμα η Ελλάδα) και άλλοτε τους τρόπους με τους οποίους εφαρμόστηκε θέτοντας μάλιστα σοβαρά ερωτήματα ως προς το ποιος είναι ο ρόλος του σχεδιασμού. Από την άποψη της βιώσιμης ανάπτυξης το φαινόμενο της αστικής επέκτασης και διάχυσης θεωρείται ότι προκαλεί σημαντικά προβλήματα στο φυσικό περιβάλλον και στους φυσικούς πόρους με διάφορους τρόπους (μείωση και υποβάθμιση αγροτικής γης, αλλαγή κλιματικών συνθηκών). Ο τρόπος που χρησιμοποιείται η γη έχει σημαντικές επιδράσεις στις περιβαλλοντικές συνθήκες. Αυτές μπορεί να είναι άμεσες όπως ο περιορισμός της αγροτικής γης, η μείωση των ανοιχτών χώρων και η καταστροφή της πανίδας, της χλωρίδας και του φυσικού τοπίου, ή έμμεσες, όπως η αυξανόμενη κυκλοφορία που οδηγεί στην κατανάλωση καυσίμων, στη συμφόρηση, στην ατμοσφαιρική ρύπανση και στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Η αστική επέκταση μπορεί, επίσης να οδηγήσει σε οικονομικό και κοινωνικό διαχωρισμό, ο οποίος εντοπίζεται σε περιοχές τόσο των παλαιότερων κέντρων πόλεων όσο και σε παλαιότερες περιφερειακές γειτονιές με συγκροτήματα κατοικιών με κακές συνθήκες, που απαξιώνονται από τα μεσαίου εισοδήματος νοικοκυριά, αλλά και από τις σύγχρονες επιχειρήσεις (Ανδρικοπούλου κ.α., 2007, (Liu και Seto, 2007).

Η αστική εξάπλωση και η διαχείρισή της αποτέλεσαν τη βάση του πολεοδομικού σχεδιασμού και μεγάλο μέρος της ιστορίας του, ιδιαίτερα κατά τη μεταπολεμική εποχή. Ο πολεοδομικός σχεδιασμός αποτέλεσε το βασικό πλαίσιο για τον έλεγχο της αστικής ανάπτυξης και κυρίως τον έλεγχο της συνεχούς επέκτασης των αστικών περιοχών. Βασικό εργαλείο για τον έλεγχο αυτό ήταν ο περιορισμός ή η απαγόρευση της ανάπτυξης στον περιαστικό χώρο (Ανδρικοπούλου κ.α., 2007). Αναφορικά στον ελλαδικό χώρο σημαντικό πρόβλημα του πολεοδομικού σχεδιασμού αποτελεί η εκτός σχεδίου δόμηση, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό του εξωαστικού χώρου υπάγεται στο καθεστώς της γενικής νομοθεσίας περί εκτός σχεδίου δόμησης. Η κατάσταση αυτή διαφέρει από το διεθνή χώρο, καθώς στην πλειοψηφία του ο εξωαστικός χώρος καλύπτεται από σχέδια χρήσεων γης καθιστώντας την εκτός σχεδίου δόμηση σχεδόν αδύνατη (Οικονόμου, 2009).

Δεδομένων των πρόσφατων ρυθμών ανάπτυξης και το ότι οι ανάγκες της αστικής κοινωνίας για υπηρεσίες, νέες εγκαταστάσεις και ενέργεια, αυξάνονται όσο αυξάνεται ο πληθυσμός, αποτελεί μείζονος σημασίας για το παρόν και το μέλλον των κοινωνιών ότι η αστική ανάπτυξη πρέπει να γίνεται κατά το βέλτιστο τρόπο, μεγιστοποιώντας τα οφέλη του αστικού πληθυσμού, ελαχιστοποιώντας ταυτόχρονα το οικονομικό και περιβαλλοντικό κόστος. Έχουν προταθεί πολλά μοντέλα αστικής ανάπτυξης, οι πρόσφατες τάσεις μεταξύ άλλων περιλαμβάνουν τα κυτταρικά αυτόματα. Αποτελούν μία τεχνική προσομοίωσης φαινομένων και έχουν εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς της επιστήμης, όπως η αριθμητική ανάλυση, η δυναμική των ρευστών, η προσομοίωση βιολογικών και οικολογικών συστημάτων, η ανάλυση της κυκλοφορίας και τα αστικά μοντέλα ανάπτυξης (Mantelas κ.α., 2007). Το πρόβλημα όμως που προκύπτει, είναι ότι το φαινόμενο της αστικής εξάπλωσης απλώνεται στο χώρο και δεν είναι πάντα συνεχώς. Αυτό σημαίνει ότι εκτός από το δυσκολίες στη μελέτη ενός χωρικού φαινομένου, κατά τη μελέτη αστικής ανάπτυξης έρχονται στην επιφάνεια ποιοτικά φαινόμενα και αλληλεπιδράσεις, που δεν μπορούν να μοντελοποιηθούν με έναν εύκολο μαθηματικό τρόπο (Mantelas κ.α., 2010).

### ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΣΤΙΚΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ

Είναι επιτακτική η ανάγκη η αστική επέκταση να λαμβάνει χώρα με ένα σχεδιασμένο τρόπο, μεγιστοποιώντας τα οφέλη για τον αστικό πληθυσμό αλλά ελαχιστοποιώντας τόσο τα οικονομικά όσο και τα περιβαλλοντικά κόστη. Για να γίνει αυτό, χρειάζονται ακριβείς και ρεαλιστικές εκτιμήσεις της διαδικασίας αστικοποίησης και ευσταθή αστικά μοντέλα (Μαντέλας κ.α., 2010). Επιπλέον, η δομή της πόλης εξελίσσεται διαχρονικά και συνεπώς τα μοντέλα χρήσεων γης πρέπει να εξελίσσονται και αυτά (Σταθάκης, 2009).

Τα μοντέλα αστικής εξάπλωσης έχουν αναπτυχθεί για: (1) την κατανόηση της ανάπτυξης των χρήσεων γης και την εφαρμογή αναπτυξιακής πολιτικής, (2) την κατανόηση του παρελθόντος με σκοπό τη μελέτη και πρόβλεψη μελλοντικών καταστάσεων και (3) τη δημιουργία σεναρίων για τους υπεύθυνους χάραξης πολιτικής και τους σχεδιαστές (Liu και Seto, 2007).

Υπολογιστικά αστικά μοντέλα προσομοίωσης έχουν χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη και αξιολόγηση της αλλαγής των χρήσεων γης για πάνω από μια δεκαετία (Liu και Seto, 2007). Το μοντέλο είναι μια απλοποιημένη εικόνα της πόλης και αυτό δε μπορεί να αλλάξει, το μόνο που αλλάζει είναι ο βαθμός της προσομοίωσης της πραγματικότητας (Σταθάκης, 2009). Η μοντελοποίηση παρέχει προσομοιώσεις και προβολές στο μέλλον υπό συγκεκριμένες θεωρήσεις για να δώσει εκτίμηση του πως μπορεί να μοιάζει στο μέλλον. Σκοπός των μοντέλων είναι να αποδώσουν τους κανόνες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, για να σχεδιαστούν εξιδανικευμένες πόλεις (Batty, 2008). Προκειμένου όμως ένα μοντέλο να είναι χρήσιμο, πρέπει όχι μόνο να παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις αλλά και να περιγράφει τα αποτελέσματα και τους μηχανισμούς- σχέσεις, αλληλεπιδράσεις, θεωρήσεις- με έναν εμφανή και κατανοητό τρόπο έτσι ώστε να μπορούν να αμφισβητηθούν από πεπειραμένους (Μαντέλας κ.α., 2010). Την ίδια στιγμή, ένα αστικό μοντέλο θα πρέπει να είναι σε θέση να χρησιμοποιηθεί τόσο για την πρόβλεψη όσο και για την περιγραφή της αστικής ανάπτυξης. Αυτό το μοντέλο επιτρέπει όχι μόνο να εκτιμηθεί η μελλοντική εξέλιξη του αστικού, αλλά και αποκαλύπτει την υπάρχουσα δομή και τον τρόπο εξάπλωσης φαινομένων αστικής ανάπτυξης (Mantelas κ.α., 2010).

Μέσω των μοντέλων, οι ερευνητές των φαινομένων αστικής εξάπλωσης, μπορούν να αναπαραστήσουν τη δομή ή τη λειτουργία του πραγματικού συστήματος και ακολούθως να κατανοήσουν, να εξηγήσουν και να προβλέψουν τη συμπεριφορά του. Ακόμη μπορούν να χρησιμοποιήσουν τα μοντέλα για να δημιουργήσουν ένα τεχνητό περιβάλλον για πειραματισμό (Liu, 2009). Ο ουσιαστικός ρόλος των μοντέλων είναι να εντοπίζουν και να αξιολογούν διαφορετικές εξωγενείς παρεμβάσεις. Το γεγονός αυτό τα καθιστά ικανά να μπορούν να προετοιμάσουν τις πόλεις για μελλοντικές εξελίξεις, καθώς και στο να προσφέρουν καθοδήγηση ούτως ώστε να αποφευχθούν καθυστερημένες παρεμβάσεις. Ωστόσο, δεν έχει εφαρμοστεί κανένα αυστηρό πλαίσιο τόσο για την μοντελοποίηση ενός χωροχρονικού φαινομένου όσο και της αστικής ανάπτυξης αφού υπάρχει μεγάλη ετερογένεια κυρίως στη λήψη αποφάσεων (Mantelas κ.α., 2010).

### 3.1 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΑΣΤΙΚΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ

Υπάρχουν 5 βασικές κατηγορίες στις οποίες εντάσσονται τα περισσότερα μοντέλα αστικής εξάπλωσης (Liu, 2009):

- ✚ Αστική οικολογική προσέγγιση (Urban ecological approach): Βασίζεται στο ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά έχει άμεση σχέση με τις βιολογικές αξίες, 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 το χώρο, και οι αρχές τις οφείλονται στους 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 θέλω του ανθρώπου.
- ✚ Συστημική προσέγγιση (Systems approach): Αντιμετωπίζει την πόλη σαν ένα αστικό σύμπλεγμα, το οποίο αποτελείται από έναν αριθμό στοιχείων και υποσυστημάτων.

Ανάμεσα σε πολλές μεθόδους που έχουν αναπτυχθεί για την προσέγγιση των μοντέλων αλλαγής της χρήσης γης, όπως τα στατιστικά μοντέλα πιθανοτήτων μετάβασης, τα

μοντέλα βελτιστοποίησης και γραμμικού προγραμματισμού, τα δυναμικά μοντέλα προσομοίωσης, τα συστήματα πολλαπλών παραγόντων (MAS), τα ΚΑ είναι τα πιο σημαντικά. Τα ΚΑ έχουν πολύ απλούστερες μορφές, αλλά έχουν περισσότερο νόημα και εξάγουν πιο χρήσιμα αποτελέσματα από ότι τα μαθηματικά μοντέλα. Τα MAS διαφέρουν από ΚΑ κυρίως στο ότι τα ΚΑ κινούνται εντός κατοικημένων περιοχών (Mantelas κ.α., 2010).

Επίσης αρκετά σημαντικές μέθοδοι εφαρμογής μοντέλων αστικής εξάπλωσης είναι τα μοντέλα νευρωνικών δικτύων (Neutral Networks models), που έχουν επηρεαστεί από την επιστήμη της τεχνητής νοημοσύνης και τα ασαφή μοντέλα (Fuzzy models). Τα μοντέλα νευρωνικών δικτύων, είναι νευρωνικές δομές που υιοθετούν μαθηματικές μεθόδους στις αστικές διαδικασίες (Rodrígue, 1997). Τα ασαφή μοντέλα ακολουθούν τη λογική της ασάφειας, δηλαδή αντιμετωπίζουν την αβεβαιότητα στη διαδικασία λήψης αποφάσεων (Wu, 1996).

Επιπρόσθετα, μεταξύ των πολλών διαθέσιμων εργαλείων και τεχνικών μοντελοποίησης των χρήσεων γης, πολύ σημαντικά είναι αυτά που χρησιμοποιούν τηλεπισκοπικά δεδομένα. Τα πιο διαδεδομένα μοντέλα αυτής της κατηγορίας είναι τα LCM, Markov Chain, CA-Markov, GEOMOD, και STCHOICE (Tewolde και Cabral, 2011).

Στη συγκεκριμένη εργασία εφαρμόστηκαν δύο μοντέλα πρόβλεψης της αστικής εξάπλωσης, το SLEUTH που στηρίζεται στη φιλοσοφία των ΚΑ και το Markov, που χρησιμοποιεί τεχνικές τηλεπισκόπησης. Στόχος ήταν η σύγκριση των δύο μοντέλων εντοπίζοντας τα δυνατά σημεία και τις αδυναμίες του καθενός. Αναλυτικά τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στο 7<sup>ο</sup> κεφάλαιο.

### 3.2 ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗ ΑΥΤΟΜΑΤΑ (CELLULAR AUTOMATA)

Τα Κυτταρικά/Κυψελικά Αυτόματα – ΚΑ (Cellular Automata – CA) εισήχθησαν για πρώτη φορά στη δεκαετία του 1940 από τον Neumann και εξελίχθηκαν περαιτέρω από τον Ulam. Δεν ήταν ευρέως γνωστά μέχρι το 1970 και το παιχνίδι της Ζωής του Conway. Κάθε ένα αυτόματο ονομάζεται κυψέλη και αλληλεπιδρά στο χώρο με όλες τις κυψέλες σε μια προκαθορισμένη γειτονιά. Τα κυψελοειδή αυτόματα εξελίσσονται

στο χώρο και στο χρόνο χωρίς ανθρώπινες παρεμβολές (Mantelas κ.α., 2010). Τα πέντε βασικά στοιχεία ενός ΚΑ είναι τα εξής (Liu, 2009):

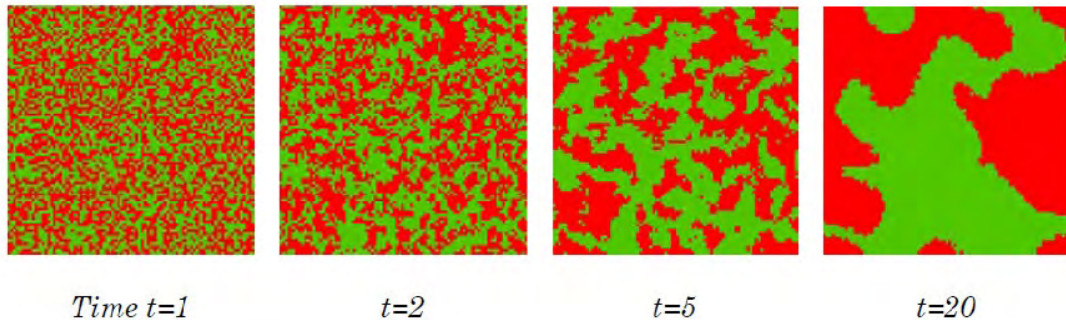
1. Το κύτταρο (The cell): Είναι το στοιχείο που αντιπροσωπεύει τον χώρο. Πολλά κύτταρα μαζί δημιουργούν ένα δισδιάστατο πλέγμα, το οποίο είναι το πιο συνηθισμένο για την παρουσίαση χωρικών δεδομένων σε μοντέλα.
2. Η κατάσταση (The state): Η τιμή της παρουσιάζει την κατάσταση που δύναται να υπάρχει, ανάλογα 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 κυψελικά μοντέλα αστικής εξάπλωσης εξυπηρετούν τρεις σκοπούς: την έρευνα της χωρικής πολυπλοκότητας και των θεωριών ανάπτυξης των πόλεων με αφηρημένο τρόπο και την υποστήριξη του χωρικού σχεδιασμού (Torrens και O'Sullivan, 2001). Αποτελούν μια κατηγορία μοντέλων που χρησιμοποιείται σε διάφορες επιστήμες. Η υλοποίησή τους βασίζεται σε αυτό που είναι γνωστό στην επιστήμη της γεωγραφικής πληροφορίας ως κυψελοειδής δομή (raster), η οποία αποτελείται από κυψέλες (εικονοστοιχεία) διατεταγμένα σε δισδιάστατο κάνναβο και το κάθε ένα από αυτά μπορεί να περιέλθει σε μία από έναν περασμένο αριθμό καταστάσεων (Σταθάκης, 2009). Σημαντικός παράμετρος των CA είναι και ο χρόνος, γιατί το κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να αλλάξει κατάσταση διαχρονικά σύμφωνα με κάποιους προκαθορισμένους κανόνες. Οι κανόνες παράγουν την κατάσταση του κεντρικού εικονοστοιχείου ως συνάρτηση των καταστάσεων των γειτονικών εικονοστοιχείων. Ειδικότερα, το



ψηφιδωτό αυτόματο, είναι ένας τύπος μοντέλου, το οποίο εκτελείται σε ψηφιδωτές χωρικές δομές και αποτελείται από ρητούς κανόνες με μετασχηματισμούς που εκτελούνται με επαναλαμβανόμενο τρόπο στα δεδομένα μιας ψηφίδας (Batty, 2007). Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται η εξέλιξη του μοτίβου μετά από συνεχείς μετασχηματισμούς.

Εικόνα 3.1 : Καταγραφή του τυχαίου μοτίβου στη μονάδα του χρόνου



Πηγή: Batty, 2007, ίδια επεξεργασία

Αλληλεπιδράσεις λαμβάνουν χώρα σε διακριτά χρονικά βήματα με την κατάσταση κάθε εικονοστοιχείου σε οποιοδήποτε χρονικό βήμα να υπολογίζεται ως συνάρτηση της προηγούμενης κατάστασης των γειτονικών εικονοστοιχείων (Mantelas κ.α., 2010).

Η εξέλιξη προσομοιώνεται μέσω της bottom up προσέγγισης, η οποία κάνει τα ΚΑ μια κατάλληλη τεχνική για την προσομοίωση φαινομένων που είναι δύσκολο να μοντελοποιηθούν με άλλες προσεγγίσεις. Τα ΚΑ μελετούν την παγκόσμια συμπεριφορά ενός συστήματος από τοπικές αλληλεπιδράσεις. Εξαιτίας αυτής της σχέσης μεταξύ μικρο και μακρο προσεγγίσεων, τα ΚΑ αποτελούν μία καλή τεχνική για πολύπλοκα φαινόμενα προσομοίωσης και έχουν εφαρμοστεί σε διάφορους τομείς της επιστήμης, όπως αριθμητική ανάλυση, ρευστομηχανική, προσομοίωση βιολογικών και οικολογικών συστημάτων, ανάλυση της κυκλοφορίας, κλπ. Ένα μία από τις πιο δυννητικά χρήσιμες εφαρμογές για τον χωροταξικό σχεδιασμό (προσομοιώσεις της αστικής ανάπτυξης σε τοπικό και περιφερειακό επίπεδο) (Mantelas κ.α., 2010).

Ο μαθηματικός τύπος των ΚΑ αποτελείται από τέσσερεις μεταβλητές (Mantelas κ.α., 2010):

- $L$  είναι ένα πλέγμα στο χώρο,
- $S = \{s_0, s_1, \dots, s_n\}$  είναι ένα πεπερασμένο σύνολο καταστάσεων

- $N = \{ n_0, n_1, \dots, n_k \}$  είναι ένα πεπερασμένο σύνολο από γειτονιές
- $f: S^n \rightarrow S$  είναι μία συνάρτηση μετάβασης.

Το πιο γνωστό υλοποιημένο μοντέλο, όπως έχει προαναφερθεί είναι το Game of Life που αναπτύχθηκε από τον John Conway κατά τη δεκαετία του '70. Οι πιθανές καταστάσεις των εικονοστοιχείων είναι μόνο δύο (ζωντανό, νεκρό) και αντιστοιχούν σε έναν υποθετικό οργανισμό. Οι κανόνες του μοντέλου αυτού είναι (Σταθάκης, 2009):

- Αν ένα ζωντανό εικονοστοιχείο περιστοιχίζεται από μόνο ένα ή κανένα ζωντανό γείτονα πεθαίνει από απομόνωση (θάνατος).
- Αν ένα ζωντανό εικονοστοιχείο περιστοιχίζεται από 4 ή περισσότερους ζωντανούς γείτονες πεθαίνει από συμφόρηση (θάνατος).
- Αν ένα ζωντανό εικονοστοιχείο περιστοιχίζεται από 2 ή 3 ζωντανούς γείτονες παραμένει στη ζωή (επιβίωση).
- Αν ένα νεκρό εικονοστοιχείο έχει ακριβώς τρεις ζωντανούς γείτονες τότε μετατρέπεται σε ζωντανό (γέννηση).

Τα αστικά μοντέλα προσομοίωσης, και επομένως τα ΚΑ είναι απλοποιημένες απεικονίσεις του πραγματικού κόσμου και μπορούν να χρησιμοποιηθούν επιστημονικά για τη μελέτη των λειτουργιών των πόλεων και των μεταβολών τους με την πάροδο του χρόνου (Torrens και O'Sullivan, 2001). Μόνο μέσω της βαθμονόμησης μπορεί το μοντέλο των ΚΑ να παράγει αυτόματα ένα αστικό πρότυπο αρκετά κοντά στην πραγματικότητα (Shan κ.α., 2008).

Τα μοντέλα ΚΑ μπορούν να γίνουν ισχυρά εργαλεία σχεδιασμού όταν συνδυάζονται με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (ΓΣΠ) (GIS), τα οποία μπορούν να παρέχουν φυσικά, κοινωνικά, και οικονομικά δεδομένα για τη διαδικασία προσομοίωσης. Μέθοδοι και εργαλεία τηλεπισκόπησης και ΓΣΠ ενσωματώνονται στα μοντέλα ΚΑ, για την παροχή λεπτομερών πληροφοριών χρήσεων γης καθώς επίσης και άλλα χαρακτηριστικά των πόλεων που επιτρέπουν μια πιο ρεαλιστική αστική προσομοίωση (Yeh και Li, 2001). Αρχικά, τα GIS λειτουργούν διαχειριστικά, ενοποιούν τα δεδομένα, έπειτα επιτρέπουν την οπτικοποίηση των αποτελεσμάτων και τέλος οι προβλέψεις που προκύπτουν από τα μοντέλα μπορούν να ξανά εισαχθούν στο σύστημα και να

επαναοπτικοποιηθούν, επιτρέποντας τη δημιουργία σεναρίων και τη λήψη αποφάσεων (Σιδηρόπουλος και Στεργίου, 2010).

Τα μοντέλα ΚΑ παρουσιάζουν πολλά πλεονεκτήματα για τη μοντελοποίηση των αστικών φαινομένων, συμπεριλαμβανομένων της αποκεντρωμένης προσέγγισή τους, τη σχέση τους με τη θεωρία της πολυπλοκότητας, τη σχετική ευκολία απεικόνισης των αποτελεσμάτων, την ευελιξία τους, τη δυναμική προσέγγισή τους, καθώς επίσης και τη συγγενείά τους με τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών και την τηλεπισκόπηση. Το πιο σημαντικό πλεονέκτημα όμως είναι η σχετική απλότητα τους (Toppens και O'Sullivan, 2001).

Ωστόσο, η εξέλιξη των αστικών συστημάτων είναι αρκετά περίπλοκη. Μια δυσκολία των μοντέλων ΚΑ είναι ότι είναι πολύ απλά για να συλλάβουν το πλούτο των αστικών συστημάτων. Ως εκ τούτου, πολύ λίγα μοντέλα ΚΑ είναι λειτουργικά και χρησιμοποιούνται ως παραγωγικό εργαλείο του χωροταξικού σχεδιασμού. Για να δημιουργηθούν χρήσιμα μοντέλα, οι ερευνητές έχουν επεκτείνει την έννοια των ΚΑ δημιουργώντας μια ολοκληρωμένη ποικιλία μοντέλων (παραδοσιακά τοπικά κοινωνικο-οικονομικά μοντέλα και μοντέλα νευρωνικών δικτύων) (Liu και Seto, 2007).

### 3.3 ΤΟ ΜΟΝΤΕΛΟ SLEUTH

Το μοντέλο SLEUTH δημιουργήθηκε από τον K. Clarke για λογαριασμό του United States Geological Survey (USGS). Είναι η μετεξέλιξη ενός προγράμματος που ονομάζεται UGM (Urban Growth Model), το οποίο είναι γραμμένο στη γλώσσα προγραμματισμού C και τρέχει σε περιβάλλον UNIX. Το μοντέλο ενσωματώνει το πρόγραμμα LCD (Land Cover Deltatron model), το οποίο σε συνεργασία με το UGM απεικονίζει την πρόβλεψη της αστικής διάχυσης (Νικολάου και Σταθάκης, 2012).

Το μοντέλο πήρε το όνομά του από τα αρχικά των δεδομένων εισαγωγής του (Slope, Land Use, Exclusion, Urban, Transportation, Hillshade). Λαμβάνει υπόψη του τέσσερεις τύπους ανάπτυξης: αυτόματη/αυθόρμητη, ανάπτυξη που πραγματοποιείται λόγω της διάδοσης ενός νέου κέντρου/πυρήνα, οργανική ή ανάπτυξη των άκρων και ανάπτυξη που επηρεάζεται από το οδικό δίκτυο (spontaneous diffusive, organic and

road- influenced). Όλοι οι παραπάνω κανόνες ανάπτυξης ελέγχονται από πέντε συντελεστές ανάπτυξης που εφαρμόζονται διαδοχικά σε κάθε κύκλο ανάπτυξης: διάδοση, γένεση, εξάπλωση, βαρύτητα του οδικού και αντίσταση στις τοπογραφικές κλίσεις (Γιώτη, 2012).

Η εφαρμογή του εμπεριέχει δυο φάσεις, τη βαθμονόμηση (calibration) κατά την οποία αναγνωρίζονται και προσομοιώνονται τα ιστορικά μοτίβα αστικής ανάπτυξης και την πρόβλεψη όπου τα μοτίβα προβάλλονται σε μελλοντικά σημεία. Οι πέντε παράμετροι είναι σημαντικές για την εφαρμογή του μοντέλου, διότι η διαδικασία της βαθμονόμησης είναι αυτόματη με αποτέλεσμα το μοντέλο να μαθαίνει την καλύτερη εφαρμογή για κάθε περιοχή από τα δεδομένα που παρέχονται. Η επιλογή χρονολογικών δεδομένων γίνεται εμπειρικά με την λογική της ορθής απεικόνισης της αστικής ανάπτυξης. Οι παράμετροι αλληλοσυνδέονται και κάθε αλλαγή επηρεάζει τα δεδομένα του μοντέλου αλυσιδωτά. Επίσης, το μοντέλο επιτρέπει την αυτο-τροποποίηση, το οποίο σημαίνει πως καθώς το σύστημα αναπτύσσεται γρηγορότερα ή πιο αργά οι παράμετροι αλλάζουν αντίστοιχα (Jantz κ.α, 2003).

Το μοντέλο αναπαριστά αστικές δυναμικές με την χρήση των εξής κανόνων ανάπτυξης: αυθόρμητη νέα ανάπτυξη, η οποία προσομοιώνει την τυχαία αστικοποίηση της γης, την εξάπλωση του αστικού κέντρου, ή την δημιουργία νέων αστικών κέντρων, την ανάπτυξη των άκρων και την επιρροή του οδικού δικτύου. Κάθε τύπος ανάπτυξης ελέγχεται από τους συντελεστές κάθε περιοχής που μπορεί να κυμαίνονται σε τιμές από 0 έως 100, αντανakλώντας την σχετική συμβολή ενός συγκεκριμένου τύπου ανάπτυξης (Jantz κ.α, 2003). Η αντίσταση της ανάπτυξης στις περιοχές με κλίση ελέγχεται επίσης με τον συντελεστή κλίσης, ο οποίος κυμαίνεται από 0 έως 100 (0 - χαμηλή αντίσταση, 100 - αυξημένη αντίσταση). Ο χρήστης μπορεί να καθορίσει συμπληρωματικούς κανόνες αντίστασης σε περιοχές που δεν προσφέρονται για αστικοποίηση (μερικώς ή πλήρως) (Γαροφαλάκης, 2012).

