

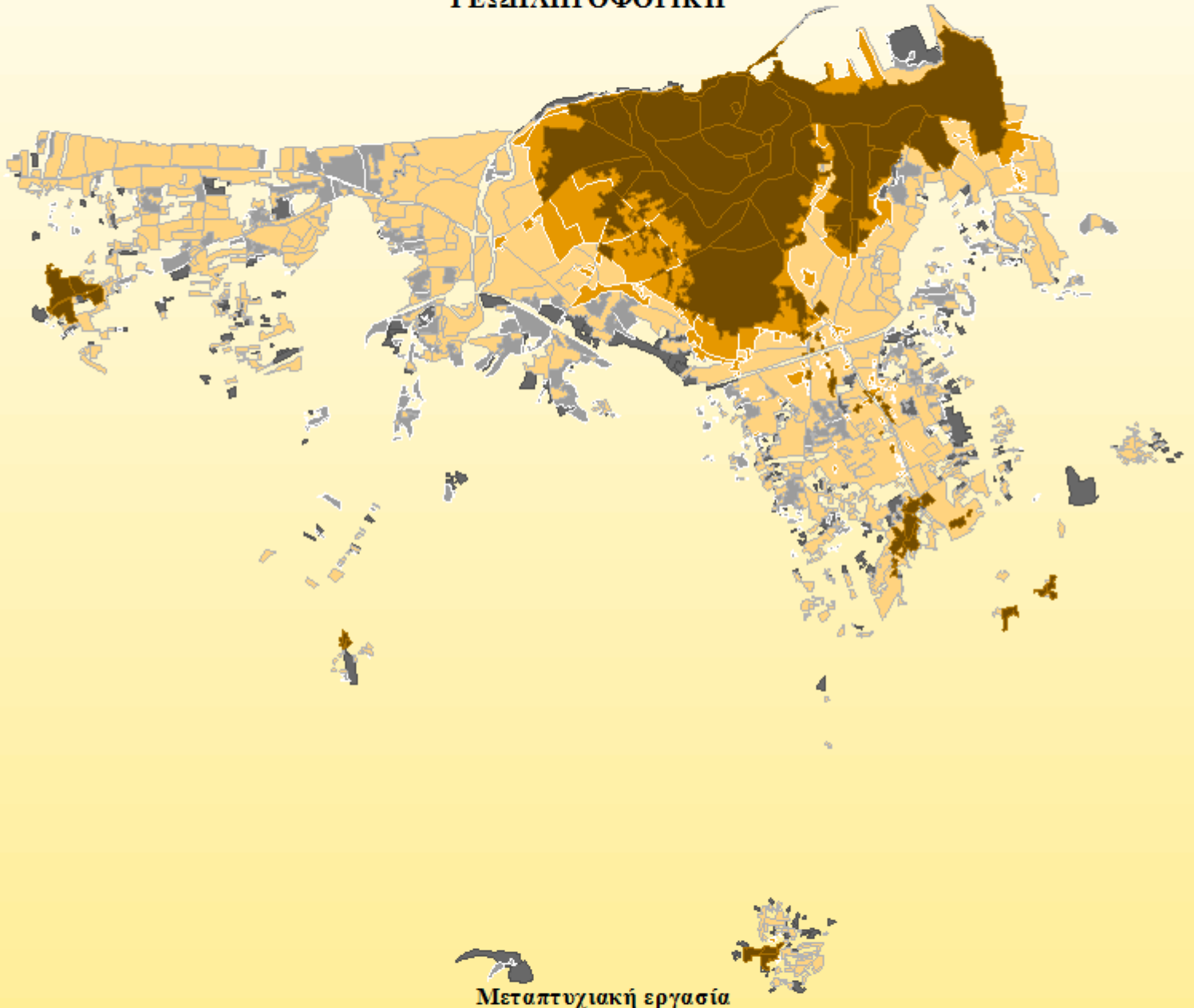


ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

ΣΧΟΛΗ ΑΓΡΟΝΟΜΩΝ ΚΑΙ ΤΟΠΟΓΡΑΦΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΤΟΜΕΑΣ ΓΕΩΓΡΑΦΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΟΥ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ

**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ
"ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"**



**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ
ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ:**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ SLEUTH ΣΤΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ
ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ ΚΡΗΤΗΣ**

Σταυράκου Γεωργία
Μάρτιος 2014



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

ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΩΝ ΣΠΟΥΔΩΝ "ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗ"

**ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ ΕΞΕΛΙΞΗΣ ΚΑΙ ΕΠΕΚΤΑΣΗΣ ΑΣΤΙΚΩΝ ΠΕΡΙΟΧΩΝ ΜΕ
ΧΡΗΣΗ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ:**

**ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΥΠΟΔΕΙΓΜΑΤΟΣ SLEUTH ΣΤΟ ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΚΟ ΣΥΓΚΡΟΤΗΜΑ
ΗΡΑΚΛΕΪΟΥ ΚΡΗΤΗΣ**

Διπλωματική εργασία της Σταυράκου Γεωργίας

Επιβλέπων Καθηγητής:

κ. Γιώργος Φώτης

Εξεταστική Επιτροπή:

κ. Άγγελος Σιόλας

κ. Αθανάσιος Βλαστός

Μάρτιος 2014

Ευχαριστίες

Με τις γραμμές αυτές κλείνει μια περίοδος περίπου δύο ετών που ξεκίνησε με τη συμμετοχή μου στο Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών ‘‘Γεωπληροφορική’’ και ολοκληρώνεται με την εκπόνηση της Διπλωματικής μου εργασίας.

Στο σημείο αυτό νιώθω την ανάγκη να ευχαριστήσω θερμά όλους, όσοι με τον τρόπο τους με στήριξαν στην προσπάθεια αυτή. Καταρχήν, θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον υποψήφιο διδάκτορα Μιχάλη Τζιώτη από το Εργαστήριο Γεωγραφίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης για την αμέριστη και καίρια βοήθεια που μου παρείχε καθόλη τη διάρκεια της εργασίας. Οι παρατηρήσεις και οι διευκρινίσεις του, ιδιαίτερα στο επίπονο κομμάτι της προεπεξεργασίας των δεδομένων και της εφαρμογής του μοντέλου, ήταν καθοριστικής σημασίας, τόσο για την έρευνα, όσο και για την ολοκλήρωση της προσπάθειας. Ευχαριστώ επίσης τον Δρ. Πολ Κολοκούση και τον Λέκτορα Κωνσταντίνο Καραντζαλο από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης για τη διάθεση μέρους των πρωτογενών δεδομένων της περιοχής μελέτης.

Ο κ. Γιώργος Φώτης,, επιβλέπων της διπλωματικής μου εργασίας και Αναπληρωτής Καθηγητής Γεωγραφικής Ανάλυσης και Χωροταξικού σχεδιασμού στάθηκε ιδιαίτερα υποστηρικτικός, τόσο όσον αφορά την παρούσα εργασία, αλλά και καθόλη τη διάρκεια των δύο αυτών ετών, καθοδηγώντας μας σε αυτό το πολύ ωραίο ταξίδι στην γνώση και την έρευνα, που αποδείχθηκε μια από τις πιο ενδιαφέρουσες εμπειρίες.

Ένα μεγάλο ευχαριστώ οφείλω στην πολύ καλή μου φίλη Βιβή Παπαναστασίου για την πολύτιμη συμβολή της στα αρχικά στάδια της μελέτης με τις εύστοχες παρατηρήσεις και συμβουλές της, αλλά και στην Ελευθερία Τιβικήλη για την πολύ ωραία συνεργασία που είχαμε καθόλη τη διάρκεια των μαθημάτων του ΔΠΜΣ . Δεν ξεχνώ τους φίλους μου Δημήτρη Γιαννακάκη και Βάσω Βογιατζή για τις ‘‘ενέσεις αισιοδοξίας’’, την υπομονή και την καρτερικότητά τους. Επιπρόσθετα, η προθυμία και η βοήθεια που μου παρείχε ο Κωνσταντίνος Νικολάου από το Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας σε σχετικά με το μοντέλο ερωτήματα, ήταν σημαντική και άξια να αναφερθεί. Οι γονείς μου, με την εμπιστοσύνη και την αγάπη τους όλα αυτά τα χρόνια βοήθησαν επίσης καταλυτικά να ξεπεραστούν οι όποιες δυσκολίες και προβλήματα, τους ευχαριστώ ιδιαίτερα για όσα έχουν κάνει για μένα όλα αυτά τα χρόνια και τους αφιερώνω αυτή την εργασία.

Ακόμα, ευχαριστώ εξαιρετικά την κ. Claire Jantz από το Πανεπιστήμιο του Shippensburg για την ουσιαστική συμβολή της, την επικοινωνία και το χρόνο που μου διέθεσε στην επίλυση τεχνικών θεμάτων με το μοντέλο Sleuth. Τελευταία, αλλά εξίσου ιδιαίτερα ευχαριστώ τον κ. Keith Clarke, ο οποίος εμπνεύστηκε και δημιούργησε το μοντέλο αστικής ανάπτυξης Sleuth και το διέθεσε ως ένα Open Source πρόγραμμα.

Περίληψη

Η παρούσα εργασία εξετάζει την επίδραση του φαινομένου της αστικής διάχυσης στην επέκταση και εξέλιξη των αστικών περιοχών. Η μοντελοποίηση των διαχρονικών αλλαγών με χρήση αστικών μοντέλων προσφέρεται ως ένα εργαλείο, το οποίο μπορεί να συνεισφέρει στην ανάλυση και πρόγνωση των δυναμικών αστικής επέκτασης. Στο πλαίσιο αυτό, μέσω της συνδυαστικής χρήσης του Κυψελοειδούς Αυτόματου (ΚΑ) μοντέλου Sleuth και των Γ.Σ.Π., επιχειρήθηκε να μοντελοποιηθεί η αστική ανάπτυξη, με σκοπό να διαφανούν οι μελλοντικές πιθανολογικές τάσεις της αστικοποίησης. Ταυτόχρονα, διερευνήθηκε η διαφοροποιημένη επίδραση των δεδομένων εισαγωγής στο μοντέλο, τόσο αναφορικά με την ποιότητα και το είδος των πρωτογενών πηγών δεδομένων που πρέπει να αναζητούνται, όσο και σε σχέση με την αξιοποίηση του υπολογιστικού χρόνου και την ελαχιστοποίηση του επεξεργαστικού φόρτου. Ως μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε η ευρύτερη περιοχή του Πολεοδομικού Συγκροτήματος του Ηρακλείου Κρήτης, το οποίο έχει σημειώσει ιδιαίτερα σημαντική πληθυσμιακή και αντίστοιχη οικοδομική δραστηριότητα. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά στιγμιότυπα, ως δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο, για μια χρονική περίοδο πενήντα ενός ετών, τα οποία διαφοροποιήθηκαν, είτε ως προς το πλήθος, είτε ως προς τη συχνότητα. Η μελέτη έδειξε ότι η χρήση των πιο πρόσφατων και με τη μεγαλύτερη συχνότητα εμφάνισης στιγμιότυπων οδηγεί σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα κατά την εκτέλεση του μοντέλου, μειώνοντας σημαντικά τους χρόνους επεξεργασίας και παρέχοντας αντίστοιχα πιο σταθερές προβλέψεις. Παράλληλα, η συμβολή των Γ.Σ.Π., τόσο για τη συλλογή και προεπεξεργασία των δεδομένων, όσο και για τη μελέτη και ανάλυση των παρατηρούμενων προτύπων της αστικής ανάπτυξης αποδείχθηκε ιδιαίτερα σημαντική αναδεικνύοντας τα οφέλη που μπορούν να αποκομιστούν ως προς τη σημασία των δυνατοτήτων ανάλυσης και μοντελοποίησης με χρήση ΚΑ μοντέλων.

Λέξεις Κλειδιά: Κυψελοειδή Αυτόματα, μοντέλο Sleuth, αστική διάχυση, χωρική μοντελοποίηση

Abstract

The present thesis examines the effect of the urban sprawl phenomenon to the evolution of urban areas. The modeling of temporal changes with the use of urban models can contribute to the analysis and foremost to the prognosis of urban expansion dynamics. In this context, through the combined use of the Sleuth Cellular Automaton (CA) model and G.I.S., a modeling of urban development was attempted, with the intention of allowing the future potential tendencies of urbanization to transpire. Simultaneously, the differing effect of the input data to the model was explored, regarding the quality and the nature of the primary sources that must be sought out, as well as in relation to the utilization of calculating time and the minimization of processing load. As case study, the greater area of the Urban Agglomeration of Herakleion, Crete was chosen, where significant population and corresponding construction activity increase have been noted. To this end, historical instances, as model data inputs, for a 50-year time period were utilized, which were differentiated either in terms of amount or frequency. The study showed that the use of the more recent and more frequent instances leads to more reliable results during the application of the model, considerably decreasing calculation times and correspondingly providing steadier predictions. Additionally, the contribution of G.I.S. to the collection and pre-processing of data, as well as to the study and analysis of the observed templates of urban development, proved very significant, highlighting the benefits that can be obtained concerning the importance of the analysis and the modeling potential, by using CA models.

Key words: Cellular Automata, Sleuth Urban growth model, Urban sprawl, spatial modeling

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Εισαγωγή	10
1.1	Αντικείμενο και στόχοι	10
1.2	Δομή και περιεχόμενα	14
2	Αστική διάχυση	15
2.1	Το φαινόμενο της διάχυσης διαχρονικά	16
2.1.1	Γέννηση της διάχυσης	16
2.1.2	Η διάχυση από το 1900-1970	19
2.1.3	Η διάχυση έως τις μέρες μας	24
2.2	Προσπάθεια ορισμού	28
2.3	Τύποι αστικής διάχυσης	31
2.4	Αιτίες αστικής διάχυσης	33
2.5	Επιπτώσεις αστικής διάχυσης	37
2.5.1	Περιβαλλοντικές επιπτώσεις	37
2.5.2	Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις	38
2.6	Τρόποι διαχείρισης αστικής διάχυσης	38
3	Αστικά μοντέλα	39
3.1	Συστήματα και πολυπλοκότητα	39
3.2	Η πόλη ως ένα πολύπλοκο σύστημα	40
3.3	Ρόλος αστικών μοντέλων	41
3.3.1	Θεωρητικές προσεγγίσεις των Αστικών Μοντέλων	42
3.3.2	Μέθοδοι και τεχνικές μοντελοποίησης της αστικής ανάπτυξης	44
3.4	Κυψελοειδή αυτόματα (Cellular Automata)	49
3.4.1	Χαρακτηριστικά ενός ΚΑ	50
3.4.2	Μαθηματική αναπαράσταση των ΚΑ	51
3.4.3	Το παιχνίδι της ζωής του Conway (Conway's game of life)	52
3.5	Η Χρήση ΚΑ για την προσομοίωση αστικών συστημάτων	54
3.6	Κατηγοριοποίηση αστικών ΚΑ μοντέλων	55

3.7	Μοντέλο αστικής διάχυσης Sleuth.....	59
3.8	Αξιοσημείωτα ευρήματα των εφαρμογών του Sleuth.....	61
4	Παρουσίαση περιοχής μελέτης.....	63
4.1	Το Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου.....	63
4.2	Ιστορική και πολεοδομική εξέλιξη.....	65
4.3	Χωροταξική οργάνωση και δίκτυα μεταφορών στο Π.Σ. Ηρακλείου.....	68
4.4	Πληθυσμιακά- Δημογραφικά στοιχεία.....	69
4.5	Οικοδομική δραστηριότητα και τάσεις αστικοποίησης.....	75
4.6	Αυθαίρετη δόμηση στο Π.Σ. Ηρακλείου.....	80
5	Εφαρμογή του Sleuth στο Π.Σ. Ηρακλείου.....	81
5.1	Συλλογή δεδομένων.....	82
5.1.1	<i>Τοπογραφική κλίση (Slope)- Σκίαση αναγλύφου (Hillshade).....</i>	<i>84</i>
5.1.2	<i>Χρήσεις γης (Landuse).....</i>	<i>85</i>
5.1.3	<i>Οδικό δίκτυο (Transportation).....</i>	<i>86</i>
5.1.4	<i>Περιοχές αστικής χρήσης (Urban).....</i>	<i>88</i>
5.2	Διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου Sleuth.....	90
5.2.1	<i>Ρυθμίσεις και λειτουργίες του μοντέλου.....</i>	<i>90</i>
5.2.2	<i>Εγκατάσταση Cygwin για προσομοίωση σε περιβάλλον Windows.....</i>	<i>91</i>
5.2.3	<i>Μεταφόρτωση (download) και μεταγλώττιση (compilation) του μοντέλου.....</i>	<i>91</i>
5.2.4	<i>Επαλήθευση της εκτέλεσης του μοντέλου.....</i>	<i>92</i>
5.3	Βαθμονόμηση του μοντέλου Sleuth.....	93
5.3.1	<i>Επιλογή εύρους παραμέτρων βαθμονόμησης.....</i>	<i>94</i>
5.4	Μέθοδος βαθμονόμησης με χρήση του δείκτη Leesalee.....	96
5.4.1	<i>Βαθμονομήσεις του μοντέλου Sleuth.....</i>	<i>96</i>
5.4.2	<i>Υπολογιστικός χρόνος για τη λειτουργία της βαθμονόμησης.....</i>	<i>100</i>
5.4.3	<i>Κανόνες αυτοτροποίησης (Self modification rules).....</i>	<i>101</i>
5.4.4	<i>Διαδικασία πρόγνωσης του μοντέλου.....</i>	<i>101</i>
6	Αποτελέσματα από την εκτέλεση του μοντέλου.....	102
6.1	<i>Βαθμονόμηση (Calibration).....</i>	<i>103</i>

6.1.1	Συμπεριφορά των δεικτών.....	103
6.1.2	Βέλτιστα αποτελέσματα δεικτών.....	105
6.1.3	Εύρη παραμέτρων βαθμονόμησης.....	106
6.1.4	Συμπεριφορά παραμέτρων.....	109
6.2	Πρόγνωση (Forecast).....	111
6.2.1	Συμπεριφορά των δεικτών.....	112
6.2.2	Συμπεριφορά των παραμέτρων κατά την πρόγνωση.....	114
6.2.3	Επεξεργασία εικόνων κάλυψης γης για την πρόγνωση.....	116
6.2.4	Επεξεργασία εξαγόμενων εικόνων πρόβλεψης αστικοποίησης.....	118
6.3	Ποσοτικοποίηση καλύψεων γης.....	122
6.3.1	Βαθμονόμηση.....	122
6.3.2	Πρόγνωση.....	124
7	Συμπεράσματα.....	128
7.1	Γενικά.....	128
7.2	Επίδραση της διαφοροποιημένης χρήσης των διαθέσιμων στοιχείων στη διαδικασία της βαθμονόμησης.....	129
7.3	Αξιολόγηση υπολογιστικού χρόνου.....	131
7.4	Αξιολόγηση συνδυαστικής χρήσης Γ.Σ.Π. και Κ.Α. μοντέλων.....	131
8	Μελλοντική έρευνα και σχετικές εργασίες.....	132
	Βιβλιογραφία.....	135
	Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία.....	135
	Ξενόγλωσση βιβλιογραφία.....	136
	Σύνδεσμοι στο διαδίκτυο.....	148

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1-1:	Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας της εργασίας.....	13
Εικόνα 2-1:	Η αρχικά γραμμική ανάπτυξη του Λονδίνου και η εξέλιξή της, όπως προκύπτουν από την χτισμένη έκτασή του από το 1800 έως το 1956.....	17
Εικόνα 2-2:	Το μοντέλο των ομόκεντρων ζωνών των Park και Burgess).....	20

Εικόνα 2-3: Το τομιακό μοντέλο του Hoyt	22
Εικόνα 2-4: Το μοντέλο των πολλαπλών πυρήνων των Chauncy και Ullman	23
Εικόνα 2-5: Γραφικά παραδείγματα Πολεοδομικού Συγκροτήματος "Ράντσαντ" (Ολλανδία) και Πράσινων ζωνών στην πόλη του Λονδίνου (Ηνωμένο Βασίλειο)	24
Εικόνα 2-6: Τύποι αστικής διάχυσης με βάση τη μορφή	32
Εικόνα 2-7: Φυσικά πρότυπα αστικής διάχυσης	32
Εικόνα 2-8: Βασικές αιτίες που επιδρούν στη διάχυση στην Ευρώπη: Με έντονη γραμματοσειρά αναγράφονται οι αιτίες της διάχυσης, οι υπόλοιποι είναι παράγοντες που μπορεί όμως να γίνουν αιτίες υπό συγκεκριμένες συνθήκες	34
Εικόνα 3-1: Κατηγορίες μοντέλων.....	44
Εικόνα 3-2: Γειτονιά "Von Neumann" και "Moore" σε δισδιάστατα Κυβελοειδή Αυτόματα	50
Εικόνα 4-1: Θέση της περιοχής μελέτης.....	64
Εικόνα 4-2: Το ισχύον Γ.Π.Σ. (2003) της πόλης του Ηρακλείου	67
Εικόνα 4-3: Περιοχές αυθαίρετων κτισμάτων του Δ. Ηρακλείου το 1984	81
Εικόνα 5-1: Κλίση και σκίαση αναγλύφου ως δεδομένα εισαγωγής στο Sleuth για το Π.Σ. Ηρακλείου.....	84
Εικόνα 5-2: Χρήσεις γης ως δεδομένα εισαγωγής στο Sleuth για το Π.Σ. Ηρακλείου.....	85
Εικόνα 5-3: Δεδομένα οδικού δικτύου στο Sleuth για το Π.Σ. Ηρακλείου	86
Εικόνα 5-4: Δεδομένα αστικής κάλυψης στο Π.Σ. Ηρακλείου	88
Εικόνα 5-5: Ποσοτικοποίηση της αστικής ανάπτυξης στο Π.Σ. Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 1960-2011 με βάση τα δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο	89
Εικόνα 5-6: Σχηματική απεικόνιση της δομής του καταλόγου της έκδοσης SLEUTH3.0beta..	92
Εικόνα 5-7: Διαδικασία εφαρμογής Sleuth πριν τη βαθμονόμηση	93
Εικόνα 5-8: Προσεγγίσεις βαθμονόμησης βάσει των επιπέδων αστικής επέκτασης που χρησιμοποιήθηκαν	96
Εικόνα 5-9: Σχήμα ροής διαδικασίας βαθμονόμησης με χρήση του δείκτη Leesalee για τη Βαθμονόμηση 1.....	97
Εικόνα 5-10: Σχήμα ροής διαδικασίας βαθμονόμησης με χρήση του δείκτη Leesalee για τη Βαθμονόμηση 2.....	98
Εικόνα 5-11: Σχήμα ροής διαδικασίας βαθμονόμησης με χρήση του δείκτη Leesalee για τη Βαθμονόμηση 3.....	99

Εικόνα 6-1: Εξαγόμενοι δείκτες για τις 3 βαθμονομήσεις σε σχέση με τα "στατιστικά βάσης" και τα έτη ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν.....	104
Εικόνα 6-2: Βέλτιστα αποτελέσματα δεικτών για τα στάδια της βαθμονόμησης	106
Εικόνα 6-3: Βέλτιστα αποτελέσματα δεικτών για τα στάδια της βαθμονόμησης	107
Εικόνα 6-4: Συμπεριφορά παραμέτρων για τις τρεις βαθμονομήσεις.....	111
Εικόνα 6-5: Συμπεριφορά δεικτών κατά την πρόγνωση από το 2011-2025.....	113
Εικόνα 6-6: Τιμές παραμέτρων για τη λειτουργία της πρόβλεψης του μοντέλου	115
Εικόνα 6-7: Τάσεις μελλοντικής αστικοποίησης μέσω της επεξεργασίας των εξαγόμενων εικόνων των ετών 2012 και 2025	117
Εικόνα 6-8: Πιθανολογικός χάρτης αστικής ανάπτυξης για το Π.Σ. Ηρακλείου το έτος 2025.....	119
Εικόνα 6-9: Αστική ανάπτυξη ανά δημοτικό διαμέρισμα	120
Εικόνα 6-10: Ποσοστιαία αστική ανάπτυξη ανά Δ.Δ. στο ΠΣ Ηρακλείου έως το έτος στόχο 2025.....	121

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 4-1: Διάρθρωση οικιστικού δικτύου της Περιφέρειας Κρήτης σε σχέση με το Π.Σ. Ηρακλείου.....	68
Πίνακας 4-2: Πληθυσμιακή εξέλιξη Πολεοδομικού Συγκροτήματος Ηρακλείου.....	70
Πίνακας 4-3: Πληθυσμιακή μεταβολή σε επίπεδο δήμων του Π. Σ. Ηρακλείου 1981-2011	71
Πίνακας 4-4: Αστικότητα πληθυσμού στο Ν. Ηρακλείου για το διάστημα 1961-1991	72
Πίνακας 4-5: Μέσοι ετήσιοι ρυθμοί μεταβολής πληθυσμού 1961-2011 στο Π.Σ. Ηρακλείου	74
Πίνακας 4-6: Διάρθρωση κτηριακού αποθέματος.....	75
Πίνακας 4-7: Διάρθρωση κτηρίων Π.Σ. Ηρακλείου, Ν. Ηρακλείου, Σύνολο χώρας 1977-2009	76
Πίνακας 4-8: Διάρθρωση νέων κατοικιών 1977-2009 στο Π.Σ. Ηρακλείου	78
Πίνακας 4-9: Διάρθρωση νέων κατοικιών 1977-2009 στο Π.Σ. Ηρακλείου	78
Πίνακας 5-1: Απαιτούμενα επίπεδα πληροφορίας για εισαγωγή στο Sleuth.....	82
Πίνακας 5-2: Δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο Sleuth στην περιοχή του Π.Σ. Ηρακλείου.....	83
Πίνακας 6-1: Αριθμός εικονοστοιχείων που προβλέπεται να αστικοποιηθούν έως το 2025 για τις περιπτώσεις των βαθμονομήσεων που εκτελέστηκαν.....	118
Πίνακας 6-2: Ποσοτικοποίηση αλλαγών χρήσεων στην περιοχή μελέτης για τα έτη 1960, 1972 και 2011.....	123

Πίνακας 6-3: Ποσοστό συμμετοχής χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής για τα έτη 1960, 1972 και 2011 της βαθμονόμησης_1	124
Πίνακας 6-4: Ποσοτικοποίηση χρήσεων γης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης-Βαθμονόμηση_1.....	125
Πίνακας 6-5: Ποσοστό συμμετοχής χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης- Βαθμονόμηση_1	125
Πίνακας 6-6: Ποσοτικοποίηση χρήσεων γης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης-Βαθμονόμηση_2_5_έτη.....	126
Πίνακας 6-7: Ποσοστό συμμετοχής χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης- Βαθμονόμηση_2_5_έτη	126
Πίνακας 6-8: Ποσοτικοποίηση χρήσεων γης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης-Βαθμονόμηση_3.....	127
Πίνακας 6-9: Ποσοστό συμμετοχής χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης- Βαθμονόμηση_3	127

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 4-1: Συγκριτική αποτύπωση ποσοστιαίας μεταβολής πληθυσμού ανά δεκαετία Π.Σ. Ηρακλείου, Ν. Ηρακλείου, Περιφέρειας Κρήτης & συνόλου Χώρας.....	70
Διάγραμμα 4-2: Πληθυσμιακή μεταβολή σε επίπεδο δήμων του Π. Σ. Ηρακλείου 1981-2011 71	
Διάγραμμα 4-3: Ποσοστιαία κατανομή αγροτικού, ημιαστικού και αστικού πληθυσμού στο Ν. Ηρακλείου, 1961 και 1991 και αστικότητα πραγματικού πληθυσμού.....	73
Διάγραμμα 4-4: Εξέλιξη πληθυσμιακής πυκνότητας Π.Σ Ηρακλείου, Ν. Ηρακλείου 1961-2001	73
Διάγραμμα 4-5: Πληθυσμιακή προβολή πληθυσμού έως το χρονικό ορίζοντα- στόχο 2025 ..	74
Διάγραμμα 4-6: Διάρθρωση κτηριακού αποθέματος σε επίπεδο δήμου στο Π.Σ. Ηρακλείου..	75
Διάγραμμα 4-7: Καταγραφή του όγκου των νέων οικοδομών και προσθηκών στο Π.Σ. Ηρακλείου από το 1977-2009.....	76
Διάγραμμα 4-8: Αριθμός, όροφοι και όγκος νέων οικοδομών και προσθηκών στο Π.Σ. Ηρακλείου.....	77
Διάγραμμα 4-9: Αριθμός, κατοικήσιμα δωμάτια και όγκος νέων κατοικιών στο Π.Σ Ηρακλείου από το 1977-2009.....	79
Διάγραμμα 5-1: Υπολογιστικοί χρόνοι για κάθε στάδιο και είδος βαθμονόμησης του μοντέλου σε λεπτά	101
Διάγραμμα 6-1: Κατανομή χρήσεων γης για τα έτη 1960, 1972 και 2011.....	122

1 Εισαγωγή

1.1 Αντικείμενο και στόχοι

Η Αστική Διάχυση, όρος που χρησιμοποιείται τις τελευταίες δεκαετίες για να περιγράψει τη μορφή των σύγχρονων προτύπων της ανάπτυξης στις εκβιομηχανισμένες χώρες αποτελεί ένα παγκόσμιο φαινόμενο που παρουσιάζει μεγάλο ενδιαφέρον στη σημερινή εποχή και μια από τις πιο εντυπωσιακές ανθρωπογενείς διεργασίες μετατροπής της φυσικής σε τεχνητή γη μέσα από μια σειρά περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών αλληλεπιδράσεων. Η διαρκής αύξηση του πληθυσμού σε παγκόσμιο επίπεδο υποδηλώνει τον κρίσιμο μόνιμο αντίκτυπο της αυξανόμενης αστικής εξάπλωσης και καθιστά επιτακτική την ανάγκη διαχείρισης ανάλογων φαινομένων, τόσο για τη μελέτη των προτύπων της ανάπτυξης, όσο και για την πρόγνωση της μελλοντικής τους επίδρασης, την αξιολόγηση μελλοντικών σχεδίων και την αναγνώριση φυσικών περιοχών σε κίνδυνο.