Το SLEUTH έχει επίσης μια λειτουργικότητα που ονομάζεται αυτο-τροποποίηση, η οποία επιτρέπει στους συντελεστές να αλλάζουν καθ' όλη τη διάρκεια του μοντέλου και χρησιμοποιείται για την προσομοίωση πιο ρεαλιστικά των διαφορετικών ρυθμών αστικής ανάπτυξης με την πάροδο του χρόνου. Όταν ο ρυθμός ανάπτυξης υπερβαίνει

ένα καθορισμένο κρίσιμο όριο, οι συντελεστές πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή μεγαλύτερο από ένα και ομοίως, όταν ο ρυθμός ανάπτυξης πέφτει κάτω από ένα καθορισμένο κρίσιμο όριο οι συντελεστές ανάπτυξης πολλαπλασιάζονται με ένα συντελεστή λιγότερο από το ένα. Χωρίς τη λειτουργικότητα της αυτο-τροποποίησης, το SLEUTH θα προσομοιώσει ένα γραμμικό ρυθμό ανάπτυξης (Jantz κ.α., 2003).

Η εφαρμογή του μοντέλου ωστόσο, στα πλαίσια του αστικού σχεδιασμού δεν αποσκοπεί στην μεμονωμένη απεικόνιση του μέλλοντος, αλλά στην αξιολόγηση των επεμβάσεων που θα οδηγήσουν το μέλλον σε μια επιθυμητή κατάσταση. Ως εκ τούτου, η ρεαλιστική εφαρμογή του SLEUTH, πρέπει να λάβει υπόψη πληροφορίες για πιθανές επεμβάσεις στην περιοχή μελέτης. Για το λόγο αυτό, μελλοντικά, θα είναι ιδιαίτερα ενδιαφέρον να χρησιμοποιηθούν περισσότερα δεδομένα και να εξεταστεί η δυνατότητα του να αξιολογεί την επίδραση διαφορετικών εξωγενών παρεμβάσεων στην περιοχή μελέτης συνεισφέροντας έτσι ουσιαστικά στον αστικό σχεδιασμό (Μαντέλας κ.α., 2010). Υπάρχουν σημαντικά περιθώρια βελτίωσης και σημεία που χρήζουν εξέλιξης ή αναθεώρησης. Αυτό που είναι όμως πλέον απαραίτητο είναι να δοκιμασθεί το μοντέλο χρησιμοποιώντας μια αρκετά μεγαλύτερη χρονοσειρά δεδομένων αλλά και σε διαφορετικές περιοχές κυρίως με γεωμορφολογική ανομοιομορφία, με σκοπό να εξερευνηθούν πλήρως οι δυνατότητές του μοντέλου πρόβλεψης αλλά και η πιθανή χρήση χρονικά μεταβαλλόμενων κανόνων (Μαντέλας κ.α., 2010).

#### 3.4 ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΕΣ ΑΛΥΣΙΔΕΣ (MARKOV CHAINS)

Οι αστικές περιοχές αν και αποτελούν το μικρότερο ποσοστό της επιφάνειας της γης εμφανίζουν την πιο έντονη και συνεχή ανάπτυξη που επηρεάζει τους ανθρώπους αλλά και το περιβάλλον. Η τηλεπισκόπηση είναι ένας τομέας με τον οποίο οι μελετητές μπορούν πλέον να εξετάζουν συνολικά τις αστικές περιοχές και να εξάγουν χρήσιμα συμπεράσματα που αφορούν τη χωροταξία, το περιβάλλον, τη πολεοδομία κ.α.. Οι αλλαγές των αστικών χρήσεων γης έχουν μελετηθεί για πολλά χρόνια, ωστόσο, οι δορυφορικές εικόνες και οι γεωχωρικές τεχνολογίες εισήγαγαν μια νέα διάσταση για την αξιολόγηση και την παρακολούθηση των αλλαγών των καλύψεων γης. Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης και η διαθεσιμότητα τους από λιγότερο δαπανηρές ή δωρεάν πηγές δορυφορικών δεδομένων καθώς και η χρονική συχνότητα τους έχουν ενισχύσει

σημαντικά τις δυνατότητες τους για την παρακολούθηση φαινομένων αστικής εξάπλωσης (Tewolde και Cabral, 2011).

Η τηλεπισκόπηση προσφέρει ένα τεράστιο πλεονέκτημα, καθώς παρέχει έναν όγκο παρατηρήσεων για μια μεγάλη γεωγραφική περιοχή, αποκαλύπτει τα πρότυπα καλύψεων γης και παρουσιάζει μια συνοπτική εικόνα του τοπίου. Επιπλέον, για τις περιοχές με περιορισμένα δεδομένα (για παράδειγμα, τα αναπτυσσόμενα έθνη, τα οποία δε διαθέτουν τα κεφάλαια και τους πόρους για χαρτογράφηση), οι τηλεπισκοπικές απεικονίσεις μπορεί να χρησιμοποιηθούν για τη μελέτη της μεταβολής των χρήσεων γης και τον έλεγχο της εγκυρότητας των δεδομένων στατιστικών στοιχείων χρήσεων γης της κυβέρνησης. Παρά τις προόδους των δορυφορικών δεδομένων και τεχνολογιών επεξεργασίας εικόνας, δύο ζητήματα προκύπτουν: οι νέες αστικές περιοχές και η αγροτική γη συχνά συγχέονται μεταξύ τους (εκτός αν χρησιμοποιηθούν υπερφασματικά δεδομένα) και τα αστικά χωρικά πρότυπα είναι δύσκολο να χαρακτηριστούν λόγω των διακυμάνσεων της κλίμακας, του μεγέθους και του σχήματος τους, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε μείξη των εικονοστοιχείων (Schneider κ.α., 2005).

Διάφορες εφαρμογές της μαρκοβιανής θεωρίας δείχνουν την χρησιμότητά της στην τηλεπισκόπηση. Τα μοντέλα Markov έχουν την ιδιότητα να μειώνουν την χωρική ετερογένεια των ταξινομημένων εικόνων σε κάποιο βαθμό. Η χωρική ετερογένεια επηρεάζει αρνητικά τον πίνακα μετάβασης (πίνακας πιθανοτήτων μετάβασης από μία κάλυψη γης σε άλλη σε δύο χρονικές στιγμές). Ο πιθανοτικός αυτός πίνακας μετάβασης για να αποδώσει την καλύτερη ακρίβεια πρέπει να προέλθει από εικόνες με σχετικά χαμηλή ετερογένεια. Τα μοντέλα που ακολουθούν τις Μαρκοβιανές διαδικασίες στο μεγαλύτερο μέρος των εφαρμογών σε επεξεργασία εικόνας, χαρακτηρίζονται από την συσχέτιση μεταξύ των γειτονικών εικονοστοιχείων στον χώρο και στον χρόνο (Περάκης, 2011). Στη θεωρία πιθανοτήτων, οι Μαρκοβιανές αλυσίδες είναι μοντέλα απεικόνισης καταστάσεων ενός συστήματος σε δεδομένες χρονικές στιγμές (ή περιόδους). Η πιθανότητα μετάβασης του συστήματος από την κατάσταση  $i$  στην κατάσταση  $j$  συμβολίζεται με το  $P_{ij}$ . Έτσι διαμορφώνεται ο πίνακας πιθανοτήτων μετάβασης από μια χρονική στιγμή στην αμέσως επόμενη, όπου το  $P_{ij}$  είναι το στοιχείο της  $i$  γραμμής και της  $j$  στήλης του πίνακα  $P$  (Ye και Bai, 2008).



Η συνδυασμένη εφαρμογή των κυτταρικών αυτομάτων με την μέθοδο Markov χρησιμοποιεί τον πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης με την βοήθεια του οποίου δημιουργείται ο πίνακας μετάβασης περιοχών που παρουσιάζει τις περιοχές (αριθμό pixels ανά κατηγορία κάλυψης γης) που θα υποστούν αλλαγές. Ο πίνακας αυτός, χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την εφαρμογή μιας επαναληπτικής διαδικασίας η οποία προσαρτά ή αφαιρεί pixels από κάθε κάλυψη γης ανάλογα με τις τιμές του (πίνακα μετάβασης περιοχών). Χωρίς την συνδυασμένη εφαρμογή της μεθόδου Markov και των κυτταρικών αυτομάτων τα θεματικά αποτελέσματα (ψηφιακοί χάρτες καλύψεων γης) θα εμφάνιζαν το φαινόμενο του αλατοπίπερου (salt and pepper) (Περάκης, 2011).

Το μειονέκτημα όμως που χαρακτηρίζει το μοντέλο είναι ότι δεν χρησιμοποιεί γεωμορφολογικά στοιχεία και επομένως δεν δίνει μια ολοκληρωμένη εικόνα της γεωγραφίας της περιοχής μελέτης (Ye και Bai, 2008).



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ- ΠΟΛΗ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

### 4.1 ΤΟ ΠΡΟΦΙΛ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΣ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

Για την εφαρμογή του μοντέλου των CA εξετάζεται η ευρύτερη περιοχή της πόλης της Καρδίτσας, συμπεριλαμβανομένης και της Καρδιτσομαγούλας, που ανήκει στους οικισμούς άνω των 2.000 κατοίκων. Τα Δημοτικά Διαμερίσματα Καρδίτσας και Καρδιτσομαγούλας καταλαμβάνουν συνολική έκταση επιφάνειας 60.754,58 στρεμμάτων και έκταση αστικού ιστού περίπου 7.500 στρέμματα. Ανήκουν στον Καλλικρατικό Δήμο Καρδίτσας μαζί με άλλα 32 Δημοτικά Διαμερίσματα συνολικής έκτασης 651.780,74 στρεμμάτων. Εξαιτίας της γειννίας των δύο οικισμών (απόσταση περίπου 2,5 χιλιόμετρα) οι εξαρτήσεις και οι αλληλεπιδράσεις είναι ιδιαίτερα έντονες. Για την περιοχή της Καρδιτσομαγούλας έχει εγκριθεί Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο ΓΠΣ, το οποίο την συμπεριλαμβάνει σε ενιαίο σχεδιασμό με την Καρδίτσα.

Εικόνα 4.1: Περιοχή Μελέτης



Πηγή: Κτηματολόγιο, 2009, ίδια επεξεργασία

Η πόλη της Καρδίτσας βρίσκεται στην Περιφέρεια Θεσσαλίας και αποτελεί πρωτεύουσα του νομού Καρδίτσας. Ο νομός Καρδίτσας εντάσσεται στο δυτικό τμήμα της μεγάλης θεσσαλικής πεδιάδας σε υψόμετρο 105,3 περίπου χιλιόμετρα από την Αθήνα και 66 χιλιόμετρα νοτιοδυτικά της Λάρισας. Η πόλη αποτελεί εμπορικό και αγροτικό κέντρο, συγκεντρώνοντας την εμπορική και πολιτιστική δραστηριότητα του νομού. Παρουσιάζει σημαντικό εμπόριο βαμβακιού, σιτηρών, καπνού, κτηνοτροφών και κτηνοτροφικών προϊόντων. Επιπρόσθετα υπάρχουν αρκετές βιομηχανίες και βιοτεχνίες που συνδέονται κυρίως με την επεξεργασία τη μεταποίηση και τον εξευγενισμό αγροτικών προϊόντων. Αποτελεί επίσης συγκοινωνιακό και διαμετακομιστικό κέντρο μιας εκτεταμένης περιοχής.

Ο πληθυσμός των Δ.Δ. Καρδίτσας και Καρδίτσομαγούλας ανέρχεται στους 34.511 κατοίκους σύμφωνα με την απογραφή πληθυσμού του 2001. Όσον αφορά τους παραγωγικούς τομείς τα τελευταία χρόνια παρατηρείται ότι η κατανομή της απασχόλησης έχει μετατοπιστεί σημαντικά προς τον τριτογενή τομέα.

Η περιοχή του Δήμου της Καρδίτσας γενικότερα χαρακτηρίζεται από **γεωμορφολογική ομοιομορφία** η οποία συνίσταται από μια ενιαία επίπεδη έκταση που είναι τμήμα της λεκάνης απορροής του ποταμού Πηνειού και ο οποίος αποτελεί τη μοναδική έξοδο της θεσσαλικής υδρολογικής λεκάνης προς τη θάλασσα. Λόγω του ότι όλη η έκταση που καταλαμβάνει ο Δήμος περιλαμβάνει αποκλειστικά πεδινές εκτάσεις, οι κλίσεις της περιοχής είναι ιδιαίτερα μικρές (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δ. Καρδίτσας, 2008).

Ο Δήμος Καρδίτσας είναι σε μεγάλη έκταση πεδινός με πολλές εκτάσεις καλλιεργήσιμης γης. Οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις καταλαμβάνουν αρκετά μεγάλο ποσοστό της τάξης του 76% ενώ το ποσοστό της αστικής γης ανέρχεται στο 16% (Corine, 2000).

Σχετικά με τις χρήσεις γης της πόλης της Καρδίτσας, παρουσιάζεται μια εντονότατη μείξη λειτουργιών, οι οποίες εκτός από κατοικίες, διακρίνονται σε βιοτεχνικές και μικρές βιομηχανικές μονάδες, σε χονδρεμπόριο και λιανικό εμπόριο, σε αγροκτηνοτροφικές μονάδες σε κέντρα ψυχαγωγίας και διασκέδασης, σε χώρους άθλησης, σε δημόσιες και δημοτικές υπηρεσίες, καθώς και σε άλλες λειτουργίες. Οι

παραπάνω λειτουργίες διαχωρίζουν την πόλη σε περιοχές κεντρικής λειτουργίας, σε γενικής κατοικίας και με εξαιρέσεις και σε αμιγής κατοικίας

#### 4.2 ΔΗΜΟΓΡΑΦΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο πληθυσμός της περιοχής μελέτης έχει παρουσιάσει μία ανοδική τάση τις τελευταίες δεκαετίες, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην οργάνωση και αναβάθμιση του κέντρου της Καρδίτσας, που προέβλεψε το ΓΠΣ του 1989. Πιο αναλυτικά ο μόνιμος πληθυσμός κατά τις τελευταίες απογραφές καθώς επίσης και η συγκριτική μεταβολή του αποτυπώνονται στους παρακάτω πίνακες.

Πίνακας 4.1: Πραγματικός πληθυσμός περιοχής μελέτης

Χωρική Ενότητα	1971	1981	1991	2001
Δ.Δ. Καρδίτσας	25.830	27.532	30.289	32.252
Καρδίτσα	25.685	27.291	30.067	32.031
Δ.Δ. Καρδίτσομαγούλας	2.413	2.458	2.409	2.259
Καρδίτσομαγούλα	2.413	2.458	2.409	2.259

Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, 2001, *ιδία επεξεργασία*

Πίνακας 4.2: Συγκριτική μεταβολή πραγματικού πληθυσμού

Μέση ετήσια μεταβολή πληθυσμού	1971	1981	1991	2001
Καρδίτσα	–	6,25%	10,17%	6,53%
Καρδίτσομαγούλα	–	1,86%	-1,99%	-6,23%

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι ο πραγματικός πληθυσμός αντιπροσωπεύει ένα πλασματικό μέγεθος, καθώς αφορά το μέρος του πληθυσμού που ήταν παρόντες στη συγκεκριμένη χωρική ενότητα χωρίς απαραίτητα να αποτελούν τον μόνιμο πληθυσμό. Η ανάλυση ωστόσο, του συγκεκριμένου δείκτη οδηγεί στην διεξαγωγή αξιολογών συμπερασμάτων.

Μεγαλύτερο ποσοστό μεταβολής παρατηρείται τα έτη 1981- 1991, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στην Επιχείρηση Πολεοδομικής Ανασυγκρότησης Ε.Π.Α.

(1985), όπου και ξεκίνησαν οι επεκτάσεις του σχεδίου πόλης κατά πολεοδομική ενότητα.

Η ευρύτερη περιοχή μελέτης ακολουθεί την κλασική εικόνα πληθυσμιακών μεταβολών της ελληνικής επαρχίας. Σύμφωνα με την απογραφή του 2001 η πληθυσμιακή αύξηση συνεχίζεται και αγγίζει ποσοστό της τάξεως του 6,53%. Όσον αφορά τον οικισμό της Καρδίτσομαγούλας παρατηρείται μείωση του από το 1981 και μετά, που οφείλεται κυρίως στις πιέσεις αστικοποίησης που δέχεται ο οικισμός από την Καρδίτσα (προσπάθεια εύρεσης περιβάλλοντος υψηλότερης ποιότητας, εγγύτητα σε περιοχές εργασίας κλπ). Επιπλέον υποστηρίζεται ότι η δυναμική των ιδρυμάτων τριτοβάθμιας εκπαίδευσης είχε ως επακόλουθο την πληθυσμιακή αύξηση των ηλικιών 20-25.

Στη συνέχεια παρατίθεται ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής του πληθυσμού κατά τα έτη 1971, 1981, 1991 και 2001. Παρόλα αυτά η συμπεριφορά των δύο οικισμών ενδέχεται να διαφοροποιηθεί στο μέλλον καθώς διεθνείς, εθνικές και διαπεριφερειακές συγκυρίες καθώς επίσης και το ισοζύγιο εσόδων εξόδων μεταναστών έχουν άμεσο αντίκτυπο στη δημογραφική εξέλιξη.

Πίνακας 4.3: Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής πραγματικού πληθυσμού

Μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής	1971	1981	1991	2001
Καρδίτσα	-	0,69%	1,13%	0,73%
Καρδίτσομαγούλα	-	0,21%	-0,22%	-0,69%

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Ο ΜΕΡΜ του πληθυσμού ( $r$ ) υπολογίστηκε βάσει του τύπου του ανατοκισμού,  $P1 = P0(1 - R)^x$ , όπου  $x = t_0 - t$  (<http://www.demography-lab.prd.uth.gr>). Με βάση τον παραπάνω πίνακα υπολογίστηκε η προβολή στο μέλλον. Στην πρόβλεψη του πληθυσμού συμπεριλαμβάνεται και το έτος 2011, εφόσον τα στατιστικά στοιχεία για τους δύο οικισμούς για το έτος 2011 δεν είναι επίσημα διαθέσιμα τη συγκεκριμένη χρονική περίοδο.

Οι παραπάνω υπολογισμοί οδηγούν στο βασικό συμπέρασμα ότι για τον οικισμό της Καρδίτσας αναμένεται δημογραφική αύξηση κατά 7% για το 2011, 15% για το 2021



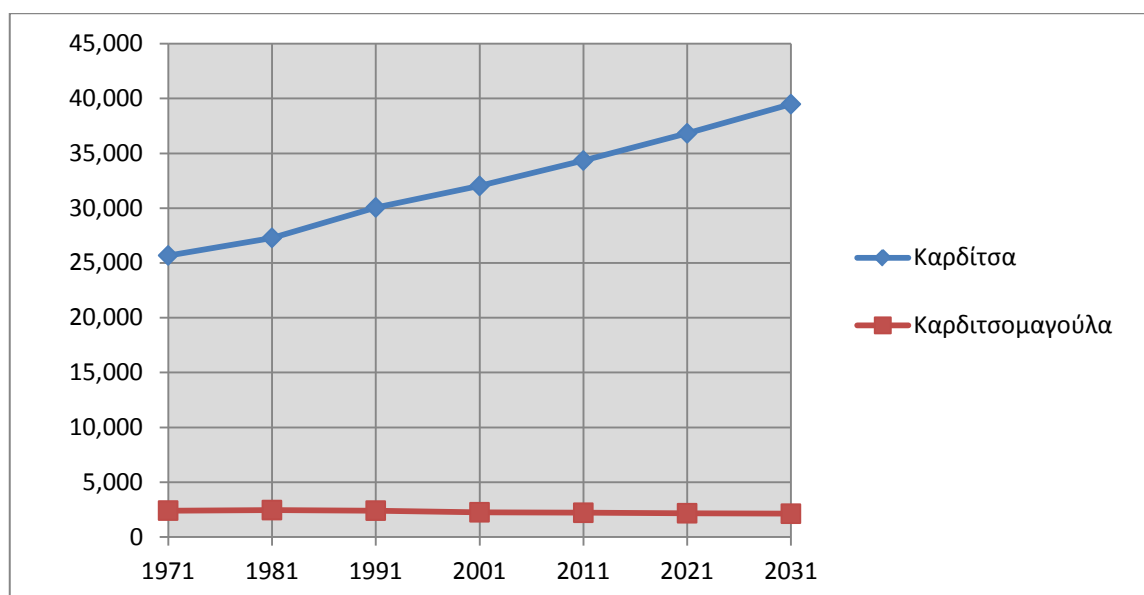
και 23% για το 2031 σχετικά με τον πληθυσμό της απογραφής του 2001. Ενώ για την Καρδίτσα παρατηρείται δημογραφική μείωση -2% , -4% και -6% αντίστοιχα.

Πίνακας 4.4: Πίνακας: Προβολή του πληθυσμού στο μέλλον

Χωρική Ενότητα	ΜΕΡΜ 30ετίας (%)	Εκτίμηση πληθυσμού βάση του ΜΕΡΜ		
		2011	2021	2031
Καρδίτσα	7	34.345	36.826	39.487
Καρδίτσομαγούλα	-2	2.214	2.170	2.127

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Διάγραμμα 4.1: Συγκριτική μεταβολή πραγματικού πληθυσμού 1971- 2031



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

### 4.3 ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ

Ο οικονομικά μη ενεργός πληθυσμός είναι σχετικά μεγαλύτερος από τον ενεργό στην περιοχή μελέτης, γεγονός που μπορεί να οφείλεται είτε στην αυξημένη γήρανση του πληθυσμού είτε αντίθετα στην αυξημένη γεννητικότητα. Αξιοσημείωτο είναι επίσης το κατά πολύ αυξημένο ποσοστό ανεργίας στο σύνολο του Δήμου Καρδίτσας. Το επίπεδο ανεργίας φαίνεται να ξεπερνά το κοινωνικά αποδεκτό, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί

στην ταχεία μείωση της απασχόλησης στον τριτογενή τομέα και τους βραδύτερους ρυθμούς ανάπτυξης του τριτογενούς.

Διαχρονικά για το Δήμο Καρδίτσας η κατανομή της απασχόλησης έχει μετατοπιστεί σημαντικά προς τον τριτογενή τομέα. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται τα ποσοστά απασχόλησης ανά τομέα παραγωγής για το 2001.

Πίνακας 4.5: Απασχόληση ανά τομέα παραγωγής, 2001

Χωρική Ενότητα	Πρωτογενής τομέας (%)	Δευτερογενής τομέας (%)	Τριτογενής τομέας (%)
Δ.Δ. Καρδίτσα	5,6	8	84,2
Δ.Δ. Καρδίτσομαγούλας	44,4	9,7	45,5

Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, 2001, *ιδία επεξεργασία*

Το ποσοστό απασχόλησης στον κλάδο του πρωτογενούς τομέα βρίσκεται σε πολύ χαμηλό επίπεδο για την Καρδίτσα τόσο για το 1991 όσο και για το 2001, σε αντίθεση με την Καρδίτσομαγούλα που το ποσοστό είναι ιδιαίτερα ικανοποιητικό.

Στον τριτογενή τομέα απασχολείται σχεδόν το σύνολο του πληθυσμού της πόλης που είναι οικονομικά ενεργός. Οι βασικότεροι κλάδοι είναι το εμπόριο, η εκπαίδευση ο κλάδος της υγείας και οι κλάδοι των ξενοδοχείων και των εστιατορίων. Επίσης, η περιοχή της λίμνης Πλαστήρα αποτελεί, ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια, σημαντικό πόλο έλξης αναβαθμίζοντας τόσο την ευρύτερη περιοχή της λίμνης Πλαστήρα όσο και την πόλη της Καρδίτσας.

#### 4.4 ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το σύστημα σχεδιασμού της Ευρωπαϊκής Ένωσης κατατάσσει την Ελλάδα στην ονομαζόμενη παράδοση του urbanisme, με χαρακτηριστικά την έμφαση στην μικρή κλίμακα και στους κανονισμούς δόμησης, καθώς και την ακαμψία του σχεδιασμού και την πολυπλοκότητα νόμων και κανονισμών. Ωστόσο, την τελευταία δεκαετία οι αλλαγές τόσο στο θεσμοθετημένο σύστημα όσο και σε αρκετές πρακτικές, ιδίως σε τοπικό επίπεδο, δείχνουν μια προσπάθεια μετάβασης προς περισσότερο στρατηγικού

χαρακτήρα σχεδιασμό. Τον πυρήνα του σύγχρονου πολεοδομικού σχεδιασμού και ρύθμισης των χρήσεων γης αποτελούν δύο βασικοί οικιστικοί νόμοι, ο 1337/82 για την επέκταση των πολεοδομικών σχεδίων και την οικιστική ανάπτυξη και ο Νόμος 2508/97 για την βιώσιμη οικιστική ανάπτυξη των πόλεων και των οικισμών της χώρας. Γενικά, το σύστημα πολεοδομικού σχεδιασμού στην Ελλάδα, θεωρείται αρκετά χαοτικό, και παρ' όλες τις αλλαγές, ο σχεδιασμός παραμένει δύσκαμπτος, χρονοβόρος, και αναποτελεσματικός, αφού σε πολλές περιπτώσεις, η ολοκλήρωση και η έγκριση ενός σχεδίου μπορεί να ξεπεράσει την δεκαετία. Τα προβλήματα της πολιτικής πολεοδομικού σχεδιασμού στη χώρα μας, ιδιαίτερα σε ότι αφορά την εφαρμογή του, αίρουν στην πράξη την αυστηρότητα του συστήματος υπέρ μιας χωρίς αρχές αστικής ανάπτυξης, η οποία καθοδηγείται από την υπερεκμετάλλευση της γης (Ανδρικοπούλου κ.α., 2007).

Ο πολεοδομικός σχεδιασμός μιας πόλης είναι ένας από τους πλέον νευραλγικούς τομείς, αφού μέσω αυτού καθορίζεται σε μεγάλο βαθμό η εξέλιξη του αστικού περιβάλλοντος μια περιοχής. Είναι ο τομέας που η κοινωνική συναίνεση είναι προαπαιτούμενη ώστε να γίνουν πράξη οι πολιτικές αστικής ανάπτυξης. Ιδιαίτερα οι παρεμβάσεις στο ήδη δομημένο αστικό περιβάλλον είναι το κρισιμότερο μέγεθος για την εξέλιξη μιας πόλης και συγκεκριμένα για την Καρδίτσα. Τα έργα βασικής υποδομής στην Καρδίτσα έχουν σχεδόν ολοκληρωθεί- μικρές είναι ακόμη οι ελλείψεις αλλά ωστόσο δρομολογημένες- γεγονός που δίνει το δικαίωμα να μιλάει κανείς σήμερα για την αναβάθμιση του δομημένου αστικού ιστού, μέσα από ολοκληρωμένα προγράμματα βιώσιμης αστικής ανάπτυξης. Αναλυτικότερα παρακάτω παρουσιάζεται ο πολεοδομικός σχεδιασμός της πόλης από το 1959 μέχρι και σήμερα.

Το πρώτο σχέδιο της πόλης εγκρίθηκε το 1959 (ΒΔ 12.2.1959 περί επεκτάσεως και αναθεωρήσεως ρυμοτομικού σχεδίου πόλεως Καρδίτσας), όπου και αποτέλεσε την πρώτη προσπάθεια πολεοδομικής οργάνωσης της πόλης και αφορούσε το κεντρικό τμήμα της (ΦΕΚ 34/Α 25.2.1959), ενώ η πρώτη αναθεώρηση του έγινε το 1994 όπου προτάθηκε η διάνοιξη νέων δρόμων δευτερεύουσας σημασίας ενώ για πρώτη φορά μπήκε επίσημα η έννοια του πεζόδρομου. Οι πρώτοι πεζόδρομοι στην Καρδίτσα άρχισαν να κατασκευάζονται από το 1985 με μερική τροποποίηση του σχεδίου πόλης. Από το 1985 στα πλαίσια της Ε.Π.Α. άρχισαν οι επεκτάσεις του σχεδίου πόλης κατά



πολεοδομική ενότητα και η διαδικασία συνεχίζεται ακόμη και σήμερα (για παράδειγμα η περιοχή των Καμινάδων).

Η αλλαγή των όρων δόμησης στην περιοχή των Εργατικών και των Καμινάδων και επί της ουσίας η νομιμοποίηση των εργατικών κατοικιών στη συγκεκριμένη περιοχή είναι γεγονός, αφού μετά από συντονισμένες προσπάθειες εξεδόθη σχετικό προεδρικό διάταγμα το οποίο επικυρώνει την απόφαση του δημοτικού συμβουλίου. Μάλιστα με πλίοτο την παραπάνω απόφαση ο δήμος έχει σκοπό να προχωρήσει στην ίδια κατεύθυνση και με τα υπόλοιπα εργατικά Αγίου Φαναρίου και Αγίου Μηνά (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Καρδίτσας για την περίοδο 2007 – 2010).

Στη συνέχεια, αναφορικά με τα πολεοδομικά χαρακτηριστικά του Δήμου Καρδίτσας, επισημαίνεται ότι το τοπικό διαμέρισμα της Καρδίτσας διαθέτει ΓΠΣ που εκπονήθηκε το 1989 με βασικό στόχο την οργάνωση του κέντρου της Καρδίτσας για την ποιοτική και περιβαλλοντική αναβάθμισή του και την αποσυμφόρησή του με την παράλληλη τόνωση των τοπικών κέντρων στις περιοχές Αγίου Νικολάου, Αγίου Μηνά και Καμινάδων (ΓΠΣ Καρδίτσας- Καρδιτσομαγούλας, 1989).

Το ΓΠΣ Καρδίτσας Καρδιτσομαγούλας του 1989 περιλάμβανε την ενιαία πολεοδομική οργάνωση των οικισμών Καρδίτσας και Καρδιτσομαγούλας με προγραμματικό πληθυσμιακό μέγεθος για την επόμενη πενταετία 35.000 και 4.000 κατοίκους αντίστοιχα καθώς επίσης και την επέκταση του σχεδίου πόλης σε εκτάσεις συνολικής επιφάνειας 3.450 στρεμμάτων. Επίσης, προέβλεψε την οργάνωση του κέντρου της Καρδίτσας με στόχο την περιβαλλοντική αναβάθμισή του και την αποσυμφόρησή του με την παράλληλη τόνωση των τοπικών κέντρων στις περιοχές Αγίου Νικολάου, Αγίου Σεραφείμ- Ακαδημίας, στη διασταύρωση Μετεώρων- Φαναρίου, στη Δραγατσανίου, στον Άγιο Μηνά, στη Θεσσαλιώτιδος από τη διασταύρωσή της με Κουμουνδούρου, στην Αγράφων, στις επεκτάσεις ανατολικά του γηπέδου στις Καμινάδες και στη Θεττάλων. Περιλάμβανε τη χωροθέτηση εργατικών κατοικιών σε δημοτική έκταση δυτικά της συνοικίας της Αγίας Παρασκευής και τον καθορισμό ζωνών οικονομικών και θεσμικών κινήτρων, ειδικότερα Ζώνες Ειδικής Ενίσχυσης (ZEE) στις επεκτάσεις των Καμινάδων και Ζώνες Ειδικών Κινήτρων (ZEK) στα τοπικά κέντρα των επεκτάσεων και στο κέντρο της Καρδιτσομαγούλας.

Αναλυτικά οι σημαντικότερες πολεοδομικές εξελίξεις της πόλης χρονολογικά παρουσιάζονται παρακάτω.

Πίνακας 4.6: Σημαντικές πολεοδομικές εξελίξεις 1980- 2005

Σημαντικές αλλαγές και έργα από το 1970 μέχρι σήμερα	1980-1989	1990-2008
Επέκταση Αγίου Νικολάου	1985	
Επέκταση Αγίας Παρασκευής-Αγίου Μηνά	1987	
Επέκταση Φαναρίου	1987	
Επέκταση Ζαχαριώτες	1988	
Θύλακας Ζαχαριωτών		2005
Αναθεώρηση Α Ζώνης		1994
Αναθεώρηση Β Ζώνης		1994
Αναθεώρηση Γ Ζώνης		1994
Επέκταση Καμινάδων		1996
Επέκταση Αγίου Παντελεήμονα		1990
Επέκταση VI 12 Αγίου Νικολάου (πρώην ΖΑΑ)		1993
Αναθεώρηση Καμινάδων		1994
Πρώτη αναθεώρηση Σχεδίου Πόλης		1994
Διάνοιξη νέων Δρόμων Δευτερεύουσας Σημασίας		1994
Κατασκευή πρώτων Πεζοδρόμων	1985	
ΓΠΣ	1989	
Αναθεώρηση ΓΠΣ		2005
Αποσυμφόρηση του Κέντρου με τη δημιουργία εσωτερικού και εξωτερικού δακτυλίου	1989	
Διαχωρισμός πεζοδρόμων και ποδηλατοδρόμων	1989	
Βελτίωση προσπελασιμότητας για την ανάπτυξη του τουρισμού		2005
Λειτουργία Κτηνιατρικής Σχολής Πανεπιστημίου Θεσσαλίας		1994
Λειτουργία Τμημάτων ΤΕΙ Λάρισας		1994
Ζώνη Τουρισμού		2005

Πηγή: ΓΠΣ, 1989, αναθεώρηση ΓΠΣ 2005, ίδια επεξεργασία

Τελευταία σημαντική ενέργεια πολεοδομικής οργάνωσης αποτέλεσε η τροποποίηση του παραπάνω ΓΠΣ το 2005. Επιπλέον η πόλη, διαθέτει Πολεοδομική Μελέτη αναθεώρησης του 1994, η οποία αφορά το παλιό σχέδιο πόλης που είχε γίνει το 1959. Σχέδια επεκτάσεων, δηλαδή ξεχωριστές πολεοδομικές μελέτες, υπάρχουν και για τις περιοχές Αγίου Νικολάου, Αγίου Μηνά, Αγίας Παρασκευής, Φαναρίου, Ζαχαριώτες, Αγίου Παντελεήμονα, Θύλακα Ζαχαριωτών, επέκτασης Καμινάδων και αναθεώρησης Καμινάδων, δηλαδή περιοχές επεκτάσεων (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Καρδίτσας για την περίοδο 2007 – 2010).

Επιπρόσθετα, το τοπικό διαμέρισμα Καρδίτσας διαθέτει 7-8 τοπικά ρυμοτομικά σχέδια που αφορούν συγκεκριμένες περιοχές, πχ Εργατικές Κατοικίες. Τέλος, όσον αφορά τη χωροθέτηση παραγωγικών δραστηριοτήτων, από το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο προβλέπεται ένα Βιομηχανικό Πάρκο (ΒΗΠΑ) και μια Ζώνη Χονδρεμπορίου για περιοχές εκτός σχεδίου πόλεως.

Σύμφωνα με το ΓΠΣ του 1989 η πόλη χωρίζεται σε 14 πολεοδομικές ενότητες οι οποίες με την αναθεώρηση του ΓΠΣ του 2005 γίνονται 17 (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Καρδίτσας για την περίοδο 2007 – 2010).

Τέλος όσον αφορά τον πολεοδομικό σχεδιασμό της Καρδιτσομαγούλας, διαθέτει ρυμοτομικό σχέδιο από το 1924. Σύμφωνα με το ΦΕΚ 296 Δ' της 22.3.96 ο θεσμοθετημένος συντελεστής δόμησης του οικισμού είναι 0,8.

#### 4.4.1 ΕΠΕΚΤΑΣΕΙΣ

Σε ότι αφορά τα πολεοδομικά μεγέθη της πόλης, η πόλη της Καρδίτσας αποτελούσε και αποτελεί ένα εμπορικό κέντρο αγροτικού χαρακτήρα και μπορούν να διακριθούν σε αυτή τρεις περιοχές:

- Η κεντρική (περιοχή Αγ. Κωνσταντίνου), με χρήσεις εμπορίου, εκπαίδευσης, διοίκησης, υπηρεσιών και άλλων αστικών χρήσεων. Εδώ βρίσκεται το πάρκο του Πανσίλυπου, η Πλατεία Ελευθερίας (κεντρική πλατεία της πόλης), η Πλατεία Δικαστηρίων με το Δικαστικό Μέγαρο, η Δημοτική Αγορά και το ενιαίο δίκτυο πεζοδρόμων που τα ενώνει. Οριοθετείται από τους οδικούς άξονες Καποδιστρίου, Τρικάλων, Ταλιαδούρου, Λάππα και Εμμανουήλ.
- Η ημικεντρική, που είναι η περιοχή κυρίως της αμιγούς κατοικίας περιλαμβάνοντας τις περιοχές Καμινάδες, Βλαχομαχαλάς, Γαρδικάκι και Φαναρίου.
- Η περιαστική, η οποία περιλαμβάνει περιοχές κατοικίας, έχει άμεση σχέση με την ύπαιθρο και εντάχθηκε στο σχέδιο πόλης αφού είχε αρχίσει η ανοικοδόμησή της. Περιλαμβάνει τις περιοχές Ζαχαριώτες και Αγία Παρασκευή (Κατσάρα, 2000).

Από το 1970 μέχρι το 1994 το σχέδιο πόλης της Καρδίτσας αποτελούνταν από μια ενιαία περιοχή που βρισκόταν στο σημερινό κέντρο. Το 1994 με την αναθεώρηση του σχεδίου πόλης η ενιαία αυτή περιοχή χωρίστηκε σε τρεις ζώνες με το Διάταγμα Έγκρισης 2188/15-7-94 ΦΕΚ 908/Δ/2-9-94. Το ΦΕΚ όριζε η Α Ζώνη να έχει συντελεστή δόμησης 2,40, η Β Ζώνη 2,20 και η Γ Ζώνη να έχει 1,40. Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθεί ότι στις περιοχές επεκτάσεων ο συντελεστής δόμησης μειώνεται πράγμα που οδηγεί σε συμφόρηση του κέντρου.

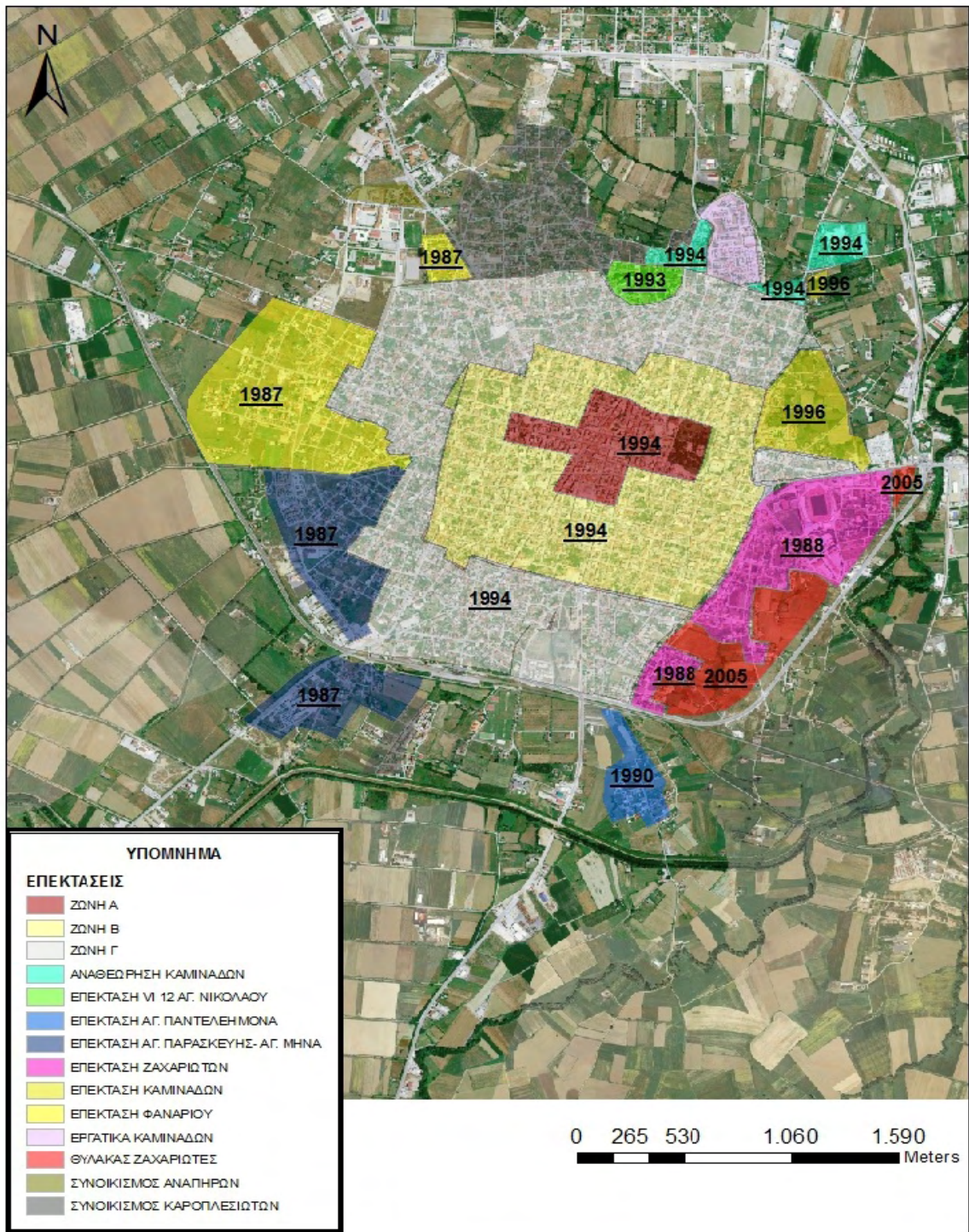
Σχετικά με τις επεκτάσεις, το 1985 δημιουργείται η επέκταση του Αγίου Νικολάου (Π.Δ 18-10-85 ΦΕΚ 709/Δ/27-11-85) με μέγιστο συντελεστή δόμησης 0,8 και όριζε ως κύρια χρήση την σχεδόν αμιγή κατοικία. Το Προεδρικό Διάταγμα 16-2-87 ΦΕΚ 415/Δ/14-5-87 όρισε δύο νέες επεκτάσεις αυτές της Αγίας Παρασκευής-Αγίου Μηνά και του Φαναρίου με συντελεστή δόμησης 0,8 και οριζόμενη χρήση την γενική κατοικία και για τις 2. Τα ίδια προβλέπονταν και με το Π.Δ 2-6-88 ΦΕΚ 589/Δ/10-8-88 για την επέκταση των Ζαχαριωτών. Το 1990 με το Π.Δ 6-1-90 ΦΕΚ 594/Δ/23-10-90 δημιουργείται η επέκταση του Αγίου Παντελεήμονα που όριζε συντελεστή δόμησης είτε 0,60 (για περίπτωση οικοπέδου έως 300 τ.μ) είτε 0,30 (για περίπτωση οικοπέδου άνω των 300τ.μ) και χρήση την γενική κατοικία αλλά με εξαιρέσεις. Η επέκταση VI 12 του Αγίου Νικολάου (πρώην ΖΑΑ) εισηχθη με το Π.Δ 28-1-93 ΦΕΚ 132/Δ/23-2-93 το 1993 και όριζε ως κύρια χρήση την γενική κατοικία με εξαιρέσεις.

Η αναθεώρηση των Καμινάδων (4180/28-9-94 ΦΕΚ1060/Δ/13-10-94) όριζε συντελεστή δόμησης 0.8 και ως κύρια χρήση ενώ η επέκταση Καμινάδων Π.Δ 21-6-96 ΦΕΚ715/Δ/5-7-96) όριζε τον ίδιο συντελεστή και την ίδια κύρια χρήση με την διαφορά ότι δεν επέτρεπε ως χρήση τα πρατήρια βενζίνης. Ο θύλακας Ζαχαριωτών (ΓΓ Περιφέρ 3922/22-12-05 ΦΕΚ 1456/Δ/30-12-05) όριζε ως συντελεστή δόμησης 0.6 και κύριες χρήσεις την γενική και αμιγή κατοικία και τις κεντρικές λειτουργίες. Απαγορεύονται επίσης τα συνεργεία και τα πρατήρια βενζίνης αλλά και οι pilotis.

Στον παρακάτω χάρτη παρουσιάζονται οι επεκτάσεις του Σχεδίου Πόλης ανά περιοχή και ανά έτος.



Χάρτης 4.1: Επεκτάσεις της πόλης της Καρδίτσας



Πηγή: Χάρτης Πόλεως Καρδίτσας, Κτηματολόγιο Α.Ε., Ιδία επεξεργασία

## 4.4.2 ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ ΓΗΣ ΤΗΣ ΠΟΛΗΣ ΤΗΝ ΠΕΡΙΟΔΟ 1989-2005

Στο ΓΠΣ του 1989 αισθητή είναι η παρουσία της γεωργικής γης εντός των ορίων της πόλης που μετέπειτα στο ΓΠΣ του 2005 μετατρέπεται μέσω της διαδικασίας της αστικοποίησης σε δομημένο περιβάλλον (κατοικία). Η αμιγής κατοικία που κυριαρχούσε στον πολεοδομικό ιστό της Καρδίτσας με την πάροδο των χρόνων και μέχρι την αναθεώρηση του ΓΠΣ το 2005 μετατράπηκε σε γενική κατοικία σταδιακά. Αυτό είχε ως συνέπεια και την δημιουργία περισσότερων χώρων κεντρικών λειτουργιών (που παλιότερα υπήρχαν αποκλειστικά στις κεντρικές περιοχές της πόλης) για την εξυπηρέτηση των αναγκών των κατοίκων διάσπαρτα μέσα στην πόλη.

Το έτος 2005, με την αναθεώρηση του ΓΠΣ παρατηρείται αύξηση της χρήσης της εκπαίδευσης με την χωροθέτηση στην πόλη περισσότερων μονάδων εκπαίδευσης. Επίσης, αυξάνεται το ποσοστό αστικού πρασίνου- ελεύθερων χώρων με χωροθέτηση ελεύθερων χώρων τόσο στο κέντρο τις πόλεις όσο και στις γειτονιές (Αναθεώρηση ΓΠΣ, 2005).

Πίνακας 4.7: Χρήσεις γης 1989- 2012

Χρήσεις Γης	1989-2005	2005-2012
Αμιγής Κατοικία	Καταλαμβάνει περίπου το 80%	Έντονη μείωση
Γενική κατοικία	Σχεδόν ανύπαρκτη	Το ποσοστό της έχουν αυξηθεί
Κεντρικές Λειτουργίες	Πολύ μικρό ποσοστό	Αναπτυγμένη και σε άλλες περιοχές
Εκπαίδευση	Επαρκές ποσοστό για τον πληθυσμό	Επαρκές ποσοστό σύμφωνα με την αύξηση του πληθυσμού
Αθλητισμός	Επαρκές ποσοστό για τον πληθυσμό	Επαρκές ποσοστό σύμφωνα με την αύξηση του πληθυσμού

Χρήσεις Γης	1989-2005	2005-2012
Εμπόριο	Μικρό ποσοστό	Μείωση του ποσοστού
Γεωργική Γη	Μικρό ποσοστό	Απουσία
Βιομηχανία	Μικρό ποσοστό	Μείωση
Αστικό Πράσινο	Μεγάλο ποσοστό	Μείωση
Πρόνοια	Επαρκές ποσοστό για τον πληθυσμό	Επαρκές ποσοστό σύμφωνα με την αύξηση του πληθυσμού
Υγεία	Επαρκές ποσοστό για τον πληθυσμό	Επαρκές ποσοστό για τον πληθυσμό
Περιοχές Ανάπλασης	Μικρό ποσοστό	Αύξηση και κυρίως στο κέντρο
ΖΕΚ	Μικρό ποσοστό	Μεγάλη αύξηση
Ζώνες Κανονιστικών Όρων Δόμησης	Μικρό ποσοστό	Μεγάλη αύξηση
Ζώνη Τουρισμού	Απουσία	Π.Ε. III5

Πηγή: ΓΠΣ, 1989, αναθεώρηση ΓΠΣ, 2005, Ιδία επεξεργασία

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται οι μεταβολές των χρήσεων γης σύμφωνα με τις αλλαγές των δύο ΓΠΣ. Όπως παρατηρείται στον πίνακα 4.7 με την αναθεώρηση του ΓΠΣ η μετατροπή του μεγαλύτερου μέρους της αμιγής κατοικίας σε γενική είναι εμφανής. Το γεγονός αυτό οδήγησε σε ανάπτυξη της πόλης κυρίως οικονομική εφόσον επιτρέπονται και άλλες δραστηριότητες όπως κτήρια, γήπεδα στάθμευσης, χώροι αναψυχής, καθώς επίσης και διαφόρων ειδών γραφεία και οργανισμοί. Επιπλέον, η αύξηση των περιοχών των κεντρικών λειτουργιών της πόλης είχε ως αποτέλεσμα την ευνοϊκότερη εξυπηρέτηση των αναγκών των πολιτών και την καλύτερη ποιότητα παροχής τουριστικών υποδομών. Σημαντική εξέλιξη για την πόλη αποτέλεσε η δημιουργία Ζώνης Τουρισμού στην Π.Ε. III5. Η περιοχή αυτή βρίσκεται στο νότιο



τμήμα της πόλης και απομακρυσμένη από τον κεντρικό ιστό της πόλης, γεγονός που αποτρέπει τη δημιουργία οχλήσεων.

#### 4.5 ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ

Με το ΓΠΣ του 1989, όσον αφορά την οργάνωση και ιεράρχηση του οδικού δικτύου πραγματοποιήθηκε η αποσυμφόρηση του κέντρου της πόλης με την δημιουργία εσωτερικού δακτυλίου, η δημιουργία εξωτερικού δακτυλίου με την δυνατότητα παράκαμψης, η σύνδεση του εξωτερικού δακτυλίου με το εσωτερικό με πλέγμα δακτυλίων και η δημιουργία ανισόπεδων κόμβων. Επίσης, έγινε και ο διαχωρισμός των κινήσεων των οχημάτων των πεζών και των ποδηλάτων σε ολόκληρο τον ιστό της πόλης με την ιεράρχηση του εσωτερικού οδικού δικτύου και την δημιουργία πλέγματος πεζοδρόμων που συνδέει τους κοινόχρηστους χώρους, τις κεντρικές λειτουργίες και τα ιστορικά σημεία αναφοράς της πόλης (ΓΠΣ Καρδίτσας- Καρδιτσομάγουλας, 1989).

Το σημαντικό πλεονέκτημα που παρουσιάζει η πόλη είναι ότι στο σχέδιο του κέντρου της πόλης εφαρμόζεται ένας ορθοκανονικός κανόνας στη μορφή των οικοδομικών τετραγώνων. Η μορφή του δικτύου στο κέντρο είναι αποτέλεσμα του ιπποδάμειου συστήματος, με αρκετά όμως προβλήματα λόγω κακής ποιότητας οδοστρώματος.

Αναφορικά με τους οδικούς άξονες σύμφωνα με το ΓΠΣ του 2005, η Καρδίτσα αποτελεί το εμπορικό κέντρο του Νομού και συνδέεται με όλα τα τοπικά του διαμερίσματα και όλους τους δήμους του Νομού με ασφαλτοστρωμένο οδικό δίκτυο. Δύο από τους κεντρικούς οδικούς άξονες εισόδου/εξόδου της πόλης χρησιμοποιούνται από μεγάλο αριθμό επισκεπτών με οικοτουριστικά ενδιαφέροντα που οδηγούν στην ευρύτερη περιοχή της Λίμνης Ν. Πλαστήρα, η οποία αποτελεί τουριστικό προορισμό ιδιαίτερου φυσικού κάλλους (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Καρδίτσας για την περίοδο 2007 – 2010).

Σημαντική για τις μεταφορικές υποδομές της πόλης θεωρείται η ολοκλήρωση του περιφερειακού δικτύου, δύο λωρίδων ανά κατεύθυνση, το οποίο δέχεται όλη την κυκλοφορία από και προς την Καρδίτσα. Επίσης, η ολοκλήρωση του συγκεκριμένου

έργου συνέβαλε στην εξάπλωση του αστικού ιστού (παρόδια δόμηση) και επομένως ενέτεινε τις πιέσεις αστικοποίησης.

#### 4.6 ΥΦΙΣΤΑΜΕΝΕΣ ΤΑΣΕΙΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ

Παρόλο που ο Νομός Καρδίτσας είναι αγροτικός και παρόλο που τα περισσότερα Δημοτικά Διαμερίσματα του Δήμου Καρδίτσας είναι αγροτικά η πόλη κατατάσσει τον τελευταίο ως αστικό. Η Καρδίτσα αποτελεί το διοικητικό κέντρο του Ν. Καρδίτσας, εφόσον συγκεντρώνει τις περισσότερες διοικητικές υπηρεσίες του νομού, με αποτέλεσμα να υπάρχουν άμεσες σχέσεις όλων των Δ.Δ. του Δήμου με την πόλη προκειμένου να επιτευχθεί η εξυπηρέτηση του πληθυσμού από αυτές. Πέρα από τις διοικητικές υπηρεσίες, υπάρχουν και άλλες υποδομές οι οποίες προσελκύουν μεγάλο κομμάτι πληθυσμού του λόγω της ιδιότητάς τους. Τέτοιες υποδομές είναι αυτές της εκπαίδευσης (πανεπιστήμια, ΙΕΚ κτλ), της υγείας και πρόνοιας και υποδομές μεταφοράς.

Όσον αφορά την αστική εξάπλωση οι σημερινές τάσεις δείχνουν μία τάση αποκέντρωσης και ανάπτυξης του βορειοανατολικού και του νοτιοδυτικού τμήματος (επέκταση Καμινάδων, επέκταση Αγίας Παρασκευής- Αγίου Μηνά). Ειδικά μετά την ολοκλήρωση της περιφερειακής οδού παρατηρείται έντονο ενδιαφέρον οικοδόμησης στις περιοχές αυτές. Δύο επίσης σημαντικοί λόγοι της τάσης αστικής εξάπλωσης που παρουσιάζουν τα δύο αυτά τμήματα είναι οι χαμηλές τιμές γης και η καλύτερη ποιότητα ζωής μακριά από οχλήσεις του κέντρου.

Σχετικά με την οικοδομική δραστηριότητα παρουσιάζεται παρακάτω η συνολική οροφοεπιφάνεια των νέων οικοδομών ανά έτος για το Δήμο Καρδίτσας.