Η χρήση κατάλληλων μοντέλων για την προσομοίωση της αστικής διάχυσης είναι ένα από τα εργαλεία που μπορούν να αξιοποιηθούν αναφορικά με τη βιώσιμη διαχείρισή της και θεωρείται πλέον ως μια άμεση επέκταση της διαδικασίας λήψης αποφάσεων. Παρά τις παλαιότερες αστοχίες στην αστική μοντελοποίηση, οι τελευταίες δύο δεκαετίες έχουν χαρακτηριστεί από μια αναγέννηση σε αυτό τον τομέα, η οποία εκτός των άλλων σχετίζεται με την ανάπτυξη της τεχνολογίας των υπολογιστών και τη διαθεσιμότητα χωρικών δεδομένων υψηλής ποιότητας. Τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν την περίοδο αυτή εμφανίζουν μεγάλες δυνατότητες στην αναπαράσταση και προσομοίωση της πολυπλοκότητας των δυναμικών διαδικασιών της αστικής ανάπτυξης και παρέχουν ένα επιπρόσθετο επίπεδο γνώσης και κατανόησης των χωρικών και χρονικών αλλαγών. Καθώς όμως η επιτυχία ενός μοντέλου εξαρτάται από την ικανότητά του να προσαρμοστεί στις τοπικές ιδιαιτερότητες και χαρακτηριστικά του περιβάλλοντος που προσομοιώνει, η διαδικασία της βαθμονόμησης, δηλαδή της επιλογής του κατάλληλου συνδυασμού των παραμέτρων του μοντέλου, ώστε να αναπαρασταθούν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα πραγματικά πρότυπα, καθίσταται ιδιαίτερης σημασίας.

Αντικείμενο της παρούσας εργασίας είναι η επίδραση του φαινομένου της διάχυσης και των επιπτώσεων της στην επέκταση και την εξέλιξη των αστικών περιοχών. Πιο συγκεκριμένα η εργασία στοχεύει στην παρουσίαση και την εφαρμογή μιας μεθοδολογίας μέσω της συνδυαστικής χρήσης των αστικών μοντέλων και των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΓΠΣ), προκειμένου να μελετηθεί το φαινόμενο της αστικής διάχυσης με απώτερο στόχο τη μοντελοποίηση και πρόγνωση της δομής δυναμικών φαινομένων που εξελίσσονται χωρικά και χρονικά. Ως περίπτωση μελέτης επιλέχθηκε η ευρύτερη περιοχή του Πολεοδομικού Συγκροτήματος του Ηρακλείου Κρήτης, για την οποία διερευνήθηκε το φαινόμενο της διάχυσης χρησιμοποιώντας ιστορικά δεδομένα από το 1960 έως το 2011, για μια χρονική περίοδο δηλαδή πενήντα ενός ετών.

Για τη μοντελοποίηση της διάχυσης γίνεται χρήση μιας κατηγορίας αστικών μοντέλων, τα οποία καλούνται "Κυψελοειδή Αυτόματα- ΚΑ" και πιο συγκεκριμένα του μοντέλου αστικής ανάπτυξης Sleuth. Το μοντέλο αυτό δημιουργήθηκε από τον Καθηγητή Keith Clarke, ανήκει στα λεγόμενα λογισμικά "ανοικτού κώδικα" και έχει εφαρμοστεί κυρίως σε αστικές περιοχές της Β. Αμερικής, αλλά και σε άλλες ανά τον κόσμο. Τα Κυψελοειδή Αυτόματα (ΚΑ) είναι

απλά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων, βασίζονται δε στην αντίληψη ότι οι χρήσεις γης είναι χωρικά αλληλοσχετιζόμενες κι ότι οι οποιοσδήποτε αλλαγές επηρεάζουν σε μεγαλύτερο βαθμό τις γειτονικές σε σχέση με τις πιο απομακρυσμένες χρήσεις.

Ως μελέτη περίπτωσης επιλέχθηκε η ευρύτερη του Πολεοδομικού Συγκροτήματος του Ηρακλείου Κρήτης, η οποία αποτελεί ένα πολύ καλό παράδειγμα μελέτης της διάχυσης, καθώς οριοθετείται γεωγραφικά στο κέντρο της νοτιοανατολικής λεκάνης της Μεσογείου, έχει επηρεαστεί από πολλούς και διαφορετικούς πολιτισμούς και εκτείνεται κατά μήκος του βόρειου παραθαλάσσιου μετώπου της Κρήτης. Η οικιστική δε ανάπτυξη από το 1960 έως το 2011 έχει υπάρξει αρκετά έντονη με εμφανή πλέον τα σημάδια της διάχυσης εις βάρος της επακόλουθης κατανάλωσης μεγάλου τμήματος των αγροτικών κυρίως χρήσεων. Επιπρόσθετα, το φυσικό περιβάλλον, με την ποικιλομορφία αγροτικών, γεωργικών, προστατευόμενων περιοχών, υδάτινων όγκων και περιοχών υπό αρχαιολογική προστασία, σε συνδυασμό με τις υπάρχουσες αστικές και λοιπές εμπορικές και βιομηχανικές χρήσεις παρέχει όλα τα απαραίτητα χαρακτηριστικά που απαιτεί το Sleuth.

Ένας από τους βασικούς στόχους της παρούσας εργασίας είναι καταρχήν η συλλογή, από μια ποικιλία πηγών, των πρωτογενών δεδομένων, τα οποία κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας θα αποτελέσουν τα δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο αστικής ανάπτυξης Sleuth. Για την επίτευξη του στόχου αυτού καθίσταται ιδιαίτερης σημασίας η συνδυαστική χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (Γ.Σ.Π.), ως εργαλείων ενσωμάτωσης, επεξεργασίας και οπτικοποίησης των δεδομένων.

Παρότι στη διεθνή βιβλιογραφία έχει καταγραφεί ένας ικανός αριθμός ερευνητικών εργασιών στις οποίες έχει γίνει εφαρμογή του Κυψελοειδούς Αυτόματου (ΚΑ) Μοντέλου Sleuth, εντούτοις στην πλειονότητα των εφαρμογών, τα ιστορικά δεδομένα που έχουν χρησιμοποιηθεί, ιδιαίτερα σε αστικές περιοχές της Β. Αμερικής, υπήρχαν ήδη καταχωρημένα σε βάσεις δεδομένων, είτε παρέχονταν από αρμόδιους φορείς και υπηρεσίες διευκολύνοντας κατά αυτό τον τρόπο την εκτέλεση του μοντέλου και ελαχιστοποιώντας τους εκάστοτε χρονικούς περιορισμούς.

Στη συγκεκριμένη εργασία ωστόσο, στην οποία επιλέγεται ως περιοχή μελέτης το Π.Σ. Ηρακλείου, το γεγονός ότι δεν υπήρχαν a-priori έτοιμα δεδομένα, αλλά έπρεπε να δημιουργηθούν εκ του μηδενός, όσο και η δυσκολία εύρεσης των πρωτογενών πηγών συλλογής τους, αποτέλεσαν σημαντικές προκλήσεις, τόσο σε σχέση με την παράμετρο του συνολικού χρόνου που απαιτήθηκε λαμβάνοντας υπόψη και το χρόνο επεξεργασίας των δεδομένων εισόδου, όσο και αναφορικά με τη γνώση που απαιτήθηκε, προκειμένου αυτά να επεξεργαστούν σε μορφή συμβατή με τις απαιτήσεις του μοντέλου.

Επιπρόσθετα, η εργασία στοχεύει στην παρουσίαση μιας μεθοδολογίας σχετικά με τη διαδικασία βαθμονόμησης του μοντέλου Sleuth, ώστε να αναπαρασταθούν με ακρίβεια τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης. Η πρωτοτυπία της συγκεκριμένης εργασίας έγκειται στο γεγονός ότι για πρώτη φορά στα πλαίσια των ελληνικών εργασιών επιχειρείται να ελεγχθεί η "ευαισθησία" της βαθμονόμησης του μοντέλου χρησιμοποιώντας δεδομένα αστικής κάλυψης, τα οποία διαφέρουν, τόσο ως προς τη διάρκεια, όσο και ως προς το πλήθος.

Συγκεκριμένα, το ζητούμενο είναι η διερεύνηση της επίδρασης που έχουν οι μεταβολές των δεδομένων εισόδου, τόσο στη βαθμονόμηση και στον επεξεργαστικό φόρτο, όσο και στα αποτελέσματα. Για το σκοπό αυτό εκτελέστηκαν τρεις διαδοχικές βαθμονομήσεις μεταβάλλοντας κατά περίπτωση τα δεδομένα εισαγωγής της αστικής κάλυψης. Ειδικότερα:

❖ Στη πρώτη περίπτωση, καλούμενη στο εξής *''Βαθμονόμηση_1''*, το μοντέλο βαθμονομείται για μια χρονική περίοδο 51 ετών από το 1960-2011 και χρησιμοποιείται ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός επιπέδων αστικής κάλυψης, ο οποίος καθορίζεται σε τέσσερα (4) και αφορά στα έτη ελέγχου 1960, 1972, 1997 και 2011.

❖ Στη δεύτερη περίπτωση, η οποία καλείται *''Βαθμονόμηση 2_5_έτη''*, στα ήδη υπάρχοντα τέσσερα (4) επίπεδα, προστίθεται ένα επιπλέον, το οποίο αναφέρεται στην αστική κάλυψη κατά το έτος 1988, ενώ η χρονική περίοδος της βαθμονόμησης παραμένει ίδια με αυτήν της Βαθμονόμησης 1.

❖ Τέλος, στην τρίτη περίπτωση, η οποία καλείται *''Βαθμονόμηση 3''*, το μοντέλο βαθμονομείται για μικρότερη χρονική περίοδο, ίση με 39 έτη από το 1972-2011. Ο αριθμός των απαιτούμενων στιγμιότυπων αστικής κάλυψης αυτής της βαθμονόμησης ορίζεται σε τέσσερα (4) και περιλαμβάνει τα έτη 1972, 1988, 1997 και 2011.

Στις προαναφερθείσες προσεγγίσεις, τα υπάρχοντα δεδομένα ελέγχου της αστικής κάλυψης διαφέρουν, αφενός ως προς το σε ποιες χρονικές στιγμές έχουμε στιγμιότυπα και αφετέρου στο εύρος της περιόδου που καλύπτεται, με αιώτερο σκοπό να εξεταστεί κατά πόσο και με ποιο τρόπο οι παραπάνω διαφοροποιήσεις επηρεάζουν την ευαισθησία του μοντέλου.

Επιπλέον, ένας από τους βασικούς στόχους αυτής της διαφοροποίησης είναι να αξιολογηθεί η ωφέλεια του να υπάρχουν δεδομένα ελέγχου περισσότερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα, τόσο ως προς το συνολικό υπολογιστικό χρόνο που απαιτείται σε συνδυασμό με την ποιότητα των αποτελεσμάτων και το χρόνο που δαπανάται για τη βαθμονόμηση, ώστε να μοντελοποιηθεί με μεγαλύτερη ακρίβεια η περιοχής μελέτης και τα αποτελέσματα που θα προκύψουν, να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για την επέκταση της έρευνας σχετικά με την εφαρμογή του μοντέλου.

Αναφορικά με τα στατιστικά μεγέθη που εξάγονται μέσω των τριών (3) βαθμονομήσεων, στόχος είναι η εκτέλεση, μελέτη και αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου ως προς:

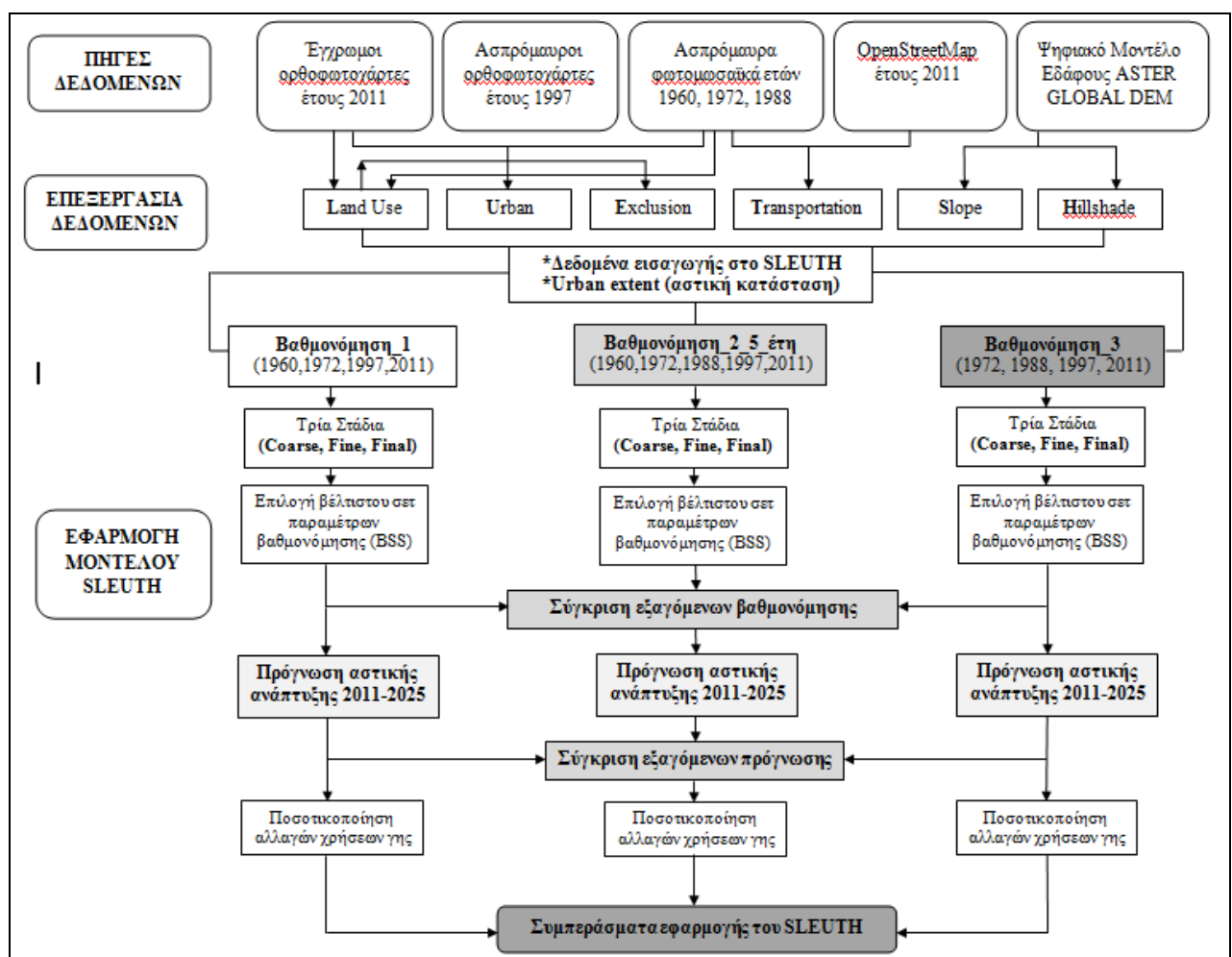
1. Τη συμπεριφορά και τα βέλτιστα αποτελέσματα των δεικτών που επιλέγονται και
2. Την ανάλυση της συμπεριφοράς των διαφοροποιήσεων και της δύναμης που έχουν συγκεκριμένα ακραία στιγμιότυπα (outlier), ώστε να επιδράσουν με αρνητικό τρόπο στην ακρίβεια του μοντέλου.

Παράλληλα, εξετάζεται η επίδραση της παραμέτρου του χρόνου εκτέλεσης του μοντέλου, που απαιτείται κατά τα τρία (3) στάδια της βαθμονόμησης (coarse, fine, final) και για κάθε μια εκ των παραπάνω προσεγγίσεων. Καθώς η λειτουργία της βαθμονόμησης του μοντέλου Sleuth αποτελεί μια *''πολυσταδιακή''* ακολουθία συγκεκριμένων βημάτων, ο παράγοντας *''χρόνος''* και η γνώση που μπορεί να αποκτηθεί μεταβάλλοντας τον αριθμό των δεδομένων

εισαγωγής κατά περίπτωση, συμβάλουν σημαντικά σε μια συνολική αξιολόγηση του μοντέλου κατά την εφαρμογή του στη συγκεκριμένη περιοχή μελέτης.

Σε δεύτερο στάδιο, η εργασία στοχεύει στην πρόγνωση της μελλοντικής αστικής ανάπτυξης στην περιοχή του Π.Σ. Ηρακλείου χρησιμοποιώντας το βέλτιστο σετ των παραμέτρων που προέκυψαν για κάθε μια εκ των τριών βαθμονομήσεων που εκτελέστηκαν. Χρησιμοποιώντας ως έτος εκκίνησης το τελευταίο έτος 2011 της βαθμονόμησης, το μοντέλο εκτελείται στη λειτουργία ‘‘Πρόγνωση’’, για μια περίοδο δεκαεσσάρων (14) ετών, δηλαδή έως το έτος στόχο 2025.

Στο στάδιο αυτό μελετώνται εκ νέου, αφενός η συμπεριφορά των δεικτών κατά την πρόγνωση και αφετέρου η συμπεριφορά των αντίστοιχων παραμέτρων του μοντέλου, με σκοπό τα αποτελέσματα που θα προκύψουν να συσχετιστούν με τα ποιοτικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, όπως αυτά παρουσιάζονται στο αντίστοιχο κεφάλαιο της εργασίας.



Εικόνα 1-1: Διάγραμμα ροής μεθοδολογίας της εργασίας (Ιδία επεξεργασία)

Επιπρόσθετα, μελετώνται οι εξαγόμενες εικόνες κάλυψης για την πρόγνωση και για τις τρεις προσεγγίσεις που αναπτύχθηκαν και εξάγονται χάρτες πρόβλεψης αστικοποίησης, οι οποίοι επεξεργάζονται μέσω κατάλληλων για το σκοπό αυτό λογισμικών (π.χ. ArcGIS), με σκοπό την εποπτική απεικόνιση των πιθανολογικών προτύπων της ανάπτυξης, σε συνδυασμό με την ποσοτικοποίηση των αλλαγών χρήσεων που πραγματοποιείται και στις δύο φάσεις λειτουργίας του Sleuth (Βαθμονόμηση-Πρόγνωση).

Τα εξαγόμενα από το στάδιο της πρόγνωσης μπορούν να αποτελέσουν ένα χρήσιμο εργαλείο στο χωρικό σχεδιασμό, αφού αφενός υποδεικνύονται οι πιθανότερες θέσεις των υψηλότερων τάσεων της αστικής ανάπτυξης, ενώ ταυτόχρονα παρέχεται η δυνατότητα βιώσιμης διαχείρισής της, μέσω προληπτικών μέτρων που δύναται να ληφθούν γνωρίζοντας εκ των προτέρων τις τάσεις αυτές. Παράλληλα, στα πλαίσια του χωρικού σχεδιασμού το μοντέλο θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και για την αξιολόγηση σεναρίων παρεμβάσεων.

Σχηματικά, η παρουσίαση της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε στα πλαίσια της παρούσας Διπλωματικής Εργασίας αποδίδεται στην εικόνα που προηγήθηκε..

Τέλος, στην παρούσα εργασία γίνεται μια αναφορά σε αντίστοιχες εφαρμογές του μοντέλου Sleuth για τον Ελληνικό χώρο, μέσω της σύγκρισης των αναγκαιοτήτων και αποτελεσμάτων, με σκοπό να παρουσιαστούν τα συμπεράσματα που προκύπτουν σχετικά με τα κοινά ζητήματα που ανέκυσαν, την αποτελεσματικότητα των εφαρμογών, αλλά και τα προβλήματα που αναδείχθηκαν.

1.2 Δομή και περιεχόμενα

Η παρούσα εργασία διαρθρώνεται σε επτά (7) κεφάλαια. Εκτός από το πρώτο κεφάλαιο που είναι το εισαγωγικό και στο οποίο παρατίθεται το αντικείμενο και οι στόχοι της εργασίας, τα επόμενα κεφάλαια 2 και 3 αφορούν τα θέματα του αντικειμένου που συνδέονται με το σχετικό θεωρητικό πλαίσιο.

Ειδικότερα, στο Κεφάλαιο 2 γίνεται μια εκτενής αναφορά στο φαινόμενο της διάχυσης, ανατρέχοντας σε ένα πλήθος βιβλιογραφικών πηγών σχετικά με τη διαχρονικότητα του φαινομένου και επιχειρείται να οριστεί μέσα από τη βιβλιογραφία, παρά την πολυπλοκοποίητά του, τόσο ως έννοια, όσο και ως διαδικασία. Αναφέρονται επίσης οι κύριες αιτίες της διάχυσης σε δύο διαστάσεις, οριζόντια και κάθετα καθώς και οι επιπτώσεις της και προτείνονται συγκεκριμένοι τρόποι διαχείρισής της, περιλαμβανομένης και της χρήσης κατάλληλων μοντέλων.

Το Κεφάλαιο 3 χωρίζεται σε δύο μέρη. Στο πρώτο αναπτύσσεται μια καινούργια οπτική, η οποία αντιμετωπίζει τις πόλεις σαν πολύπλοκα συστήματα και αναδεικνύει το ρόλο των αστικών μοντέλων στην προσομοίωση της αλλαγής των προτύπων της ανάπτυξης που συντελείται στους ζωντανούς οργανισμούς των πόλεων. Στο δεύτερο μέρος παρουσιάζεται μια κατηγορία αστικών μοντέλων, τα Κυψελοειδή Αυτόματα (ΚΑ) και εκτενέστερα το αστικό μοντέλο Sleuth, η δημιουργία του οποίου βασίζεται στη θεωρία των ΚΑ και η εφαρμογή του αποτελεί ουσιαστικά το αντικείμενο της παρούσας εργασίας.

Στο Κεφάλαιο 4 παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης, η οποία αφορά στο Πολεοδομικό Συγκρότημα του Ηρακλείου Κρήτης μέσα από μια ιστορική, πολεοδομική και πληθυσμιακή αναδρομή, ενώ αναλύονται ποιοτικά τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, φαινόμενα όπως η αυθαίρετη δόμηση στην περιοχή μελέτης και ειδικότερα οι συνθήκες που διαμόρφωσαν την οικιστική ανάπτυξη έως τις μέρες μας.