Πίνακας 4.8: Επιφάνεια οικοδομικών αδειών σε τ.μ

Δήμος Καρδίτσας	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
	99.903	104.119	115.409	141.510	109.498	142.353	117.806
Δήμος Καρδίτσας	2004	2005	2006	2007	2008	2009	
	142.226	211.131	142.937	145.591	141.542	91.655	

Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Ιδία επεξεργασία

Είναι εμφανές ότι ο ρυθμός μεταβολής του δείκτη αυξομειώνεται από έτος σε έτος. Παρόλο που ο συγκεκριμένος δείκτης δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστος αποτελεί ένα σημαντικό κριτήριο για την κατανόηση της τάσης αστικοποίησης στην περιοχή της Καρδίτσας. Όπως φαίνεται στον πίνακα τα 3 τελευταία χρόνια παρατηρείται μείωση της επιφάνειας οικοδομικών αδειών, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στην οικονομική κρίση.

Με βάση εκτιμήσεις μελλοντικής οικιστικής εξάπλωσης, κατά τη μελέτη της αναθεώρησης του ΓΠΣ, προέκυψε ότι η χωρητικότητα της εντός σχεδίου έκτασης θα καλύπτει τις οικιστικές ανάγκες ως το 2021. Επίσης η δόμηση σε εκτός σχεδίου περιοχές επιτρέπεται, αλλά υπό αυστηρότερες προϋποθέσεις συγκριτικά με τη δόμηση εντός σχεδίου.

Η παρατήρηση φαινομένων αστικής συγκέντρωσης εκτός σχεδίου οδήγησε στον εντοπισμό γραμμικών παρόδιων ζωνών αστικών χρήσεων στους υπερτοπικούς οδικούς άξονες της πόλης, προς λίμνη Πλαστήρα, Τρίκαλα και Βόλο. Παρατηρώντας τις εικόνες διαπιστώνεται η διαμόρφωση πυκνής ζώνης παρόδιων δραστηριοτήτων. Οι δραστηριότητες αυτές αφορούν σε βιομηχανικές, βιοτεχνικές- εμπορικές κυρίως χρήσεις στην πρώτη περίπτωση και χρήσεις κατοικίας στη δεύτερη.

Η άναρχη και χωρίς οργάνωση παρόδια ανάπτυξη του αστικού συμβάλει στην υποβάθμιση της κυκλοφοριακής ικανότητας του δρόμου, διαταράσσει την χωρική οργάνωση δημιουργώντας προβλήματα μη αναστρέψιμα και σοβαρές παρενέργειες για το περιβάλλον (Παπακωνσταντίνου κ.α., 2010).



Εικόνα 4.2: Παρόδια δόμηση οδικού άξονα Καρδίτσας- Βόλου



*Πηγή: Κτηματολόγιο Α.Ε., Ιδία επεξεργασία*

Εικόνα 4.3: Παρόδια δόμηση οδικού άξονα Καρδίτσας- λίμνης Πλαστήρα



*Πηγή: Κτηματολόγιο Α.Ε., ίδια επεξεργασία*

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SLEUTH

Η εφαρμογή του μοντέλου SLEUTH έγινε σε πέντε βήματα: τη μεταγλώττιση του μοντέλου, την προετοιμασία των δεδομένων εισόδου, τη βαθμονόμηση, την πρόβλεψη και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Το μοντέλο SLEUTH παρέχεται ως πρόγραμμα ανοιχτού κώδικα (Open Source) και δουλεύει πάνω σε περιβάλλον UNIX (Linux). Έπειτα από τη μεταφόρτωση (download) του προγράμματος μέσω της ιστοσελίδας <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/> πραγματοποιήθηκε η μεταγλώττιση του μοντέλου (compilation) με τη βοήθεια προσομοιωτή Linux χρησιμοποιώντας ένα GNU C μεταγλωττιστή (gcc), ώστε το πρόγραμμα να εκτελεστεί σε περιβάλλον windows.

Τα αρχεία εισάγονται σε μορφή εικόνας (gif), σε grayscale. Όλες οι εικόνες είναι απαραίτητο να έχουν τα ίδια όρια, το ίδιο προβολικό σύστημα, την ίδια ανάλυση και τέλος να ακολουθούν συγκεκριμένη μορφή ονοματολογίας. 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 (Νικολάου, 2012). Τα δεδομένα που εισάγονται στο μοντέλο είναι τα εξής:

Slope – Κλίσεις γης

Landuse – Καλύψεις γης, 2 χρονιές τουλάχιστον

Excluded – Περιοχές απαγόρευσης της δόμησης

Urban – Κάλυψη της αστικής γης, 4 χρονιές τουλάχιστον

Transport – Μεταφορικά δίκτυα, 2 χρονιές τουλάχιστον

Hillshade – Ανάγλυφο γης.

### 5.1 ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΕΙΣΟΔΟΥ

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν όπως έχει προαναφερθεί είναι raster αρχεία σε μορφή .gif (6 τύποι δεδομένων). Τα δεδομένα αυτά ουσιαστικά είναι δεδομένα που 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 (Νικολάου, 2012). Οι εικόνες που εισήχθησαν είναι σε 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.

Οι εικόνες προέρχονται από δεδομένα του δορυφόρου Landsat (αστικό 1985), το Corine Land Cover της Ευρωπαϊκής Επιτροπής (καλύψεις γης 2000 και αστικό 1990 και 2000), το Open Street Map (οδικό 2007), Σχέδια Μελέτης Οδικού Δικτύου της Πολεοδομίας του Δήμου Καρδίτσας (οδικό 1998) και τέλος χάρτες του οικοσκόπιου (αστικό 2007, καλύψεις γης 2007). Όλες οι εικόνες έχουν την ίδια ανάλυση 200\*200 εικονοστοιχείων (σύνολο 40.000 εικονοστοιχεία), με ανάλυση 30μ. (δηλαδή το κάθε εικονοστοιχείο αντικατοπτρίζει μια επιφάνεια 30μ.\*30μ.) και ίδιο προβολικό σύστημα (ΕΓΣΑ 87). Όλα τα δεδομένα εισόδου συντάχθηκαν (παραγωγή, ταξινόμηση και μορφοποίηση) σε ένα Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών (GIS).

Δεν θα υπάρξει ποτέ η απόλυτη ακρίβεια στις εικόνες, παρ' όλα αυτά, η απώλεια ακρίβειας θεωρείται αμελητέα στην κλίμακα που πραγματοποιείται η έρευνα και στην πρόβλεψη της αστικής διάχυσης από το SLEUTH, οπότε δεν λαμβάνεται υπόψη.

Η περιοχή μελέτης περιλαμβάνει τα όρια του αστικού ιστού της πόλης της Καρδίτσας και της Καρδίτσομαγούλας (όρια ΓΠΣ Καρδίτσας). Όλες οι εικόνες έχουν ακριβώς τα ίδια όρια με κορυφές καννάβου  $X= 317464.71$   $Y= 4363950.66$ ,  $X= 317464.71$   $Y= 4354642.77$ ,  $X= 324979.34$   $Y= 4363950.66$  και  $X= 324979.34$   $Y= 4354642.77$ .

### 5.1.1 ΑΣΤΙΚΗ ΓΗ (URBAN EXTEND)

Για τη σωστή λειτουργία του μοντέλου απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερις χρονικές περιόδους ορίων του αστικού ιστού. Αφού εντοπιστούν τα όρια για τις χρονικές περιόδους 1985, 1990, 2000 και 2007 ακολουθεί η επεξεργασία τους. Για τον εντοπισμό των στοιχείων αυτών έγινε κυρίως χρήση του Corine (χρονιές 1990 και 2000). Το Corine βασίζεται σε οπτική φωτοερμηνεία εικόνων του δορυφόρου Landsat 7 ETM+ από εθνικές ομάδες εργασίας. Για την έκδοση του 2000 περίπου τα δυο τρίτα των δορυφορικών εικόνων για την Ελλάδα ελήφθησαν το καλοκαίρι του 2000 ενώ το υπόλοιπο εν τρίτο κατά τον επόμενο χρόνο. Για την έκδοση του 1990 οι εικόνες ελήφθησαν κατά τη μεγαλύτερη περίοδο 1987 – 1991. Συνολικά απαιτούνται 26



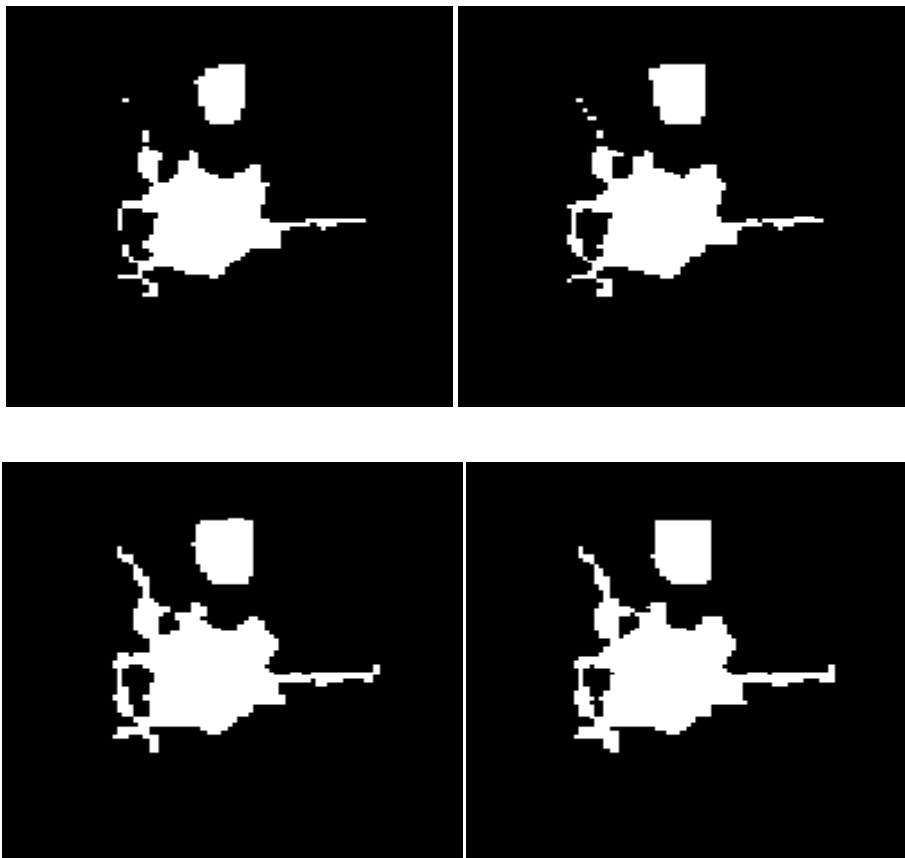
εικόνες για να καλύψουν τον Ελληνικό χώρο ανά χρονολογία. Ο συγκεκριμένος δορυφόρος παρέχει εικόνες σε επτά κανάλια (ορατό φάσμα: μπλε, πράσινο και κόκκινο, υπέρυθρο φάσμα: εγγύς και δύο κανάλια στο μεσαίο, και θερμικό) με χωρική ανάλυση 30 μέτρων εκτός από το θερμικό που έχει 60 μέτρα. Επίσης ένα παγχρωματικό (ασπρόμαυρο) με διπλάσια χωρική ευκρίνεια (15 μέτρα) (Σταθάκης κ.α., 2008). Το μοντέλο θα μπορούσε να βασίζεται σε οποιοδήποτε από τα τρία επίπεδα του συστήματος κωδικοποίησης του Corine. Στη συγκεκριμένη εργασία, επειδή σκοπός είναι η μελέτη της αστικής εξάπλωσης- διάχυσης επιλέχθηκε το πρώτο επίπεδο. Τα διανυσματικά δεδομένα επεξεργάστηκαν και έπειτα έγινε η μετατροπή τους σε raster αρχεία.

Για το 1985 έγινε χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat. Τα επιθέματα που αφορούν στο αστικό περιβάλλον προέρχονται από ταξινόμηση των χρήσεων γης της περιοχής μελέτης όπως αυτές προέκυψαν έπειτα από την εφαρμογή επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε εικόνα Landsat του 1985 με χωρική ανάλυση 30μ. Ο χάρτης χρήσεων γης μετατράπηκε σε επιθέματα δυαδικής μορφής για τις τάξεις αστική/μη αστική γη (βλέπε κεφ. 6). Για την αντιστοίχιση των pixel σε κατηγορίες χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της μεγίστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood). Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης διορθώθηκαν σύμφωνα με τους χάρτες του ΓΠΣ του 1989. Για την εξομάλυνση των ταξινομημένων εικόνων χρησιμοποιήθηκε ένα μοντέλο βελτιστοποίησης, το Expert Classifier. Στη συνέχεια αναπτύχθηκε μια βάση γνώσης με 2 κανόνες παραγωγής, 2 υποθέσεις και 3 μεταβλητές. Το Expert Classifier αποτελείται από δύο μέρη, τον Knowledge Engineer και τον Knowledge Classifier. Ο Knowledge Engineer αποτελεί ένα γραφικό περιβάλλον χρήστη που θα χτιστεί η βάση γνώσης, αναπαριστάμενη σχηματικά με τη μορφή δέντρων αποτελούμενων από τους ορισμούς τελικών και ενδιάμεσων τάξεων (υποθέσεις), κανόνες (υποθετικές δηλώσεις που αφορούν μεταβλητές) και μεταβλητές (raster, διανυσματικής ή βαθμωτής μορφής). Ο Knowledge Classifier επιτρέπει να εφαρμόσει εύκολα μια υπάρχουσα βάση γνώσης στα δεδομένα του και να εκτελέσει μια ταξινόμηση (Γκουντούλα και Αργιαλάς, 2002). Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για την εφαρμογή του μοντέλου ήταν η ταξινομημένη εικόνα (1985), ένα αρχείο των υψομέτρων (DEM) και ένα αρχείο των κλίσεων (SLOPE) της περιοχής μελέτης. Επομένως οι τρεις μεταβλητές του μοντέλου είναι ο αριθμός των κλάσεων της ταξινόμησης, το υψόμετρο και η κλίση εδάφους. Για τις αστικές περιοχές



ο κανόνας είναι ένας, ο αριθμός value (1) και η κλίση εδάφους να είναι μικρότερη ίση του 15%, για την γεωργική γη επίσης ο κανόνας είναι ένας, ο αριθμός value (2), η κλίση εδάφους να είναι μεγαλύτερη ίση του 0% και μικρότερη ίση του 15% και το υψόμετρο μεγαλύτερο ίσο των 78 μέτρων και μικρότερο ίσο των 400 μέτρων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν μετά την εφαρμογή του μοντέλου και μετά την εφαρμογή ορισμένων φίλτρων για την διόρθωση των μεμονωμένων συστάδων εικονοστοιχείων, επαναδιορθώθηκαν σύμφωνα με τους χάρτες του ΓΠΣ όπως έχει προαναφερθεί. Για το 2007 χρησιμοποιήθηκαν εικόνες καλύψεων γης του οικοσκοπίου ([www.oikoskopio.gr](http://www.oikoskopio.gr)). Η δράση του οικοσκοπίου (Καλύψεις γης 2007) στηρίζεται στην πανελλαδική χαρτογράφηση βασικών κατηγοριών καλύψεων γης για το έτος 2007 (ΑΠΘ και WWF - Ελλάς) και εντάσσεται στο πρόγραμμα «Το Μέλλον των Δασών». Τα όρια της αστικής γης που προέκυψαν από το οικοσκόπιο ελέγχθηκαν και διορθώθηκαν από το ΓΠΣ του 2005 (σχέδια επεκτάσεων της πόλης της Καρδίτσας) και τους ορθοφωτοχάρτες της Κτηματολόγιο Α.Ε.

Εικόνα 5.1: Μεταβολές αστικής κάλυψης για τα έτη 1985, 1990, 2000 και 2007



Πηγή: Δεδομένα δορυφόρου Landsat, ΓΠΣ 1989, το Corine Land, οικοσκόπιο, ΓΠΣ 2005, ορθοφωτοχάρτες Κτηματολόγιο ΑΕ, ιδία επεξεργασία

Οι τέσσερις εικόνες αποτελούνται από δύο κλάσεις, η μία περιλαμβάνει τα εικονοστοιχεία που απεικονίζουν αστικές χρήσεις και η άλλη περιλαμβάνει τα εικονοστοιχεία που αναφέρονται σε άλλου είδους χρήση (αγροτική γη).

Αυτά τα δεδομένα είναι ίσως τα βασικότερα που χρησιμοποιεί το μοντέλο, κυρίως διότι η απεικόνιση της δομημένης γης μεταφράζεται στο μοντέλο ως η μονάδα μέτρησης που θα χρησιμοποιηθεί για την πρόβλεψη της διάχυσης (Νικολάου, 2012).

Από τις εικόνες φαίνεται ότι δεν υπήρξε ιδιαίτερη αύξηση της αστικής γης με την πάροδο των χρόνων. Το τμήμα που αναπτύχθηκε περισσότερο είναι το νοτιοδυτικό. Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζονται αναλυτικά οι επιφάνειες του αστικού ιστού στις τέσσερις χρονολογίες καθώς επίσης και η μεταβολή τους.

Πίνακας 5.1: Χρονική μεταβολή του αστικού ιστού

Έτη	1985	1990	2000	2007
Επιφάνεια αστικού σε στρέμματα	6.173,99	7.399,38	7.979,29	8.359,59
Μεταβολή Επιφάνειας		20%	8%	5%

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Μεγαλύτερη μεταβολή παρατηρείται τα έτη 1985- 1990 της τάξης του 20%, από το 1990 και μετά η εξάπλωση του αστικού ακολουθεί μια ομαλή πορεία με ποσοστό χαμηλότερο του 10%. Το μεγάλο ποσοστό που εμφανίζεται από το 1985 πιθανότατα οφείλεται στην Ε.Π.Α, όπου ξεκίνησαν και οι επεκτάσεις του σχεδίου πόλης.

Το πρόβλημα που παρουσιάζεται στη συγκεκριμένη φάση είναι ότι επειδή τα δεδομένα είναι αποτέλεσμα δορυφορικών εικόνων υπάρχουν αποκλίσεις όπως η καταγραφή φαινομένων αυθαίρετης δόμησης. Ωστόσο, θα πρέπει να σημειωθεί ότι δεν είναι εφικτό μέσω της παρούσας ανάλυσης να χαρακτηριστεί πλήρως η αστική ανάπτυξη της περιοχής μελέτης, λόγω της πολυπλοκότητας που εμφανίζει το φαινόμενο της αστικοποίησης. Πρόκειται για μια πολύπλοκη διαδικασία κατά την οποία εμπλέκεται πληθώρα μεταβλητών που απαιτεί μια μεγάλη βάση χωροχρονικών δεδομένων για την ορθότερη περιγραφή του φαινομένου (Ρετσιλίδου, 2010).

### 5.1.2 ΚΑΛΥΨΕΙΣ ΓΗΣ (LANDUSE)

Οι καλύψεις γης συμβάλουν 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. Στην περιοχή μελέτης υπάρχουν δύο είδη καλύψεων γης, το αστικό και η αγροτική γη. Για τη λειτουργία του μοντέλου απαιτούνται τουλάχιστον δύο χρονιές καλύψεων γης, επομένως τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι οι καλύψεις γης του Corine για το έτος 2000 και οι καλύψεις γης του οικοσκόπιου για το έτος 2007. Δεν χρησιμοποιήθηκε το Corine για το 1990, διότι η τελευταία χρονιά της αστικής γης είναι απαραίτητο να συμπίπτει με την τελευταία χρονιά των καλύψεων γης και του οδικού.

Στις παρακάτω εικόνες απεικονίζονται οι καλύψεις γης της περιοχής μελέτης, το κόκκινο είναι η αστική γη και το κίτρινο η αγροτική γη.

Εικόνα 5.2: Καλύψεις γης 2000



Πηγή: Corine, 2000, ίδια επεξεργασία

Εικόνα 5.3: Καλύψεις γης 2007



Πηγή: Οικοσκόπιο, 2007, ίδια επεξεργασία

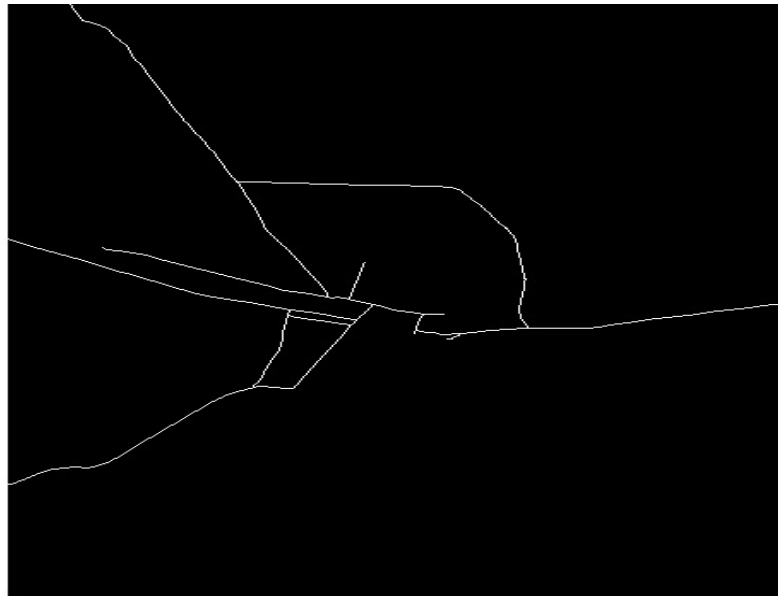
Η διαχρονική ανάλυση που βασίζεται σε δεδομένα όπως το Corine, το οποίο έχει μια ευρεία κλίμακα παρουσιάζει δυσκολίες, αποτελεί όμως τη μοναδική καταγραφή που έχει γίνει. Το βασικό μεθοδολογικό πρόβλημα που παρουσιάζει είναι η σύγχυση των σφαλμάτων με των αλλαγών χρήσεων κατά την καταγραφή (Σταθάκης κ.α, 2008).

### 5.1.3 ΟΔΙΚΟ ΔΙΚΤΥΟ (TRANSPORTATION)

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν οι υποδομές οδικών μεταφορών, που δύναται να επηρεάσουν την δόμηση, προσελκύντάς την (παρόδια δόμηση) (Νικολάου, 2012). Σχετικά με το οδικό δίκτυο, το μοντέλο SLEUTH απαιτεί το οδικό δίκτυο τουλάχιστον δύο από τις τέσσερις χρονολογίες δεδομένων και επίσης η τελευταία χρονιά να είναι ίδια με την τελευταία των καλύψεων γης και του αστικού, και γι αυτό επιλέχθηκαν οι χρονολογίες 1998 και 2007. Η πιο ουσιαστική διαφορά μεταξύ των δύο χρονολογιών είναι η επέκταση της περιφερειακής οδού στο νοτιοδυτικό τμήμα της πόλης, η οποία όπως είναι φυσικό αύξησε τη δόμηση κατά μεγάλο βαθμό σε εκείνο το τμήμα.

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι χάρτες του OpenStreetMap για το 2007 και Σχέδια Μελέτης Οδικού Δικτύου της Πολεοδομίας του Δήμου Καρδίτσας του 1998. Τα τμήματα του οδικού που ψηφιοποιήθηκαν περιέχουν τον περιφερειακό μαζί με τα οδικά δίκτυα υψηλής ταχύτητας καθώς επίσης και ορισμένα τμήματα αστικού οδικού δικτύου. Τα διανυσματικά δεδομένα μετατράπηκαν σε ψηφιδωτή δυαδική μορφή (οδικό δίκτυο/μη οδικό δίκτυο), με τιμή 0 για εικονοστοιχεία που δεν αποτελούν οδικό δίκτυο και 255 για τα εικονοστοιχεία του οδικού δικτύου.

Εικόνα 5.4 : Οδικό δίκτυο 1998



Πηγή: *Ιδία επεξεργασία, Μελέτη Οδικού Δικτύου της Πολεοδομίας του Δήμου Καρδίτσας*

Εικόνα 5.5: Οδικό δίκτυο 2007



Πηγή: *Ιδία επεξεργασία, OpenStreetMap*

#### 5.1.4 ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΑΠΟΚΛΕΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΔΟΜΗΣΗΣ (EXCLUDED)

Ένα ακόμη από τα απαιτούμενα δεδομένα ήταν η πληροφορία σχετικά με τις περιοχές αποκλεισμού της αστικής επέκτασης. Αυτές αφορούν περιοχές που αντιστέκονται στην αστικοποίηση όπως προστατευόμενες περιοχές, πάρκα, υδάτινες περιοχές, αρχαιολογικοί χώροι, χώροι ιδιαίτερης σημασίας κ.ο.κ. Η δυσκολία που αντιμετωπίστηκε στο σημείο αυτό είναι ότι στην περιοχή μελέτης δεν υπάρχουν αρχαιολογικοί χώροι και περιοχές προστασίας, ούτε τα ΓΠΣ ορίζουν Περιοχές Ειδικής Προστασίας, επομένως ως περιοχές αποκλεισμού ορίστηκαν, το πάρκο Πανσίλυπο, το αθλητικό πάρκο Παλέρμο, το μεγάλο αθλητικό πάρκο που βρίσκεται στην ανατολική έξοδο της πόλης καθώς και η 10 μέτρων ζώνη απαγόρευσης της δόμησης του ποταμού Καλέντζη (Κτιριοδομικός Κανονισμός, 1989). Ο Καλέντζης ποταμός είναι ο βασικότερος του Δήμου Καρδίτσας. Η πορεία του ξεκινά από τα νότια του δήμου Καλλιφωνίου και με διεύθυνση βόρεια διέρχεται από τα όρια της πόλης της Καρδίτσας για να ενωθεί με τον ποταμό Παλιούρη. Η λεκάνη απορροής του είναι η λεκάνη Μέγα ΙΙ, η οποία αποτελεί υπολεκάνη του Πηνειού Ποταμού (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Καρδίτσας για την περίοδο 2007 – 2010).

Τα διανυσματικά δεδομένα μετά την ψηφιοποίηση μετατράπηκαν σε ψηφιδωτή δυαδική μορφή (περιοχές απαγόρευσης/μη), με τιμή 0 για εικονοστοιχεία που δεν αποτελούν περιοχές αποκλεισμού της δόμησης και μέχρι την τιμή 100 για τα εικονοστοιχεία που απαγορεύεται η δόμηση.

Εικόνα 5.6: Περιοχές αποκλεισμού της δόμησης



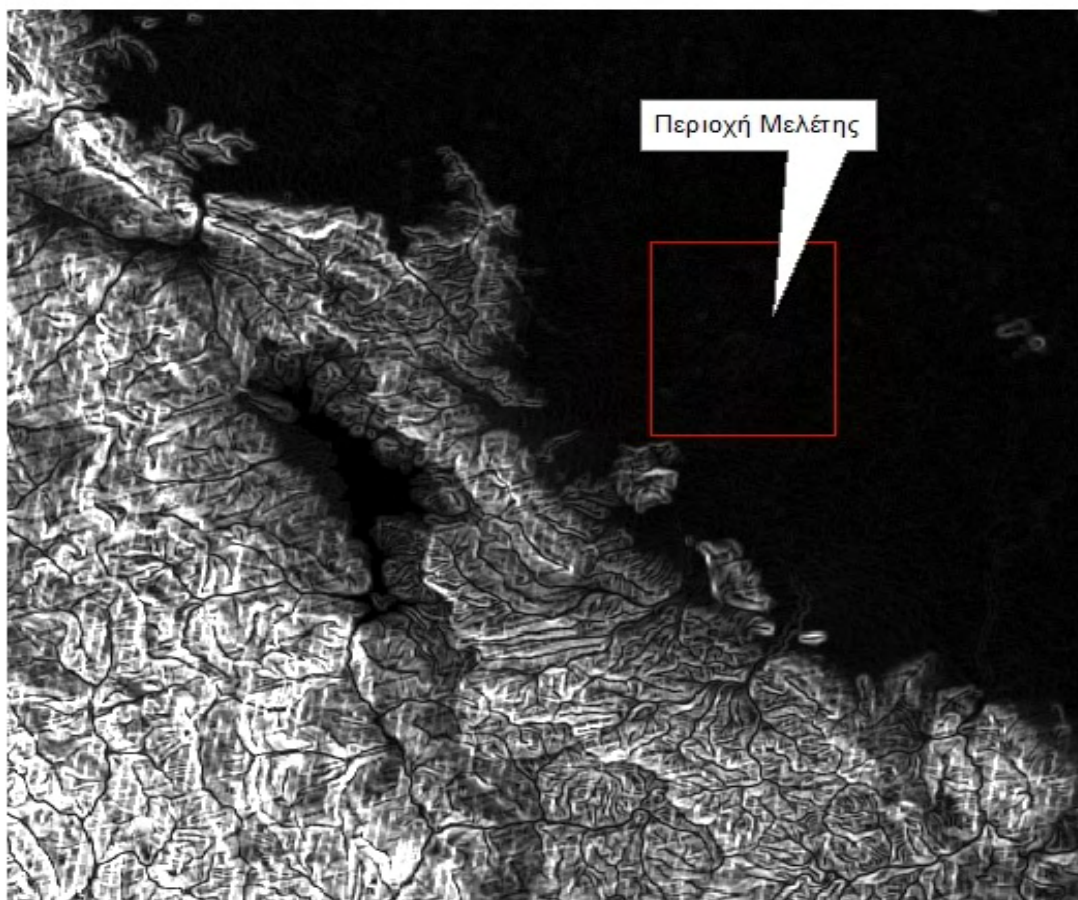
Πηγή: Ιδία επεξεργασία, Κτιριοδομικός Κανονισμός, OpenStreetMap



### 5.1.5 ΚΛΙΣΕΙΣ ΕΔΑΦΟΥΣ (SLOPE)

Ο υπολογισμός των κλίσεων έγινε με βάση το αρχείο των υψομετρικών καμπύλων (DEM). Ανάλογα με το αν το ποσοστό είναι μεγάλο ή μικρό, επηρεάζεται και η δόμηση. Όπως φαίνεται και στην εικόνα η περιοχή μελέτης δεν παρουσιάζει έντονες κλίσεις γης, με μεγαλύτερο ποσοστό 5,7%. Το εύρος των τιμών των εικονοστοιχείων που επιτρέπεται είναι όπως και στην προηγούμενη περίπτωση 0- 100.

Εικόνα 5.7: Κλίσεις εδάφους ευρύτερης περιοχής Δήμου Καρδίτσας



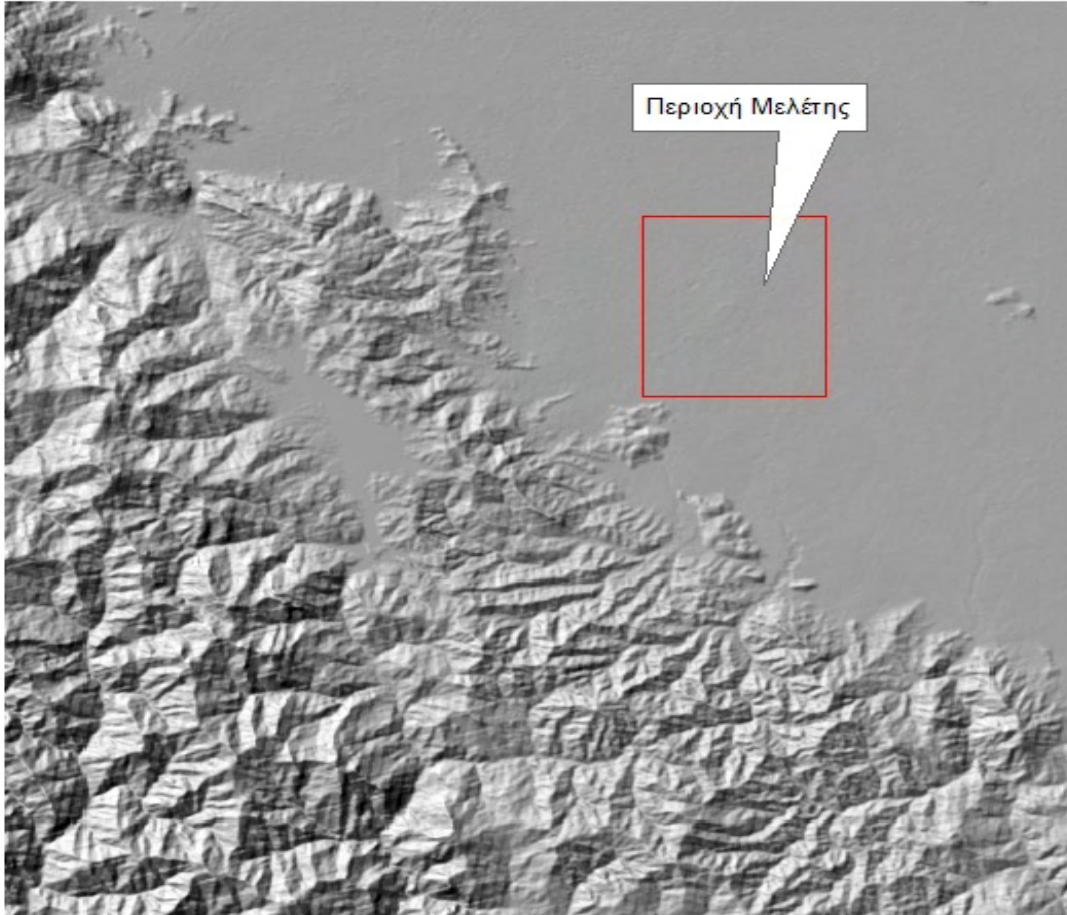
Πηγή: Ιδία επεξεργασία

### 5.1.6 ΑΝΑΓΛΥΦΟ (HILLSHADE)

Το ανάγλυφο για την περιοχή μελέτης προέκυψε από το αρχείο των υψομετρικών καμπύλων σε περιβάλλον GIS. Όπως και στην προηγούμενη περίπτωση έτσι και σε αυτή δεν παρατηρούνται έντονες μεταβολές στο ανάγλυφο της περιοχής μελέτης με

χαμηλότερη τιμή 170 και υψηλότερη 190. Το εύρος των τιμών των εικονοστοιχείων που επιτρέπεται είναι όπως και στην προηγούμενη περίπτωση 0- 255.

Εικόνα 5.8: Κλίσεις εδάφους ευρύτερης περιοχής Δήμου Καρδίτσας



Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

## 5.2 ΜΕΤΑΓΛΩΤΤΙΣΗ (COMPILATION)

Η έκδοση του μοντέλου SLEUTH που χρησιμοποιήθηκε είναι η πιο πρόσφατη, που σε αντίθεση με τις παλαιότερες εκδόσεις η συγκεκριμένη χρησιμοποιεί και τις χρήσεις γης, εξάγοντας πιο σωστά αποτελέσματα. Η έκδοση αυτή του SLEUTH απαιτεί περιβάλλον UNIX ή Linux για να λειτουργήσει.

Η λειτουργία του SLEUTH γίνεται μέσω της γλώσσα προγραμματισμού C. Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι απαραίτητη είναι η γνώση ενός συνόλου εντολών που είναι αναγκαίες τόσο για τη μεταγλώττιση όσο και για τη βαθμονόμηση του μοντέλου.

Κατά την διαδικασία της μεταγλώττισης, με χρήση συγκεκριμένων εντολών, γίνεται η μετάφραση του πηγαίου κώδικα (source code) που χρησιμοποιεί το SLEUTH.

### 5.3 ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗ (CALIBRATION)

Αμέσως μετά τη διαδικασία της μεταγλώττισης ακολουθεί η βαθμονόμηση του μοντέλου. Η συγκεκριμένη διαδικασία είναι η σημαντικότερη, αφού τα αποτελέσματά του τελευταίου σταδίου της είναι που θα χρησιμοποιηθούν στο σενάριο της πρόβλεψης. Η διαδικασία της βαθμονόμησης ξεκινά για τα πιο παρελθοντικά δεδομένα και δημιουργούνται κύκλοι ανάπτυξης. Εκτιμάται ότι ένας κύκλος ανάπτυξης αντιπροσωπεύει ένα έτος (Ρετσιλίδου, 2010).

Η βαθμονόμηση περιλαμβάνει ένα μεγάλο αριθμός συνδυαστικών τιμών παραμέτρων που δοκιμάζονται αυτόματα και ο χρήστης αξιολογεί τα αποτελέσματα, εντοπίζοντας τις βέλτιστες τιμές παραμέτρων μέσω της χρήσης κατάλληλων στατιστικών. Η επιλογή των κατάλληλων τιμών προσαρμογής είναι σημαντική, δεδομένου ότι καθορίζουν το πώς το SLEUTH θα προσομοιώνει τα αστικά πρότυπα και πώς θα δημιουργηθεί η πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης (Jantz, 2009).

Για την επίτευξη της βαθμονόμησης, μπορούν να πραγματοποιηθούν δύο διαφορετικές διαδικασίες. Η ρύθμιση του εύρους των μεταβλητών γίνεται μέσω ενός παραγόμενου αρχείου το οποίο μετά από έλεγχο δείχνει τις μεταβολές των παραπάνω μεταβλητών μέσα από στατιστικές. Μία από τις μεθόδους για την ρύθμιση των μεταβλητών είναι η 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. Οι δύο αυτές μέθοδοι μπορούν να καθορίσουν τις βέλτιστες τιμές για τη διαδικασία της πρόβλεψης (prediction best fit) έπειτα από πολλαπλούς ελέγχους (Νικολάου, 2012). Στην παρούσα εργασία εφαρμόστηκε διαλογή τιμών μόνο από το δείκτη Lee Salle. Πρόκειται για ένα για ένα χωρικό δείκτη σχήματος, μια μέτρηση της χωρικής προσαρμογής μεταξύ της αστικής επέκτασης που προσομοιώνει το μοντέλο και της γνωστής αστικής επέκτασης για τα έτη ελέγχου (Γιώτη, 2012). Η τιμή 1 αντιπροσωπεύει την απόλυτη χωρική προσαρμογή, το τέλειο

ταίρι μεταξύ προσομοιωμένης και πραγματικής αστικής έκτασης ενώ το 0 αντιπροσωπεύει χωρική αποσύνδεση ή μη χωρική συσχέτιση (Ρετσιλίδου, 2010). Η Lee Sallee είναι το μόνο μέγεθος που υπολογίζει ειδικά τη χωρική προσαρμογή. Το SLEUTH υπολογίζει το δείκτη Lee Sallee από την αναλογία της τομής και της ένωσης των πραγματικών και προσομοιωμένων αστικών περιοχών (Jantz κ.α, 2003). Τα αποτελέσματα της μέτρησης Lee Sallee ταξινομήθηκαν κατά φθίνουσα σειρά, ώστε να επιλεγθούν οι τρεις καλύτερες τιμές της μέτρησης. Χρησιμοποιώντας έτσι τη μέθοδο αυτή και εφαρμόζοντας τη βαθμονόμηση, τίθεται ένα εύρος τιμών για κάθε μεταβλητή, και μετά από κάθε βαθμονόμηση το εύρος αυτό μειώνεται σε κάθε επόμενη φάση ώστε να βρεθεί η βέλτιστη τιμή.

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 των μεταβλητών. Οι επαναλήψεις γίνονται αργότερα για να επιτευχθεί η ακρίβεια στις τιμές (Νικολάου, 2012).

Βασικό βήμα πριν την εκτέλεση του μοντέλου είναι η επεξεργασία των σεναρίων τόσο της βαθμονόμησης όσο και της πρόβλεψης. Τα σενάρια αυτά καθοδηγούν το πρόγραμμα ώστε να παρουσιάσει τα αποτελέσματα της αστικής επέκτασης. Για να λειτουργήσουν τα σενάρια πρέπει πρώτα να επεξεργαστούν και να προσαρμοστούν στα δεδομένα της περιοχής μελέτης. Για την επεξεργασία τους απαιτείται ένα πρόγραμμα επεξεργασίας για αρχεία γραμμένα στην γλώσσα C. Τα βασικά στοιχεία του σεναρίου που έπρεπε να αλλάξουν είναι η θέση και το όνομα του σεναρίου, η θέση των εικόνων εισαγωγής και εξαγωγής (καθορισμός του φακέλου που θα διαβάζει τα δεδομένα), τα ονόματα των εικόνων που θα εισαχθούν και τέλος ανάλογα με τη διαδικασία ορίζονται και οι επαναλήψεις για την προσομοίωση Monte Carlo καθώς επίσης και ορισμένες μεταβλητές που την επηρεάζουν. Η μέθοδος Monte Carlo αφορά μια κατηγορία υπολογιστικών αλγορίθμων, οι οποίοι βασίζονται σε επαναλαμβανόμενη δειγματοληψία για τον υπολογισμό των αποτελεσμάτων τους. Η μέθοδος αυτή ανακαλύφθηκε το 1940 και προέκυψε στις εργασίες του Neumann, Ulam και Metropolis (Νικολάου και Σταθάκης, 2012). Για κάθε σύνολο τιμών των παραμέτρων σε μία επανάληψη Monte Carlo, το μοντέλο υπολογίζει τις μετρήσεις της προσομοίωσης των αστικών προτύπων

για κάθε χρονοσειρά (Jantz κ.α, 2003). Στις μεταβλητές αυτές που παράγονται κατά τη βαθμονόμηση δόθηκε ιδιαίτερη σημασία, αφού αφορούν τόσο την εξέλιξη της βαθμονόμησης όσο και το στάδιο της πρόβλεψης.

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 (Νικολάου, 2012).

Οι 5 μεταβλητές που ουσιαστικά καθοδηγούν με τις τιμές τους τη λειτουργία των CA και του SLEUTH για την πρόβλεψη, είναι (Νικολάου, 2012, [www.ncia.ucsb.edu](http://www.ncia.ucsb.edu)):

- **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.

Εν συνεχεία, κρίθηκε απαραίτητο να αναπτυχθεί ένα βασικό σενάριο εργασίας για την προσομοίωση του χωρικού πρότυπου της αστικής ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης. Το σενάριο αυτό είναι η ελεύθερη αστική εξάπλωση χωρίς κανένα περιορισμό (διατηρώντας τη δυναμική του παρατηρούμενου χωρικού προτύπου από το έτος 1985 έως το 2007). Έτσι, η μελλοντική αστική ανάπτυξη θα εξελιχθεί με έναν παρόμοιο τρόπο με αυτό που είχε συμβεί στο παρελθόν.



Αφού γίνουν οι απαραίτητες αλλαγές στο σενάριο της βαθμονόμησης, έτρεξε το μοντέλο με επαναλήψεις Monte Carlo 5 και τιμές 0, 25 και 100 για όλες τις μεταβλητές (Start, Step, Stop). Από το φάκελο των εξαγόμενων αρχείων χρησιμοποιήθηκε το αρχείο με τα στατιστικά στοιχεία και τις τιμές της Leesalee για τη διόρθωση των πέντε μεταβλητών. Έπειτα, έγινε ταξινόμηση του δείκτη Leesalee από το μεγαλύτερο στο μικρότερο. Για τις τρεις μεγαλύτερες τιμές τις Leesalee εξάγονται η μικρότερη και η μεγαλύτερη, οι οποίες τοποθετούνται ως Start και Stop τιμές αντίστοιχα για την επόμενη φάση της βαθμονόμησης. Επιπλέον, ως τιμή Step τοποθετείται ένας αριθμός ο οποίος προκύπτει από την διαφορά μεταξύ της Start και Stop τιμής, διά ενός αριθμού μεταξύ 4-6 (www.ncia.ucsb.edu). Οι καινούριες μεταβλητές που προκύπτουν έχουν τις παρακάτω τιμές.

Πίνακας 5.2: Μεταβλητές 2ης φάσης βαθμονόμησης

	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
Start	0	0	0	25	0
Stop	20	25	25	100	50
Step	5	5	5	15	10

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Αντικαθιστώντας τις παλιές τιμές με αυτές του πίνακα και με αριθμό επαναλήψεων Monte Carlo 8 επαναλαμβάνεται η διαδικασία. Τα αποτελέσματα των νέων τιμών παρουσιάζονται στον επόμενο πίνακα.

Πίνακας 5.3: Μεταβλητές 3ης φάσης βαθμονόμησης

	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
Start	1	1	7	25	0
Stop	5	5	22	95	30
Step	1	1	3	15	5

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Εκτελώντας για τρίτη φορά τη διαδικασία της βαθμονόμησης με τον ίδιο αριθμό επαναλήψεων της Monte Carlo προκύπτουν οι παρακάτω νέες τιμές. Οι τιμές επιλέχθηκαν για το σενάριο μόνο από την πρώτη σειρά και χρησιμοποιήθηκαν ως Start και Stop, με βήμα 1, για την τελευταία φάση της βαθμονόμησης. Τέλος, οι τιμές Monte



Carlo Iterations ορίζονται σε 10 και το σενάριο διαμορφώνεται ανάλογα προκειμένου να παραχθούν οι μέσες τιμές.

Πίνακας 5.4: Μεταβλητές 4ης φάσης βαθμονόμησης

	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
Start	1	1	20	25	30
Stop	1	1	20	25	30
Step	1	1	1	1	1

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Από το προηγούμενο σενάριο γίνεται εξαγωγή των βέλτιστων τιμών που θα χρησιμοποιηθούν στο σενάριο της πρόβλεψης.

Πίνακας 5.5: Βέλτιστες τιμές μεταβλητών της πρόβλεψης της μεθόδου Lee-Salee στρογγυλοποιημένες ως προς τη μονάδα

	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav
Coefficient values used to predict growth	1 (1.06)	20 (19.93)	1 (1.06)	34 (34.47)	3 (3.16)

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

#### 5.4 ΠΡΟΒΛΕΨΗ (PREDICTION)

Μετά το τελευταίο βήμα της βαθμονόμησης, ακολούθησε η διαδικασία της πρόβλεψης, χρησιμοποιώντας ως Start και Stop τις τιμές του παραπάνω πίνακα, 1 βήμα προσαύξησης και 100 επαναλήψεις Monte Carlo για την εκτέλεση της προσομοίωσης της αστικής εξάπλωσης. Το μοντέλο της πρόβλεψης εφαρμόστηκε για τα έτη 2008-2021, εφόσον τα τελευταία δεδομένα εισαγωγής ήταν του έτους 2007. Ο λόγος που δεν έγινε επιλογή περισσότερων ετών είναι ότι όσο αυξάνεται το εύρος μειώνεται η αξιοπιστία και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Αυτό συμβαίνει διότι όσο αυξάνονται τα χρόνια πρόβλεψης, τόσο πιο ανακριβής ενδέχεται να είναι η προβολή και επίσης υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να επηρεάσουν τη γεννητικότητα και την θνησιμότητα- φαινόμενα οικονομικής κρίσης (Νικολάου, 2012).

Επιπλέον, ο χρήστης του μοντέλου μπορεί να πραγματοποιήσει και άλλες αλλαγές στο σενάριο της πρόβλεψης που αφορούν τα χρώματα των καλύψεων γης, τα χρώματα της

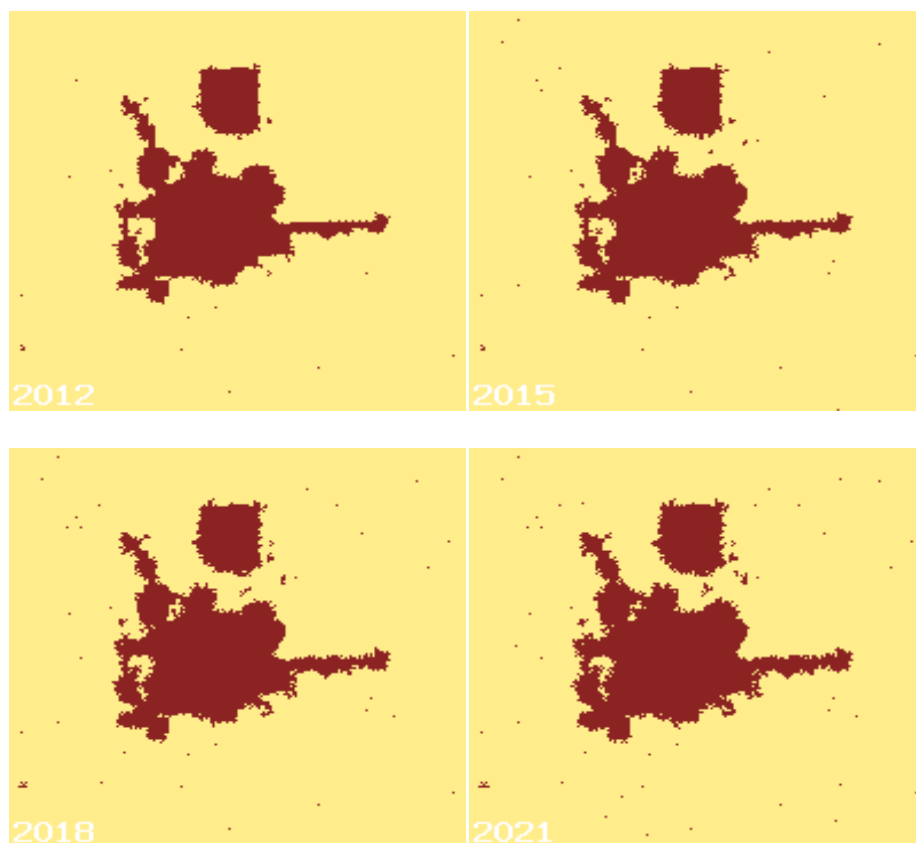
αστικής διάχυσης βασισμένα στην πιθανότητα αστικής διάχυσης, την ευαισθησία του μοντέλου στην κλίση εδάφους, τα επίπεδα γήρανσης, το είδος των στατιστικών στοιχείων κλπ.

#### 5.4.1 ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Στο σημείο αυτό, αφού έτρεξε το μοντέλο της πρόβλεψης δημιουργήθηκαν χάρτες πρόβλεψης για την περιοχή μελέτης έως το 2021. Αναλυτικότερα τα δεδομένα εξαγωγής του σεναρίου της πρόβλεψης είναι δύο ειδών, αρχεία εικόνων τύπου gif που είναι όλα στην ίδια ανάλυση (200\*200) και πυκνότητα εικονοστοιχείων με τις εικόνες εισαγωγής και στατιστικά αρχεία. Όσον αφορά τα αρχεία εικόνων, στο φάκελο δεδομένων εξόδου του σεναρίου της πρόβλεψης δημιουργήθηκαν 14 εικόνες που απεικονίζουν την κάλυψη γης για κάθε χρονικό βήμα (ανά έτος) από το 2008 έως το 2021. Τα χρώματα της κάλυψης γης καθορίστηκαν στο σενάριο της πρόβλεψης. Με κόκκινο χρώμα ορίστηκε η αστική γη και με απαλό κίτρινο η αραιή βλάστηση και οι αγροτικές περιοχές. Οι εικόνες δείχνουν τη σχέση των καλύψεων γης για κάθε χρονικό βήμα που έχει τεθεί (1 έτος στην προκειμένη δηλαδή) έως το 2021.

Παρακάτω παρουσιάζονται 4 εικόνες που απεικονίζουν τις καλύψεις γης για τα έτη πρόβλεψης 2012, 2015, 2018 και 2021. Για την επεξεργασία των εικόνων εξαγωγής θεωρήθηκε απαραίτητος ο προσδιορισμός του προβολικού συστήματος ΕΓΣΑ 87. Από τις 4 εικόνες παρατηρείται πιο έντονη εξάπλωση του αστικού στο νοτιοδυτικό τμήμα της πόλης (έντονη επιρροή της περιφερειακής οδού), ενώ η αστική γη στην περιοχή της Καρδίτσομαγούλας δεν έχει αυξηθεί ιδιαίτερα. Εξάπλωση επίσης παρατηρείται και στο ανατολικό τμήμα της Καρδίτσας κατά μήκος του οδικού άξονα.

Εικόνα 5.9: Καλύψεις γης για τα έτη πρόβλεψης 2012, 2015, 2018, 2021



Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Στον παρακάτω πίνακα παρατίθεται η πιθανολογική έκταση σε στρέμματα που καταλαμβάνει η αστική ανάπτυξη που προβλέπεται από το μοντέλο για το 2021.

Πίνακας 5.6: Ποσοτικοποίηση αποτελεσμάτων για τα έτη 2012, 2015, 2028 και 2021

Έτη	2012	2015	2018	2021
Επιφάνεια αστικού σε στρέμματα	9.702,52	10.201,91	10.685,44	11.103,32
Μεταβολή Επιφάνειας	-	5%	5%	4%
Μεταβολή Επιφάνειας σε σχέση με το 2007	16%	22%	28%	33%

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Όπως φαίνεται και στον παραπάνω πίνακα το μοντέλο διατήρησε το ήδη υπάρχον μοτίβο αστικής εξάπλωσης, με ένα μικρό ποσοστό ετήσιας αύξησης της τάξης του 5%. Η αύξηση του αστικού από το έτος 2007 έως το 2021 (14 έτη εύρος), σύμφωνα με τα αποτελέσματα του σεναρίου της πρόβλεψης, ανέρχεται στο 33% (2,743.73 στρέμματα αγροτικής γης πρόκειται να αστικοποιηθούν). Το ποσοστό αυτό είναι ιδιαίτερα λογικό συγκρίνοντάς το με την πρόβλεψη της αύξησης του πληθυσμού για το 2021, τις τάσεις αστικής εξάπλωσης καθώς επίσης τις χαμηλές τοπογραφικές κλίσεις της περιοχής και το ομαλό ανάγλυφο που ενδείκνυται για αστική εξάπλωση.

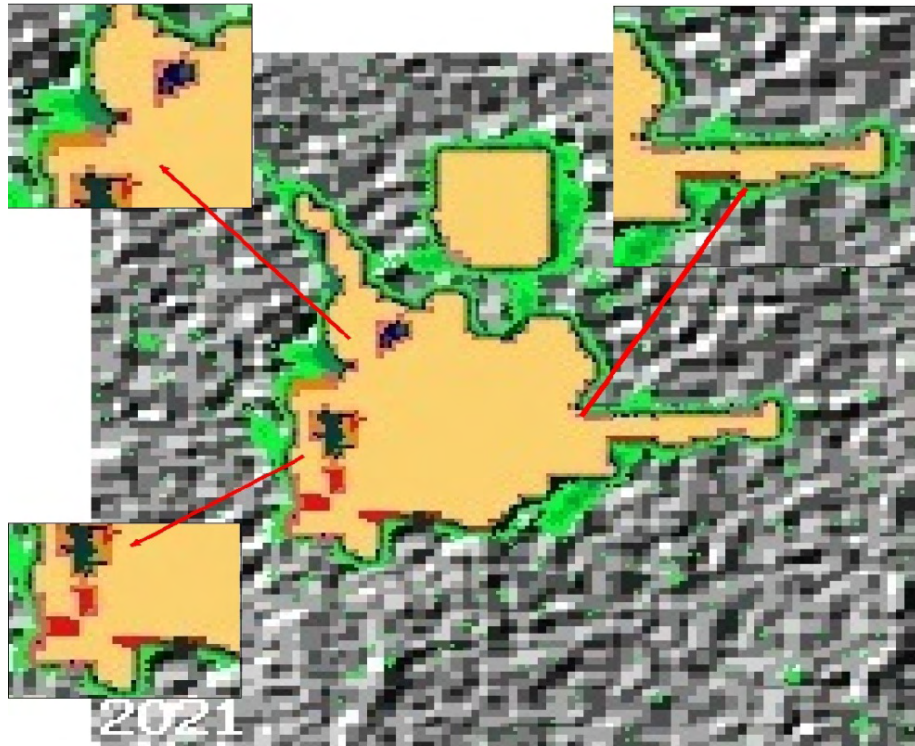
Επιπλέον σχετικά με τα αρχεία εικόνων, δημιουργήθηκε μια εικόνα που απεικονίζει τη μεταβολή της αστικής χρήσης στην περιοχή μελέτης από το 2007 έως το 2021. Το εύρος των τιμών των εικονοστοιχείων κυμαίνεται σύμφωνα με την πιθανότητα αστικής εξάπλωσης στο τελευταίο έτος της πρόβλεψης (2021). Τα χρώματα των πιθανοτήτων απεικονίζονται στον παρακάτω πίνακα. Το εύρος των τιμών της εικόνας κυμαίνεται από 0- 100 σύμφωνα με την πιθανότητα εξάπλωσης που αντιπροσωπεύει κάθε εικονοστοιχείο.