Στο Κεφάλαιο 5, το οποίο αναφέρεται στην εφαρμογή του μοντέλου αστικής ανάπτυξης Sleuth παρατίθεται αναλυτικά η μεθοδολογία της συλλογής και προεπεξεργασίας των δεδομένων εισόδου στο μοντέλο, μέσω της συνδυαστικής χρήσης των Συστημάτων

Γεωγραφικών Πληροφοριών, περιγράφεται η διαδικασία εφαρμογής του και αναλύονται τα διάφορα στάδια της βαθμονόμησης, με βάση τους στόχους που τέθηκαν.

Στο Κεφάλαιο 6 μελετώνται τα αποτελέσματα που προκύπτουν από την εκτέλεση των τριών (3) βαθμονομήσεων όπως περιγράφηκαν στην ενότητα 1.1 συγκρίνοντας αυτά, τόσο μεταξύ τους όσο και με τα υπάρχοντα δεδομένα ελέγχου, μέσω της στατιστικής επεξεργασίας που ακολουθεί και αφορά στη μελέτη των εξαγόμενων δεικτών και των αντίστοιχων παραμέτρων. Τα καλύτερα πλέον σετ παραμέτρων κατά τις βαθμονομήσεις, τροφοδοτούν το επόμενο στάδιο, αυτό της πρόγνωσης, η οποία καλύπτει μια χρονική περίοδο δεκαεσσάρων ετών, από το 2011-2025 και επιχειρεί να προβλέψει τα μελλοντικά πρότυπα της ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης. Και σε αυτό το στάδιο γίνεται μια στατιστική επεξεργασία της συμπεριφοράς των δεικτών και των παραμέτρων του μοντέλου για τις τρεις (3) βαθμονομήσεις που εκτελέστηκαν. Παράλληλα, απεικονίζονται εποπτικά πιθανολογικοί χάρτες της μελλοντικής αστικής ανάπτυξης και γίνεται μια ποσοτικοποίηση της αλλαγής των χρήσεων γης για τα δεκατέσσερα χρόνια της εξέλιξης χρησιμοποιώντας τα εξαγόμενα του μοντέλου.

Στο Κεφάλαιο 7 τέλος, αναφέρονται περιληπτικά τα αποτελέσματα που προέκυψαν και εξάγονται συμπεράσματα σχετικά με τους στόχους της έρευνας, ενώ γίνονται προτάσεις για μελλοντική χρήση των αποτελεσμάτων σε παρόμοιες ερευνητικές εργασίες, με σκοπό τη συνέχιση της έρευνας γύρω από τη μοντελοποίηση της αστικής διάχυσης.

2 Αστική διάχυση

Οι διαρκώς μεταβαλλόμενες συνθήκες που επικρατούν σε παγκόσμιο επίπεδο και σχετίζονται με την αστική ανάπτυξη, θέτουν τον αστικό χώρο στο επίκεντρο μιας νέας πραγματικότητας που τον αντιμετωπίζει, όχι πλέον σαν μια μεμονωμένη αστική οντότητα, αλλά ως ένα σύστημα αστικών συγκροτημάτων. Αναφερόμαστε στις "μεγα-πόλεις" κι ακόμα ευρύτερα στις "γίγα-πόλεις", δηλαδή στις παγκόσμιες πόλεις που αποτελούν το αναπτυσσόμενο αστικό πρότυπο που περιλαμβάνει δισεκατομμύρια ανθρώπων. Οι αστικοί αυτοί σχηματισμοί και η συνδεσιμότητά τους αναμένονται να είναι οι κύριοι επιδρώντες παράγοντες της παγκόσμιας αλλαγής κατά τη διάρκεια του 21ου αιώνα, καθώς η επίδραση της δυναμικής τους στα εδάφη, αλλά και στους ατμοσφαιρικούς και υδρολογικούς πόρους, έχει ξεπεράσει την τοπική κλίμακα των "μεγαπόλεων" και μπορεί πλέον να θεωρηθεί σαν ένα παγκόσμιας κλίμακας φαινόμενο. Ένα από τα ζητήματα που έχουν προκύψει μέσα από αυτές τις μεταλλαγές είναι η "αστική διάχυση", το οποίο δεν είναι νέο, έχει όμως αναδειχθεί σε μαζικό φαινόμενο σε όλο το δυτικό κόσμο και επανέρχεται διαρκώς. Παρόλη την έκταση που έχει δοθεί στο ζήτημα της αστικής διάχυσης, δεν υπάρχει ένας ακριβής ορισμός που να περιγράφει το φαινόμενο, στο οποίο έχει δοθεί πληθώρα ερμηνειών. Είναι αξιοσημείωτο ότι ακόμα και εντός της ακαδημαϊκής κοινότητας υπάρχουν διαφορετικές εννοιολογικές προσεγγίσεις ανάλογα με την οπτική του θέματος, εστιάζοντας είτε σε κοινωνικούς παράγοντες, είτε αντιμετωπίζοντας το ζήτημα ως αποτέλεσμα επιλογών της ελεύθερης αγοράς, είτε ακόμη και ως μια περιβαλλοντική απειλή.

Το εύρος των διαφορετικών αυτών απόψεων και οπτικών οδηγεί συχνά σε πόλωση και σύγχυση. Τα αίτια αυτών των δυσκολιών μπορούν να αναζητηθούν καταρχήν στο ότι ο όρος αυτός καθαυτός χρησιμοποιείται στο επιστημονικό πεδίο, αλλά και σε δημόσιες και πολιτικές

συζητήσεις, ενώ με την πάροδο των χρόνων έχει γίνει τόσο ευρύς, ώστε συχνά γίνεται αντικείμενο παρανόησης. Επιπρόσθετα, τα αίτια, τα χαρακτηριστικά και οι συνέπειες του φαινομένου συχνά συγχέονται μεταξύ τους, ενώ ακριβώς επειδή ο όρος χρησιμοποιείται προκειμένου να περιγραφεί, τόσο μια κατάσταση, όσο και η ίδια η διαδικασία που τη διέπει, ελλοχεύει ο κίνδυνος περαιτέρω παρερμηνειών. Οι παράμετροι που αναφέρθηκαν και σχετίζονται με το ζήτημα αυτό, θα αναπτυχθούν στις ενότητες που ακολουθούν, με σκοπό τη βαθύτερη κατανόηση του φαινομένου της διάχυσης.

2.1 Το φαινόμενο της διάχυσης διαχρονικά

Αν και η έρευνα αναφορικά με την έννοια της διάχυσης έχει ενταθεί τις τελευταίες κυρίως δεκαετίες, δεν πρόκειται παρόλα αυτά για ένα νέο φαινόμενο. Στις ενότητες που ακολουθούν επιχειρείται μια ιστορική αναδρομή της διάχυσης διασχίζοντας χρονικά τις πρώιμες πόλεις της αρχαιότητας και φθάνοντας έως σήμερα, με σκοπό να κατανοηθούν οι συνθήκες μέσα από τις οποίες γεννήθηκε η διάχυση και να σκιαγραφηθούν τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά αυτού του τόσο πολυδιάστατου, όσο και ενδιαφέροντος φαινομένου.

2.1.1 Γέννηση της διάχυσης

Σύμφωνα με τον Brueggemann (2005:22), σχεδόν σε κάθε περίοδο της αστικής ιστορίας υπήρχε μια μεταβατική ζώνη ανάμεσα στον αστικό και στον αγροτικό τρόπο ζωής.

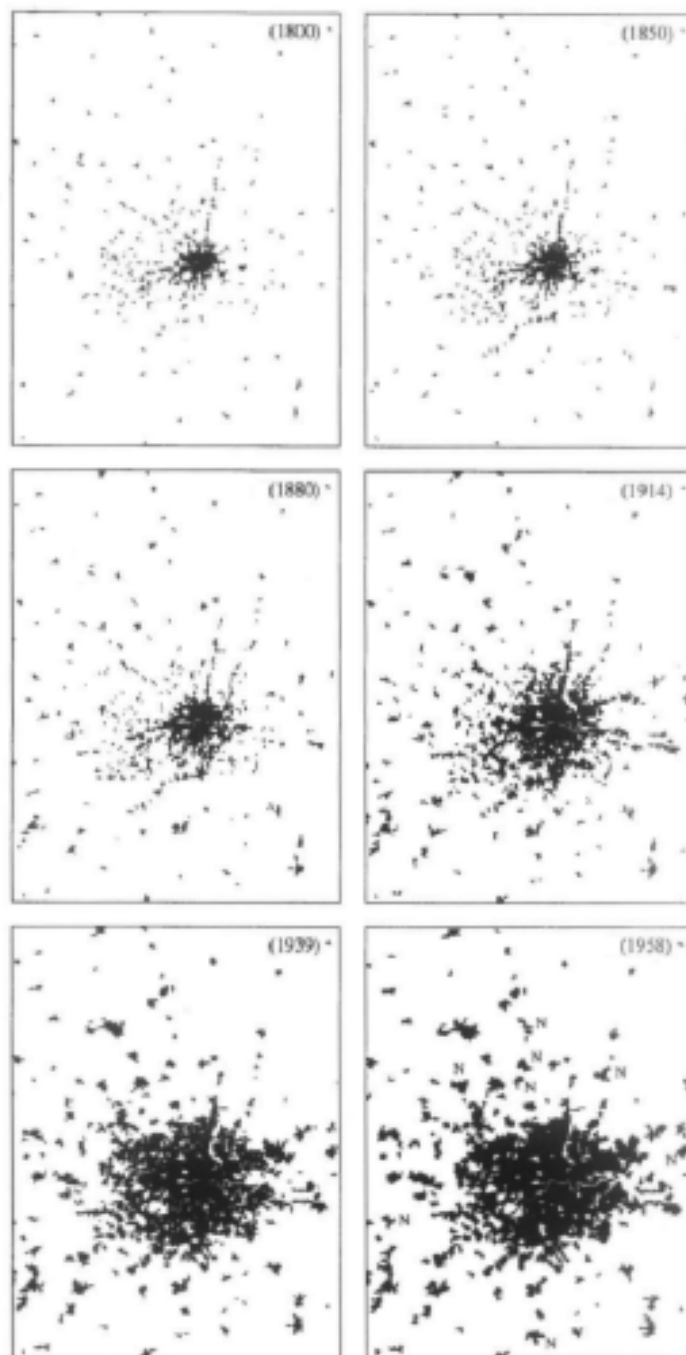
Η περιοχή αυτή, ακριβώς έξω από τα όρια της πόλης στέγαζε δραστηριότητες και κατοίκους, που συνδέονταν όμως στενά με την κοινωνική και οικονομική ζωή της, χωρίς παρόλα αυτά εκείνοι να μπορούν εύκολα να προσαρμοστούν στις εντός των τειχών συνθήκες, αφού συχνά στη ζώνη αυτή φιλοξενούνταν οι χρήσεις, που είτε κατανάλωναν υπερβολικό χώρο, είτε ήταν επιβλαβείς για την ίδια την πόλη. Για έναν μεγάλο όμως αριθμό πόλεων, η περιοχή αυτή υποστήριζε κι ένα τελείως διαφορετικό είδος δραστηριοτήτων, καθώς εκεί βρίσκονταν οι οικίες εύπορων και οικονομικά ισχυρών οικογενειών, οι οποίες είχαν τη δυνατότητα να διατηρούν φάρμες και δευτερες κατοικίες μακριά από τη συμφορήση, το θόρυβο, τη μόλυνση και τις κοινωνικές αναταραχές που χαρακτήριζαν τα κέντρα των μεγάλων πόλεων από την αρχή της δημιουργίας τους έως τις μέρες μας. Οι κατοικίες αυτές ήταν μόνιμες ή εποχιακές, συχνά ήταν συνεκτικές ή συνδυάζονταν με άλλες χρήσεις και ουσιαστικά προσομοίωσαν το πρότυπο που σήμερα θα χαρακτηρίζαμε ως προάστιο. Σε άλλες πάλι περιπτώσεις, ήταν αρκετά διασπαρμένες, με επιβλητικές οικίες εντός μεγάλων εκτάσεων, και απώτερο σκοπό τη διατήρηση του αγροτικού περιβάλλοντος.

Αν και τα πρότυπα αυτά παρατηρήθηκαν σε πολλές από τις παλιότερες πόλεις (Βαβυλώνα, Ουρ), ένα από τα πιο αντιπροσωπευτικά παραδείγματα αποτέλεσε η Αρχαία Ρώμη, η οποία υπολογίζεται ότι στέγαζε εντός των τειχών της και σε μια έκταση λίγο μεγαλύτερη από έξι τετραγωνικά μίλια περίπου 1.000.000 κατοίκους. Αυτή η πυκνότητα, η οποία σε σημερινά μεγέθη ανάγεται σε περισσότερους από 200 κατοίκους/ στρέμμα χαρακτήριζε τις περισσότερες μεγάλες, ακμάζουσες πόλεις έως τις αρχές του εικοστού αιώνα. (Brueggemann, 2005:22).

Παράλληλα, στην αυτοκρατορική Ρώμη, οι εκτός πόλης βίλες των πατρικίων, οι *villae suburbanae* (Mumford, 1989) στεγάζονταν κοντά στα προάστια καταλαμβάνοντας το μεγαλύτερο μέρος του εναπομείναντος χώρου, δημιουργώντας ασφυκτικές συνθήκες

διαβίωσης για τους ανθρώπους που στοιβάζονταν στις πολυκατοικίες της εποχής με όλες τις επακόλουθες επιπτώσεις λόγω της έλλειψης των στοιχειωδών κανόνων υγιεινής, που συχνά οδηγούσε στον αποδεκατισμό μεγάλου μέρους του αστικού πληθυσμού.

Ο Mumford επιπρόσθετα (1989:246) θεωρούσε τα μετέπειτα μοναστήρια του Μεσαίωνα ως μια ιδιαίτερη μορφή προαστίων, ενώ η ύπαρξη- κατά την ίδια περίοδο- των "ψευδο-πόλεων" fauxbourg, των μεσαιωνικών δηλαδή εξαθλιωμένων προαστίων (Blumenfeld, 1979:65), αλλά και το γεγονός ότι το Μιλάνο του 13^{ου} αιώνα εμφάνιζε έντονη εκτός και ταυτόχρονα πλησίον της πόλης κατοικία, ενίσχυσε τα ευρήματα σχετικά με τις πρώιμες διεργασίες της αστικής διάχυσης



Εικόνα 2-1: Η αρχικά γραμμική ανάπτυξη του Λονδίνου και η εξέλιξή της, όπως προκύπτουν από την χτισμένη έκτασή του από το 1800 έως το 1956 (Mogridge, Parr, 1997:100)

Ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε αυτή την ιστορική αναδρομή παρουσιάζει η περίπτωση του περιαστικού Λονδίνου, που ουσιαστικά επιβεβαιώνει τη σύνδεση των διαδικασιών αστικής αποκέντρωσης με τις υπάρχουσες συνθήκες οικονομικής ευημερίας μιας κοινωνίας. Κατά τον 16^ο και 17^ο αιώνα εντύπωση προκαλούσε η μεγάλη συγκέντρωση αποθηκών, μονάδων παραγωγής και φτωχών στρωμάτων στα ανατολικά προάστια (*Bruegmann, 2005:24*), ενώ η παράλληλη ανάπτυξη της αγοράς εργασίας στην πόλη προσέλκυε τις μάζες από την επαρχία, ουσιαστικά *''ανταλλάσσοντας μεγαλύτερες διαδρομές για φθηνότερα νοίκια''* (*Kotkin, 2005:114*). Ταυτόχρονα και καθώς η οικονομική βάση διευρυνόταν, ένας διαρκώς αυξανόμενος αριθμός ευκατάστατων Λονδρέζων εγκατέλειπε την πυκνοκατοικημένη και θορυβώδη πόλη για τα πλούσια προάστια. Αλλά ακόμα και πέρα από το περιαστικό Λονδίνο, στην περιοχή πέρα από τα προάστια (*exurbia*) δημιουργούνταν σταδιακά μια οικιστική εγκατάσταση, αρκετά πιο διάσπαρτη και αραιοκατοικημένη, η οποία αντί των αγροτών φιλοξενούσε την ελίτ των οικογενειών, παρέχοντας παράλληλα ένα υψηλής ποιότητας μεταφορικό σύστημα που διευκόλυνε την πρόσβαση στην πόλη. Στο Παρίσι αντίθετα ο διωγμός των εργατών από το κέντρο λόγω κυρίως των αλλεπάλληλων επαναστάσεων που προκαλούσαν τρομοκρατώντας τους αστούς (*Harvey, 1996*) δημιούργησε στην αρχή του 20^{ου} αιώνα μια κόκκινη ζώνη εργατικών- αριστερών προαστίων. Πέρα από τα όρια αυτά, η περιοχή που σήμερα στεγάζονται τα δυτικά προάστια του Παρισιού, φιλοξενούσε κατά το 17^ο και 18^ο αιώνα ένα μεγάλο αριθμό κάστρων και ιδιοκτησιών που ήταν συγκεντρωμένες γύρω από το σπουδαιότερο παλάτι της εποχής, αλλά κι ενός των μεγαλύτερων κέντρων πολιτικής επιρροής, αυτό των Βερσαλλιών. Τα πρότυπα αυτά δημιούργησαν ένα τεράστιο *''αριστοκρατικό''* τοπίο, προσεκτικά διαμορφωμένο, ώστε να διατηρεί τον *''αγροτικό''* του χαρακτήρα (*Bruegmann, 2005:30*).

Το Λονδίνο παρόλα αυτά, σε σχέση με τις υπόλοιπες σημαντικές ευρωπαϊκές πόλεις της εποχής έπαιξε κυρίαρχο ρόλο στο πρώιμο αυτό φαινόμενο της διάχυσης, γεγονός που οφείλεται τόσο στο μέγεθος και την ακμάζουσα οικονομία του, όσο και στο ότι βρισκόταν πάνω σε βασιλείο απομονωμένο χωρικά από την Ηπειρωτική Ευρώπη με αποτέλεσμα πιο ειρηνικές συνθήκες διαβίωσης συγκριτικά με άλλες πόλεις. (*Bruegmann, 2005:25*). Αυτό είχε σαν αποτέλεσμα το Λονδίνο να διασκορπιστεί οικιστικά νωρίτερα και κατά συνέπεια να καταγράψει χαμηλότερες πυκνότητες από όλες τις υπόλοιπες μεγάλες πόλεις, χαρακτηριστικό που διατηρεί ως τις μέρες μας. Το πρότυπο αυτό μιμήθηκε και ο υπόλοιπος δυτικός κόσμος μετά το δεύτερο μισό του δέκατου ένατου αιώνα, οπότε και η βιομηχανική επανάσταση επηρέασε όλο και περισσότερες πόλεις της Ηπειρωτικής Ευρώπης.

Στο μεγαλύτερο μέρος του 19^{ου} αιώνα, τα προάστια των πόλεων της Βορείου Αμερικής είχαν χαρακτηριστικά αντίστοιχης λογικής, *''ησυχαστήρια της ελίτ''* (*Ashton, 1984:57*), ενώ τόσο τα του 19^{ου}, όσο και αυτά του 20^{ου}, ήταν πολεοδομημένα γύρω από σιδηροδρομικούς σταθμούς (*Hall, 2002:58*). Επειδή όμως οι πόλεις αυτές έφθασαν στο απόγειο της βιομηχανικής τους δραστηριότητας αρκετά πιο αργά σε σχέση με τις αντίστοιχες ευρωπαϊκές, καταγράφοντας αρκετά υψηλότερες πυκνότητες εντός των τειχών τους, διασκορπίστηκαν ανάλογα οικιστικά, τόσο χρονικά, όσο και χωρικά. Στην περίπτωση αυτή οι διαδικασίες της διάχυσης κινήθηκαν με ταχύτερους ρυθμούς, ιδιαίτερα μετά το 1900, οπότε και όλο και μεγαλύτερος αριθμός μεταναστών, υποβοηθούμενος και από τις φθηνές αστικές συγκοινωνίες εγκατέλειπε το κέντρο της Νέας Υόρκης, μετακινούμενος προς τα έξω, σε λιγότερο πυκνοκατοικημένες περιοχές. Την εντυπωσιακή μείωση της αστικής πυκνότητας στο κέντρο ακολούθησε σταδιακά και η διάχυση λοιπών επιχειρήσεων και υπηρεσιών.

Ο Bruegmann (Bruegmann, 2005:10) προσθέτει τέλος ότι οι κοινωνικές μορφές των τάσεων της διάχυσης στη διάρκεια της πρώιμης αυτής περιόδου ήταν παρόμοιες, τόσο στις πόλεις της Ευρώπης, όσο και σε αρκετές πόλεις της βόρειας Αμερικής και υποστηρίζει ότι πιθανόν η διάχυση είναι το αποτέλεσμα της ολοένα κι αυξανόμενης ευημερίας και του επακόλουθου εκδημοκρατισμού της κοινωνίας. Μέσω αυτών των διαδικασιών όλο και περισσότεροι άνθρωποι απέκτησαν το δικαίωμα στην επιλογή, που κάποτε αποτελούσε μοναδικό προνόμιο των λίγων πλούσιων κι ισχυρών.

2.1.2 Η διάχυση από το 1900-1970

Οι πρώτες δεκαετίες του εικοστού αιώνα βρήκαν, τόσο τις ευρωπαϊκές, αλλά και αρκετές από τις πόλεις της βόρειας Αμερικής, στην απαρχή της βιομηχανικής επανάστασης, η οποία συνοδεύτηκε από μια κατακόρυφη αύξηση της ζήτησης καταναλωτικών αγαθών, αλλά και από βασικές αλλαγές στον τρόπο ζωής.

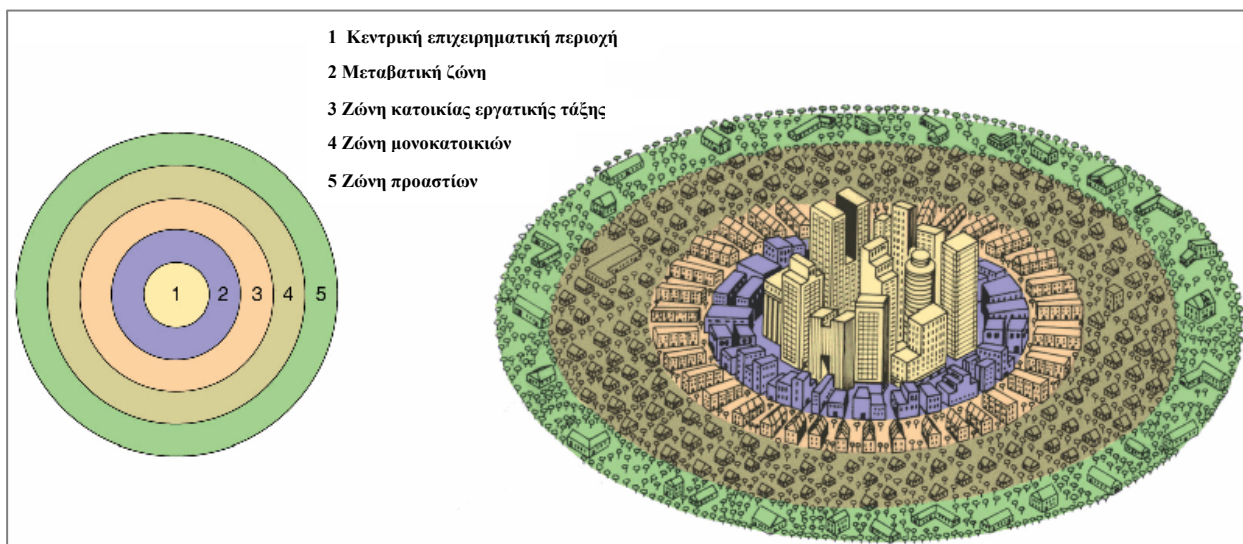
Τα πρωτοφανή επίπεδα αφθονίας, σε συνδυασμό με τις υψηλού επιπέδου δημόσιες συγκοινωνίες και την αναδυόμενη χρήση ιδιωτικών αυτοκινήτων, έδωσε τη δυνατότητα σε μια μεγάλη μερίδα του αμερικανικού αστικού πληθυσμού να κατοικήσει σε μονοκατοικίες στα προάστια. Το 1920 εκατοντάδες τετραγωνικών μιλίων κατοικιών φύτρωσαν μέσα σε μια νύχτα σε περιοχές λίγο πιο έξω από τη Ν. Υόρκη, τη Βοστώνη και το Σικάγο και μέχρι το τέλος του έτους, αυτό που στη βόρεια Αμερική ήταν εφικτό μόνο για ένα μικρό μέρος του πληθυσμού, η έννοια της ιδιοκατοίκησης, κατέστη πλέον δυνατό για τους περισσότερους ανθρώπους ακόμα και γι αυτούς στα πιο χαμηλά στρώματα της κοινωνικής και πολιτικής κλίμακας. Οι θεαματικότερες περιπτώσεις προαστιακής ανάπτυξης ανιχνεύθηκαν στις ταχύτερα αναπτυγμένες πόλεις της αμερικανικής δύσης, όπου μέχρι το τέλος του 1930 η πλειοψηφία, στις περιοχές έξω από το Λος Άντζελες και το Ντητρόιτ, κατοικούσε σε ιδιόκτητες οικίες και ήταν κάτοχοι Ι.Χ. αυτοκινήτων (Bruegmann, 2005:36).

Σύμφωνα και πάλι με τον Bruegmann, την ίδια περίοδο στις αντίστοιχες ευρωπαϊκές πόλεις του Λονδίνου, της Στοκχόλμης και του Αμβούργου χιλιάδες μεσοαστικές οικογένειες άρχισαν να μετακινούνται προς τα προάστια των πόλεων, κατοικώντας στις αντίστοιχες μονοκατοικίες ή διπλοκατοικίες της εποχής, με επακόλουθο και την αντίστοιχη μεταφορά πολλών εργοστασίων και βιομηχανιών όλων των ειδών από το κέντρο προς την περιφέρεια. Ταυτόχρονα, οι μισές σχεδόν από τις μετακινήσεις στην περιοχή του Λονδίνου, πραγματοποιούνταν από προάστιο σε προάστιο και λιγότερο από τα προάστια προς το κέντρο. Οι νοτιότερες πόλεις της Ευρώπης βίωσαν το φαινόμενο της διάχυσης σε μικρότερο βαθμό, καθώς ήταν λιγότερο ανεπτυγμένες οικονομικά και το μέγεθος της μεσαίας τάξης αρκετά μικρότερο, αδυνατώντας να ακολουθήσει τις αντίστοιχες μεγαλοαστικές προς την περιφέρεια.