Πίνακας 5.7: Χρώματα πιθανοτήτων αστικής εξάπλωσης στον τελικό χάρτη πρόβλεψης

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

*Πηγή: Ιδία επεξεργασία*

Εικόνα 5.10: Πρόβλεψη αστικής διάχυσης από το 2007 έως το 2021(αρχική κατάσταση, κίτρινο χρώμα)



Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Η παραπάνω εικόνα δείχνει χαρακτηριστικά τη μεγαλύτερη πιθανότητα εξάπλωσης των αστικών χρήσεων γύρω από το οδικό δίκτυο (παρόδια δόμηση). Μεγαλύτερο ποσοστό διάχυσης εμφανίζει (70- 100%), όπως ήταν αναμενόμενο εφόσον δέχεται πιέσεις αστικοποίησης το νοτιοδυτικό τμήμα της πόλης της Καρδίτσας, κυρίως λόγω της περιφερειακής οδού. Η περιοχή περιμετρικά της Καρδίτσομαγούλας παρουσιάζει μικρό ποσοστό (μέχρι 30%), με ένα μικρό κομμάτι στο νότιο τμήμα της, κοντά στην πόλη της Καρδίτσας με ποσοστό 80- 90%.

Ο τελικός χάρτης πιθανοτήτων επεξεργάστηκε σε σχέση με την πιθανότητα αστικής εξάπλωσης και από τα εικονοστοιχεία του ιστογράμματος προέκυψε ο παρακάτω πίνακας με τα ποσοστά του προβλεπόμενου αστικού για το 2021 αναλογικά με την πιθανότητα αστικής εξάπλωσης. Η εικόνα του τελικού σεναρίου ταξινομήθηκε και ποσοτικοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της πρόβλεψης.

Πίνακας 5.8: Επιφάνεια και ποσοστό προβλεπόμενου αστικού σε σχέση με την πιθανότητα διάχυσης

Χρώμα	Επιφάνεια προβλεπόμενου αστικού (στρεμ.)	Ποσοστό προβλεπόμενου αστικού
Κόκκινο	301,83	11%
Ανοιχτό κόκκινο	329,26	12%
Σκούρο πορτοκαλί	301,83	11%
Ανοιχτό πορτοκαλί	27,44	1%
Μπλε	521,34	19%
Πράσινο	1.262,04	46%
Σύνολο	2.743,73	100%

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Εκτός από τα rasters αρχεία, το μοντέλο εξήγαγε και κάποια στατιστικά στοιχεία, τα οποία χρησιμοποιήθηκαν στον υπολογισμό της επιφάνειας του αστικού. Συγκεκριμένα εμπεριέχονται οι μέσες τιμές και διάφορες μεταβλητές που αφορούν την εκτέλεση του μοντέλου όπως οι μεταβλητές “pop” και “area”, που απαριθμούν τα συνολικά αστικά εικονοστοιχεία ανά έτος. Στο ίδιο αρχείο υπάρχουν και μεταβλητές που έχουν να κάνουν με τη γεωγραφία των ΚΑ (edges, clusters κτλ.) και με τα ποσοστά των δεδομένων εισαγωγής (καλύψεις γης, αστική γη, οδικό δίκτυο) στην κάθε εικόνα.

### 5.5 ΕΚΤΙΜΗΣΗ ΤΗΣ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ

Στο συγκεκριμένο υποκεφάλαιο της εργασίας έγινε μια προσπάθεια αποτίμησης της ακρίβειας των αποτελεσμάτων της πρόβλεψης του μοντέλου. Εφόσον το μοντέλο έτρεξε και για χρονιές που έχουν διανυθεί, θα ήταν εφικτό να ελεγχτούν τα αποτελέσματα της πρόβλεψης για ορισμένες από αυτές τις χρονιές.

Μια αρκετά ακριβής και εύκολη μέθοδος είναι ο έλεγχος των αποτελεσμάτων μέσω της εφαρμογής του Google Earth. Το Google Earth διαθέτει εικόνες από το δορυφόρο παρακολούθησης της εφαρμογής Quikbird με χωρική διακριτή ικανότητα 0,6 μέτρα και αφετέρου περιέχει το εργαλείο παρακολούθησης ιστορικών εικόνων με αποτέλεσμα την παρακολούθηση διαχρονικών αλλαγών στο χώρο. Το μειονέκτημα όμως που



παρουσιάζει το συγκεκριμένο εργαλείο είναι ότι δεν εφαρμόζεται σε όλες τις περιοχές. Το πρόβλημα αυτό παρουσιάστηκε και στην περιοχή μελέτης, πιο συγκεκριμένα για την ευρύτερη περιοχή της Καρδίτσας δεν υπάρχουν χρονοσειρές δορυφορικών λήψεων, γεγονός που καθιστά την αποτίμηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων ακόμη πιο δύσκολη. Μια δεύτερη μέθοδος είναι ο έλεγχος των αποτελεσμάτων για το έτος 2009 μέσω ορθοφωτοχαρτών του 2009 της Κτηματολόγιο Α.Ε. Επιπλέον έγινε μία προσπάθεια έλεγχου της μεταβολής του αστικού από το 2009 έως το 2012.

Αρχικά, έγινε ο εντοπισμός των εικονοστοιχείων που μετατράπηκαν από αγροτική σε αστική γη από το έτος 2007 έως το 2009 και αντίστοιχα από το 2009 έως το 2012, έπειτα απομονώθηκαν τα εικονοστοιχεία που σημείωσαν αλλαγή και δημιουργήθηκε ένα πολυγωνικό διανυσματικό αρχείο. Στη συνέχεια στα διανυσματικά αρχεία (2007-2009 και 2009-2012), δημιουργήθηκαν 50 τυχαία σημεία, τα περισσότερα από αυτά παρουσιάζουν πιθανότητα αστικής εξάπλωσης πάνω από 60%. Στο πρώτο στάδιο της αποτίμησης της ακρίβειας έγινε έλεγχος των σημείων σε ορθοφωτοχάρτες της Κτηματολόγιο. Από αυτά τα 50 σημεία τα 3 σύμφωνα με την πρόβλεψη ανήκουν σε αγροτική γη, αλλά στους ορθοφωτοχάρτες ανήκουν σε αστική, τα 6 σύμφωνα με το μοντέλο σε αστική, στους ορθοφωτοχάρτες όμως είναι σε αγροτική, τα 28 και στις δύο περιπτώσεις ανήκουν σε αγροτική γη και τα 13 και στις δύο περιπτώσεις σε αστική γη. Από τα 28 σημεία που ανήκουν σε αγροτική σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου τα 23 από αυτά μεταβάλλονται σε αστική γη από το 2009 έως το 2012.

Στο δεύτερο στάδιο της αποτίμησης της ακρίβειας τα σημεία αυτά θα εξεταστούν κατά πόσο αντιπροσωπεύουν τη σημερινή κατάσταση. Ο καλύτερος δυνατός τρόπος για να επιτευχθεί αυτό εφόσον δεν υπάρχουν έγκυρα δεδομένα (Corine, ορθοφωτοχάρτες) για το 2012 είναι ο επιτόπιος έλεγχος με GPS. Η διαδικασία είναι η εξής, αφού τα σημεία περάστηκαν σε μορφή txt σε GPS ακολούθησε η διαδικασία της χάραξης και η επιτόπια καταγραφή της κατάστασης των σημείων. Τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι ότι 8 σημεία ενώ στο μοντέλο εμφανίζονται ως αστικά στην πραγματικότητα ανήκουν σε αγροτική γη ενώ τα υπόλοιπα 15 ανήκουν και στις δύο περιπτώσεις εντός ορίων του αστικού ιστού. Επομένως από την παραπάνω διαδικασία προκύπτει μία ικανοποιητική ένδειξη της ακρίβειας του μοντέλου της τάξεως του **65,22%**. Το ποσοστό θα μπορούσε

να ήταν μεγαλύτερο αν οι χρονιές που εξετάστηκαν δεν ήταν τόσο κοντινές μεταξύ τους.

Πίνακας 5.9: Επικύρωση των σημείων

Σημεία	X	Y	Κάλυψη γης σύμφωνα με τα αποτελέσματα του μοντέλου	Κάλυψη γης σύμφωνα με τον επιτόπιο έλεγχο
1	320805.501	4360546.783	Αστική γη	Αγροτική γη
2	321751.607	4360316.481	Αστική γη	Αγροτική γη
3	322031.704	4359644.248	Αστική γη	Αγροτική γη
4	323127.194	4358797.733	Αστική γη	Αγροτική γη
5	323189.438	4358859.977	Αστική γη	Αγροτική γη
6	323786.978	4358972.015	Αστική γη	Αγροτική γη
7	319180.939	4358343.353	Αστική γη	Αγροτική γη
8	319498.382	4361835.229	Αστική γη	Αγροτική γη
9	319778.479	4358660.797	Αστική γη	Αστική γη
10	320450.712	4360553.007	Αστική γη	Αστική γη
11	322006.806	4359806.082	Αστική γη	Αστική γη
12	321832.524	4359140.074	Αστική γη	Αστική γη
13	322137.518	4358592.328	Αστική γη	Αστική γη
14	321583.548	4358256.212	Αστική γη	Αστική γη
15	321216.310	4357814.281	Αστική γη	Αστική γη
16	320836.623	4357615.101	Αστική γη	Αστική γη
17	319573.075	4357602.652	Αστική γη	Αστική γη
18	319641.543	4357503.062	Αστική γη	Αστική γη
19	319442.363	4357888.974	Αστική γη	Αστική γη
20	319429.914	4358013.461	Αστική γη	Αστική γη
21	319647.767	4359874.550	Αστική γη	Αστική γη
22	319517.055	4361119.426	Αστική γη	Αστική γη
23	319255.631	4361654.722	Αστική γη	Αστική γη
Ποσοστό ακρίβειας μοντέλου πρόβλεψης				65,22%

Πηγή: Ιδία επεξεργασία

Στον παραπάνω πίνακα παρουσιάζονται τα σημεία που χρησιμοποιήθηκαν για τον επιτόπιο έλεγχο των καλύψεων γης.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ CA-MARKOV

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται μια εναλλακτική μέθοδος μελέτης της εξάπλωσης του αστικού ιστού της πόλης με την εφαρμογή τηλεπισκοπικών δεδομένων και μεθόδων. Στο τέλος της διαδικασίας θα γίνει σύγκριση με το μοντέλο SLEUTH.

Οι ραγδαίες αλλαγές που συντελούνται στο χώρο απαιτούν την έγκαιρη και έγκυρη παρακολούθηση του. Η διαθεσιμότητα δορυφορικών αλλά και αεροφωτογραφιών, σε διάφορες κλίμακες, σε συνδυασμό με την ανάπτυξη μεθόδων τηλεπισκόπησης προσφέρουν ισχυρά εργαλεία με στόχο την χαρτογράφηση των χωρικών φαινομένων στην επιφάνεια της γης καθώς και την παρατήρηση και ερμηνεία των αλλαγών που συντελούνται σ' αυτή, με μικρό σχετικά, κόστος (Μηλιαρέσης, 2003). Οι αστικές περιοχές παρουσιάζουν σήμερα τις περισσότερες και γρηγορότερες αλλαγές σε επίπεδο κάλυψης της γης από οποιαδήποτε άλλη κατηγορία, αν και αποτελούν ένα πολύ χαμηλό ποσοστό ολόκληρης της φυσικής γήινης επιφάνειας. Η καταγραφή τους είναι ένα από τα πιο σχετικά ζητήματα που αφορούν στην αξιολόγηση του αντίκτυπου που έχει η ανθρώπινη δραστηριότητα στο περιβάλλον. Για το σκοπό αυτό, η επιστήμη της τηλεπισκόπησης μπορεί και παρέχει μία γρήγορη και συνοπτική απεικόνιση των αστικών κατηγοριών γης σαν εργαλείο καταγραφής των αλλαγών στο αστικό τοπίο. Η πιο κοινή προσέγγιση της τηλεπισκόπησης στη μελέτη του αστικού περιβάλλοντος είναι η ταξινόμηση των χρήσεων γης και καλύψεων γης (Θέμελης, 2010).

Γενικότερα ο σχεδιασμός χρήσεων γης έρχεται αντιμέτωπος με διάφορα προβλήματα κωδικοποίησης και απογραφής των χρήσεων. Θεμελιώδης είναι η διαφορά μεταξύ χρήσης γης και κάλυψης γης. Η κάλυψη γης αναφέρεται σε αυτό που είναι ορατό στους επίγειους παρατηρητές και από απόσταση (π.χ. τηλεπισκόπηση), ενώ η χρήση γης αναφέρεται και στη δραστηριότητα που αναπτύσσεται σε κάθε περιοχή. Η κάλυψη γης παραπέμπει στη χρήση γης αλλά όχι με απόλυτο και μονοσήμαντο τρόπο (Σταθάκης, 2003). Σε τοπικό επίπεδο όσο και σε εθνικό, οι χάρτες χρήσης/ κάλυψης γης αποτελούν σημαντική πληροφορία, για οποιονδήποτε επιθυμεί να πραγματοποιήσει κάποιο έργο ανάπτυξης (δασικό κτηματολόγιο). Η τεχνολογία στην επιστήμη της χαρτογράφησης έχει αναπτυχθεί σε μεγάλο βαθμό τα τελευταία χρόνια. Με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων και ειδικού λογισμικού, μπορεί πλέον να δημιουργηθούν χάρτες καλύψεων

γης ακόμη και στις πιο δυσπρόσιτες περιοχές. Η μέθοδος χαρτογράφησης που χρησιμοποιείται συνήθως είναι η επιβλεπόμενη ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας.

Το αντικείμενο του συγκεκριμένου κεφαλαίου, είναι η χρήση δορυφορικών δεδομένων σε διάφορες χρονικές περιόδους ώστε να αναλυθεί το φαινόμενο της αστικής διάχυσης της πόλης της Καρδίτσας προκειμένου να εξεταστεί το μέγεθος της αστικής εξάπλωσης της πόλης μελλοντικά με την εφαρμογή του μοντέλου CA- Markov.

## 6.1 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Το επίπεδο ταξινόμησης που θα χρησιμοποιηθεί στη χαρτογράφηση εξαρτάται από την ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης του τελικού χάρτη, το μέγεθος ανάλυσης των πρωτογενών δεδομένων και το επιθυμητό επίπεδο λεπτομέρειας των κλάσεων (Δημητρακόπουλος, 2010).

Η ταξινόμηση των καλύψεων γης που προτείνεται χωρίζεται σε 2 κατηγορίες: αστική γη και μη αστική γη (αρδευόμενη γεωργική γη και γεωργική γη μη αρδευόμενη). Ο αλγόριθμος ταξινόμησης εικονοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκε είναι αυτός της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood).

Η μεθοδολογική αλυσίδα που ακολουθήθηκε περιλαμβάνει τέσσερα βασικά στάδια:

1. Προεπεξεργασία εικόνων
  - 1.1 Σύνθεση εικόνων στα 7 κανάλια του Landsat
  - 1.2 Γεωμετρική Διόρθωση- μεταφορά δορυφορικών εικόνων στο σύστημα ΕΓΣΑ ‘ 87
  - 1.3 Κοπή δορυφορικών εικόνων στην περιοχή μελέτης (ΑΟΙ)
2. Ταξινόμηση
  - 2.1 Ορισμός Φασματικών Υπογραφών
  - 2.2 Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση (Supervised Classification)
  - 2.3 Τεχνικές βελτιστοποίησης των ταξινομήσεων
  - 2.4 Φιλτράρισμα
  - 2.5 Αποτίμηση ακρίβειας
  - 2.6 Στατιστικά στοιχεία- ανάλυση των ταξινομήσεων
3. Μαρκοβιανές Αλυσίδες (εφαρμογή μοντέλου CA- Markov)

#### 4. Συμπεράσματα

### 6.2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ

Η περιοχή μελέτης είναι η πόλη της Καρδίτσας αλλά και η ευρύτερη περιοχή (οι βασικές οδικές αρτηρίες) όπου θα εξεταστούν οι αλλαγές του αστικού στην πάροδο των χρόνων (έτη 1985- 2011). Είναι μεγαλύτερη από την περιοχή μελέτης του μοντέλου SLEUTH, κυρίως για την καλύτερη δειγματοληψία στη διαδικασία της ταξινόμησης (μεγαλύτερη επιφάνεια- περισσότερα δείγματα). Για τη μελέτη της διαχρονικής εξέλιξης του αστικού ιστού χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα μεσαίας χωρικής διακριτικής ικανότητας του δορυφόρου Landsat (<http://glcf.umd.edu/>, <http://earthexplorer.usgs.gov/>, <http://glovis.usgs.gov/>) και αεροφωτογραφίες πολύ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας.

### 6.3 ΔΕΔΟΜΕΝΑ

- ✚ Εικόνες LANDSAT TM και LANDSAT ETM+
- ✚ Οι χάρτες καλύψεων γης του Corine του Ευρωπαϊκού Οργανισμού Περιβάλλοντος που συντάχθηκαν το 1990 και 2000. Χρησιμοποιήθηκαν στη δειγματοληψία της ταξινόμησης καθώς επίσης και στο να οριστούν οι κλάσεις που βρίσκονταν σε περιοχές κάτω από σύννεφα και σκιές όπου δεν ήταν δυνατή η ανάκτηση πληροφορίας.
- ✚ Ορθοφωτοχάρτες του 1999, 2000 και 2009.

Πίνακας 6.1: Διαθέσιμες εικόνες και τα χαρακτηριστικά τους

Πηγή	Έτος Λήψης	Αριθμ. Καναλιών	Διαστάσεις pixel (μ.)
Landsat TM	1985	7	30
Landsat TM	1992	7	30
Landsat ETM+	2000	7	30
Landsat ETM+	2011	7	30
Αεροφωτογραφίες	1999-2000	1	1
Αεροφωτογραφίες	2009	1	1

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

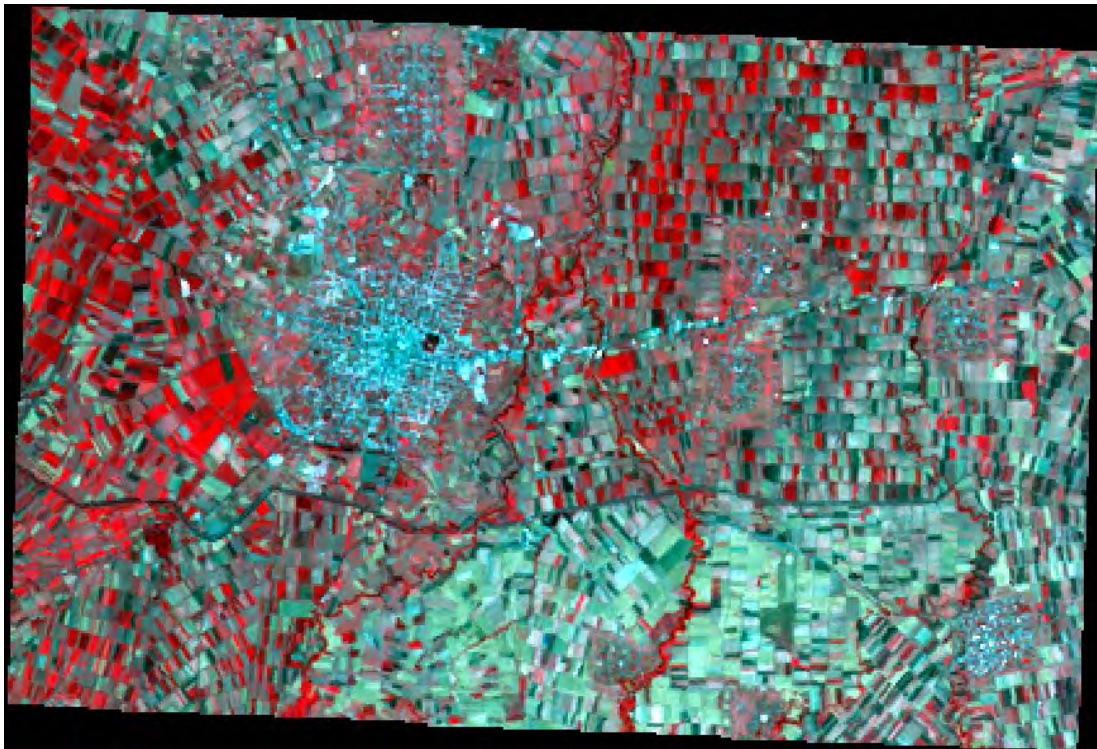


Το προβολικό σύστημα των εικόνων είναι το ΕΓΣΑ 87.

Η λήψη των δορυφορικών εικόνων έγινε τους καλοκαιρινούς μήνες, επομένως είναι αρκετά καθαρές, πράγμα που θα βοηθήσει αργότερα στη διαδικασία της ταξινόμησης και δεν απαιτείται ατμοσφαιρική διόρθωση (χαμηλότερη νέφωση). Το γεγονός αυτό αποτέλεσε τον κύριο λόγο επιλογής τους.

Για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων κρίνεται αναγκαία η σύνθεση τους στα 7 κανάλια του Landsat (Blue-1, Green-2, Red-3, NIR-4, MIR-5, TIR-6, FIR- 7). Τα αποτελέσματα των εικόνων για το έγχρωμο σύνθετο 432 μετά την επεξεργασία (σύνθεση, γεωμετρική διόρθωση και clip στην περιοχή μελέτης) παρουσιάζονται παρακάτω.

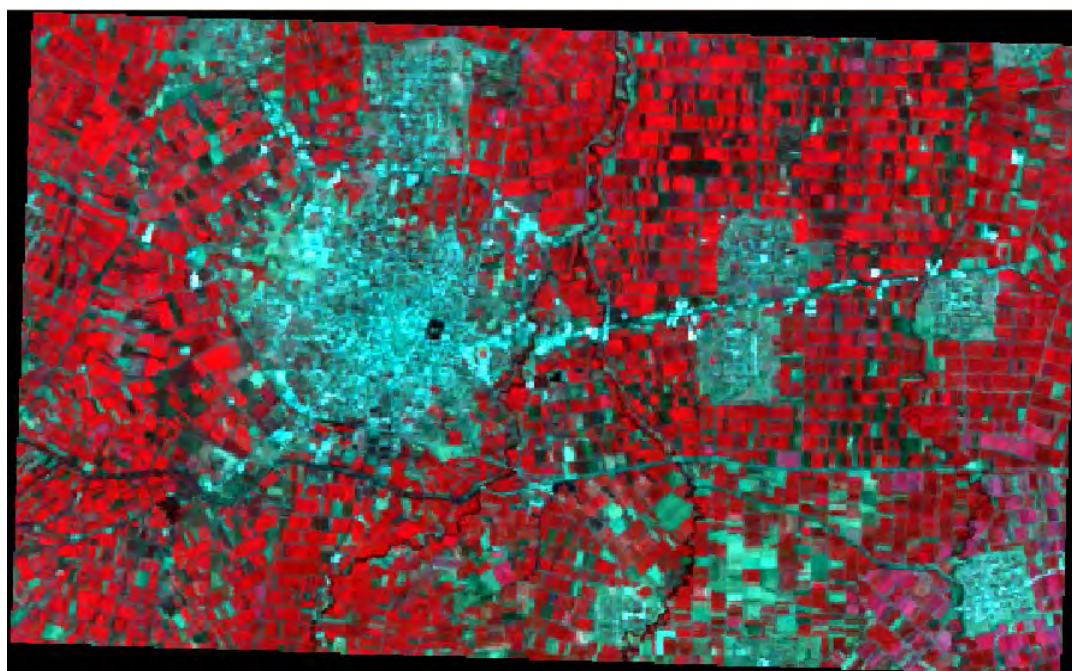
Εικόνα 6.1: Δορυφορική Εικόνα Landsat, 1985



*Πηγή: Ιδία επεξεργασία*

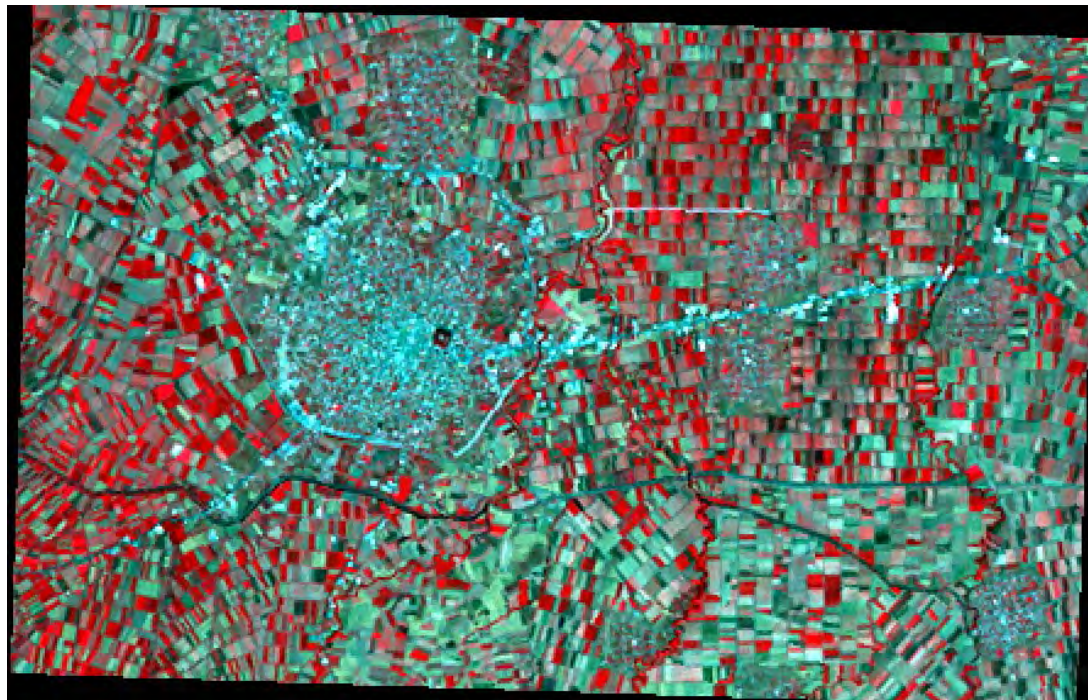


Εικόνα 6.2: Δορυφορική Εικόνα Landsat, 1992



*Πηγή: Ιδία επεξεργασία*

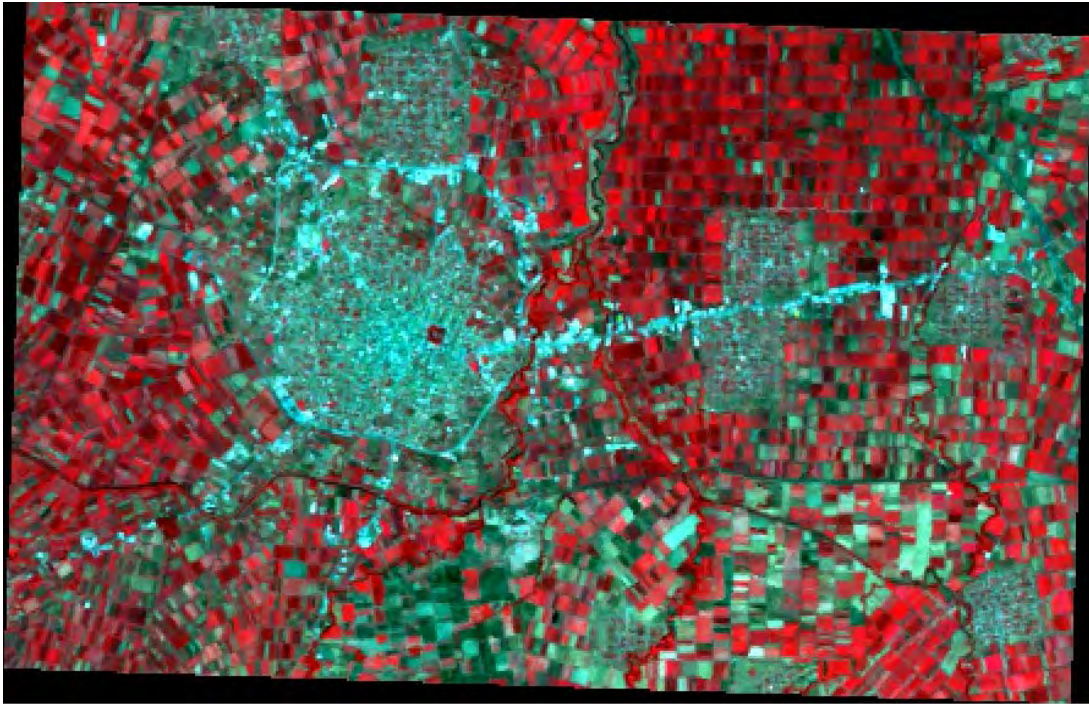
Εικόνα 6.3: Δορυφορική Εικόνα Landsat, 2000



*Πηγή: Ιδία επεξεργασία*



Εικόνα 6.4: Δορυφορική Εικόνα Landsat, 2011



Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

#### 6.4 ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ (SUPERVISED CLASSIFICATION)

Η ταξινόμηση των υπερφασματικών δεδομένων είναι η διαδικασία ταυτοποίησης και καταχώρησης του κάθε pixel της εικόνας σε μία συγκεκριμένη τάξη σύμφωνα με κάποια στατιστικά χαρακτηριστικά των τιμών των εντάσεων του κάθε pixel. Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται στη διαδικασία της ταξινόμησης, η Επιβλεπόμενη (Supervised) και η Μη Επιβλεπόμενη (Unsupervised) ταξινόμηση. Τα ταξινομημένα αποτελέσματα πρέπει να ελέγχονται και να πιστοποιείται η ακρίβεια και η αξιοπιστία τους.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση εικονοστοιχείων είναι περισσότερο εφαρμόσιμη σε περιοχές όπου τα ακραία- μεταβαλλόμενα εικονοστοιχεία της κάθε κλάσης είναι λίγα και γενικά η εικόνα παρουσιάζει κάποια ομοιομορφία ως προς τις καλύψεις γης (Δημητρακόπουλος, 2010). Υπάρχει συχνά φασματική επικάλυψη (spectral overlap) μεταξύ διάφορων κλάσεων, καθιστώντας το έργο της ταξινόμησης ακόμη πιο δύσκολο.

Στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση, υπάρχει μία εκ των προτέρων γνώση για τη χωρική κατανομή των τάξεων στην εικόνα. Υπολογίζονται η μέση τιμή και η τυπική απόκλιση των ψηφιακών τιμών των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε μια εκπαιδευτική περιοχή. Με τον τρόπο αυτό εξάγεται η φασματική υπογραφή της τάξης. Για την αντιστοίχιση των pixel σε κατηγορίες έχουν αναπτυχθεί διάφοροι τρόποι. Μεταξύ άλλων είναι η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood). Η maximum likelihood χρησιμοποιείται περισσότερο από κάθε άλλη μέθοδο ταξινόμησης δίνοντας σε πολλές περιπτώσεις καλό αποτέλεσμα. Στηρίζεται στην παραδοχή ότι οι τιμές των δειγματοληπτικών περιοχών όσο και των κατηγοριών ακολουθούν την κανονική κατανομή, γεγονός που δεν εξακριβώνεται απόλυτα πάντα στην πράξη (Σταθάκης, 2003).

Η διαδικασία της ταξινόμησης περιλαμβάνει δύο μέρη: το πρώτο είναι η δειγματοληψία και καταγραφή των κατηγοριών και δεύτερον η επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Ελήφθησαν τουλάχιστον 20 δείγματα (πολύγωνα) για τις δύο κατηγορίες. Ομογενείς περιοχές στην εικόνα εντοπίζονται και απομονώνονται με ένα σύνολο εικονοστοιχείων που καλείται εκπαιδευτικό δείγμα. Για την επιλογή ενός εκπαιδευτικού δείγματος χρησιμοποιούνται πολύγωνα που καλούνται εκπαιδευτικά πεδία (Δημητρακόπουλος, 2010). Σε κάθε τάξη δίδεται ένα χρώμα ένα όνομα και μία τιμή value. Επίσης θεωρείται σημαντικό τα δείγματα που θα ληφθούν για την κάθε κατηγορία να είναι σωστά κατανεμημένα ώστε να καλύπτουν όλη την περιοχή.

Η επιλογή των δειγμάτων δεν έγινε τυχαία με γυμνό μάτι, χρησιμοποιήθηκαν διάφορα διανυσματικά αρχεία (vector). Στα πλαίσια του Corine, κατασκευάστηκαν δεδομένα κάλυψης εδάφους για το σύνολο του Ελληνικού χώρου και για τις χρονολογίες 1990 και 2000. Έτσι είναι εφικτός ένας συνολικός απολογισμός για τις αλλαγές καλύψεων γης κατά τη διάρκεια της δεκαετίας αυτής και με βάση τα συγκεκριμένα δεδομένα.

Για τα έτη 1985 και 1992 χρησιμοποιήθηκαν τα δεδομένα του Corine 1990 καθώς επίσης και ορθοφωτοχάρτες του 1999. Για το έτος 2000 τα vector δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τη δειγματοληψία των φασματικών υπογραφών ήταν το Corine 2000 και ορθοφωτοχάρτες του 2000. Για το 2011 χρησιμοποιήθηκαν vector δεδομένα

για το έτος 2007 (ταξινόμηση των καλύψεων γης του οικοσκόπιου) και ορθοφωτοχάρτες του 2009 (κτηματολόγιο).

Το ερώτημα αν όντως το Corine μπορεί να αποτελέσει βάση για διαχρονική ανάλυση είναι μάλλον καίριο αν αναλογιστεί κανείς ότι νέες εκδόσεις του αναμένονται στο μέλλον. Συνοπτικά αναφέρεται ότι το βασικό μεθοδολογικό πρόβλημα έγκειται στον εντοπισμό του τί είναι πραγματική αλλαγή και τί εμφανίζεται ως αλλαγή ενώ στην πραγματικότητα είναι σφάλμα (Σταθάκης κ.α, 2008).

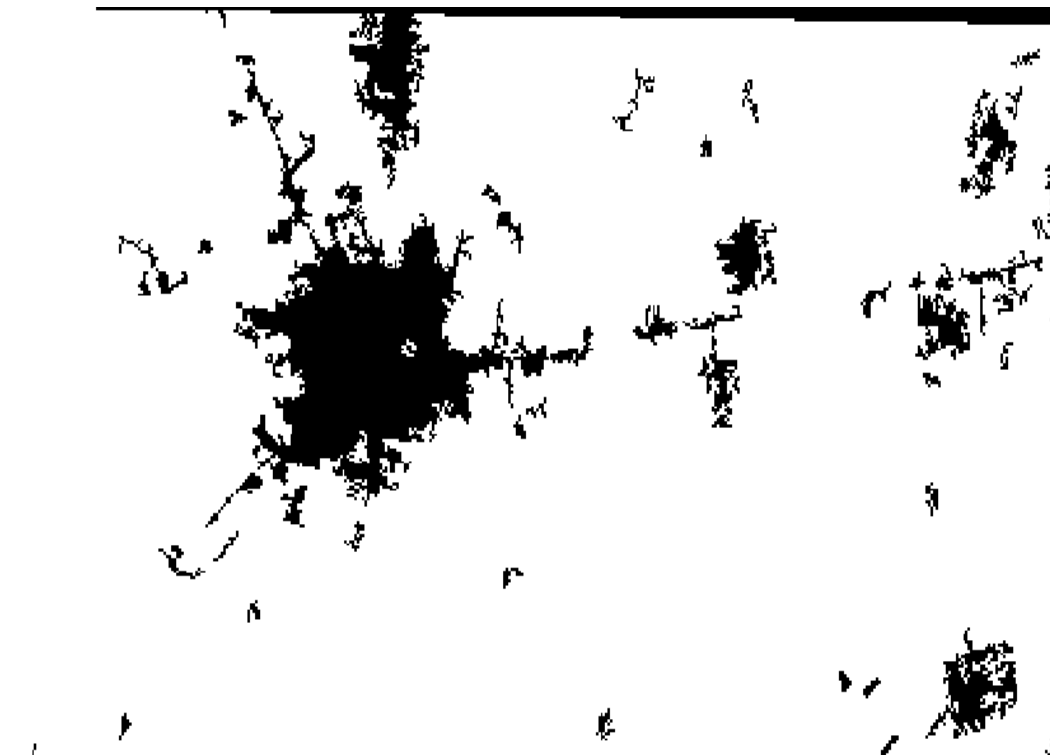
Οι κατηγορίες των φασματικών υπογραφών της ταξινόμησης είναι:

1→ Αστικό

2→ Μη Αστικό (λοιπές χρήσεις)

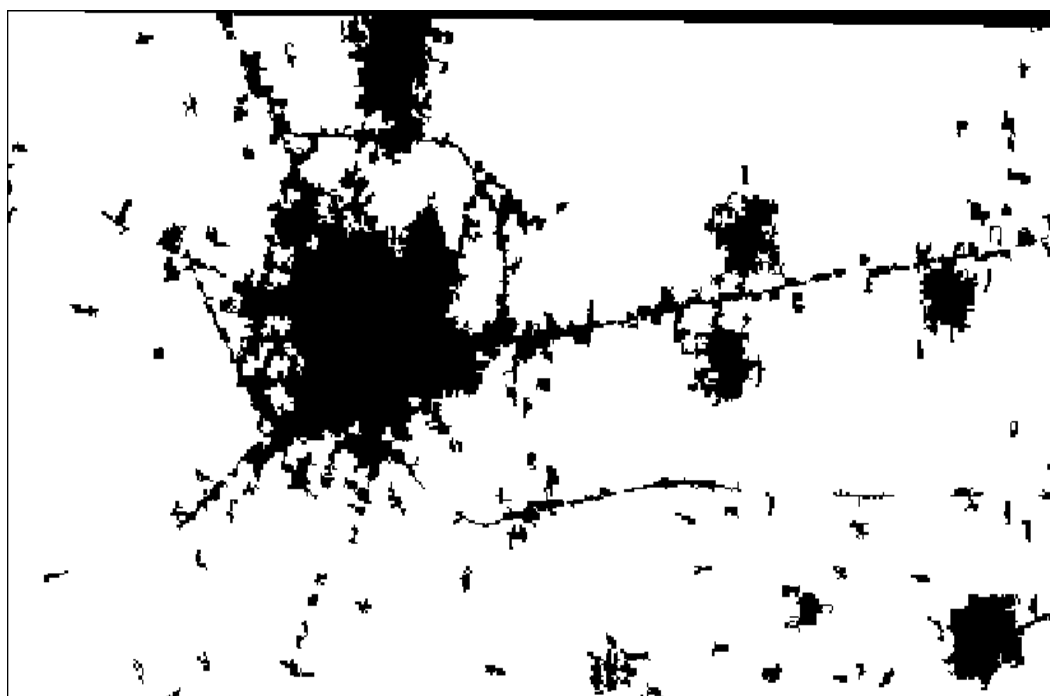
Για ακόμα καλύτερο αποτέλεσμα των ταξινομήσεων και για να είναι ακόμα πιο ευδιάκριτες οι χρήσεις μεταξύ τους, εφαρμόστηκαν κάποια φίλτρα εξομάλυνσης στις ταξινομήσεις. Στις ταξινομημένες εικόνες που ακολουθούν το μαύρο χρώμα συμβολίζει τις αστικές περιοχές και με άσπρο τις λοιπές χρήσεις.

Εικόνα 6.5: Ταξινόμηση Καρδίτσας για το 1985



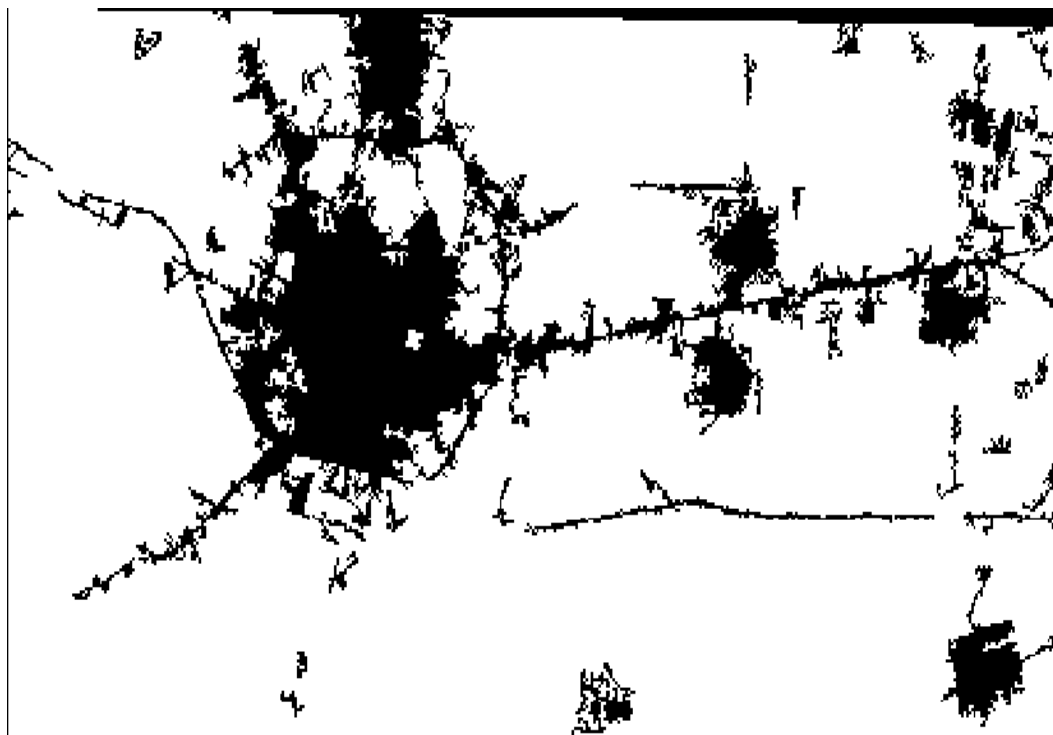
*Πηγή: Ιδία επεξεργασία*

Εικόνα 6.6: Ταξινόμηση Καρδίτσας για το 1992



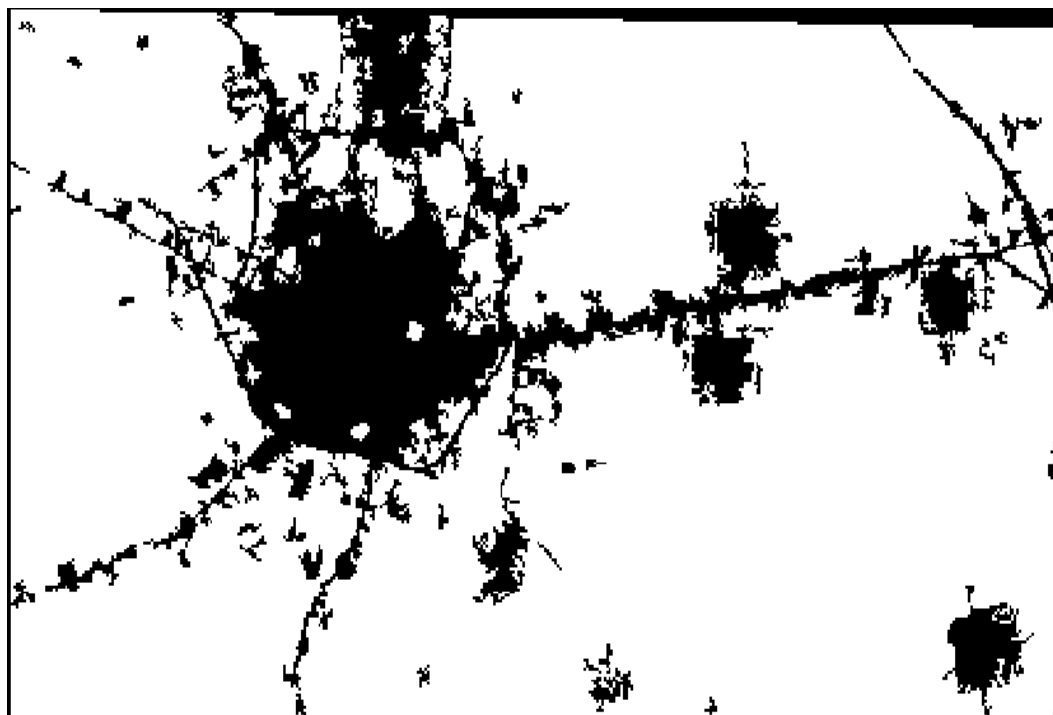
*Πηγή: Ιδία επεξεργασία*

Εικόνα 6.7: Ταξινόμηση Καρδίτσας για το 2000



*Πηγή: Ιδία επεξεργασία*

Εικόνα 6.8: Ταξινόμηση Καρδίτσας για το 2011



*Πηγή: Ιδία επεξεργασία*



### 6.5 ΑΠΟΤΙΜΗΣΗ ΑΚΡΙΒΕΙΑΣ

Για την εκτίμηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων των τεσσάρων χρονολογιών και για κάθε μία από τις 2 κατηγορίες, επιλέχθηκαν τριάντα τυχαία σημεία στις τέσσερις ταξινομημένες εικόνες για την κάθε κατηγορία κάλυψης ξεχωριστά (60 για την κάθε εικόνα- 240 συνολικά). Στα σημεία αυτά έγινε έλεγχος ακρίβειας από το Corine και από ορθοφωτοχάρτες του 1999 και από ορθοφωτοχάρτες της κτηματολόγιο ΑΕ του 2009, «εικόνες οδηγός» για τις τέσσερις χρονολογίες αντίστοιχα. Τα συμπεράσματα που προκύπτουν στο σημείο αυτό είναι ότι εφόσον ο δείκτης K είναι πάνω από 78% (80-95% αντίστοιχα), οι ταξινομήσεις παρουσιάζουν μεγάλο ποσοστό ακρίβειας και αξιοπιστίας.

Πίνακας 6.2: Αποτίμηση Ακρίβειας των Ταξινομήσεων

	1985	1992	2000	2011
Overall Classification Accuracy	80.00%	90.00%	95.00%	90.00%
Overall Kappa Statistics	0.80	0.80	0.90	0.80

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

### 6.6 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΩΝ – ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ

Από τις ταξινομημένες εικόνες για την ευρύτερη περιοχή της πόλης της Καρδίτσας μπορεί να γίνει παρατήρηση των αλλαγών της πόλης με την πάροδο των χρόνων. Για την ταξινόμηση του 2000 παρατηρεί κανείς τον περιφερειακό οδικό άξονα που έγινε στο νότιο τμήμα της πόλης. Για την ταξινόμηση του 2011 γίνονται αντιληπτές δύο βασικές αλλαγές στην πόλη της Καρδίτσας, πρώτον τον περιφερειακό στο δυτικό κομμάτι της πόλης (μέχρι στιγμής δεν έχει ολοκληρωθεί), και δεύτερον τις αλλαγές στην περιοχή «Δέλτα» (διέλευση E-65).

Μεγάλο ποσοστό των αστικών χρήσεων κατά την περίοδο 1985-2011 συγκεντρώνονται στις οδικές αρτηρίες προς την Αθήνα και προς τα Τρίκαλα. Γενικότερα στις οδικές αρτηρίες συγκεντρώνονται δραστηριότητες οι οποίες αφορούν κυρίως βιοτεχνικές και εμπορικές χρήσεις.

Όσον αφορά τις αστικές χρήσεις μέσα στην πόλη της Καρδίτσας, η πόλη δεν έχει εξαπλωθεί πολύ προς τα βόρεια δηλαδή προς την Καρδισσομαγούλα. Η αστική διάχυση της Καρδίτσας παρατηρείται προς το δυτικό το νότιο και προς το νοτιοανατολικό κομμάτι της πόλης όπου οι πιέσεις αστικοποίησης είναι έντονες τα τελευταία χρόνια.

Στον πίνακα που ακολουθεί παρουσιάζεται η κάλυψη σε στρέμματα για τις δύο κατηγορίες όπως αυτές έχουν μεταβληθεί με την πάροδο των χρόνων. Από το 1985 μέχρι το 2011 οι αστικές χρήσεις αυξάνονται συνεχώς. Ο πίνακας 6.4 απεικονίζει την ποσοστιαία μεταβολή των χρήσεων. Σημαντική αύξηση της τάξης του 50% πραγματοποιήθηκε τα έτη 1985 μέχρι 1992, ενώ την περίοδο 1992-2000 και 2000-2011 παρατηρείται επίσης αύξηση αλλά με σταθερό ρυθμό και στις δύο περιόδους της τάξης του 19% περίπου.

Πίνακας 6.3: Επιφάνεια των καλύψεων γης την περίοδο 1985-2011

Κάλυψη σε στρέμματα	1985	1992	2000	2011
Αστικές Χρήσεις	8.515,8	12.781,1	15.211,8	18.082,8
Λοιπές Χρήσεις	82.863	78.597,7	76.167	73.296

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Πίνακας 6.4 Μεταβολή των καλύψεων γης την περίοδο 1985-2011

Ποσοστό Μεταβολής	1985	1992	2000	2011
Αστικές Χρήσεις	-	50,09%	19,02%	18,87%
Λοιπές Χρήσεις	-	-5,15%	-3,09%	-3,77%

Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

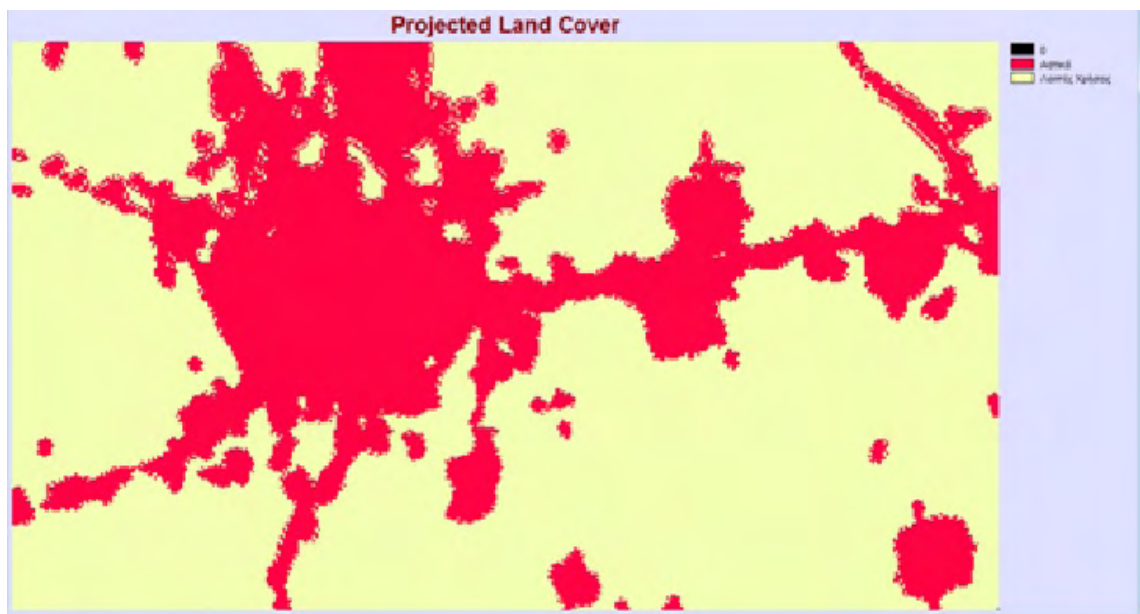
## 6.7 ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ- ΜΟΝΤΕΛΟ CA MARKOV

Για την εκτίμηση των μεταβολών από κάποια κλάση κάλυψης γης σε κάποια άλλη με την μέθοδο Markov, χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας πιθανοτήτων μετάβασης (probability transition matrix). Ο πίνακας αυτός που είναι τετραγωνικός με διάσταση όσες και οι καλύψεις γης, υπολογίζει για κάθε κάλυψη γης την πιθανότητα ύπαρξης της μετά από καθορισμένο αριθμό χρονικών περιόδων. Οι τιμές των πιθανοτήτων του παραπάνω πίνακα που δίνουν την πιθανότητα κάθε κάλυψης γης της αρχικής εικόνας να μετασχηματιστεί σε κάποια κάλυψη γης της τελικής εικόνας, υπολογίζονται προς τον

αριθμό των αντίστοιχων pixels στην αρχική εικόνα. Από τον πολλαπλασιασμό κάθε στήλης του πίνακα μετάβασης πιθανοτήτων με τον αριθμό των pixels της αντίστοιχης κατηγορίας κάλυψης γης στην μεταγενέστερη χρονικά εικόνα, προκύπτει ο πίνακας μεταβολών των περιοχών για κάθε κάλυψη γης που δίνει τον συνολικό αριθμό pixels που αναμένεται να αλλάξουν από κάθε κατηγορία κάλυψης γης σε κάθε άλλη κατηγορία κάλυψης γης για τον αριθμό των χρονικών περιόδων που ορίστηκε. Ο πίνακας αυτός χρησιμοποιείται ως είσοδος στην εφαρμογή των κυτταρικών αυτόματων στην συνέχεια για να προσδώσει στην μέθοδο Markov χωρική ομογένεια. Η εικόνα εξόδου του μοντέλου προσδίδει σε κάθε pixel της εικόνας την πιθανότητα να ανήκει σ' αυτήν την συγκεκριμένη κάλυψη γης που εκφράζει η εικόνα αυτή (Περάκης, 2011).

Στη συγκεκριμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν οι εικόνες των δύο τελευταίων ημερομηνιών (2000 και 2011) για το μοντέλο της πρόβλεψης. Αρχικά με την εντολή δημιουργήθηκε ο πίνακας πιθανοτήτων για την κάθε κατηγορία. Στη συνέχεια με την έχοντας ως βάση την χρονιά 2011 έτρεξε το μοντέλο της πρόβλεψης για το 2021.

Εικόνα 6.9: Πρόβλεψη για την ευρύτερη περιοχή της πόλης της Καρδίτσας για το 2021



Πηγή: *Ιδία επεξεργασία*

Στην εικόνα της πρόβλεψης το αστικό καταλαμβάνει έκταση **25.387,2** στρέμματα, με ποσοστό αύξησης από το έτος 2011 **40%**. Σε γενικές γραμμές σύμφωνα με το μοντέλο

Markov, ο αστικός και περαστικός ιστός της πόλης της Καρδίτσας στα επόμενα δέκα χρόνια θα εξαπλωθεί ομοιόμορφα, δηλαδή όπου υπάρχει αστικό το μοντέλο δείχνει ότι θα αυξηθεί. Το αποτέλεσμα αυτό δεν είναι απολύτως σωστό, κυρίως λόγω της οικονομικής κρίσης που πλήττει τη χώρα τα τελευταία χρόνια (μείωση του ποσοστού της οικοδομικής δραστηριότητας) και της διάρκειας της.