Η διασπορά του πληθυσμού αποτέλεσε τελικά τη δεκαετία του '20 ένα μαζικό φαινόμενο στις Ηνωμένες Πολιτείες και στην Ευρώπη, πολύ περισσότερο βέβαια στις πρώτες, όπου η έκρηξη των χρήσεων του τριτογενούς τομέα στα παλιά κέντρα των πόλεων είχε ως αποτέλεσμα την απότομη μείωση των ανθρώπων που ζούσαν σε αυτά. Ειδικά προς το τέλος της δεκαετίας του 1920 η αποκέντρωση πολλών βιομηχανικών μονάδων καθώς και επιχειρήσεων λιανεμπορίου πραγματοποιήθηκε με ταχείς ρυθμούς σε περιοχές, όπως το Μπρονξ, το Σικάγο, ακόμα και το Χόλυγουντ με αποτέλεσμα τη δημιουργία νέων υποκαταστημάτων, γραφείων και θεάτρων, πανομοιότυπων με αυτά του κέντρου. Ειδικά δε

στην περίπτωση της πόλης του Σικάγο, η αποκέντρωση του 75% του λιανικού εμπορίου εκτός του κεντρικού πυρήνα της πόλης είχε ήδη ολοκληρωθεί τη δεκαετία του 1930 (Bruegmann: 2005:37)

Στο σημείο αυτό αξίζει να αναφερθούμε στις μελέτες που πραγματοποιήθηκαν την περίοδο μεταξύ των δύο παγκοσμίων πολέμων, από κοινωνιολόγους στο Πανεπιστήμιο του Σικάγο στην προσπάθειά τους να κατανοήσουν και να απεικονίσουν τις διαδικασίες της αστικής διάχυσης. Συγκεκριμένα, οι Robert Park και Ernest Burgess ανέπτυξαν ένα πρόγραμμα αστικής έρευνας στο Τμήμα Κοινωνιολογίας του Πανεπιστημίου του Σικάγο, εστιάζοντας στην πόλη του Σικάγο και επεξεργαζόμενοι μια θεωρία, βάσει της οποίας οι πόλεις είναι περιβάλλοντα, όμοια με αυτά που υπάρχουν στη φύση. Κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η πάλη για εύρεση αστικών πόρων, ιδιαίτερα δε για γη, οδηγεί σε ανταγωνισμό ανάμεσα στις ομάδες και στην επακόλουθη διαίρεση του αστικού χώρου σε διακεκριμένες “φυσικές περιοχές”, στις οποίες οι άνθρωποι μοιράζονται παρόμοια κοινωνικά χαρακτηριστικά, μιας και υπόκεινται σε παρόμοιες πιέσεις. Ο ανταγωνισμός για γη και πόρους οδήγησε στη χωρική διαφοροποίηση του αστικού χώρου σε ζώνες. Η ευημερία ανθρώπων και επιχειρήσεων επέτρεπε τη μετακίνησή τους έξω από το κέντρο της πόλης, μέσω της διαδικασίας που οι Park και Burgess ονόμασαν “διαδοχή”, με τον ίδιο τρόπο που συμβαίνει και στα φυσικά οικοσυστήματα. Το μοντέλο τους, γνωστό ως θεωρία των ομόκεντρων ζωνών που δημοσιεύτηκε στο *In the city* το 1925 προέβλεπε ότι οι πόλεις θα έπαιρναν τη μορφή πέντε ομόκεντρων δακτυλίων με τις περιοχές με τα περισσότερα κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα να συγκεντρώνονται κοντά στην πόλη και τις πιο ευημερούσες να τοποθετούνται κοντά στην άκρη της, προσπαθώντας με αυτό τον τρόπο να εξηγήσουν κοινωνικά προβλήματα, όπως η εγκληματικότητα σε συγκεκριμένες περιοχές του Σικάγο (Πηγή: Διαδίκτυο <http://www.esiss.org/classics/content/26>, Τελευταία πρόσβαση 25/8/2013).



Εικόνα 2-2: Το μοντέλο των ομόκεντρων ζωνών των Park και Burgess (Πηγή: Διαδίκτυο <http://aphug.wikispaces.com/Models+to+Know>, Τελευταία πρόσβαση 25/8/2013)

Η παραπάνω εικόνα αναπαριστά το ομόκεντρο μοντέλο των ζωνών, στο οποίο ο εσωτερικός κύκλος ή “βρόγχος” περιέχει την κεντρική επιχειρηματική περιοχή, περιλαμβάνει καταστήματα και γραφεία και είναι το κέντρο της ψυχαγωγίας. Ο βρόχος

περιβάλλεται από έναν ομόκεντρο δακτύλιο, τη "μεταβατική ζώνη", που αποτελεί τον κύριο χώρο κατοικίας των φτωχότερων στρωμάτων και περιβάλλεται από βιομηχανικές χρήσεις και ελαφρά βιομηχανία. Οι επόμενοι τρεις δακτύλιοι αφορούν τις ζώνες στέγασης. Ο πρώτος αφορά την υψηλής πυκνότητας περιοχή με φτωχή ποιότητα που αποτελεί τη ζώνη κατοικίας της εργατικής τάξης, η οποία όμως έχει την οικονομική δυνατότητα να ζει λίγο πιο έξω από το συνωστισμό του κέντρου. Η ζώνη αυτή περιβάλλεται από την περιοχή της ελαφρώς χαμηλότερης πυκνότητας στέγασης της μεσαίας τάξης και έπεται ο δακτύλιος που αναπαριστά τις προαστιακές και υπεραστικές περιοχές που βρίσκονται διασκορπισμένες στην άκρη της πόλης και προφανώς στεγάζουν αυτούς που μπορούν να μετακινούνται καθημερινά. (Πηγή: Διαδίκτυο: <http://www.s-cool.co.uk/a-level/geography/urban-profiles/revise-it/models-from-burgess-and-hoyt>, Τελευταία πρόσβαση 25/8/2013).

Στην περίοδο μετά τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο τα μοντέλα του Park και Burgess απαξιώθηκαν ως απλουστευτικά, ενώ δέχθηκαν έντονη κριτική καθώς θεωρήθηκε ότι δεν ελάμβαναν υπόψη τις κοινωνικές και πολιτιστικές διαστάσεις της αστικής ζωής, αλλά ούτε και τις πολιτικο-οικονομικές επιπτώσεις λόγω της εκβιομηχάνισης στην αστική γεωγραφία. (Πηγή: Διαδίκτυο <http://www.csiss.org/classics/content/26>, Τελευταία πρόσβαση 25/8/2013).

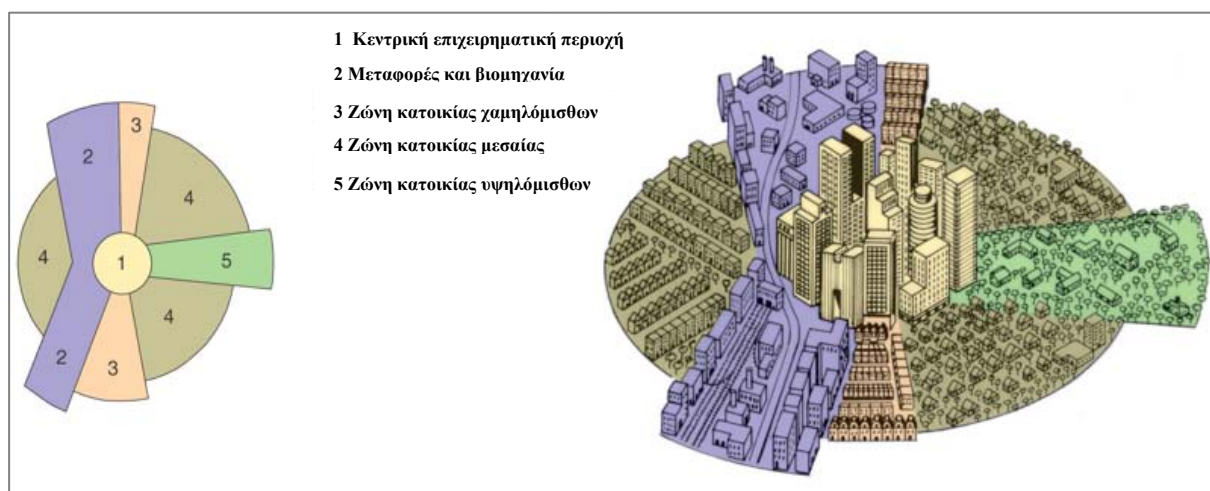
Οι προβληματισμοί που τέθηκαν σχετικά με την αποτελεσματικότητα του μοντέλου των ομόκεντρων ζωνών οδήγησαν σε μια δεύτερη προσέγγιση, η οποία παρουσιάστηκε από τον Hoyt σχεδόν 20 χρόνια αργότερα από το μοντέλο των Park και Burgess. Ο Hoyt υποστήριξε ότι η πόλη διευρύνεται μέσω μιας σειράς τομέων ή "σφηνών". Αν και δέχεται την ύπαρξη της "κεντρικής επιχειρηματικής περιοχής", ο δημιουργός του μοντέλου παρατήρησε ότι οι διάφορες ομάδες επεκτείνονται έξω από το κέντρο της πόλης κατά μήκος του σιδηροδρομικού και άλλων μεταφορικών δικτύων και οδικών αρτηριών. Χρησιμοποιώντας και πάλι το Σικάγο σαν μοντέλο, ο τομέας στέγασης της ανώτερης τάξης εξελισσόταν κατά μήκος της ακτογραμμής της λίμνης Michigan βόρεια της κεντρικής επιχειρηματικής ζώνης, ενώ η βιομηχανία εκτεινόταν προς το Νότο επίσης σε τομείς, οι οποίοι όμως ακολουθούσαν τις σιδηροδρομικές γραμμές. Αναπτύσσοντας αυτό το μοντέλο ο Hoyt παρατήρησε επίσης, ότι η στέγαση κοντά στο σιδηρόδρομο ήταν κοινό γνώρισμα των χαμηλόμισθων νοικοκυριών και αναγνωρίζοντας ότι οι διάφορες μεταφορικές διαδρομές προς κάποια αστική περιοχή απαιτούσαν μεγαλύτερη προσβασιμότητα ανέπτυξε τη θεωρία ότι οι πόλεις μεγαλώνουν σε πρότυπα που έχουν σχήμα σφήνας, ή σε τομείς. Υψηλότερα επίπεδα προσβασιμότητας συνεπάγονται υψηλότερες αξίες γης, εξ ου και πολλές εμπορικές χρήσεις παρέμειναν εντός της κεντρικής επιχειρηματικής περιοχής, αλλά η κατασκευή τους αναπτύχθηκε σε μια σφήνα γύρω όμως από μεταφορικές διαδρομές. Από την άλλη οι οικιστικές λειτουργίες επεκτείνονταν σε πρότυπο σφήνας με τον τομέα της στέγασης των χαμηλόμισθων να συνορεύει με τους βιομηχανικούς- τομείς της κατασκευής, ενώ οι τομείς των μεσαίων και υψηλόμισθων νοικοκυριών εγκαθίστανται αρκετά πιο μακριά. Το μοντέλο του Hoyt, σε αντίθεση με αυτό των Park και Burgess που χρησιμοποιήθηκε για μια συγκεκριμένη περίπτωση μελέτης (Σικάγο), προσπάθησε να θέσει ευρύτερα μια αρχή αστικής οργάνωσης.

Τα χρόνια μετά το τέλος των δύο παγκοσμίων πολέμων διαφοροποίησαν αρκετά την αστική ανάπτυξη μεταξύ της Ευρώπης και των Ηνωμένων Πολιτειών. Οι περισσότερες ευρωπαϊκές πόλεις, ιδιαίτερα μετά τον 2^ο Παγκόσμιο Πόλεμο ήταν σχεδόν ολοσχερώς κατεστραμμένες, οπότε χρειαζόταν να ανοικοδομηθούν εκ νέου, άλλες πάλι, όπως το

Βερολίνο, η Βιέννη, η Γλασκόβη και το Μπέρμιγγαμ παρέμεναν πληθυσμιακά στάσιμες, αν δεν είχαν χάσει και πληθυσμό (Bruegmann, 2005:42).

Στις Ηνωμένες πολιτείες αντίθετα, τα χρόνια μεταξύ των δύο πολέμων χαρακτηρίστηκαν από μια εντυπωσιακή αύξηση της προαστιακής και υπεραστικής ανάπτυξης, ιδιαίτερα στη βόρεια Αμερική. Αυτό οφείλεται κυρίως στην αξιοσημείωτη επέκταση των υποδομών, καθώς την περίοδο αυτή ολοκληρώθηκαν πολλά έργα μεταφορών, υδροδότησης και ηλεκτροδότησης.

(Πηγή: Διαδίκτυο <http://answers.yahoo.com/question/index?qid=20071006044047AA2H7Yd>, Τελευταία πρόσβαση 25/8/2013).



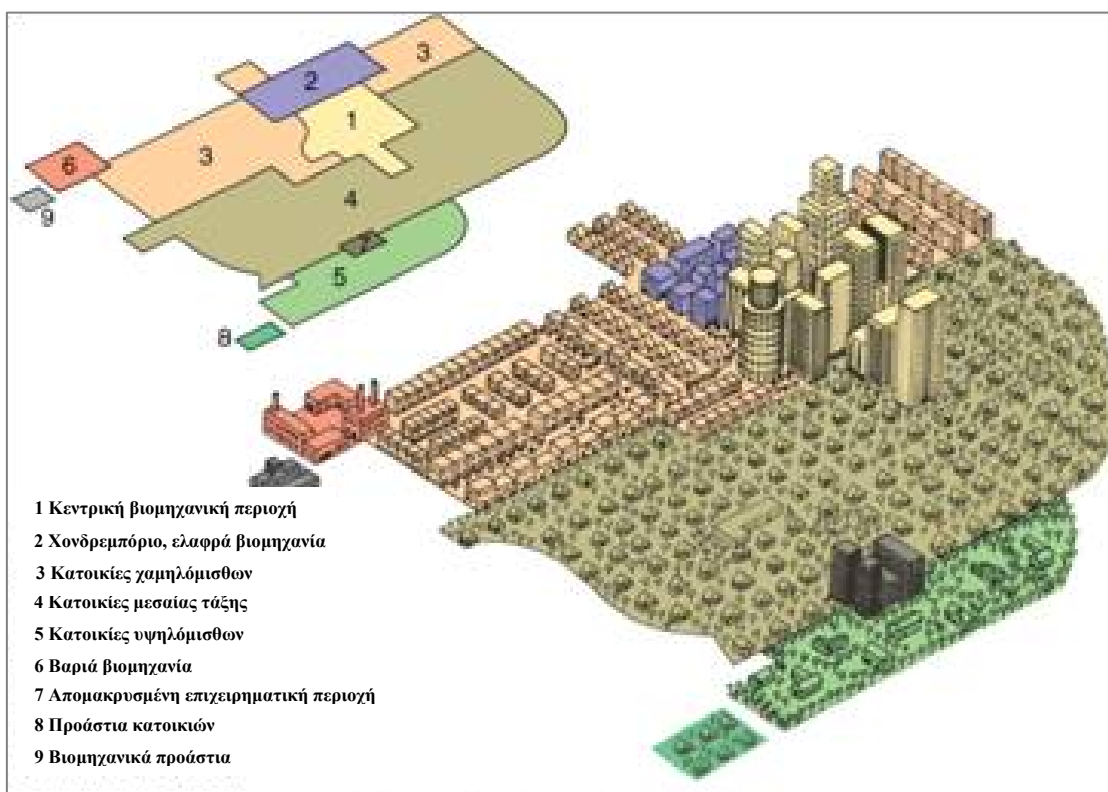
Εικόνα 2-3: Το τομεακό μοντέλο του Hoyt (Πηγή: Διαδίκτυο http://wps.prenhall.com/esm_rubenstein_humangeo_8/20/5326/1363563.cw/content, Τελευταία πρόσβαση 25/8/2013)

Η προαστιακή δε έκρηξη των δεκαετιών 1940 και 1950 βασίστηκε μεταξύ άλλων στο κατάλληλο zoning, τα δάνεια και τις υποθήκες με κρατική εγγύηση, την εντυπωσιακή αύξηση των γεννήσεων αμέσως μετά τον πόλεμο, το λεγόμενο baby boom (Hall, 2002:315-316), καθώς και το πρόγραμμα κατασκευής λεωφόρων και αυτοκινητόδρομων *Interstate & Defense Highways*. Συνδυάστηκε επίσης με την πτώση του κόστους των μετακινήσεων και την επέκταση της αστικής γης, με παράλληλη μείωση των οικιστικών πυκνοτήτων μέσω των νέου οδικού δικτύου (*Mieszkowski, Mills, 1993:136*).

Τις δεκαετίες από το 1950 έως το 1970 περίπου, ο αμερικανικός πληθυσμός αυξήθηκε κατά πενήντα εκατομμύρια, φθάνοντας το 1968 τα 200 εκατομμύρια κατοίκους, ενώ πόλεις όπως το Λ. Άντζελες αυξήθηκαν με ακόμα μεγαλύτερο ρυθμό, υπερδιπλασιάζοντας τον πληθυσμό της. Την ίδια στιγμή η αστική περιοχή του Φοίνξ τετραπλασιάστηκε, ενώ του Σαν Χοσέ πενταπλασιάστηκε. Επακόλουθο αυτού του φαινομένου ήταν μια σημαντική μείωση του μέσου μεγέθους των νοικοκυριών, το οποίο από 5 άτομα/ νοικοκυριό στο τέλος του 19^{ου} αιώνα, έφθασε σε 3,14 το 1970. Καθώς δε όλο και περισσότεροι άνθρωποι αποζητούσαν περισσότερο ζωτικό χώρο, παρατηρήθηκε μια σημαντική μείωση των αστικών πυκνοτήτων στον πυρήνα των πόλεων και μια ολοένα αυξανόμενη χαμηλής πυκνότητας προαστιακή ανάπτυξη σε πολλές αστικές περιοχές της βόρειας Αμερικής.

Η μεταπολεμική περίοδος απ' την άλλη χαρακτηρίστηκε επίσης από την περιαστικοποίηση και στην Ευρώπη, αλλά σε μικρότερη κλίμακα. Η αύξηση των αστικών περιοχών ήταν βραδύτερη, ενώ οι πολεοδόμοι μπορούσαν να επεμβαίνουν πιο ενεργά από τους αντίστοιχους αμερικανούς. Η αστική δε διάχυση πραγματοποιήθηκε μέσα στα πλαίσια του κράτους πρόνοιας, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μεγάλων αστικών συγκροτημάτων και Νέων Πόλεων στις περισσότερες περιφέρειες των πόλεων της Δ. και Κ. Ευρώπης.

Το 1945 δύο γεωγράφοι, οι Chauncy Harris και Edward Ullman, στην προσπάθειά τους να περιγράψουν το σχεδιασμό μιας πόλης ανέπτυξαν ένα τρίτο μοντέλο, γνωστό και ως μοντέλο πολλαπλών πυρήνων (multiple nuclei model). Υποστήριζαν ότι η κεντρική επιχειρηματική περιοχή (central business district), δηλαδή ο κεντρικός πυρήνας της πόλης, ο οποίος ενυπάρχει και στα προηγούμενα δύο μοντέλα, χάνει τη σημασία του σε σχέση με την υπόλοιπη πόλη, εξ ου και θα πρέπει να ειπωθεί λιγότερο ως το εστιακό σημείο της πόλης και περισσότερο ως ένας ακόμα πυρήνας εντός της περιοχής. (Διαδίκτυο, <http://geography.about.com/od/urbaneconomicgeography/a/Urban-Geography-Models.htm>, πρόσβαση 26/8/2013).



Εικόνα 2-4: Το μοντέλο των πολλαπλών πυρήνων των Chauncy και Ullman (Πηγή: Διαδίκτυο http://wps.prenhall.com/esm_rubenstein_humangeo_8/20/5326/1363563.cw/content, Τελευταία πρόσβαση 25/8/2013)

Καθώς δε η χρήση του αυτοκινήτου αυξάνεται σημαντικά, η μετακίνηση των κατοίκων/ προς τα προάστια παρουσιάζει αυξημένη συχνότητα. Με αυτόν τον τρόπο δημιουργούνται στα περίχωρα άλλες μικρότερες κεντρικές επιχειρηματικές περιοχές, κοντά σε υψηλής αξίας γης οικιστικές εγκαταστάσεις. Αυτό δημιουργεί κόμβους ή πυρήνες σε άλλα σημεία της πόλης δίπλα στην εκάστοτε κεντρική επιχειρηματική περιοχή. Επίσης, μέσω του μοντέλου

καταδεικνύεται ότι ομοειδείς βιομηχανίες εγκαθίστανται η μια κοντά στην άλλη, επηρεάζοντας με τη σειρά τους τον άμεσο περίγυρό τους, ενώ ο αριθμός και τα είδη των πυρήνων καθορίζουν την αύξηση μιας πόλης.

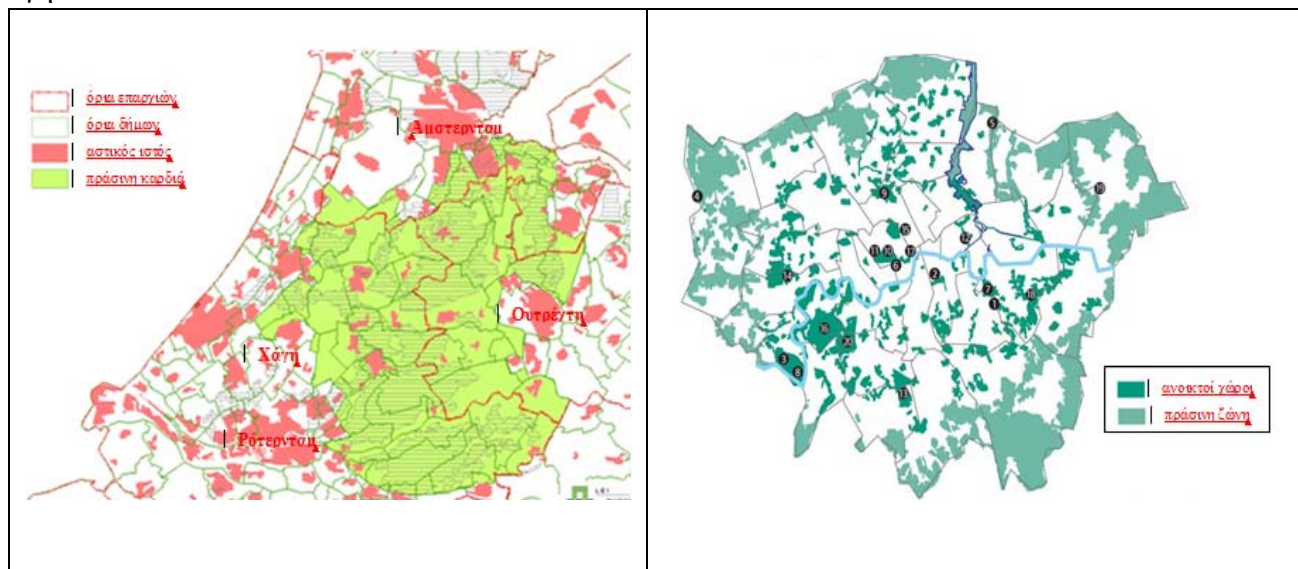
(Διαδίκτυο, http://en.wikipedia.org/wiki/Multiple_nuclei_model, πρόσβαση 26/8/2013).

Το μοντέλο περιλάμβανε 9 διαφορετικούς τομείς, οι οποίοι απεικονίζονται σχηματικά στην προηγούμενη εικόνα και αναπτύσσονται σε ανεξάρτητες περιοχές εξαιτίας των δραστηριοτήτων τους. Για παράδειγμα, ορισμένες οικονομικές δραστηριότητες (π.χ. πανεπιστήμια και βιβλιοπωλεία) δημιουργούν έναν πυρήνα. Άλλοι πυρήνες διαμορφώνονται ώστε να είναι μεταξύ τους απομακρυσμένοι (π.χ. αεροδρόμια και κεντρικές επιχειρηματικές περιοχές), ενώ άλλοι αναπτύσσονται λόγω της οικονομικής τους ιδιαιτερότητας. (Διαδίκτυο, <http://geography.about.com/od/urbaneconomicgeography/a/Urban-Geography-Models.htm>, Τελευταία πρόσβαση 26/8/2013).

Όπως ισχυρίζεται ο Buegmann (2005:48) το μοντέλο αυτό αν και περισσότερο ρεαλιστικό σε σχέση με τα προηγούμενα δύο, ήταν και περισσότερο πολύπλοκο. Ήταν επίσης μειονεκτικό ως προς το ότι περιέγραφε την πόλη με όλη την περιφερειακή της ανάπτυξη ως χωριστή οντότητα, χωρίς να λαμβάνει υπόψη τη σφιχτή συγκέντρωση των πόλεων που διαμορφώνουν μια ενιαία αστική περιοχή. Απέτυχε τέλος να αντιπροσωπεύσει μεγάλες περιφερειακές και εξωαστικές περιοχές στις Ηνωμένες Πολιτείες, οι οποίες διασπείρονταν μέσα στην ύπαιθρο συνδέοντας μεταξύ τους διαφορετικές πόλεις.

2.1.3 Η διάχυση έως τις μέρες μας

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών του εικοστού αιώνα οι περισσότερες πόλεις του κόσμου χαρακτηρίστηκαν από μια θεαματική αύξηση, τόσο στον πληθυσμό, όσο και στη γη.



Εικόνα 2-5: Γραφικά παραδείγματα Πολεοδομικού Συγκροτήματος "Ράντσταντ" (Ολλανδία) και Πράσινων ζωνών στην πόλη του Λονδίνου (Ηνωμένο Βασίλειο) (Πηγή: Ιδία Επεξεργασία)

Σύμφωνα με τον Buegmann, εκεί που ιστορικά ελάχιστες πόλεις άγγιξαν σε πληθυσμό το ένα εκατομμύριο ανθρώπους, μόνο στο τέλος του εικοστού αιώνα η Κίνα είχε περισσότερες από τριάντα πόλεις με τον ίδιο πληθυσμό, ενώ οι περισσότερες μητροπολιτικές

περιοχές, όπως το Τόκυο, η Ν. Υόρκη και η πόλη του Μεξικό αριθμούσαν πάνω από είκοσι εκατομμύρια ανθρώπων και διασπείρονταν σε τεράστιες περιοχές, ενσωματώνοντας εντός της αστικοποιημένης τους έκτασης αυτοκινητόδρομους, εμπορικά κέντρα, βιομηχανικά πάρκα, αεροδρόμια και πολλές πρώην μεμονωμένες αστικές οντότητες.