Στο σημείο αυτό αξίζει να σημειωθεί ότι ενώ με τις Markovιανές Αλυσίδες μπορεί να πραγματοποιηθεί πρόβλεψη της αστικής εξάπλωσης στο μέλλον, δεν υπάρχει η δυνατότητα χρήσης περισσότερων χρονολογιών καθώς επίσης και η εισαγωγή περισσότερων κριτηρίων όπως είναι η κατασκευή νέων οδικών αξόνων, το ανάγλυφο αλλά και οικονομικά κριτήρια όπως είναι η οικονομική κρίση.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7: ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΔΥΟ ΜΕΘΟΔΩΝ ΠΡΟΒΛΕΨΗΣ ΑΣΤΙΚΗΣ ΕΞΑΠΛΩΣΗΣ

Εφαρμόζοντας τις δύο μεθόδους πρόβλεψης της αστικής εξάπλωσης στην πόλη της Καρδίτσας, γίνεται εμφανές ότι το μοντέλο SLEUTH δίνει πιο ακριβή και ρεαλιστικά αποτελέσματα επειδή συμπίπτουν περισσότερο με τις σημερινές τάσεις αστικοποίησης όπως εξετάστηκαν στο κεφάλαιο 4 (βορειοανατολικό και νοτιοδυτικό τμήμα της πόλης). Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του SLEUTH οφείλεται στη διαδικασία της βαθμονόμησης καθώς και στο μεγαλύτερο εύρος δεδομένων εισόδου. Ένα σημαντικό πλεονέκτημα του συγκεκριμένου μοντέλου είναι ότι με τη βαθμονόμηση του τρόπου που μια περιοχή έχει αλλάξει στο παρελθόν, μπορεί να τεκμηριωθεί μια λογική πρόβλεψη για μελλοντική αλλαγή. Μόνο μέσω της βαθμονόμησης μπορεί το μοντέλο των KA να παράγει αυτόματα ένα αστικό πρότυπο αρκετά κοντά στην πραγματικότητα (Shan κ.α., 2008). Τα δεδομένα του Markon περιλαμβάνουν μόνο δύο έτη εξάπλωσης του αστικού ιστού, σε αντίθεση με το SLEUTH στο οποίο υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής πολλών ετών και 6 τύπων δεδομένων. Εξάλλου η πρόβλεψη της αστικής εξάπλωσης δεν εξαρτάται αποκλειστικά και μόνο από τη μελέτη της μεταβολής του αστικού ιστού, αλλά και από άλλους παράγοντες όπως το οδικό δίκτυο. Επίσης στο SLEUTH υπάρχει η δυνατότητα εισαγωγής διαφορετικών σεναρίων αστικής εξάπλωσης, όπως για παράδειγμα η παρόδια δόμηση ως αποτέλεσμα ενός νέου οδικού άξονα, πράγμα το οποίο επιτρέπει μια πιο έγκαιρη και ολοκληρωμένη πρόβλεψη της εκτενούς αστικοποίησης.

Ένα ακόμη σημαντικό πλεονέκτημα του SLEUTH είναι ότι στα δεδομένα εξαγωγής δημιουργούνται τόσες εικόνες όσες και οι χρονοσειρές μέχρι το έτος πρόβλεψης. Το Markon εξάγει μία εικόνα μόνο για το έτος πρόβλεψης, γεγονός που καθιστά δύσκολη τη μελέτη της αστικής εξέλιξης σε βάθος χρόνου. Επιπλέον στις εικόνες εξαγωγής του SLEUTH, υπάρχει μια εικόνα πιθανοτήτων προβολής του αστικού, που επιτρέπει την εστίαση του σχεδιασμού σε συγκεκριμένες περιοχές με υψηλά ποσοστά μελλοντικής αστικοποίησης, κάτι στο οποίο υστερεί σημαντικά το Markon. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι το μοντέλο SLEUTH αποτελεί (free) λογισμικό χωρίς καμία χρέωση.

Από την άλλη πλευρά όμως η μέθοδος του SLEUTH παρουσιάζει κάποια σημαντικά μειονεκτήματα στη χρήση του, όπως τα ελλιπή δεδομένα για το αστικό και τις καλύψεις γης που είναι περιορισμένα κυρίως για τον Ελλαδικό χώρο. Ειδικότερα δεν υπάρχει η έκδοση του Corine 2006 για την Ελλάδα και για το Urban Atlas υπάρχουν δεδομένα μόνο για 9 μεγάλες ελληνικές πόλεις (Αθήνα, Θεσσαλονίκη, Πάτρα, Ηράκλειο, Λάρισα, Βόλος, Ιωάννινα, Καβάλα και Καλαμάτα). Για την συλλογή δεδομένων για κάποια άλλη πόλη (για παράδειγμα η Καρδίτσα) απαιτείται η αναζήτηση περαιτέρω πολεοδομικών σχεδίων και μελετών. Επομένως σε ορισμένες περιπτώσεις είναι απαραίτητη η ανάγκη να πραγματοποιηθεί επαφή με τις αρμόδιες υπηρεσίες για τη λήψη των δεδομένων γεγονός που δημιουργεί γραφειοκρατικά προβλήματα ανάλογα με τη εκάστοτε υπεύθυνη υπηρεσία. Εκτός των άλλων απαιτεί και τη γνώση ενός βασικού συνόλου εντολών, σχετικά μεγάλο χρονικό διάστημα υλοποίησης και μεγάλο υπόβαθρο υψηλής ποιότητας raster αρχείων. Εν αντιθέσει η μέθοδος Markon είναι πολύ απλούστερη λειτουργικά, πιο γρήγορη και απαιτεί μικρότερο όγκο raster αρχείων. Η συγκέντρωση δεδομένων είναι ευκολότερη (δορυφορικές εικόνες) και συνήθως χωρίς οικονομικό κόστος. Η ανάλυση όμως τηλεπισκοπικών δεδομένων από αστικές περιοχές είναι πολύπλοκη για διάφορους λόγους, όπως ότι κάποιες κατηγορίες αστικών επιφανειών δεν είναι φασματικά διακριτές μεταξύ τους και η φυσική δομή πολλών ειδών χρήσεων γης διαφέρει από περιοχή σε περιοχή, λόγω διαφορετικών υλικών κατασκευής.



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η αστική εξάπλωση- διάχυση είναι η άναρχη εξάπλωση των αστικών περιοχών. Οι αρνητικές επιπτώσεις του φαινομένου είναι περισσότερο εμφανείς ιδιαίτερα στον ελλαδικό χώρο. Δεδομένων των πρόσφατων ρυθμών ανάπτυξης και το ότι οι ανάγκες της αστικής κοινωνίας για υπηρεσίες, νέες εγκαταστάσεις και ενέργεια, αυξάνονται όσο αυξάνεται ο πληθυσμός, αποτελεί μείζονος σημασίας για το παρόν και το μέλλον των κοινωνιών ότι η αστική ανάπτυξη πρέπει να γίνεται κατά το βέλτιστο τρόπο, μεγιστοποιώντας τα οφέλη του αστικού πληθυσμού. Είναι σημαντικό λοιπόν να εφαρμόζονται μέθοδοι που μπορούν να την προβλέψουν έτσι ώστε να δημιουργείται μια σαφής πολιτική για τη βιώσιμη αστική ανάπτυξη, προκειμένου να μπορούν να σχεδιαστούν πολιτικές με σκοπό την αειφορία. Είναι επιτακτική λοιπόν η ανάγκη η αστική επέκταση να λαμβάνει χώρα με ένα σχεδιασμένο τρόπο, μεγιστοποιώντας τα οφέλη για τον αστικό πληθυσμό αλλά ελαχιστοποιώντας οικονομικά και περιβαλλοντικά κόστη. Για να γίνει αυτό, χρειάζονται ακριβείς και ρεαλιστικές εκτιμήσεις της διαδικασίας αστικοποίησης και ευσταθή αστικά μοντέλα. Με τη χρήση των μοντέλων τα σύνθετα φαινόμενα των πόλεων μπορούν να απλοποιηθούν, έτσι ώστε να κατανοηθούν και να γίνουν διαχειρίσιμα. Ωστόσο, δεν έχει εφαρμοστεί κανένα αυστηρό πλαίσιο τόσο για την μοντελοποίηση ενός χωροχρονικού φαινομένου όσο και της αστικής ανάπτυξης αφού υπάρχει μεγάλη ετερογένεια κυρίως στη λήψη αποφάσεων.

Ειδικά για την πόλη της Καρδίτσας οι επεκτάσεις, αρχικά δημιουργήθηκαν χωρίς πολεοδομική παρέμβαση αλλά με το κίνητρο των ανθρώπων για αποκέντρωση και επιλογή κατοικίας σε περιοχές μακριά από το κέντρο της πόλης. Με το πέρασμα του χρόνου οι περιοχές αυτές θεσμοθετήθηκαν και εντάχθηκαν στο σχέδιο πόλης και αποτελούν τις σημερινές περιοχές επεκτάσεων.

Από τη μελέτη των πιέσεων αστικοποίησης της πόλης, προκύπτει το συμπέρασμα ότι οι σημαντικότεροι λόγοι που σχετίζονται με ενδεχόμενη εξάπλωση του αστικού είναι το οδικό δίκτυο (ολοκλήρωση περιφερειακής οδού), οι χαμηλές τιμές γης και η καλύτερη ποιότητα ζωής. Τα αποτελέσματα του μοντέλου SLEUTH συμπίπτουν με τις σημερινές τάσεις αστικοποίησης. Η εφαρμογή του στην περιοχή μελέτης υποδεικνύει ότι το

μοντέλο μπορεί να προσομοιώσει ιδιαίτερα ικανοποιητικά το φαινόμενο της αστικής εξάπλωσης- επέκτασης. Συγκριτικά με το μοντέλο Markon, το SLEUTH υπερισχύει όσον αφορά την ακρίβεια και τη ρεαλιστικότητα των αποτελεσμάτων.

Κρίνεται αναγκαίο να υπάρχουν καλύτερα σύνολα δεδομένων για να διερευνηθούν πλήρως οι δυνατότητες του μοντέλου. Το ερώτημα που προκύπτει είναι κατά πόσο η υποδομή των δεδομένων της Ελλάδας και η οικονομική ιδιαιτερότητα επιτρέπει την εφαρμογή του μοντέλου. Συμπληρωματικά είναι αναγκαίο να γίνει σύγκριση του μοντέλου ΚΑ με άλλα μοντέλα όπως τα νευρωνικά δίκτυα και τα ασαφή συστήματα για να εντοπιστεί η καλύτερη δυνατή μέθοδος και να εφαρμοστεί το μοντέλο σε άλλες πόλεις και σε διαφορετικές κλίμακες ώστε να ελεγχθεί η αποτελεσματικότητά του.

Συγκρίνοντας το μοντέλο SLEUTH με εφαρμογές του παρελθόντος για μεγαλύτερες πόλεις και περιοχές (Μεσόγεια Αττικής, Βόλος, Πάτρα, Μυτιλήνη και περιοχές Αχαρνών Αττικής), προκύπτουν τα εξής συμπεράσματα: οι εικόνες εισόδου πρέπει να είναι υψηλής ανάλυσης για να είναι πιο ευδιάκριτα τα αποτελέσματα στην εικόνα πιθανοτήτων και επίσης στις μεγάλου μεγέθους πόλεις εμφανίζονται μεγαλύτερα ποσοστά πιθανοτήτων αστικής εξάπλωσης από ότι σε μικρότερου μεγέθους πόλεις όπως η Καρδίτσα, πράγμα που είναι πολύ λογικό αφού οι ρυθμοί ανάπτυξης είναι πολύ μεγαλύτεροι (περισσότερες ευκαιρίες εργασίας και ανέσεις). Ιδιαίτερα ενδιαφέρον θα αποτελέσει η μελλοντική χρήση του μοντέλου για γειτνιάζοντες μικρούς οικισμούς που παρουσιάζουν πιέσεις αστικοποίησης έτσι ώστε να γίνει πρόβλεψη της μελλοντικής τους συνένωσης και να πραγματοποιηθεί ο απαραίτητος σχεδιασμός.

Τέλος σημαντικό θα ήταν αν στο μοντέλο SLEUTH εφαρμόζονταν κάποιες προγραμματιστικές διορθώσεις προσθέτοντας και επιπλέον δείκτες όπως οι μεταβολές του πληθυσμού, η πληθυσμιακή πυκνότητα ή οικονομικοί δείκτες όπως η αξία γης. Ακόμα, το SLEUTH θα μπορούσε να χρησιμοποιεί τηλεπισκοπικά δεδομένα σε περιπτώσεις όπου τα πρωταρχικά δεδομένα είναι ελλιπή. Επίσης μέσω του Markon θα υπήρχε η δυνατότητα να δίνεται μία πρώτη εκτίμηση του φαινομένου της αστικής εξάπλωσης και για πιο εξειδικευμένα αποτελέσματα να χρησιμοποιείται το SLEUTH. Η ιδανικότερη μέθοδος πρόβλεψης είναι μια μέθοδος που συνδυάζει ΚΑ με τηλεπισκοπικά δεδομένα και μεθόδους επεξεργασίας τηλεπισκόπησης και επεξεργασίας

GIS. Συνεκτιμώντας όλα τα παραπάνω το SLEUTH αποτελεί ένα δυναμικό εργαλείο πρόβλεψης που μπορεί να εφαρμοστεί και στον πολεοδομικό σχεδιασμό και παρουσιάζει προοπτικές εξέλιξης στο μέλλον.

## ΠΗΓΕΣ ΤΕΚΜΗΡΙΩΣΗΣ

### ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ανδρικοπούλου Ε., Γιαννάκου Α., Καυκαλάς Γ., Πιτσιάβα Λατινοπούλου Μ., (2007), *Πόλη και πολεοδομικές πρακτικές για την βιώσιμη αστική ανάπτυξη*, Αθήνα: Εκδόσεις Κριτική

Αραβαντινός Α. (1997) *Πολεοδομικός Σχεδιασμός για μία Βιώσιμη Ανάπτυξη του Αστικού Χώρου*, Αθήνα: εκδόσεις Συμμετρία.

Γαροφαλάκης Γ. (2012) 'Αστική εξάπλωση και κυψελοειδή αυτόματα: η μελέτη του Δ. Πατρεών', διπλωματική εργασία προπτυχιακού επιπέδου, Βόλος: Τμήμα Μηχανικών χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης.

Γκουντούλα Β., Αργιαλάς Δ. (2002), 'Ανάπτυξη βάσης γνώσης στο περιβάλλον του Expert Classifier για την ταξινόμηση κάλυψης/χρήσης γης (επίπεδα II και III) από δεδομένα Ikonos, 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας (HellasGIs), Θεσσαλονίκη.

Δημητρακόπουλος Κ. (2010), *Χαρτογράφηση χρήσης / κάλυψης γης με την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση εικόνων Spot, Μεταπτυχιακή Διατριβή, Σχολή Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας*

Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Καρδίτσας για την περίοδο 2007 – 2010, Στρατηγικό Σχέδιο Δήμου Καρδίτσας, Ά Μέρος, Αναπτυξιακή Καρδίτσας

Θέμελης Α. (2010), *Ταξινόμηση Αστικού Χώρου με χρήση Υπερφασματικής Τηλεπισκόπησης, Διπλωματική Εργασία, Σχολή Αγρονόμων και Τοπογράφων Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο Αναπτυξιακή Ανώνυμη Εταιρία Ο.Τ.Α. Ιούλιος 2008*

Κατσάρα Α.(2000), *Αστικές παρεμβάσεις στο κέντρο της πόλης της Καρδίτσας*, έκδοση του Δήμου Καρδίτσας, Καρδίτσα

Μαντέλας Ε., Πραστάκος Π., Χατζηχρήστος Θ., 2008, *Μοντελοποίηση της Αστικής Ανάπτυξης χρησιμοποιώντας Κυψελοειδή Αυτόματα και Εξελιγμένα Ασαφή*

Συστήματα – Εφαρμογή στα Μεσόγεια Αττικής, 5ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας (HellasGIs), Αθήνα, 4-5 Δεκεμβρίου

Μαντέλας Λ., Πραστάκος Π., Χατζηχρήστος Θ., 2010, 'Μοντελοποίηση Αστικής Επέκτασης χρησιμοποιώντας το CaFe', 6<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο HellasGIs, Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών, Αθήνα, Ελλάδα

Μερτίκας Σ. (2006), *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνα*, Αθήνα: Εκδόσεις Ίων

Μηλιαρέσης Χ.Γ. (2003), 'Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση', Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ

Νικολάου Κ. (2012), 'Μοντέλα Αστικής Εξάπλωσης: Η περίπτωση του Βόλου', διπλωματική εργασία προπτυχιακού επιπέδου, Βόλος: Τμήμα Μηχανικών χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Νικολάου Κ. και Σταθάκης Δ. (2012) 'Μοντέλα Αστικής Εξάπλωσης: Η περίπτωση του Βόλου', 7<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Hellas GIs, 17-18 Μαΐου 2012, Αθήνα

Οικονόμου Δ. (2009) 'Σημειώσεις για το μάθημα της Χωροταξικής Πολιτικής', Βόλος: Τμήμα Μηχανικών χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

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

Παπακωνσταντίνου Σ., Φαρασλής Ι., και Δ. Σταθάκης (2010), 'Διαχρονική μελέτη περιαστικών χρήσεων γης της πόλης της Λάρισας', 10ο Διεθνές Συμπόσιο Κεφαλλονιάς - Πόλεις και περιφέρειες στην Ελλάδα και τη Μεσόγειο στον 21ο αιώνα - προβλήματα, προσκλήσεις, προοπτικές, Αργοστόλι Κεφαλλονιάς

Περάκης Κ. (2011), 'Ανίχνευση και πρόβλεψη διαχρονικών αλλαγών κάλυψης γης στο νομό Μαγνησίας με την εφαρμογή της μεθόδου Markov και των κυτταρικών αυτόματων σε πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες', περιοδικό Αειχώρος 16: 124-141

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

Σιδηρόπουλος Γ. και Στεργίου Μ. (2012), 'Η αστική Ανανέωση και τα κυψελοειδή ψηφιακά μοντέλα- Το παράδειγμα της Αθήνας', 7<sup>ο</sup> Πανελλήνιο Συνέδριο Hellas GIS, 17-18 Μαΐου 2012, Αθήνα.

Σταθάκης Δ. (2003), 'Ταξινόμηση χρήσεων γης χρησιμοποιώντας νευρωνικά δίκτυα και τηλεπισκόπηση', Διδακτορική Διατριβή, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας

Σταθάκης Δ., Περάκης Κ., Φαρασλής Ι. (2008), 'Διαχρονική ανάλυση χρήσεων γης με βάση τα δεδομένα του Ευρωπαϊκού Προγράμματος CORINE με πίνακα αλλαγών', 5ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας (HellasGIS), Αθήνα

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

Σταθάκης Δ., Περάκης Κ., Μπαλτάς Π., και Φαρασλής Ι. (2010), 'Εκτατική παρεμβολή βάσει χρήσεων γης', 6ο Πανελλήνιο Γεωγραφικό Συνέδριο της Ελληνικής Γεωγραφικής Εταιρείας HellasGIS, Αθήνα

Συλλαίος Ν. (2000), *Εισαγωγή στη Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών- Τόμος Α*, Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη

#### ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Batty, M. (2007). *Cities and Complexity*. Massachusetts: The MIT Press.

Batty M. (2008), 'The Size, Scale, and Shape of Cities', περιοδικό Science 769 (319) εκδόσεις AAAS.

Benguigui L., Czamanski D., Roth R. (2007), 'Modeling cities in 3D: a cellular automaton approach', Environment and Planning B: Planning and Design 2008, vol. 35, pp. 413- 430.

Clarke, K. Hoppen, S. & Gaydos, L. (1997), 'A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area', Environment and Planning B: Planning and Design, 24: 247–261.



- Clarke K. C., Gaydos L. (1997), 'A self- modifying cellular automation model of historical urbanization in the San Francisco Bay area', *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 24, pp. 247- 261
- Ewing H. (1994), 'Characteristics, Causes and Effects of Sprawl: A Literature Review', *Environmental and Urban Issues*
- Jantz C. Goetz S. Shelley M. (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, vol. 30, pp. 251- 271
- Jantz C. (2009) "Simulating urban growth with the SLEUTH Model: A training manual".
- Liu W. και Seto K. (2008), 'Using the ART-MMAP neural network to model and predict urban growth: a spatiotemporal data mining approach', *Environment and Planning B: Planning and Design* , vol. 35, pp. 296-317
- Liu Y. (2009), 'Modeling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata', CRC PressTaylor and Francis Group
- Mantelas L., Hatzichristos T., Prastacos P. (2007), 'A Fuzzy Cellular Automata Based Shell for Modeling Urban Growth - A Pilot Application in Mesogia Area', 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Aalborg University, Denmark
- Mantelas L., Hatzichristos T., Prastacos P. (2008), 'Modeling Urban Growth using Fuzzy Cellular Automata', 11th AGILE International Conference on Geographic Information Science, Girona, Spain.
- Mantelas L., Hatzichristos T., Prastacos P. (2010), 'A Fuzzy Cellular Modeling Approach - Accessing Urban Growth Dynamics in Linguistic Terms', *Lecture Notes in Computer Science, Theoretical Computer Science and General Issues, Computational Science and Its Applications - ICCSA 2010*, vol. 6016, pp.140-151, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

- Mills, G. (2007), Cities as agents of global change, 'International Journal of Climatology', 27(14), 1849-1857
- Mohamed B, Mantelas L., (2008), 'A trust and reputation model for filtering and classifying knowledge about urban growth', GeoJournal vol.72, no.3, Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Nechyba T. και Walsh R. (2004), 'Urban Sprawl', Journal of Economic Perspectives, vol. 18, number 4, p. 177–200.
- Peiser, R. (2001), 'Decomposing Urban Sprawl', Town Planning Review
- Reginster I. Και Rounsevell (2005), 'Scenarios of future urban land use in Europe', Environment and Planning B: Planning and Design 2006, vol. 33, pp. 619 – 636.
- Rodrique J. (1997), 'Parallel modeling and neural networks: An overview for transportation/land use systems', Transportation Research C 5: 259- 271
- Schneider A., Seto K. Webster D. (2005), 'Urban growth in Chengdu, Western China: application of remote sensing to assess planning and policy outcomes', Environment and Planning B: Planning and Design 2005, vol. 32, pp. 323- 345
- Seto K., Fragkias M., Guneralp B., Reilly M. (2011), 'A Meta-Analysis of Global Urban Land Expansion', διαθέσιμο: <http://www.plosone.org> (πρόσβαση: 3/12/2012)
- Shan J., Alkheder S., Wang J. (2008), 'Genetic Algorithms for the Calibration of Cellular Automata Urban Growth Modeling', Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, vol. 74, no. 10, pp. 1267–1277
- Tewolde M. and Cabral P. (2011), 'Urban Sprawl Analysis and Modeling in Asmara, Eritrea', Remote Sensing, διαθέσιμο: [www.mdpi.com/journal/remotesensing](http://www.mdpi.com/journal/remotesensing) (πρόσβαση: 5/1/2013)
- Torrens P. και O'Sullivan D (2001), 'Editorial', Environment and Planning B: Planning and Design 2001, vol. 28, pp. 163 - 168
- Wu F. (1996), 'A Linguistic Cellular Automata Simulation Approach for Sustainable Land Development in a Fast Growing Region', Computer, Environment and Urban Systems, vol. 20, no. 6, pp. 367- 387

Ye, B. και Bai Z. (2008), 'Simulating Land Use/Cover Changes of Nenjiang county based on CA- Markov Model', στο IFIP International Federation for Information Processing, vol. 258:, Computer and Computing Technologies in Agriculture, vol. 1: (Boston: Springer), pp. 321-329

### ΔΙΑΔΙΚΤΥΑΚΟΙ ΤΟΠΟΙ

#### Project Gigalopolis

<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/index.html> (πρόσβαση: 29/11/2012)

#### Υπηρεσία θέασης ορθοφωτογραφιών Κτηματολογίου.

<http://gis.ktimanet.gr/wms/ktbasemap/default.aspx> (πρόσβαση 10/12/2012)

#### Open street map

[www.openstreetmap.org](http://www.openstreetmap.org) (πρόσβαση/: 19/10/2012)

#### Ιστότοπος του Εργαστηρίου Δημογραφικών και Κοινωνικών αναλύσεων

<http://www.demography-lab.prd.uth.gr/DDAoG/edu/lessons/7.htm> (πρόσβαση 28/12/2012)

#### Ελληνική Στατιστική Αρχή

[www.statistics.gr](http://www.statistics.gr) (πρόσβαση 28/12/2012)

#### European Environmental Agency

<http://www.eea.europa.eu/> (πρόσβαση: 12/10/2012)

#### Ιστότοποι εύρεσης δορυφορικών εικόνων

<http://glcf.umiacs.umd.edu/> (πρόσβαση: 15/09/2012)

<http://earthexplorer.usgs.gov/> (πρόσβαση: 15/09/2012)

<http://glovis.usgs.gov/> (πρόσβαση: 15/09/2012)

Οικοσκόπιο

<http://www.oikoskopio.gr/> (πρόσβαση 10/12/2012)

ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΑ ΚΕΙΜΕΝΑ

ΦΕΚ 28643/2005 Τροποποίηση του γενικού πολεοδομικού σχεδίου των οικισμών Καρδίτσας- Καρδισσομαγούλας του Δήμου Καρδίτσας Νομού Καρδίτσας

Έγκριση γενικού πολεοδομικού σχεδίου Καρδίτσας- Καρδισσομαγούλας, 1989, Απόφαση με αριθμό πρωτοκόλλου 46324/1404

Εφημερίς της Κυβερνήσεως, 14 Μαρτίου 1988, Τροποποίηση των όρων δόμησης περιοχής Καρδίτσας του ρυμοτομικού σχεδίου Καρδίτσας, Αθήνα

Π.Δ 18-10-85, ΦΕΚ 709/Δ/27-11-85, Επέκταση Αγίου Νικολάου

Π.Δ 16-2-87, ΦΕΚ 415/Δ/14-5-87. Επέκταση Αγίας Παρασκευής Αγίου Μηνά

Π.Δ 16-2-87, ΦΕΚ 415/Δ/14-5-87, Επέκταση Φαναρίου

Π.Δ 2-6-88, ΦΕΚ 589/Δ/10-8-88, Επέκταση Ζαχαριώτες

Π.Δ 6-10-90, ΦΕΚ 594/Δ/23-10-90, Επέκταση Αγίου Παντελεήμονα

Π.Δ 28-1-93, ΦΕΚ 132/Δ/23-2-93, Επέκταση VI 12 Αγίου Νικολάου

Π.Δ 4180/28-9-94, ΦΕΚ 1060/Δ/13-10-94, Αναθεώρηση Καμινάδων

Π.Δ 21-6-96, ΦΕΚ 715/Δ/5-7-96, Επέκταση Καμινάδων

Π.Δ 2188/15-7-94, ΦΕΚ 908/Δ/2-9-94, Δόμηση Αναθεώρησης για Α, Β και Γ Ζώνη

ΓΓ Περιφέρειας 3922/22-12-05, ΦΕΚ 1456/Δ/30-12-05, Επέκταση θύλακα Ζαχαριωτών

Υ. Α. 3046/304/89, ΦΕΚ 59/Δ/3-02-89, Κτιριοδομικός Κανονισμός.