Στον ακμάζοντα βιομηχανικό κόσμο που υποδέχτηκε την οικονομική ανάπτυξη του '70, ένας μεγάλος αριθμός πόλεων άλλαξε άρδην, καθώς οι παραδοσιακές εμπορικές και βιομηχανικές λειτουργίες του κέντρου της πόλης μετακινήθηκαν στην άκρη της, ενώ η κεντρική πόλη και οι κοντινές γειτονιές έγιναν σπίτι για έναν διαρκώς αυξανόμενο αστικό πληθυσμό και για μια υψηλού κόστους οικονομία. Με τη διεύδυση δε των αστικών λειτουργιών όλο και πιο μακριά στην ύπαιθρο, τα παλιά όρια μεταξύ αστικής, προαστιακής και αγροτικής έκτασης κατέρρευσαν.

Αναφορικά με την άλλοτε κεντρική επιχειρηματική περιοχή (CBD), ή αλλιώς τον κεντρικό πυρήνα της πόλης, αν και φαίνεται, ειδικά στην Ευρώπη να μην έχει αλλάξει ιδιαίτερα τα τελευταία πενήντα χρόνια, αυτό που ωστόσο έχει αλλάξει είναι ο τρόπος που οι πόλεις αναμορφώθηκαν. Πλέον, ο πυρήνας των περισσότερων κέντρων των πόλεων περιλαμβάνει μόνο ένα μικρό μέρος του πληθυσμού ή των θέσεων εργασίας στη μητροπολιτική περιοχή, ενώ κι αυτό βρίσκεται σε διαρκή πτώση.

Μόνο στη περιοχή του Παρισιού χάθηκαν κατά τη διάρκεια του '90 διακόσιες χιλιάδες θέσεις εργασίας, από τις οποίες ο εσωτερικός δακτύλιος των προαστίων κέρδισε μόλις τις είκοσι, ενώ οι εκατόν εξήντα χιλιάδες προστέθηκαν στον εξωτερικό. Ομοίως, στις Ηνωμένες Πολιτείες έως το 2000 τα περισσότερα παραδοσιακά κέντρα των αμερικάνικων πόλεων στέγαζαν λιγότερο από το 10% των θέσεων εργασίας εντός της μητροπολιτικής περιοχής, ενώ πόλεις που κάποτε λειτουργούσαν αυτόνομα, βρέθηκαν να ανταγωνίζονται με άλλα κέντρα αστικών περιοχών. Τέτοια πρότυπα παρατηρήθηκαν στο Σαν Φρανσίσκο, στο Σαν Χοσέ, αλλά και στο Πολεοδομικό συγκρότημα του Ράντστατ, όπου το Άμστερνταμ, το Ρότερνταμ, η Ουτρέχτη και η Χάγη με τις κοινότητες δορυφόρους τους σχηματίζουν σήμερα έναν αστικοποιημένο δακτύλιο γύρω από μια λιγότερο ανεπτυγμένη "πράσινη καρδιά", σε μια περίεργη αντιστροφή του μοντέλου του Λονδίνου, όπου ο κεντρικός πυρήνας περιβάλλεται από την αντίστοιχη "πράσινη ζώνη" (Bruegmann, 2005:52).

Το ιστορικό κέντρο των περισσότερων πόλεων, παρόλη την μετακίνηση των γραφείων και της ελαφριάς βιομηχανίας στα προάστια, δεν εξαφανίστηκε. Αντίθετα, οι εναπομείναντες κάτοικοι βοήθησαν, ώστε τα κέντρα των πόλεων τους να αποκτήσουν μια νέα θέση εντός του καινούργιου αστικού συστήματος, είτε ως κέντρα αποφάσεων κυβερνήσεων και οικονομίας, είτε ως ένας μαγνήτης για τον πολιτισμό και τον τουρισμό. Οι ιστορικοί πυρήνες του Σαν Φρανσίσκο, του Λονδίνου και του Παρισιού βίωσαν μια εμπορική αναμόρφωση, τροφοδοτώντας τις διεθνείς επιχειρήσεις, τον πολιτισμό και τον τουρισμό και προσφέροντας κατάλυμα σε έναν εύπορο και προνομιούχο αστικό πληθυσμό, ενώ την ίδια χρονική στιγμή ήταν η νοσταλγία για την ιστορική πόλη και το ενδιαφέρον για τη διατήρησή της που δημιούργησε ένα μαζικό κίνημα, με αποτέλεσμα την εντυπωσιακή αναβίωση των κέντρων. Πολλές από τις ίδιες δυνάμεις που έδρασαν στην κεντρική βιομηχανική περιοχή, διαμόρφωσαν και το μεγαλύτερο μέρος των παλιών κεντρικών πόλεων. Έως το 2000 ο δείκτης της πυκνότητας για σχεδόν κάθε αμερικανική και ευρωπαϊκή πόλη ήταν χαμηλότερος από ότι πριν πενήντα ή εκατό χρόνια. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι ενώ ο πληθυσμός του

Παρισιού άγγιζε στα μέσα του 19^{ου} αιώνα τους 200.000 κατοίκους ανά τετραγωνικό μίλι, έως το 2000 είχε πέσει στους 75.000. Ακόμα, αν και οι πυκνότητες στον ιστορικό πυρήνα παρέμεναν υψηλότερες σε σχέση με τις αμερικάνικες αστικές περιοχές, στο Σικάγο για παράδειγμα οι διαδικασίες που αφορούσαν στην εργασία δε διέφεραν καθόλου. Η νέα αυτή τάση επιστροφής στην κεντρική πόλη, όπου πλέον ολόκληρα οικοδομικά τετράγωνα που πριν στέγαζαν εργατικές οικογένειες γεμίζουν με εύπορους κατοίκους παράγοντας χαμηλότερες πυκνότητες, παρατηρείται τόσο στην Ευρώπη, όσο και στην Αμερική, ενώ εντύπωση προκαλούν τα ολοένα κι αυξανόμενα ποσοστά του αριθμού των κατοικιών που ανήκουν στους εύπορους αστούς με την κύρια κατοικία τους να βρίσκεται αλλού. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό της αναζωογόνησης των πόλεων είναι η εισροή μεταναστών, πολλοί από τους οποίους είναι φτωχοί, αλλά διατεθειμένοι να χτίσουν τις δικές τους πολυσύχναστες κοινότητες. Η διαδικασία αυτή είναι αρκετά έντονη κατά μήκος των Ηνωμένων Πολιτειών με τους Βιετναμέζους των προαστίων του Λ. Άντζελες έως τους αφρικανικούς θύλακες της Ν. Υόρκης, ενώ ως αποτέλεσμα παρατηρείται η αύξηση του πληθυσμού της κεντρικής πόλης, μιας και οι νέοι μετανάστες είναι περισσότερο πρόθυμοι να ζήσουν σε υψηλότερες πυκνότητες σε σχέση με το υπόλοιπο μέρος του πληθυσμού. Παρότι δε η διαδικασία που περιγράφηκε έχει χρησιμοποιηθεί για να περιγράψει τη διεύδυση των εύπορων λευκών κατοίκων, ειδικά στις πόλεις της βόρειας Αμερικής ήταν οι Ασιάτες, Λατίνο και Αφρο-Αμερικάνοι με τα αυξανόμενα εισοδήματα που διαμόρφωσαν τις συνθήκες. Επιπλέον, καθώς ο αριθμός των εργατικών οικογενειών μετακινείται προς την άκρη της πόλης προς αναζήτηση φθηνής γης προς ενοικίαση, οι εύπορες οικογένειες δείχνουν όλο και λιγότερο διατεθειμένες να μετακινούνται προς τα έξω και καθώς η τάση αυτή ισχυροποιείται, οι ζυμώσεις που πραγματοποιούνται, έχουν πολλά κοινά σημεία με το παλιό οικολογικό μοντέλο των Park και Burgess, μιας και κάθε γειτονιά που βελτιώνεται, τείνει να εκτοπίσει προς τα έξω τις αμέσως προηγούμενες ομάδες διεκδικώντας το δικό της μερίδιο στην αναδιαμορφωμένη κεντρική πόλη.

Τις τελευταίες δεκαετίες του εικοστού αιώνα, αν και οι εξελίξεις σχετικά με τις τάσεις στέγασης στα αμερικάνικα προάστια ακολουθούν αυτές των μεταπολεμικών δεκαετιών, εντούτοις, το μέσο μέγεθος των νέων κατοικιών έχει αυξηθεί σημαντικά. Τα προάστια των Ευρωπαϊκών και των πόλεων της Αυστραλίας ή του Καναδά παρότι δεν αναπτύχθηκαν ακριβώς όπως τα αντίστοιχα των Ηνωμένων Πολιτειών, εμφανίζουν ομοιότητες ως προς τα πρότυπα ανάπτυξης. Για παράδειγμα, στο Παρίσι παρατηρείται σημαντική μείωση του πληθυσμού κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του εικοστού αιώνα με ταυτόχρονη αύξηση του πληθυσμού εντός της ζώνης των προαστίων, ενώ ήδη από τις αρχές του '70, ακόμα και τα εσωτερικά προάστια εμφάνιζαν μείωση σε πυκνότητα και πληθυσμό σε αντίθεση με τα εξωτερικά και τις περιοχές πέρα από αυτά, όπου παρατηρήθηκε εκρηκτική αύξηση. Επιπρόσθετα, τόσο τα γαλλικά, όσο και τα αμερικάνικα προάστια είναι υπερβολικά ετερογενή, περιλαμβάνοντας τόσο καλαίσθητα, όσο και φτωχά προάστια στο βορρά και το νότο, ενώ συγκεντρώνουν μια μεγάλη πλειοψηφία του πληθυσμού της μεσαίας τάξης.

Η προαστιακή ανάπτυξη υπήρξε λίγο διαφορετική στη βόρεια και νότια Ευρώπη, με την αποκέντρωση να λαμβάνει χώρα νωρίτερα στις πιο πλούσιες χώρες της βόρειας και κεντρικής Ευρώπης, από ότι συνέβη στις πόλεις της νότιας και ανατολικής, αν και σε αυτές το φαινόμενο είχε ελεγχθεί σε μεγάλο βαθμό, με αποτέλεσμα πρότυπα σχετικά πυκνών προαστιακών συστάδων να εκτείνονται προς τα έξω από τον κεντρικό πυρήνα της πόλης, προσεκτικά διαχωρισμένα μεταξύ τους με ζώνες αστικού πρασίνου. Πέρα από τα εξωτερικά

προάστια, εκτείνεται μια τεράστια υπερ-αστική ζώνη, μεταξύ των οποίων κάτοικοι της μεσαίας τάξης στεγάζονται σε μονοκατοικίες και χρησιμοποιούν το αυτοκίνητο, όπως και σε πολλές πόλεις της Αμερικής, του Καναδά και της Αυστραλίας. Όπως πολύ παραστατικά έχει περιγράψει ο Γερμανός αρχιτέκτονας και πολεοδόμος Thomas Sieverts τα πρότυπα αυτά των αντίστοιχων γερμανικών πόλεων χαρακτηρίζονται ως "Zwischenstadt", ή αλλιώς "μεταξύ" πόλη.

Στη νότια Ευρώπη, η όψη της περιφέρειας μοιάζει αποθαρρυντική, όπως για παράδειγμα στην Ιταλία και την Ισπανία, όπου η πρόσφατη ευημερία έχει προκαλέσει πολύ πιο ραγδαία και ανεξέλεγκτη αποκέντρωση, γεγονός που εξηγεί γιατί οι χαμηλής πυκνότητας αυτοκινητόδρομοι, τα γραφεία και τα βιομηχανικά πάρκα στην περιφέρεια της Βαρκελώνης και της Μπολόνια μοιάζουν πολύ περισσότερο με την περιφέρεια των Αμερικανικών πόλεων παρά με αυτή της βόρειας Ευρώπης. Επιπρόσθετα, καθώς οι οικονομίες των πόλεων της νότιας Ευρώπης έμειναν πίσω στις εξελίξεις από αυτές της βόρειας Ευρώπης και Αμερικής κατά τη διάρκεια του εικοστού αιώνα, η διαδικασία της αποκέντρωσης πραγματοποιήθηκε με πιο αργούς ρυθμούς. Έτσι, η Νάπολη και το Παλέρμο παρέμειναν πυκνότερες από το Λονδίνο και το Αμβούργο κατά τη διάρκεια της μεταπολεμικής περιόδου, βίωσαν όμως έντονη αποκέντρωση μετά την οικονομική έκρηξη του '90 με σαφώς λιγότερες ρυθμίσεις σε σχέση με τις βορειοευρωπαϊκές πόλεις. Πολλά από τα προαστιακά πρότυπα τέλος στην Ευρώπη είναι επίσης ορατά στις εύπορες αγγλόφωνες χώρες του Καναδά και της Αυστραλίας, περισσότερο από αυτά των Ηνωμένων Πολιτειών, με πολύ λιγότερα μίλια αυτοκινητόδρομου, αφού οι επενδύσεις στις δημόσιες συγκοινωνίες είναι αρκετά υψηλές και με τις κεντρικές πόλεις να είναι πιο εύπορες και τα προάστια λιγότερο, σε σχέση με την Αμερική. Παρόλες όμως τις διαφορές η διαμόρφωση των περιοχών του Βανκούβερ ή του Σίντνεϋ μοιάζει εκπληκτικά με τα πρότυπα των πόλεων των Ηνωμένων Πολιτειών.

Τέλος, μια από τις σημαντικότερες παρατηρήσεις κατά τον Bruegmann σχετικά με την ανάπτυξη των Ευρωπαϊκών και Αμερικανικών πόλεων και προαστίων από το 1970 είναι ο τρόπος με τον οποίο οι πόλεις αυτές τείνουν να συγκλίνουν. Εν μέρει αυτό οφείλεται στο ότι ένας αυξανόμενος αριθμός των κέντρων των πόλεων της Αμερικής γίνονται πυκνότερες, ενώ οι περισσότερες ευρωπαϊκές συνεχίζουν να αποκεντρώνονται, και τα άκρα της πόλης δείχνουν ολοένα και πιο όμοια. Η δυσκολία να κατανοήσουμε τις νέες αστικές περιοχές έγκειται σε μεγάλο βαθμό στις αισθητικές προκαταλήψεις που μεταφέρουμε, αλλά και στο ότι η ανάλυση και οι όποιες προσπάθειες περιγραφής μας δε συμβαδίζουν με τις αλλαγές που συμβαίνουν στο έδαφος.

Σίγουρα οι ομόκεντροι κύκλοι των Park και Burgess και οι πολλαπλοί πυρήνες των Chauncy και Ullman δεν προσφέρουν, παρά μια καλή εικόνα της πολυπλοκότητας και των συνεχών αλλαγών του τοπίου, όμως η σύλληψη της μέγα-πόλης του Gottmann μπορεί να είναι πιο επιτυχημένη, ιδιαίτερα εάν αφήσουμε τους παραδοσιακούς διαχωρισμούς μεταξύ αστικού, προαστιακού και αγροτικού και θεωρήσουμε τους σχηματισμούς κατά μήκος ενός αχανούς τοπίου σαν αστέρια, πλανήτες και άλλα ουράνια σώματα, καθένα από τα οποία μπορεί να ασκεί μια δύναμη, περισσότερο ή λιγότερο ισχυρή ανάλογα με το μέγεθος και την πυκνότητα του που να αλλάζει σε ένταση μέσα στο χρόνο. Κι είναι η οποιαδήποτε μικρή ή μεγάλη αλλαγή που μπορεί να συμβεί στους ουράνιους σχηματισμούς και είναι ικανή να αναδιατάξει το σύστημα βαρύτητας του γαλαξία. Έτσι συμβαίνει και με τα αστικά συστήματα με τη μόνη διαφορά ότι το βασικό στοιχείο σε ένα αστικό σύστημα είναι το κάθε ανθρώπινο

πλάσμα και οι αποφάσεις που λαμβάνει. Κάθε απόφαση που κάθε μέλος παίρνει, επηρεάζει, σε κάποιο βαθμό καθέναν εντός της μητροπολιτικής περιοχής, και όταν πολλοί άνθρωποι κάνουν αλλαγές προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση, αυτό μπορεί να οδηγήσει με τη σειρά του σε μεγάλες αλλαγές στο πρότυπο της ανάπτυξης. Για την κατανόηση της διάχυσης, χρειάζεται να παρατηρούμε συνεχώς πίσω και μπρος, από τα άκρα προς το κέντρο, από το πιο ειδικό στο γενικότερο και από τον καθένα μεμονωμένα στη γειτονιά στο αστικό σύστημα σαν σύνολο (Bruegmann, 2005:94).

2.2 Προσπάθεια ορισμού

Όπως προαναφέρθηκε, παρά την πληθώρα ορισμών γύρω από την έννοια της αστικής διάχυσης, υπάρχει ακόμη σημαντική διαφωνία αναφορικά με την απόδοση ενός ακριβούς ορισμού. Εν τη απουσία δε ενός ξεκάθਾਰου τρόπου προσδιορισμού της αστικής διάχυσης, θα αναφερθούν στη συνέχεια μερικοί από τους ορισμούς και τους τρόπους που αυτοί προέκυψαν, οι οποίοι έχουν επιπροσθέτως τύχει ευρείας αποδοχής, προσδίδοντας στην έννοια μια σειρά χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων. Ο όρος *''διάχυση''* ή αλλιώς *sprawling* χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά από τον Earl Draper το 1937 στα πλαίσια ενός τοπικού συνεδρίου πολεοδομίας και αναφερόταν στην αντιαισθητική και αντικοινωνική μορφή των οικισμών ορισμένων πόλεων της Β. Αμερικής. (Wassmer, 2002).

Πιθανότατα, ο απλούστερος ίσως ορισμός για το φαινόμενο προέρχεται από τον Brueckner, ο οποίος το 2000 χαρακτήρισε τη διάχυση ως *''την υπερβολική χωρική ανάπτυξη των πόλεων''*, εμμένοντας όμως στον όρο *''υπερβολική''*, καθώς αναγνώρισε μεν ότι οι πόλεις χρειάζεται να μεγαλώσουν προκειμένου να φιλοξενήσουν τον ολοένα κι αυξανόμενο πληθυσμό, όμως το ζήτημα είναι ότι οι πόλεις μεγαλώνουν πολύ περισσότερο από όσο μπορεί να θεωρηθεί αποδεκτό ή τουλάχιστο λογικό και υποστήριξε ότι η ανάπτυξη μπορεί να είναι πιο συγκεντρωμένη και συνεκτική.

Με βάση δε τον ορισμό της Ευρωπαϊκής Περιβαλλοντικής Υπηρεσίας (European Environmental Agency) το ίδιο έτος, η διάχυση ορίζεται ως *''το φυσικό πρότυπο της χαμηλής πυκνότητας εξάπλωσης μεγάλων αστικών περιοχών προς τις όμορες εκτάσεις, η οποία λαμβάνει χώρα υπό την πίεση των αγορών''*

Οι Longley et al προέβησαν το 2002 σε μια κατηγοριοποίηση των ορισμών της διάχυσης, τονίζοντας ότι υπάρχουν διάφορα στοιχεία που υπεισέρχονται και πρότειναν τους ακόλουθους τρόπους:

1. Ορίζοντας την με βάση τη μορφή, θεωρώντας ότι τελικά η εξάπλωση είναι θέμα βαθμού και όχι συγκεκριμένου αστικού προτύπου, που κυμαίνεται από τη συνεκτική έως τη διαχεόμενη ανάπτυξη, ενώ οι διαχεόμενες αυτές μορφές χαρακτηρίζονται από συνεχή, γραμμική αστική ανάπτυξη κατά μήκος των οδικών αρτηριών φθάνοντας έως τη διάσπαρτη ανάπτυξη. Τέτοιου είδους ορισμοί έχουν υποστηριχτεί κυρίως από τους Ewing και Pendall το 1994 και 1999 αντίστοιχα, αλλά παρουσιάζουν γενικά δυσκολίες, καθώς όλα τα φαινόμενα με παραπλήσια χαρακτηριστικά μπορούν να κατηγοριοποιηθούν ως διάχυση.

2. Ορίζοντας τη διάχυση με βάση τις χρήσεις γης και χρησιμοποιώντας τα αντίστοιχα πρότυπα καλύψεων γης, δίνοντας στη διάχυση χαρακτηριστικά, όπως χαμηλής πυκνότητας οικιστική ανάπτυξη, ομογενή οικιστική ανάπτυξη μονοκατοικιών με διάσπαρτες μονάδες και

χρήσεις, όπως αυτές των εμπορικών κέντρων. Η προσέγγιση αυτή είναι αρκετά ευρεία και η ουσία έγκειται στην περιγραφή της διάχυσης ως χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη με έναν διαχωρισμό χρήσεων, υποστηρίζεται δε κυρίως από τον Downs το 1998 και το είδος αυτό των ορισμών είναι λιγότερο συνηθισμένο σε σχέση με αυτούς που προαναφέρθηκαν.

3. Χρησιμοποιώντας ορισμούς που βασίζονται στις επιπτώσεις της διάχυσης και έχουν κυρίως εκπροσωπηθεί από τον Ewing και τον Johnson το 1994 και 2001, οι οποίοι την ορίζουν προτιμότερα μέσω των αρνητικών της επιπτώσεων, χρησιμοποιώντας ως παραδείγματα την έλλειψη λειτουργικού αστικού χώρου καθώς και τη φτώχη προσβασιμότητα συνδεδεμένων μεταξύ τους χρήσεων. Παρόλα αυτά σε αυτό το είδος των ορισμών υπάρχει ο κίνδυνος όλες οι αρνητικές συνέπειες των αστικών σχηματισμών να αποδοθούν στο φαινόμενο της διάχυσης.

4. Τέλος, προτάθηκαν ορισμοί της διάχυσης που βασίζονται στην έννοια της πυκνότητας, σύμφωνα με τους οποίους η διάχυση συνδέεται με χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη. Παρόλα αυτά ο όρος χαμηλή πυκνότητα είναι σχετικός και διαφέρει *“ανάλογα με τη χώρα και τις πολιτιστικές προσδοκίες”* (Longley et al, 2002), καθώς δε ο όρος *“χαμηλή πυκνότητα”* είναι δύσκολο να ποσοτικοποιηθεί, μια περισσότερο ακριβής περιγραφή της πυκνότητας θα περιελάμβανε όλες τις αστικές χρήσεις γης, συμπεριλαμβανομένων των οικιστικών, βιομηχανικών, χρήσεων υπηρεσιών, εμπορικών χρήσεων και κενής γης.

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

- το 1998 η διάχυση ορίζεται ως *“η χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη πέρα από τα όρια των υπηρεσιών και της εργασίας, που διαχωρίζει το που ζουν οι άνθρωποι σε σχέση με το που εργάζονται, εξ ου και απαιτείται η χρήση μεταφορικού μέσου”*

- την ίδια χρονιά ο Downs κατανοεί τη διάχυση ως μια δίχως όρια εξάπλωση της νέας ανάπτυξης προς τα έξω, ή χαμηλής πυκνότητας επέκταση προς νέες περιοχές ανάπτυξης, καθώς και ανάπτυξη κατά μήκος οδικών αρτηριών.

- στη διαπίστωση ότι όροι όπως, χαμηλή πυκνότητα, γραμμική ή κατά μήκος οδικών αρτηριών, διάσπαρτη ή αποσπασματική ανάπτυξη χρησιμοποιούνται κυρίως για να χαρακτηρίσουν τη διάχυση, κατέληξε και ο Ewing το 1997, ο οποίος κάνει επίσης λόγο για μη συνεκτική ανάπτυξη και εξισώνει τη διάχυση με το βαθμό της έλλειψης προσβασιμότητας καταλήγοντας σε μια νέα μελέτη του στον ορισμό, ως: *“μιας χαμηλής πυκνότητας ανάπτυξη με οικιστικές χρήσεις, περιοχές αγοράς και εργασίας, που είναι αυστηρά διαχωρισμένες, χαρακτηρίζεται δε από την έλλειψη κέντρων δραστηριοτήτων και εναλλακτικών επιλογών στις οδικές διαδρομές.*

Κατά αντιστοιχία, ο Siedentrop το 2005 ανέφερε με τη σειρά του πέντε (5) διαφορετικούς τύπους ορισμού της διάχυσης, τους οποίους κατηγοριοποίησε ως εξής:

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

2. Ορισμούς που αφορούν σε διαδικασίες αποκέντρωσης των αστικών λειτουργιών, συνδυαζόμενες με τη χωρική εξάπλωση των αστικών χρήσεων σε αγροτικές περιοχές, τους οποίους έχουν υποστηρίξει κυρίως οι Glaeser et al. 2003 και Pumain 2003.

3. Ορισμούς της διάχυσης που αφορούν σε χαρακτηριστικά της μορφής και της δομής ενός οικιστικού συστήματος. Με βάση αυτούς τους ορισμούς, η έννοια της διάχυσης γίνεται κατανοητή ως μια διαδικασία αστικής μορφής, η οποία μετατρέπει μια πρώην μονοκεντρική, συνεκτική κατασκευή σε μια ασυνεχή, πολυκεντρική και διάσπαρτη οικιστική κατασκευή. Αυτού του είδους οι ορισμοί υποστηρίχτηκαν από τον Galster et al. 2000, τους Torrens, Alberti 2000 et al.

4. Σε ορισμούς που βασίζονται σε σχεδιασμό εντός συγκεκριμένων πλαισίων και κανόνων, με βάση τους οποίους ως *“διάχυση ορίστηκε η χωρίς σχεδιασμό αστική ανάπτυξη που αντιτίθεται στους στόχους και στο σκοπό της χωρικής ανάπτυξης”* και διατυπώθηκε από τον Gassner το 1978.

5. Τέλος, σε ορισμούς που προσδίδουν στη διάχυση κάποια σημαντικά χαρακτηριστικά που σχετίζονται όμως μεταξύ τους κοινωνικά, όπως η ανεξέλεγκτη προς τα έξω εξάπλωση της ανάπτυξης, η επικράτηση των Ι.Χ. αυτοκινήτων έναντι των μέσων μαζικής μεταφοράς, ο κατακερματισμός της γης καθώς και οι μεγάλες δημοσιονομικές ανισότητες μεταξύ μεμονωμένων κοινοτήτων, έχουν δε υποστηριχτεί από τον Ewing το 1997 και τους Burchell και Downs το 1999. Σε αυτό το είδος των ορισμών, η αστική διάχυση αναφέρεται σαν μια *“συγκεκριμένη μορφή αστικής ανάπτυξης που χαρακτηρίζεται από την αποσπασματική, διάσπαρτη και κατά μήκος των οδικών αρτηριών ανάπτυξη, την ύπαρξη ασυνεχών και μεμονωμένων χρήσεων γης καθώς και την έλλειψη λειτουργικών ανοικτών χώρων”* (Ewing, 1997; Downs 1999; Galster et al., 2001; Malpezzi and Guo, 2001) για να τονιστεί τελικά από τον Ewing το 1997 ότι οι ιδιότητες που προαναφέρθηκαν επιταχύνουν τη χωρική εξάπλωση δημιουργώντας ασυνεχή πρότυπα χρήσεων γης.

Το 2005 επίσης, οι Μαντούβαλου και Μαυρίδου ανέφεραν ότι αστική διάχυση είναι η επέκταση μιας πόλης και των προαστίων σε όλο και περισσότερο αγροτικό έδαφος στην περιφέρεια μιας αστικής περιοχής. Αυτό περιλαμβάνει τη μετατροπή του ανοιχτού χώρου (αγροτικό έδαφος) σε κτισμένη, ανεπτυγμένη γη με την πάροδο του χρόνου.

Λίγο νωρίτερα, το 2001 οι Galster et al έγραψαν ότι *“η αστική διάχυση είναι μια λέξη για πολλές συνθήκες”* και αφορά σε ένα πρότυπο εντός μιας αστικοποιημένης περιοχής που επιδεικνύει χαμηλά επίπεδα ενός συνδυασμού μεταξύ οκτώ διακεκριμένων διαστάσεων: πυκνότητα, συνέχεια, συγκέντρωση, ομοιομορφία, κεντρικότητα, πυρηνικότητα, μεικτές χρήσεις και εγγύτητα. Το πλεονέκτημα αυτού του ορισμού είναι ότι επιτρέπει το συνδυασμό διαφόρων χαρακτηριστικών, ενώ ο ίδιος επισήμανε με τον Couch et al (2007) ότι είναι προτιμότερο να κατανοηθεί το φαινόμενο ως μια διαδικασία παρά ως ένα συγκεκριμένος τύπος χρήσης γης. Η ουσία είναι ότι κοινωνικοί, οικονομικοί και περιβαλλοντικοί παράγοντες μπορούν να συνεισφέρουν σε μια σχετική μείωση της ζήτησης χώρου εντός της πόλης, ενώ η ζήτηση αυτή μπορεί να αυξάνεται στα περίχωρα και ότι η αστική διάχυση μπορεί να κατανοηθεί ως η διαδικασία μέσω της οποίας πραγματοποιείται αυτού του είδους η ανάπτυξη.

Επιπρόσθετα, ο Peiser (2001) χρησιμοποίησε έναν παρόμοιο ορισμό της αστικής διάχυσης με βάση τον οποίο: *“ο όρος χρησιμοποιείται με διάφορες μορφές για να συμπεριλάβει την αδηφάγο κατασπατάληση της γης, τη μονότονη, χωρίς προγραμματισμό, διακεκομμένη ανάπτυξη και την μη αποτελεσματική χρήση της γης”*.

Κατά τους Carruthers και Ulfarsson το 2002 η αστική διάχυση ορίζεται ως η άνευ σχεδίου, ανεξέλεγκτη και μη συντονισμένη, μιας χρήσης ανάπτυξη, η οποία δεν εξασφαλίζει ένα λειτουργικό συνδυασμό χρήσεων ή δε σχετίζεται λειτουργικά με τις όμορες χρήσεις γης και η οποία εμφανίζεται με διάφορες μορφές. Βάσει αυτού του ορισμού, η αστική διάχυση χαρακτηρίζεται αφενός ως μη αποτελεσματικός πολιτικός έλεγχος της ανάπτυξης της γης που δεν προωθεί ένα λειτουργικό συνδυασμό χρήσεων γης, ενώ η χρήση του όρου χαμηλής πυκνότητας ή άνευ συντονισμού ανάπτυξη συνδέει το φαινόμενο με την άνευ σχεδίου, ανεξέλεγκτη ή μη συντονισμένη ανάπτυξη. Οι δύο τελευταίοι ορισμοί είναι αρκετά όμοιοι, αλλά η κύρια διαφορά έγκειται στο ότι στη δεύτερη περίπτωση ο όρος δε συνδέεται με την πολιτική διακυβέρνηση.

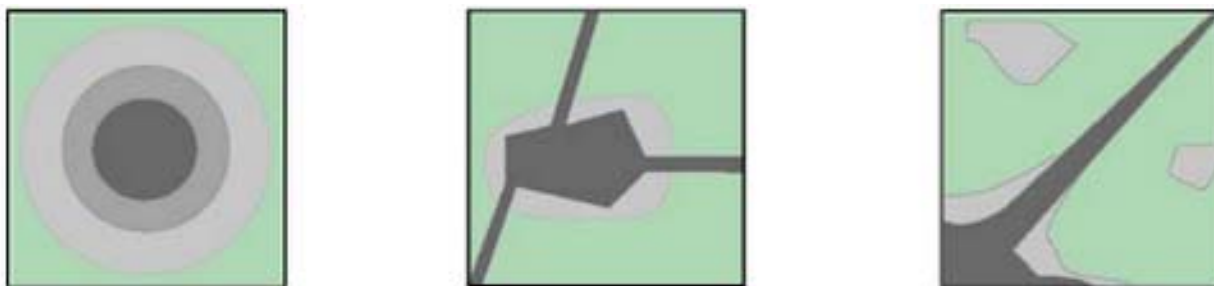
Οι παραπάνω αναφορές σκιαγραφούν την αρχική διατύπωση ότι δεν υπάρχει ένας κοινός ορισμός της αστικής διάχυσης, καθώς από μόνη της αποτελεί ένα πολυδιάστατο φαινόμενο που μπορεί να ειπωθεί μέσα από διαφορετικές οπτικές και προσεγγίσεις, ενώ σημαντικό ρόλο στην περαιτέρω κατανόηση του φαινομένου μπορεί να παίξει η μελέτη των αιτιών και επιπτώσεων της διάχυσης, οι οποίες θα αναπτυχθούν στη συνέχεια.

2.3 Τύποι αστικής διάχυσης

Με βάση τα όσα αναφέρθηκαν στην προηγούμενη ενότητα, στον όρο αστική διάχυση έχει αποδοθεί ένα πλήθος ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων, άλλοτε περιγράφοντας την ως ένα συγκεκριμένο αστικό πρότυπο κι άλλοτε αντιμετωπίζοντας την ως μια διαδικασία πίσω από το φαινόμενο. Αναφορικά με την κατηγοριοποίηση της αστικής διάχυσης έχουν προταθεί βιβλιογραφικά ορισμένοι τύποι, οι οποίοι διακρίνονται κυρίως ως προς τη μορφή της ανάπτυξης των αστικών προτύπων και κατηγοριοποιούνται ως:

- Χαμηλής πυκνότητας συνεχής διάχυση ή Προαστιακή ανάπτυξη, η οποία προκαλείται από την προς τα έξω εξάπλωση χαμηλής πυκνότητας χρήσης γης για οικιστικούς κυρίως λόγους. Αυτού του είδους η ανάπτυξη υποστηρίζεται από αποσπασματικές επεκτάσεις των βασικών οικιστικών υποδομών, όπως, ύδρευση, αποχέτευση, ηλεκτροδότηση και λοιπές οδικές συνδέσεις.
- Γραμμική ή ταινιακή ανάπτυξη κατά μήκος των οδικών αξόνων είναι το είδος της ανάπτυξης που χαρακτηρίζεται από τη συγκέντρωσή της κατά μήκος των βασικών οδικών αρτηριών και των κύριων οδικών αξόνων. Καταρχήν αναπτύσσεται η γη που βρίσκεται σε επαφή με τις βασικές οδούς, ενώ οι εκτάσεις προς τις οποίες δεν υπάρχει πρόσβαση μέσω των δρόμων μετατρέπονται με τη σειρά τους σε αστικές, μόλις αυξηθούν οι τιμές γης και επεκταθούν οι υποδομές από τις κύριες οδούς.
- Αποσπασματική ασυνεχής ανάπτυξη αφορά σε μια διάσπαρτη μορφή αστικοποίησης με αποσπασματικά τεμάχια αστικής γης, τα οποία βρίσκονται διάσπαρτα μεταξύ εκτάσεων πρασίνου. Η αποσπασματική διάχυση είναι πιθανό να προκαλείται και από φυσικούς περιορισμούς, όπως η τοπογραφία της περιοχής, ή ακόμα και η ύπαρξη υδάτινων

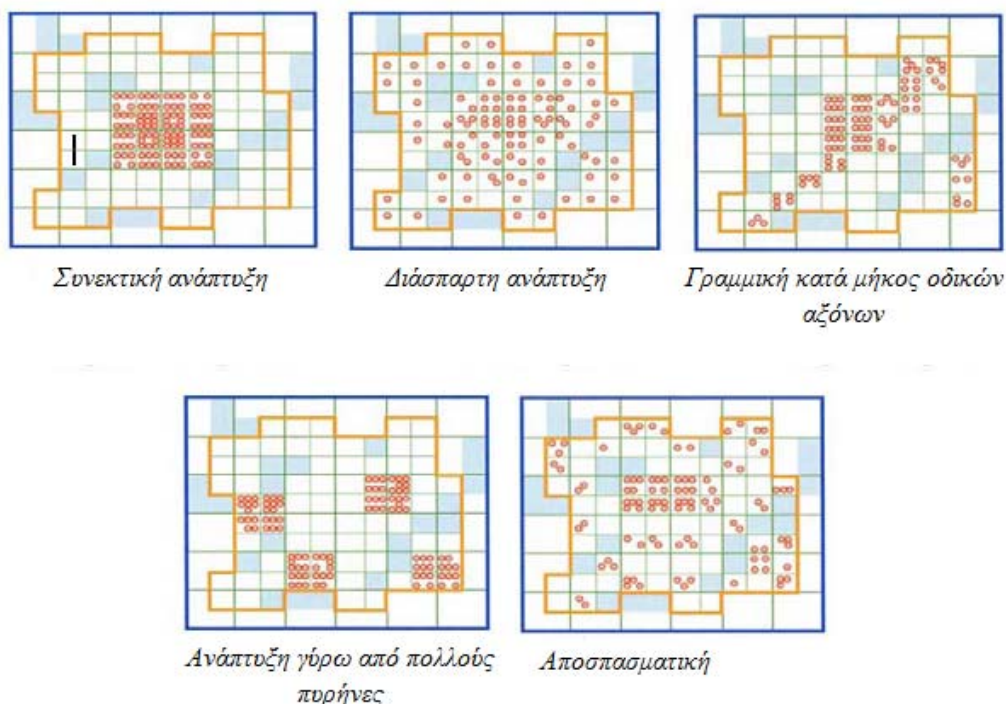
επιφανειών ή αντίστοιχων όγκων νερού, καθώς και από άλλα πιο ιδιαίτερα αίτια, όπως οι διαφορετικές πολιτικές ανάπτυξης μεταξύ περιοχών.



Εικόνα 2-6: Τύποι αστικής διάχυσης με βάση τη μορφή (Πηγή: <http://urban-regional-design.blogspot.gr/2011/11/three-main-types-of-urban-sprawling.html>)

Ο Galster et al. το 2001 κατηγοριοποίησε επίσης τους φυσικούς σχηματισμούς που συνδέονται με τους τύπους της αστικής ανάπτυξης. Η κατηγοριοποίηση αυτή περιλαμβάνει τις έννοιες της πυκνότητας και της φυσικής διαμόρφωσης, ενώ η ταξινόμηση των προτύπων της αστικής διάχυσης πραγματοποιείται βάσει οκτώ διαστάσεων (πυκνότητα, συνέχεια, συγκέντρωση, ομοιομορφία, κεντρικότητα, πυρηνικότητα, συνδυασμός χρήσεων γης και εγγύτητα), οι μετρήσεις των οποίων χρησιμοποιούνται προκειμένου να προσδιοριστούν οι κύριες συνιστώσες της διάχυσης.

Στο ίδιο πλαίσιο, ο Batty et al (2003) μελέτησε τα χαρακτηριστικά της αστικής διάχυσης και σκιαγράφησε διάφορες επιφανειακές μορφές της. Ακολούθως παρατίθενται απλοποιημένοι αστικοί σχηματισμοί, οι οποίοι εικονογραφούν σε ένα βαθμό και τις διαφορές που σχετίζονται με τη διάχυση λόγω της χρήσης Ι.Χ. ή υποδομών σιδηροδρομικού δικτύου.



Εικόνα 2-7: Φυσικά πρότυπα αστικής διάχυσης (Batty et.al 2003:6)

Στο πιο συνεκτικό άκρο της κλίμακας βρίσκεται το παραδοσιακό πρότυπο της προαστιακής ανάπτυξης, η οποία ορίζεται ως η συνεχόμενη εξάπλωση της υπάρχουσας ανάπτυξης από έναν κεντρικό πυρήνα, ενώ η αριστερή εικόνα θα μπορούσε να θεωρηθεί θεωρητικά ιδανική ως προς τη χρήση μέσων μαζικής μεταφοράς

Η διάσπαρτη ή αποσπασματική ανάπτυξη βρίσκεται στο άλλο άκρο του φάσματος, σύμφωνα με τους Harvey and Clark (Chin, 2002) και μπορεί σε μεγαλύτερο βαθμό να σκιαγραφήσει το είδος της ανάπτυξης ως αποτέλεσμα της χρήσης αυτοκινήτου. Η ταινιακή, όπως προαναφέρθηκε ανάπτυξη, πιθανότατα αναφέρεται ως συνέπεια της διάχυσης που έχει πραγματοποιηθεί λόγω της ανάπτυξης του σιδηροδρομικού δικτύου, ενώ άλλες μορφές περιλαμβάνουν τη συνεκτική ανάπτυξη γύρω από μικρότερα κέντρα, η οποία χαρακτηρίζεται και ως ανάπτυξη γύρω από πολλούς πυρήνες.

Μια ακόμα τυπολογία είναι αυτή του Camagni (Camagni et.al 2002), ο οποίος έχει προσδιορίσει πέντε (5) διαφορετικούς τύπους προαστιακών προτύπων ανάπτυξης, ανάλογα με το βαθμό κατανάλωσης γης που κάθε τύπος απαιτεί. Η ταξινόμηση αυτή στοχεύει στη μέτρηση των επιπτώσεων από τη διάχυση και χρησιμοποιεί τα ίδια κριτήρια (πυκνότητα, φυσική διαμόρφωση) με τις προηγούμενες μεθόδους κατηγοριοποίησης. Οι τύποι αυτοί της προαστιακής ανάπτυξης είναι οι εξής:

1. T1, συμπληρωματική ανάπτυξη (Suburban infill), η οποία χαρακτηρίζεται από την προσθήκη νέας κτισμένης επιφάνειας σε ήδη υπάρχουσες προαστιακές εκτάσεις που είχαν μείνει κενές κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης.
2. T2, εξάπλωση, η οποία πραγματοποιείται στις αμέσως γειτονικές αστικές παρυφές
3. T3, γραμμική, η οποία ακολουθεί τους βασικούς άξονες των μητροπολιτικών υποδομών οδικού δικτύου
4. T4, ανάπτυξη, η οποία χαρακτηρίζει τα νέα διάσπαρτα τεμάχια και
5. T5, τα σχέδια μεγάλης κλίμακας, τα οποία αφορούν στην ανάπτυξη μεγάλων τεμαχίων αξιοσημείωτου μεγέθους που όμως δεν εξαρτώνται από την ήδη υπάρχουσα κτισμένη επιφάνεια.

2.4 Αιτίες αστικής διάχυσης

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

Προκειμένου να συστηματοποιηθεί η υπάρχουσα βιβλιογραφία σχετικά με τα αίτια πίσω από την αστική διάχυση, η Ευρωπαϊκή Περιβαλλοντική Υπηρεσία (EEA, 2009:70) έχει προτείνει την οργάνωσή τους σε δύο διαστάσεις: οριζόντια σε τομείς και κάθετα με βάση τη χωρική κλίμακα. Η οριζόντια διάσταση αφορά στους τομείς της κοινωνίας, της οικονομίας, της διακυβέρνησης, των μεταφορών και της γης και συνδέει τα χαρακτηριστικά της αστικής ανάπτυξης με τις βασικές λειτουργίες των αστικών περιοχών, όπως τον πληθυσμό, τις

μεταφορές, τον τουρισμό, τη βιομηχανία την τεχνογνωσία και τη λήψη αποφάσεων στο δημόσιο και τον ιδιωτικό τομέα. Η κάθετη διάσταση διαφοροποιεί τα αίτια της διάχυσης με βάση την κλίμακα. Το πρώτο επίπεδο αφορά στα πολιτικά και οικονομικά παραδείγματα που διαμορφώνουν τη φύση των αστικών κοινωνιών, σε ένα μέσο επίπεδο μπορεί να εντοπιστεί η πλειοψηφία των αιτιών της διάχυσης, ενώ στο χαμηλότερο επίπεδο δίνεται έμφαση στις προσωπικές προτιμήσεις, αποφάσεις και ενέργειες των ατόμων εντός του αστικού συστήματος.

Όσον αφορά στον τομέα της κοινωνίας, τα αίτια θα πρέπει να αναζητηθούν, στο υψηλότερο και σε ένα μέσο επίπεδο, στην αύξηση του πληθυσμού, που έχει παρουσιαστεί ως η βασική αιτία διάχυσης στην Ευρώπη τις τελευταίες δεκαετίες (ESPON FOCI 2009, Glaeser et al. 2001, Glaeser 2005). Η αύξηση αυτή οφείλεται κυρίως στην οικονομική ανάπτυξη, ως αποτέλεσμα της εκβιομηχάνισης και της τεχνολογικής προόδου, ιδιαίτερα την περίοδο μετά τον πόλεμο. Στο ίδιο επίπεδο θα μπορούσε να αναφερθεί και το διαρκώς μειούμενο μέγεθος των κατοικιών στα αστικά κέντρα, καθώς οι ολοένα κι αυξανόμενοι πληθυσμοί δημιουργούν αντίστοιχα αυξημένες πληθυσμιακές πυκνότητες.

Κοινωνία	Αύξηση πληθυσμού Ηλικία Μειούμενο μέγεθος κατοικιών αστικών κέντρων Ιδεολογία		Αποφάσεις ατόμων Προτιμήσεις στέγασης Ποιότητα ζωής Προβλήματα πόλεων
Οικονομία	Παγκοσμιοποίηση Οικονομική ανάπτυξη Ευρωπαϊκή ενσωμάτωση Φθηνή ενέργεια		Αυξανόμενο επίπεδο ζωής Τιμή της γης Ανταγωνισμός μεταξύ δήμων Αγορά ακινήτων
Διακυβέρνηση	Πολιτικές Ε.Ε. Διεθνείς κανονισμοί	Νομοθεσία- Κανονισμοί Αδύναμος αστικός σχεδιασμός Κρατικές επιδοτήσεις αγοράς κατοικίας	Μηδαμινή εφαρμογή υπαρχόντων σχεδίων
	Έλλειψη συντονισμού		
Μεταφορές	Φθινό κόστος καυσίμου Μείωση κόστους μεταφορών		Χρήση Ι.Χ. αυτοκινήτων Διαθεσιμότητα οδικού δικτύου Ελλειμματικές δημόσιες μεταφορές
Γη			Τοπική γεωγραφία και περιβάλλον
	Μικρο-κλίμακα	Μεσο-κλίμακα	Μακρο-κλίμακα

Εικόνα 2-8: Βασικές αιτίες που επιδρούν στη διάχυση στην Ευρώπη: Με έντονη γραμματοσειρά αναγράφονται οι αιτίες της διάχυσης, οι υπόλοιποι είναι παράγοντες που μπορεί όμως να γίνουν αιτίες υπό συγκεκριμένες συνθήκες (EEA 2006, Couch et.al 2008, Urban Sprawl Book and PBL 2008)

Οι παράγοντες αυτοί οδηγούν τον πληθυσμό, εξαιτίας και των υψηλών κόστων στέγασης, είτε εξαναγκαστικά, είτε από επιλογή να μετακινηθεί έξω από τις πόλεις προς τα προάστια, όπου η αξία της αγροτικής γης είναι εξαιρετικά χαμηλή και ταυτόχρονα πολύ καλής ποιότητας, σε σχέση με την ήδη αστικοποιημένη γη.

Στο χαμηλότερο επίπεδο βρίσκονται οι προσωπικές αποφάσεις και προτιμήσεις στέγασης των ατόμων, αλλά και η αναζήτηση ποιότητας ζωής, καθώς με βάση τους Couch και Karecha (2006) και Wu (2006), η τάση που δημιουργείται είναι κυρίως νέα ζευγάρια με παιδιά να μετακινούνται προς περισσότερο αγροτικές οικιστικές περιοχές, όπου έχουν τη δυνατότητα να ζήσουν σε μεγάλες εκτάσεις δίπλα στη φύση, επιθυμία που δύσκολα θα μπορούσαν να εκπληρώσουν σε μια πόλη. Επιπρόσθετα, βασική αιτία της μετακίνησης μακριά από την πόλη είναι και η κακή ποιότητα ζωής, όπως ο θόρυβος, η κυκλοφοριακή κίνηση, η μόλυνση και η εγκληματικότητα.

Σχετικά με τον τομέα της οικονομίας, η παγκοσμιοποίηση αναγνωρίζεται ως ένας από τους κύριους παράγοντες της αστικής διάχυσης, που συνδέεται όμως παράλληλα με την ανάπτυξη των τεχνολογιών πληροφορικής κι επικοινωνίας και την ολοένα κι αυξανόμενη πρόσβαση σε αυτές σχεδόν σε κάθε μέρος του κόσμου (JRC).

Επιπρόσθετα, στην περίπτωση της Ευρώπης, η Ευρωπαϊκή ενοποίηση προσθέτει άλλη μια ανεπιθύμητη παρενέργεια μέσω της επένδυσης στις υποδομές των μεταφορών ανοίγοντας την πόρτα στη διάχυση σε νέες περιοχές. Στο μέσο και χαμηλό επίπεδο της κλίμακας, η υψηλή αξία της γης στον πυρήνα της πόλης ωθεί τις εταιρείες οικιστικής ανάπτυξης σε αναζήτηση χαμηλής τιμής γης στις πιο περιφερειακές περιοχές. Η αξία της αγροτικής γης στις περιοχές αυτές είναι παγκοσμίως πολύ χαμηλότερη από την αξία της τιμής ζώνης για στέγαση ή ανάπτυξη υπηρεσιών, αποτελεί επομένως έναν ελκυστικό στόχο για επενδυτές και επιχειρήσεις. Επίσης, οι δήμοι και οι εταιρείες οικιστικής ανάπτυξης παίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στη διαδικασία μετατροπής της αγροτικής ή φυσικής γης σε χώρο για οικιστική ή εμπορική ανάπτυξη. Εντός της ΕΕ οι ίδιες οι χώρες έχουν την ευθύνη για τη ζωνοποίηση των χρήσεων γης. Ο ανταγωνισμός μεταξύ διαφορετικών δήμων για την εισροή εσόδων, που συνεπάγεται νέες θέσεις εργασίας και υπηρεσιών είναι μεγάλος, η δε επένδυση εμπορικών και βιομηχανικών επιχειρήσεων στους δήμους μπορεί να οδηγήσει είτε στη χαλάρωση των ελέγχων της ανάπτυξης της αγροτικής γης, είτε ακόμα και σε φοροελαφρύνσεις προς τις εταιρείες αυτές. Ο ανταγωνισμός αυτού του είδους μεταξύ δήμων τροφοδοτεί σε ικανό βαθμό την αστική διάχυση.

Στον τομέα της διακυβέρνησης, ένας από τους βασικούς παράγοντες αποτυχίας ελέγχου της αστικής διάχυσης είναι η έλλειψη οριζόντιας και κάθετης ενσωμάτωσης πολιτικών. Αυτό έχει αποτέλεσμα και για τα τρία επίπεδα της κλίμακας μια βασική αιτία που οδηγεί στη διάχυση και είναι η έλλειψη συντονισμού. Τα όρια των πόλεων διαχέονται αυξάνοντας την πολυπλοκότητα των επιπέδων διακυβέρνησης, καθώς σχεδόν το σύνολο της περιβαλλοντικής διαχείρισης διενεργείται σε τοπικό επίπεδο και τα μέτρα που λαμβάνονται στο επίπεδο αυτό επιδρούν στις επιπτώσεις σε ευρύτερες κλίμακες. (Bellot et al., 2007). Επιπλέον, οι δήμοι έχουν λίγα εργαλεία, ώστε να εφαρμόσουν τα υπάρχοντα σχέδια και να επιδράσουν στη διαμόρφωση του αστικού σχεδιασμού. Στις διαδικασίες ανάπτυξης της γης και στη δυστυχώς κατακερματισμένη λήψη αποφάσεων εμπλέκονται διάφορες ομάδες συμφερόντων, καθεμιά από τις οποίες διεκδικεί το δικό της μερίδιο με στόχο τη μεγιστοποίηση των ωφελειών της.

➤ Οι δήμοι διατηρούν την ελπίδα ότι οι νέοι κάτοικοι θα οδηγήσουν σε ένα πλεόνασμα φόρων, εξ ου και ευνοούν την ανάπτυξη της γης, καθώς επιπλέον τα κόστη βαρύνουν αποκλειστικά τον επενδυτή και όχι το δήμο.

➤ Οι ιδιοκτήτες γης με τη σειρά τους γίνονται ιδιαίτερα δραστήριοι, καθώς ελπίζουν στην αύξηση του οικονομικού κεφαλαίου που αντιπροσωπεύει γι αυτούς η αγροτική γη που έχουν υπό την ιδιοκτησία τους.

➤ Για τις εταιρείες οικιστικής ανάπτυξης τα υψηλά κόστη σύνδεσης νέων κατοικιών ή εμπορικών κτηρίων για προμήθεια δικτύων αντισταθμίζονται και με το παραπάνω από την πολύ πιο χαμηλή αξία γης στις περιφερειακές περιοχές στην άκρη των ήδη υπαρχόντων οικισμών.

➤ Οι υπηρεσίες κοινής ωφελείας έχουν μικρό κίνητρο να επηρεάσουν τη θέση και την πυκνότητα χρήσης των νέων περιοχών που είτε έχουν κατασκευαστεί, είτε έχουν συνδεθεί, καθώς συνδεδεμένα κόστη έχουν επιστραφεί από τους χρήστες, υπό τη μορφή επιδοτήσεων ή από μια γενικότερη αύξηση των χρεώσεων προς όλους τους χρήστες.

➤ Τέλος, οι ιδιοκτήτες ψάχνοντας για μια νέα τοποθεσία δεν είναι συχνά ενημερωμένοι για τα υψηλά κόστη των τεχνικών υποδομών που συνδέονται με τις περιφερειακές περιοχές χαμηλής πυκνότητας, καθώς η χαμηλή τιμή της προαστιακής γης κρύβει τα αυξανόμενα κόστη ανά οικιστική μονάδα τα οποία η χαμηλή πυκνότητα των οικισμών προκαλεί.

Το αποτέλεσμα αυτής της αποσπασματικής λήψης αποφάσεων υποστηρίζει τελικά μια μη βιώσιμη ανάπτυξη της γης και παρότι οι αποφάσεις που πρέπει να ληφθούν είναι κατανοητές, εντούτοις, οι ομάδες συμφερόντων, είτε αγνοούν τα διαρκώς αυξανόμενα κόστη είτε τα μεταφέρουν σε άλλους, τελικά σχεδόν σε κάθε κάτοικο. (UBO, 2008)

Αναφορικά με τον επόμενο τομέα, αυτό των μεταφορών θα λέγαμε ότι είναι αλληλοεξαρτώμενος από τις χρήσεις γης με πολύπλοκους τρόπους, καθώς η ανάπτυξη επηρεάζει τα πρότυπα της κινητικότητας. Στο πρώτο επίπεδο, βρίσκεται η χαμηλή τιμή των καυσίμων και η μείωση του κόστους μετακινήσεων, τα οποία αποτελούν ελκυστικούς παράγοντες για τη μετακίνηση στα προάστια. Με τη σειρά της όμως η έλλειψη των παραπάνω αυξάνει ουσιαστικά την απαίτηση για χρήση ιδιωτικού αυτοκινήτου, παράγοντας που τοποθετείται στο μέσο και χαμηλό επίπεδο της κλίμακας. Σε αντίθεση, η κατασκευή νέων συστημάτων μεταφορών έχει την τάση να αυξάνει τις πληθυσμιακές πυκνότητες γύρω από τα σημεία πρόσβασης (Handy, 2005). Οι ιδιοκτήτες επιλέγουν μεταξύ οικιστικών περιοχών λαμβάνοντας υπόψη την τιμή των κατοικιών και το κόστος των μετακινήσεων από τη δουλειά στην εργασία. Όταν τα μεταφορικά κόστη πέσουν κάτω από ένα συγκεκριμένο κατώφλι και τα εισοδήματα φθάσουν σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο, ο ρυθμός της διάχυσης επιταχύνεται, καθώς η διάχυση είναι ένα συνηθισμένο φαινόμενο σε περιοχές όπου τα εισοδήματα είναι υψηλά και τα μεταφορικά κόστη χαμηλά. (Wu, 2006).

Τέλος, η ιστορία και τα γεωγραφικά περιβάλλοντα των πόλεων είναι παράγοντες που επηρεάζουν τη μορφολογία και την τροχιά των πόλεων. Οι παράκτιες ή ορεινές τοποθεσίες δημιουργούν πολύ διαφορετικές επιλογές ανάπτυξης από ότι οι αντίστοιχες σε μια πεδιάδα ή κατά μήκος ενός ποταμού. (Kasanko et al., 2006)

2.5 Επιπτώσεις αστικής διάχυσης

Η αστική ανάπτυξη έχει επιπτώσεις πολύ πέρα από τη γη που καταναλώνεται απευθείας για κτήρια, υποδομές και τα περιβάλλοντά τους. Η οικονομική ανάπτυξη και η περιθωριοποίηση της γης από τις εταιρείες οικιστικής ανάπτυξης δημιουργεί την ανάγκη για νέες υποδομές μεταφορών, ώστε να συνδεθούν μεταξύ τους, το οποίο με τη σειρά του παράγει μεγαλύτερη συμφόρηση και επιπρόσθετα κόστη στην κοινωνία. (SACTRA, 1995).

Οι επιπτώσεις εξαιτίας της διάχυσης μπορούν να διακριθούν σε περιβαλλοντικές και κοινωνικοοικονομικές.

2.5.1 Περιβαλλοντικές επιπτώσεις

Οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις της αστικής διάχυσης περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων τη μόλυνση της ατμόσφαιρας ως αποτέλεσμα της ολοένα κι αυξανόμενης χρήσης ιδιωτικών αυτοκινήτων, τη μόλυνση του νερού, την απώλεια περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών, όπως κρίσιμα φυσικά ενδιαιτήματα (π.χ. υγρότοποι, οικότοποι άγριας ζωής), ελάττωση ανοικτού χώρου, με αυξανόμενες πιθανότητες πλημμυρών και συνολικά έκπτωση στην ποιότητα ζωής. (Kenworthy & Laube, 1999; Hirschhorn, 2001; Kahn, 2000).

Ειδικότερα, η εξάρτηση από το αυτοκίνητο έχει συντελέσει σε μειώσεις στην ποιότητα του αέρα, καθώς επίσης και στην ταχεία εξάντληση των ορυκτών καυσίμων. (Nechyba & Walsh, 2004). Μόνο στις Ηνωμένες Πολιτείες, ο αριθμός των αυτοκινήτων έχει ξεπεράσει προ πολλού την αύξηση του πληθυσμού, ενώ οι ιδιοκτήτες αυτοκινήτων διανύουν μεγαλύτερες αποστάσεις από όλα τα προηγούμενα χρόνια (Dunphy, 1997; Daniels, 2001).

Η γη καταναλώνεται με πιο γρήγορο ρυθμό, καθώς οι πληθυσμοί μετακινούνται από τις αστικές περιοχές στα προαστιακά περίχωρα (Porter, 2000; Kahn, 2000; Dwyer and Childs, 2004). Η κατανάλωση γης και εδάφους είναι ιδιαίτερης σημασίας, καθώς πρόκειται για μη ανανεώσιμους πόρους, σε αντίθεση δε με αλλαγές στις αγροτικές χρήσεις γης, η διαδικασία μετατροπής της φυσικής γης για νέα στέγαση ή κατασκευή δρόμων τείνει να είναι μόνιμη και αντιστρέψιμη μόνο σε πολύ υψηλά κόστη. Στην Ευρώπη, σε χώρες όπως η Ισπανία μέσα σε μόνο μία δεκαετία, από το 1996-2006, αυξήθηκε η κατανάλωση σκυροδέματος κατά 120%, γεγονός που αντανακλά την πολύ μεγάλη επέκταση της οικοδομικής δραστηριότητας, ενώ μόνο στη νοτιοανατολική περιοχή της Βοστώνης έχει αστικοποιηθεί περισσότερη γη μέσα στα τελευταία σαράντα χρόνια, από ότι τα προηγούμενα 330 χρόνια (Southeastern Regional Planning and Economic Development District, 1999). Η διάχυση που συνδέεται με τη ραγδαία αύξηση του πληθυσμού δεν είναι πουθενά αλλού πιο εμφανής από όσο στη νότια Φλόριντα, όπου η ποσοστιαία αλλαγή σε αστικοποιημένη γη μεταξύ των υψηλότερων της χώρας (Fulton et al., 2001).

Ο κατακερματισμός μεγάλων φυσικών εκτάσεων σε μικρότερες χωρικές μονάδες, μπορεί επιπρόσθετα να αναστείλει τις κινήσεις της άγριας ζωής (Peck 1998; Cieslewicz, 2002). Τα πρότυπα αυτά της αποσπασματικής ανάπτυξης τεμαχίζουν επιπρόσθετα το φυσικό τοπίο αφήνοντας μπαλώματα κενής γης αναμειγμένα με χτισμένες περιοχές (Brody, 2008). Ο αντίκτυπος δε της διάχυσης στις προστατευόμενες περιοχές είναι επίσης σημαντικός και επιδεινώνεται λόγω της αυξανόμενης εγγύτητας και προσβασιμότητας των αστικών δραστηριοτήτων, στρεσάροντας τα οικοσυστήματα και τα προστατευόμενα είδη μέσω του θορύβου και της μόλυνσης του αέρα. Τέλος, η απώλεια της αγροτικής και φυσικής γης ή και

ο κατακερματισμός των δασών, των υγροτόπων και των ενδιαιτημάτων αποτελούν ως γνωστό άλλες άμεσες και μη αναστρέψιμες επιπτώσεις.

2.5.2 Κοινωνικοοικονομικές επιπτώσεις

Από κοινωνικοοικονομικής άποψης η διάχυση συντελεί στον μεγαλύτερο διαχωρισμό της οικιστικής ανάπτυξης, με αποτέλεσμα ένα διχασμό, τόσο κοινωνικά, όσο και οικονομικά μεταξύ των διαφόρων πληθυσμιακών ομάδων. Ο κοινωνικοοικονομικός χαρακτήρας των προαστιακών και των λοιπών περιφερειακών περιοχών τυποποιείται από μεσαίου και υψηλού εισοδήματος οικογένειες, που έχουν τη δυνατότητα αφενός να μετακινούνται και αφετέρου τα μέσα, ώστε να λειτουργούν αποτελεσματικά σε αυτά τα περιβάλλοντα.

Ωστόσο, η προαστιακή εμπειρία για άλλες ομάδες, περιλαμβανομένων νέων και ηλικιωμένων, που δεν έχουν τη δυνατότητα μετακίνησης, αλλά ούτε και τους απαιτούμενους πόρους, μπορεί να αποδειχτεί μια πολύ δύσκολη διαδικασία μειώνοντας ταυτόχρονα την κοινωνική αλληλεπίδραση. Επιπρόσθετα, μεγάλα τμήματα της αστικής κοινωνίας αποκλείονται από τη διαβίωση σε τέτοιες περιοχές, ενώ η κοινωνική πόλωση που συνδέεται με τη διάχυση είναι σε ορισμένες πόλεις, τόσο εμφανής, που η έννοια "διπλή" πόλη χρησιμοποιείται για να περιγράψει τη διαίρεση μεταξύ του εσωτερικού πυρήνα της πόλης και των προαστιακών περιχώρων. Στο εσωτερικό της πόλης, χαμηλής ποιότητας γειτονιές στεγάζουν έναν συνδυασμό ανέργων, τους φτωχούς ηλικιωμένους, τους άγαμους νέους και εθνικές μειονότητες, που συνήθως υποφέρουν από τις επιπτώσεις λόγω του επιλεκτικού χαρακτήρα της μετανάστευσης και την απώλεια των θέσεων εργασίας.

Τα κοινωνικά και οικονομικά προβλήματα που αναφέρθηκαν δεν είναι παρόλα αυτά γνώρισμα μόνο του κέντρου των πόλεων, καθώς σε πολλές από αυτές, παρόμοια προβλήματα έχουν παρουσιαστεί στις πιο περιφερειακές περιοχές, όπου τα μεταπολεμικά συγκροτήματα επαναστεγάζουν μερικές από τις πιο μειονεκτικές αστικές ομάδες και αποτελούν την τοποθεσία για τα χαμηλότερης ποιότητας αστικά περιβάλλοντα.

Από οικονομικής άποψης η αστική διάχυση είναι το λιγότερο μια πιο κοστοβόρα μορφή ανάπτυξης εξαιτίας, α) της αύξησης των δαπανών των νοικοκυριών προκειμένου να διανυθούν ολόενα και μεγαλύτερες αποστάσεις από το σπίτι στην εργασία, β) του κόστους για τις επιχειρήσεις από τη συμφόρηση στις αστικές περιοχές εξαιτίας των ανεπαρκών μεταφορικών συστημάτων και γ) του πρόσθετου κόστους της επέκτασης των αστικών υποδομών συμπεριλαμβανομένων των επιχειρήσεων κοινής ωφελείας και των συναφών υπηρεσιών, σε ολόκληρη την αστική περιοχή.

Η αστική διάχυση τέλος αναστέλλει την ανάπτυξη των δημόσιων μεταφορών και λύσεων βασιζόμενων στην ανάπτυξη των μαζικών μέσων μεταφοράς, καθώς και την πρόβλεψη εναλλακτικών επιλογών στις μεταφορές, οι οποίες είναι σημαντικές για να διασφαλιστεί η αποτελεσματική λειτουργία του αστικού περιβάλλοντος. (Lyons, 2003; Cameron et al., 2004).

2.6 Τρόποι διαχείρισης αστικής διάχυσης

Για την αντιμετώπιση του φαινομένου της διάχυσης έχουν προταθεί εναλλακτικά σχέδια κι έχουν γίνει ανάλογες μελέτες και έρευνες, άλλες εξετάζοντας την υπάρχουσα κατάσταση των

πόλεων και εστιάζοντας στα χαρακτηριστικά τους κι άλλες αναζητώντας εναλλακτικές μορφές προσέγγισης.

Η έως τώρα αναζήτηση και η επιστημονική έρευνα, τείνει να συμφωνήσει σε συνεκτικότερες αστικές διατάξεις και υψηλότερες πυκνότητες, που μπορούν να δημιουργήσουν ποικιλομορφία και μικτές χρήσεις γης, να ενθαρρύνουν την βιώσιμη κινητικότητα και τελικά να προκαλέσουν μικρό περιβαλλοντικό ίχνος, δηλαδή μικρότερη κατανάλωση πόρων, προστασία των γεωργικών, δασικών, και αδόμητων εκτάσεων κ.λπ. (Jenks et al., 1996). Οι "συμπαγείς πόλεις", ακριβώς επιχειρούν να ικανοποιήσουν και να εντάξουν όλα τα ανωτέρω κριτήρια κάτω από ένα συγκεκριμένο πλαίσιο θεώρησης του χωρικού σχεδιασμού.

Επιπρόσθετα, για την ανάπτυξη υψηλής ποιότητας αστικών περιοχών, η Ευρωπαϊκή Περιβαλλοντική Επιτροπή (ΕΕΑ, 2006) αναγνωρίζει την αναγκαιότητα στενότερου συντονισμού μεταξύ διαφορετικών πολιτικών και πρωτοβουλιών και καλύτερης συνεργασίας μεταξύ των διαφόρων επιπέδων της διοίκησης. Προτείνει δε ένα πλαίσιο καλών πρακτικών που βοηθούν στην αντιμετώπιση της διάχυσης, όπως, την ανάπτυξη μακροπρόθεσμων σχεδίων περιορισμού της, υποστηριζόμενων από συνεχή παρακολούθηση και αναγνώριση των αποτελεσμάτων, την εφαρμογή πολιτικών για την επαναχρησιμοποίηση των γκρίζων περιοχών (brownfields) και την επανάκτηση των δημόσιων χώρων για την υποστήριξη πιο συμπαγών μορφών, αλλά και την εφαρμογή μέτρων για την αποφυγή χρησιμοποίησης των αδόμητων ελεύθερων χώρων (greenfields).

Καθώς όμως η διαδικασία της αστικής διάχυσης είναι μια δυναμική διεργασία, η οποία εξελίσσεται μέσα στο χώρο και το χρόνο, για να υπάρξει ένα λειτουργικό σχήμα διαχείρισης της, είναι αναγκαίο να βρεθεί ένας τρόπος, προκειμένου να περιγραφούν οι ρυθμοί και τα πρότυπα των μεταβολών αυτών. Η εφαρμογή κατάλληλων μοντέλων, μέσω των οποίων είναι δυνατή η προσομοίωση αλλά και η πρόγνωση τόσο της δομής, όσο και της πολυπλοκότητας ανάλογων φαινομένων, παρέχει ένα σημαντικό εργαλείο για την κατανόηση των χωρικών προτύπων και τάσεων της ανάπτυξης, τόσο για τις πόλεις μεταξύ τους, όσο και για τις εσωτερικές διεργασίες που συντελούνται εντός των ορίων τους.

3 Αστικά μοντέλα

3.1 Συστήματα και πολυπλοκότητα

Η έννοια της πολυπλοκότητας, σύμφωνα με τον Batty (2007) ανακύπτει, καθώς συχνά η γνώση για τον κόσμο που μας περιβάλλει και για το νόημά του, δημιουργούν μια αίσθηση ανεπάρκειας που σχετίζεται με την ικανότητά μας να τον κατανοήσουμε και να τον αλλάξουμε, ενώ πλέον σε πολλούς κλάδους η ιδέα της πολυπλοκότητας ως μια συνεκτική προοπτική για την οργάνωση της γνώσης επανέρχεται στο προσκήνιο. Οι επιστήμες που ασχολούνται με την πολυπλοκότητα εξελίχθηκαν αρχικά από ιδέες που συνδέονται με δυναμικά συστήματα, όπως τη θεωρία του χάους, τη μη γραμμικότητα και άλλες επαναστατικές τεχνολογίες, τα τελευταία τριάντα χρόνια δε έχουν αναπτυχθεί διαμορφώνοντας αντίστοιχα θεωρίες και μεθόδους, οι οποίες κερδίζουν διαρκώς έδαφος στον τομέα των κοινωνικών επιστημών. Πρόσφατα, έχουν αρχίσει να επηρεάζουν και τομείς αρκετά διαφορετικούς, όπως ο μεταμοντερνισμός και η διαχείριση. Οι πόλεις και ο

σχεδιασμός τους όχι μόνο δε διέφυγαν αυτής της δυναμικής, αλλά βρίσκονται στην πρώτη γραμμή των εξελίξεων.

Η έννοια του συστήματος απ την άλλη, αφορά μια συγκέντρωση αντικειμένων, κανόνων ή γεγονότων, τα οποία ενώνονται μέσω κάποιας μορφής αλληλεπίδρασης ή ανεξαρτησίας σε ένα οργανωμένο σύνολο. (Roe, G. N. Soulis et al. 1992). Το σύστημα περιέχει διάφορα στοιχεία, που συνδέονται μεν μέσω διαφορετικών σχέσεων, ενώ αυτές με τη σειρά τους ενσωματώνουν τα ξεχωριστά στοιχεία σε ένα σύνολο. Ένα βασικό στοιχείο του συστήματος αποτελούν τα όρια του, που το διαχωρίζουν από το περιβάλλον του, εντός του οποίου όμως οι αλληλεπιδράσεις είναι πολύ πιο ισχυρές. Επιπρόσθετα, ένα σύστημα φέρει κατάλληλους μηχανισμούς ελέγχου για να προσαρμόζεται στο περιβάλλον του και χαρακτηρίζεται κυρίως από τον τρόπο που "αναδύεται", ενώ μπορεί να παράγει ορισμένα φαινόμενα, τα οποία δεν παρατηρούνται εάν εξετάσει κανείς τα στοιχεία τους ξεχωριστά, ούτε ακόμα εάν ενοποιήσει τις επιμέρους λειτουργίες τους (Holland 1998).

Επακόλουθα, ένα πολύπλοκο σύστημα είναι αυτό, για το οποίο είναι δύσκολο, εάν όχι αδύνατο να περιοριστεί η περιγραφή του σε έναν μεμονωμένο αριθμό παραμέτρων ή να χαρακτηριστούν οι μεταβλητές του χωρίς τον κίνδυνο να χαθούν σημαντικές λειτουργικές του ιδιότητες (Pavard and Dugdate, 2002). Τυπικά, ένα σύστημα τείνει να παρουσιάζει "πολύπλοκη συμπεριφορά" τη στιγμή που τα επιμέρους στοιχεία του αλληλεπιδρούν σε μια μη- γραμμική μορφή. Σύμφωνα με τον Sun (2003) τα πολύπλοκα συστήματα απαρτίζονται από ορισμένες τυπικές ιδιότητες, όπως, η δυσκολία να προβλεφθεί η συμπεριφορά τους, ακόμα και εάν είναι πλήρως γνωστά όλα τα στοιχεία τους, καθώς και αντίστοιχα να αποσυντεθούν σε λειτουργικά σταθερά στοιχεία. Επίσης, ένα πολύπλοκο σύστημα στο σύνολο του δεν ισοδυναμεί με το άθροισμα των λειτουργιών όλων των μερών του, γεγονός που αποτελεί και την ουσία της έννοιας του πολύπλοκου συστήματος. Με βάση τέλος την αλληλεπίδραση των στοιχείων του, είναι δυνατόν να αναδυθούν συμπεριφορές και πρότυπα, που δεν παρατηρούνται χωριστά και ούτε μπορούν να προβλεφθούν ακόμη και εάν οι συνιστώσες έχουν κατανοηθεί επαρκώς.

3.2 Η πόλη ως ένα πολύπλοκο σύστημα

Η πόλη μπορεί να θεωρηθεί ένα πολύπλοκο κοινωνικό, οικονομικό και χωρικό σύστημα. Ο Wu (2000) θεωρεί ένα αστικό σύστημα ως ένα πολύπλοκο σύστημα που αποτελείται από δύο πολύπλοκες διαδικασίες, αυτήν της αυθόρμητης ανάπτυξης και αυτήν της αυτό-οργάνωσης. Ο Cheng (2003) υποστηρίζει την όλη διαδικασία της αστικής ανάπτυξης ως εξολοκλήρου πολύπλοκη, λαμβάνοντας υπόψη τα χωροχρονικά χαρακτηριστικά των αστικών συστημάτων σε συνδυασμό με τη διαδικασία λήψης αποφάσεων, ενώ ο Batty και οι συνεργάτες του (1999) θεωρούν την πολυπλοκότητα ως το βασικό χαρακτηριστικό ενός αστικού συστήματος. Παράλληλα, οι Barros και Sobreia (2002) υποστηρίζουν ότι η πόλη είναι ένα καλό παράδειγμα πολύπλοκου συστήματος, όπου τα επιμέρους στοιχεία του μπορούν να κατανοηθούν μέσω του συνόλου του, ενώ το σύνολο των φαινομένων είναι κάτι περισσότερο από την απλή άθροιση των στοιχείων που το αποτελούν. Πολλές συνιστώσες, όπως οι οικονομικές, οι χρήσεις γης, οι μεταφορές, ο πολιτισμός, ο πληθυσμός και οι διάφορες πολιτικές αλληλεπιδρούν εντός των πόλεων με τρόπο που οι μεταξύ τους σχέσεις δεν είναι ούτε ξεκάθαρες ούτε και γραμμικές, ενώ οι αυθόρμητες και ταυτόχρονες επιμέρους διαδικασίες λήψης αποφάσεων πραγματοποιούνται, τόσο χωρικά, όσο και χρονικά.

Ως αποτέλεσμα της λειτουργίας των πολύπλοκων αστικών συστημάτων θεωρούνται συγκεκριμένες χωρικές διεργασίες που καταγράφονται εντός των πόλεων, όπως η αστική επέκταση και η αλλαγή των αστικών προτύπων καθώς και οι μεταβολές στις χρήσεις γης και η αύξηση του αστικού πληθυσμού, πολλές από τις οποίες παρουσιάζονται ως χωρικές και χρονικές διαδικασίες (Cheng et al., 2003). Από την άλλη η πολυπλοκότητα προκύπτει συχνά από τις μη γραμμικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των πολύπλοκων στοιχείων του συστήματος που οδηγούν συχνά σε απρόβλεπτες δυναμικές διαδικασίες, ενώ οι μη γραμμικές σχέσεις και η ανατροφοδότηση ανάμεσα σε όλα τα στοιχεία του συστήματος σε ίδιες ή διαφορετικές κλίμακες προκαλούν αστάθεια και δυσκολία πρόβλεψης των πολύπλοκων συστημάτων.

Παράλληλα η "ανάδυση", ως χαρακτηριστικό της πολυπλοκότητας των αστικών συστημάτων αποδεικνύει ότι η συμπεριφορά ενός μικρού τμήματος είναι διαφορετική, εάν ειδοωθεί ξεχωριστά, παρά ως μέρος ενός μεγαλύτερου συστήματος, εξ ου και η συλλογική συμπεριφορά ενός πολύπλοκου συστήματος εξαρτάται από τη συμπεριφορά όλων των τμημάτων του. Για παράδειγμα οι Portugali and Benenson (1997), οι οποίοι μελέτησαν εκτενώς τις θεωρητικές πτυχές της κοινωνικο-πολιτιστικής "ανάδυσης" κατά τα τελευταία χρόνια, καταδεικνύουν την ανάδειξη διαφορετικών μορφών πολιτιστικών και οικονομικών διαχωρισμών, ως συνέπεια της αλληλεπίδρασης μεταξύ των ατόμων και του περιβάλλοντος της πόλης σε τοπικό και παγκόσμιο επίπεδο.

Η αυτό-οργάνωση από την άλλη καταδεικνύει ότι το σύστημα έχει την ικανότητα να αυτό-οργανώνεται εκ των έσω και ότι οι δομές του δεν υπαγορεύονται από εξωτερικούς παράγοντες (Cheng et al., 2003). Στα αυτο-οργανωμένα (Self Organizing Systems- SOS) συστήματα, οι τοπικές ενέργειες και αλληλεπιδράσεις των ατόμων αποτελούν την πηγή του υψηλότερου επιπέδου οργάνωσης του συστήματος, σε πρότυπα καθορισμένες δομές αναγνωρισμένης δυναμικής, οι οποίες δεν μπορούν να κατανοηθούν αποσυνθέτοντας το σύστημα στα συστατικά του, μιας και είναι αυτές οι λεπτές διαφορές μεταξύ των συστατικών και των μεταξύ τους αλληλεπιδράσεων που τα καθορίζουν (Cheng, et al, 2003). Οι θεωρίες της αυτο-οργάνωσης υποστηρίζουν ακόμα ότι οι ασήμαντες τοπικές συμπεριφορές αλληλεπίδρασης μπορούν να οδηγήσουν τελικά σε μια ποιοτικά διαφορετική παγκόσμια δομή (Wu, 1998, Batty, 1995).

Συνεπώς, οι πόλεις και τα αστικά συστήματα ειδικότερα, είναι το χωρικό και χρονικό αποτέλεσμα όλων των επιρροών και αλληλεπιδράσεων που συμβάλλουν στη διαμόρφωσή τους. Η χρήση μοντέλων προκειμένου να μελετηθεί ο τρόπος που ανακύπτουν οι διάφορες αλληλεπιδράσεις εντός των αστικών συστημάτων κρίνεται αναγκαία (Batty, 1995), καθώς η μοντελοποίηση παρέχει προσομοιώσεις και προβολές στο μέλλον υπό συγκεκριμένες συνθήκες για να δώσει μια εκτίμηση του πως μπορεί να μοιάζουν τα συστήματα αυτά, προσεγγίζοντας μέσω μελλοντικών σχεδίων ή πλαισίων την ιδέα της "ιδανικής πόλης" (Sir Abercrombie από Batty, 2008).

3.3 Ρόλος αστικών μοντέλων

Τα αστικά μοντέλα θεωρούνται απλουστεύσεις της πραγματικότητας, που χρησιμοποιούν τις θεωρητικές προσεγγίσεις των φαινομένων του πραγματικού κόσμου, θέτοντας παράλληλα αυτές σε μια περισσότερο διαχειρίσιμη μορφή. Παίζοντας αυτόν το ρόλο, τα μοντέλα χρησιμεύουν ως το "όχημα" προκειμένου να διευκολυνθεί ο πειραματισμός με τη θεωρία και να ενισχυθεί η κατανόηση, η οποία μπορεί και να προηγηθεί της πρόβλεψης των διαφορών

καταστάσεων, που δεν έχουν ακόμα πραγματοποιηθεί, όπως για παράδειγμα στο μέλλον. Αυτός ο ρόλος του πειραματισμού επιτυγχάνεται μέσω ενός περιβάλλοντος, κατά τι διαφορετικού από αυτό των εργαστηριακών επιστημών, όπου η διαχείριση των παραπάνω φαινομένων είναι ευθεία και ελεγχόμενη, καθιστώντας τα υπολογιστικά περιβάλλοντα τον κατεξοχήν χώρο εφαρμογής των αστικών μοντέλων. (Batty, 2009)

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

Υπό αυτή την έννοια τα αστικά μοντέλα είναι υπολογιστικές προσομοιώσεις του τρόπου που λειτουργούν οι πόλεις, τα οποία επεξηγούν τη θεωρία με έναν ελεγχόμενο και κατανοητό τρόπο. Οι υπολογιστές λειτουργούν ως το εργαστήριο πειραματισμού σχετικά με αυτά τα φαινόμενα, ενώ η αστική μοντελοποίηση αφορά στις ενέργειες ορισμού, κατασκευής και εφαρμογής τέτοιων ψηφιακών μοντέλων για συγκεκριμένους σκοπούς. Για να είναι χρήσιμο ένα μοντέλο δεν αρκεί να παρέχει ακριβείς εκτιμήσεις. Πρέπει επιπλέον να περιγράφει τα αντικείμενα, τις σχέσεις, τις αλληλεπιδράσεις και τις υποθέσεις με έναν κατανοητό και ανοικτό τρόπο, έτσι ώστε τα αποτελέσματα και οι μηχανισμοί του να μπορούν να αξιολογηθούν από εμπειρογνώμονες (Ness and Low, 2000). Η χρηστικότητα, τόσο των αποτελεσμάτων, όσο και της γνώσης που παράγει ένα μοντέλο είναι εξίσου σημαντική με τη συνέπειά τους ως προς την πραγματικότητα. Έτσι, μπορεί αφενός να εκτιμήσει τη μελλοντική εξέλιξη ενός συστήματος και αφετέρου να αποκαλύψει τη δομή και τους μηχανισμούς του (Μαντέλας, 2010).

Η δημιουργία αστικών μοντέλων έχει ευρέως εφαρμοστεί στα πλαίσια του πολεοδομικού σχεδιασμού, για την κατανομή πόρων, καθώς και σε περιπτώσεις πρόβλεψης και λήψης αποφάσεων. Η χρησιμότητα δε των αστικών μοντέλων δεν εξαντλείται στην παραγωγή μεμονωμένων εκτιμήσεων για το μέλλον, αλλά ο ουσιαστικός τους ρόλος εντοπίζεται κυρίως στην αξιολόγηση διαφορετικών εξωγενών παρεμβάσεων και στην εκτίμηση της επίδρασής τους, καθοδηγώντας και προλαμβάνοντας, προκειμένου να προετοιμάσει τις πόλεις για τις μελλοντικές εξελίξεις. (Μαντέλας, 2010)

3.3.1 Θεωρητικές προσεγγίσεις των Αστικών Μοντέλων

Τα διάφορα μοντέλα που έχουν κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί στα πλαίσια της αστικής μοντελοποίησης διαφοροποιούνται μεταξύ τους ανάλογα με το πλήθος των χαρακτηριστικών από τα οποία αποτελούνται. Από την πιο πρώιμη προσέγγιση του Von Thunen το 1826 (1826) με το μοντέλο του σχετικά με την αγροτική θέση και αυτό του Weber για τη βιομηχανική θέση (Industrial Location), το οποίο μπορεί να θεωρηθεί ως το πρώτο μοντέλο αστικής ανάπτυξης, το μοντέλο των ομόκεντρων ζωνών του Burgess (1925), το τομεακό μοντέλο του Hoyt (1939) και το πολυκεντρικό των Harris and Ullmann (1945) που έχουν ήδη αναφερθεί, έως σήμερα, υπάρχει τέτοια ποικιλομορφία στα χαρακτηριστικά των μοντέλων που είναι ιδιαίτερα δύσκολο να διακριθούν σε σαφείς κατηγορίες. Ως τέτοια μπορούν να θεωρηθούν το θεωρητικό και τεχνικό υπόβαθρο, το πλήθος των κατηγοριών των χρήσεων γης και των

παραμέτρων που λαμβάνονται υπόψη, η χωρική και χρονική κλίμακα, καθώς και οι μέθοδοι προσομοίωσης και βαθμονόμησης που χρησιμοποιούνται. (Liu, 2009)

Παρόλα αυτά, οι περισσότερες θεωρητικές προσεγγίσεις σχετικά με τα αστικά μοντέλα παρουσιάζουν αρκετές ομοιότητες, καθώς θεωρούν την αστική ανάπτυξη ως το αποτέλεσμα του συνδυασμού των επιλογών και δράσεων των ατόμων, καθώς και των ευρύτερων κοινωνικών διαδικασιών που δρουν περιοριστικά ως προς αυτές τις επιλογές (Hall, 1998).

Σύμφωνα με την Liu (2009), τα περισσότερα αστικά μοντέλα μπορούν να ενταχθούν σε μια από τις παρακάτω θεωρητικές προσεγγίσεις:

- Η Αστική Οικολογική προσέγγιση (Urban Ecological Approach) βασίζεται στην αντίληψη ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά καθορίζεται από συγκεκριμένες οικολογικές/βιολογικές αρχές, όπως ο ανταγωνισμός, η επιλογή, η διαδοχή και η κυριαρχία. Σε αντιστοιχία με τα οικοσυστήματα, η πιο ισχυρή ομάδα ατόμων θα υπερισχύσει των υπολοίπων και θα αποκτήσει την πλεονεκτικότερη θέση εντός ενός δοσμένου αστικού περιβάλλοντος (Burgess's 1925, Hoyt's 1939, Harris and Ullman's 1945). Τα μοντέλα της κλασικής αστικής οικολογίας που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια αυτής της προσέγγισης, ως υπεραπλουστευτικά, απέτυχαν να περιγράψουν με λεπτομέρεια τα υπάρχοντα αστικά πρότυπα, ενώ οι νέες μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν και βασίστηκαν στην ανάλυση παραγόντων ήταν αρκετά περιγραφικά, αλλά ελάχιστα επεξηγηματικά, οπότε περίπου μια δεκαετία αργότερα, το ενδιαφέρον γι αυτή την προσέγγιση ατόνησε.

- Η Κοινωνικο-φυσική προσέγγιση (Social Physical Approach) βασίζεται στη θεώρηση των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των ατόμων στο χώρο. Σε αναλογία με το νόμο του Νεύτωνα, τα μοντέλα βαρύτητας όπως ονομάστηκαν, δέχονται ότι οι κινήσεις των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, όπως οι αλλαγές στην κατοικία, και η απασχόληση μεταξύ των διαφόρων τοποθεσιών, είναι ανάλογες με τη "μάζα" των δραστηριοτήτων και αντιστρόφως ανάλογη με το κόστος μετακίνησης (Hamburg and Sharkey 1961, Wilson 1970, Robinson 1998). Παρόλο που η Κοινωνικο-φυσική προσέγγιση εφαρμόστηκε ευρέως στα μοντέλα αστικής ανάπτυξης, εντούτοις παρουσίασε σαφείς περιορισμούς, καθώς απέτυχε να εξηγήσει τη συμπεριφορική διαδικασία που ωθεί τα άτομα να επιλέγουν μια συγκεκριμένη διαδρομή προς την εργασία, ενώ τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν υπό αυτή την προσέγγιση έδωσαν βαρύτητα στη συμπεριφορά των ομάδων αντί των ατόμων μεμονωμένα και δεν ασχολήθηκαν με σημαντικούς, αλλά όχι ποσοτικούς παράγοντες, οι δε σχεδιαστές των μοντέλων αυτών ενδιαφέρθηκαν, σύμφωνα με τον Batty (1982) πολύ περισσότερο για τεχνικά ζητήματα, παρά για τις αντίστοιχες επιπτώσεις των πολιτικών.

- Η Νεοκλασική προσέγγιση (Neoclassical Approach) βασίστηκε στην άποψη ότι η διαδικασία της αστικής ανάπτυξης είναι ένα οικονομικό φαινόμενο, το οποίο καθοδηγείται από τους μηχανισμούς της αγοράς και τις φυσικές διεργασίες του ανταγωνισμού μεταξύ των διαφόρων οικονομικών δραστηριοτήτων και των κοινωνικών ομάδων εντός μιας αστικής περιοχής (Von Thunen 1826, Weber 1909, Losch 1943, Isard 1956). Εξαιτίας του ότι τα μοντέλα της προσέγγισης αυτής αδιαφόρησαν για τον αντίκτυπο της ανθρώπινης συμπεριφοράς στο θέμα της αστικής ανάπτυξης και των διαδικασιών των προτύπων, η προσέγγιση αυτή τέθηκε υπό έντονη αμφισβήτηση από τους θεωρητικούς της συμπεριφορικής προσέγγισης και τους ανθρωπιστές.

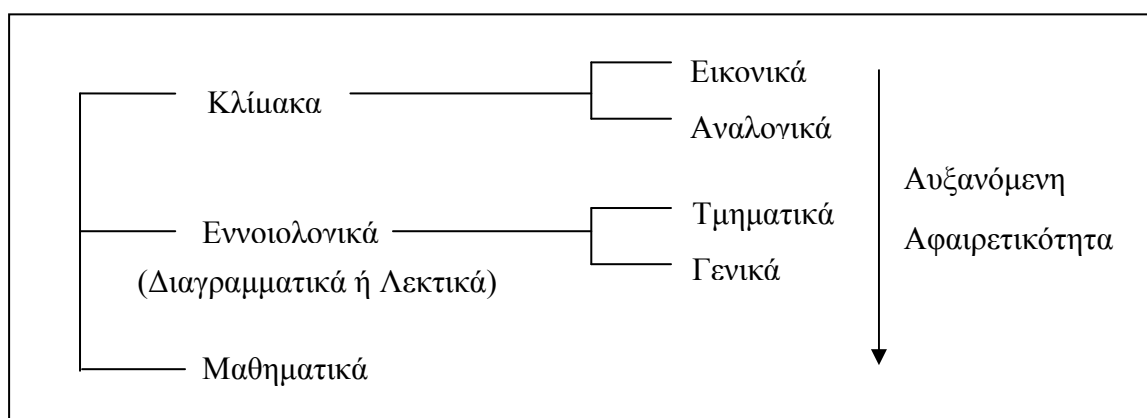
- Η Προσέγγιση συμπεριφοράς (Behavioral Approach) αναπτύχθηκε εξαιτίας της έντονης κριτικής λόγω της υπεραπλούστευσης της ανθρώπινης συμπεριφοράς στις αστικές οικολογικές και νεοκλασικές προσεγγίσεις. Εστιάζει δε στα κίνητρα που κρύβονται πίσω από τη συμπεριφορά των ατόμων και στους τρόπους που ο καθένας αναζητά για το αστικό περιβάλλον και τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων (Johnston and Wrigley 1981, Chapin and Weiss 1962a, Bassett and Short 1989). Εξαιτίας της έμφασης στη συμπεριφορά των ατόμων μεμονωμένα, αντί των ανθρώπινων ομάδων, αλλά και άλλων αδυναμιών, η προσέγγιση αυτή δέχθηκε πυρά από πολλές κατευθύνσεις στα τέλη του '70.

- Τέλος, η Συστημική προσέγγιση (Systems Approach) χρησιμοποιήθηκε καταρχήν στην αστική μοντελοποίηση το '60 και βασίστηκε στις έννοιες της Γενικής Θεωρίας των Συστημάτων. Σύμφωνα με τον von Bertalanffy (1968) το κάθε τι υπάρχει σε ένα είδος συστήματος στο οποίο θεωρείται ως ένα στοιχείο. Όλα τα στοιχεία του συστήματος είναι συνδεδεμένα, αλληλένδετα και συνδέονται με το περιβάλλον του συστήματος. Επίσης, αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω των κοινωνικών, οικονομικών και χωρικών μηχανισμών, καθώς και με τα στοιχεία στο περιβάλλον. Η σημασία κάθε στοιχείου δεν εξαρτάται από το ίδιο, αλλά από τις σχέσεις του με τα υπόλοιπα και είναι τελικά οι σύνδεσμοι μεταξύ των διαφόρων στοιχείων που αποφασίζουν την εξέλιξή του και επιτρέπουν με αυτό τον τρόπο τη διαδικασία της αλλαγής εντός του συστήματος (von Bertalanffy 1968, Chisholm 1967, Chorley and Kennedy 1971).

3.3.2 Μέθοδοι και τεχνικές μοντελοποίησης της αστικής ανάπτυξης

Τα μοντέλα μπορούν να ταξινομηθούν με διάφορους τρόπους. Σε μια γενική θεώρηση μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις τύπους, ανάλογα με το βαθμό απλούστευσης και αφαιρετικότητας.

Στο απλούστερο επίπεδο αφαίρεσης, ο πραγματικός κόσμος αλλάζει μόνο κατά την άποψη της κλίμακας. Τα μοντέλα κλίμακας διαφοροποιούνται περαιτέρω σε εικονικά, εάν αφορούν σε μικρά αντίγραφα της πραγματικότητας (όπως οι μινιατούρες των κτηρίων που δημιουργούνται από τους αρχιτέκτονες) και σε αναλογικά, εάν η σμίκρυνση συνοδεύεται από το μετασχηματισμό συγκεκριμένων ιδιοτήτων, όπως οι χάρτες που χρησιμοποιούνται από τους γεωγράφους.



Εικόνα 3-1: Κατηγορίες μοντέλων (Από τον Thomas, R.W and Huggett, R.J, *Modelling in geography: a mathematical approach*, Barnes & Noble Books, New Jersey, 1980)

Σε ένα μεγαλύτερο επίπεδο αφαίρεσης βρίσκονται τα εννοιολογικά μοντέλα, τα οποία εστιάζουν στις σχέσεις μεταξύ διαφορετικών στοιχείων της πραγματικότητας, ενώ τα μοντέλα αυτά διαχωρίζονται μεταξύ τους, ανάλογα με το αν είναι σε διαγραμματική ή λεκτική μορφή. Τα μοντέλα που βρίσκονται στο υψηλότερο επίπεδο αφαίρεσης είναι τα μαθηματικά, τα οποία είναι τα περισσότερο διαδεδομένα και ιδιαίτερου ενδιαφέροντος στην επιστημονική έρευνα (Robinson 1998; Batty 1976; Kilbridge, O'Block, and Teplitz 1970; Haggett and Chorley 1967).

Αναφορικά με τα αστικά μοντέλα, πέρα από τις θεωρητικές προσεγγίσεις, υπάρχει μεγάλη ποικιλία μεθόδων και τεχνικών μοντελοποίησης της αστικής ανάπτυξης. Βασικά μπορούν να διακριθούν σε βασικές κατηγορίες, που με τη σειρά τους υποδιαιρούνται σε εκείνες που έχουν κυρίως θεωρητικό υπόβαθρο και δεν εστιάζουν σε εμπειρικές εφαρμογές ή σε λήψη αποφάσεων, σε αντίθεση με αυτές που είναι πιο πρακτικές στη δομή τους σε σχέση με τα θεωρητικά τους ισοδύναμα. Οι μέθοδοι και οι τεχνικές αυτές μπορούν να διακριθούν στις εξής κατηγορίες:

- Μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης (Spatial Interaction Models): Η χωρική αλληλεπίδραση βασίζεται στην άποψη ότι κάθε κίνηση στο χώρο είναι αποτέλεσμα των ανθρώπινων διαδικασιών, περιλαμβάνοντας την μετακίνηση στην εργασία, τη μετανάστευση, την αξιοποίηση των δημόσιων και ιδιωτικών εγκαταστάσεων, έως και τη μετάδοση της γνώσης. Τα περισσότερα γνωστά και ευρέως χρησιμοποιούμενα μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης είναι τα μοντέλα βαρύτητας που αφορούν σε μαθηματικές τυποποιήσεις που χρησιμοποιούνται για την ανάλυση και την πρόβλεψη χωρικών προτύπων αλληλεπίδρασης (Haynes and Fotheringham, 1984). Τα μοντέλα αυτά υποθέτουν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ δύο οντοτήτων εξαρτάται από τη μάζα τους, ενώ είναι αντιστρόφως ανάλογη προς τη μεταξύ τους απόσταση και αρχικά χρησιμοποιήθηκαν σε μελέτες μετανάστευσης (Young, 1925) και εμπορίου (Reilly, 1931). Η βασική τους υπόθεση ήταν ότι το μέγεθος της αλληλεπίδρασης εξαρτάται, τόσο από το μέγεθος των πόλεων, όσο και από την απόσταση μεταξύ τους, οπότε αναλογικά μεγαλύτερος αριθμός μεταναστών ή επιχειρήσεων εμπορίου προσελκύεται από τις μεγαλύτερες πόλεις και η ροή αυτή είναι πιο έντονη όταν η απόσταση είναι μικρότερη. Σε αυτή την κατηγορία ανήκει το μοντέλο του Lowry (Lowry, 1964), το MEPLAN (Abraham, 1998) και το Tranus (Vichiensan et. al 2003)

- Μοντέλα καλύψεων γης- μεταφορών (Land Use-Transportation (LUT) Models): η κλάση αυτή αναφέρεται κυρίως στα μοντέλα οικονομικής και χωρικής αλληλεπίδρασης. Η θεωρητική τους υπόσταση έχει τις ρίζες της στις τοπικές οικονομίες, στη γεωγραφική θέση της οικονομικής δραστηριότητας, καθώς και στις αστικές οικονομίες που αντιπροσωπεύουν τα χωρικά ισοδύναμα της κλασικής μικρό και μακρό οικονομίας, αλλά και στην κοινωνική φυσική ως τμήμα των κοινωνικών θεωριών. Τα πιο αντιπροσωπευτικά βασίζονται σε εφαρμογές της θεωρίας του εμπορίου στην αστική οικονομία, όπως αντικατοπτρίζονται στις εργασίες των Fujita, Krugman and Venables (1999), αν και υπάρχει μια μεγάλη κληρονομιά των εμπειρικών μοντέλων στον Lowry (1964), η οποία εξακολουθεί να εμπλουτίζεται. Τα μοντέλα αυτά ενσωματώνουν τις πιο σημαντικές διαδικασίες της χωρικής ανάπτυξης στις αστικές περιοχές, ενώ δύνανται να προβλέπουν τις αστικές καλύψεις γης, όπου αυτές υποδηλώνουν μια σειρά από χρήσεις, όπως η οικιστική, βιομηχανική και εμπορική (Wegener, 2005). Σταδιακά έχουν προσαρμοστεί στην προσομοίωση δυναμικών αλλαγών, αν και γενικά αναπαράγουν το συνολικό μοτίβο της δραστηριότητας των πόλεων. Παρόλα αυτά

παραμένουν φειδωλά καθώς βασίζονται κυρίως στην υπόθεση ότι τα εξαγόμενα του μοντέλου αφορούν στο πόσο καλά προσαρμόζονται στο σετ των δεδομένων (goodness of fit). Τα πιο ανεπτυγμένα από αυτά είναι το μοντέλο UrbanSim (Waddell, 2002), αν και τα MEPLAN, TRANUS και IRPUD, που έχουν παρουσιαστεί στα πλαίσια του προγράμματος EU PROPOLIS (2004) είναι επίσης αντιπροσωπευτικά.

- Μοντέλα αστικής δυναμικής (Urban Dynamics models): Τα μοντέλα που παρουσιάζονται σε αυτή την κατηγορία αποδεικνύουν κυρίως το πως οι θεωρίες της πολυπλοκότητας μπορούν να περιλάβουν την πληθώρα των διαδικασιών και στοιχείων που υπεισέρχονται στα οργανικά σύνολα των πόλεων. Ελάχιστα συνολικά δυναμικά χρονικά αστικά μοντέλα έχουν εφαρμοστεί εμπειρικά. Μετά την πρόκληση προσπάθεια του Forrester (1969), η έμφαση έχει δοθεί κυρίως στη θεωρητική ανάπτυξη της μη γραμμικής εξέλιξης. Επίσης, πολλές προσπάθειες έχουν γίνει, ώστε να συνδεθούν τα μοντέλα με την οικολογική δυναμική, όπως το αντίστοιχο θηρευτή- θηράματος των Lotka-Volterra (Dendrinos and Mullally, 1985). Παρόλα αυτά, όλες οι παραπάνω ενέργειες στη δυναμική ήταν λιγότερο εφαρμόσιμες στα είδη των αστικών διαδικασιών, που είναι χαρακτηριστικές των πόλεων. Ως τέτοια αποτέλεσαν κυρίως τον προπομπό για μοντέλα μικροπροσομοίωσης, καθώς επισκιάστηκαν από χωρικές προσομοιώσεις δυναμικών διαδικασιών, των οποίων η κλίμακα αναφέρεται σε πιο εξατομικευμένο επίπεδο (Batty, 2009).

- Μοντέλα Κυψελοειδών Αυτόματων (Cellular Automata Models): Τα Κυψελοειδή Αυτόματα (Cellular Automata) είναι απλά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων. (Waldrop 1992, Wolfram, 1986). Αποτελούνται από κελιά ή ένα πλέγμα κελιών που αλληλεπιδρούν μεταξύ τους μέσω απλών κανόνων, εμφανίζοντας παρόλα αυτά μια περίπλοκη συμπεριφορά. Αφορούν σε μια προσέγγιση για τη μοντελοποίηση ανοιχτών, πολύπλοκων, αυτό-οργανωμένων συστημάτων, η οποία εστιάζει στον τρόπο με τον οποίο οι τοπικές αποφάσεις μπορούν να οδηγήσουν στη δημιουργία παγκόσμιων προτύπων (Wu, 1998b). Η μοντελοποίηση των αστικών συστημάτων χρησιμοποιώντας κυψελοειδή αυτόματα συνδέθηκε με το σχεδιασμό κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του '80 (Batty & Longley, 1994a; Batty, Xie, & Sun, 1999; Couclelis, 1985, 1997) και έχει αναπτυχθεί ιδιαίτερα την τελευταία δεκαετία. Τα ΚΑ ανταποκρίνονται επαρκώς στη μοντελοποίηση πολύπλοκων δυναμικών συστημάτων μεγάλου αριθμού μεμονωμένων στοιχείων τα οποία συνδέονται μέσω μη γραμμικών συνδέσεων (Openshaw & Openshaw, 1997; σελ. 247), εξ ου και έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στα διάφορα πεδία ανάλυσης της αστικής και περιφερειακής ανάπτυξης (Clarke & Gaydos, 1998; Clarke et al., 1997; Landis & Zhang, 1998), της τοπικής οικονομίας, της δημογραφίας και των χρήσεων γης (White & Engelen, 1997).

- Μοντέλα μικροπροσομοίωσης (Micro-simulation Models): Η μικρο-προσομοίωση είναι μια κατηγορία υπολογιστικών αναλυτικών εργαλείων που εκτελούν λεπτομερειακές αναλύσεις των δραστηριοτήτων, προσομοιώνοντας τες σε μικροσκοπικό επίπεδο. Διακρίνονται από άλλους τύπους μοντέλων υπολογιστικής προσομοίωσης στο ότι εξετάζουν την αλληλεπίδραση μεμονωμένων "μονάδων", καθεμιά από τις οποίες αντιμετωπίζεται αυτόνομα και η αλληλεπίδραση μεταξύ τους ποικίλει βασιζόμενη σε τυχαιοποιημένες παραμέτρους που αντιπροσωπεύουν μεμονωμένες προτιμήσεις και τάσεις (<http://en.wikipedia.org/wiki/Microsimulation>, τελευταία πρόσβαση 10/9/2013). Τα μοντέλα μικροπροσομοίωσης μπορούν με τη σειρά τους να διακριθούν σε ανοικτά (DYNACAN και

Pensim2) και κλειστά, τα οποία μπορούν παρόλα αυτά να συνδυαστούν μεταξύ τους. Παρότι τα μοντέλα αυτά προσομοιώνουν ιδιαίτερα σύνθετες συμπεριφορές, απαιτούν παράλληλα έναν μεγάλο όγκο λεπτομερειακών δεδομένων. Το πιο γνωστό μοντέλο μικροπροσομοίωσης είναι το μοντέλο Dortmund (Wegener, 1985).

- **Συστημικά Μοντέλα (System Models):** Τα μοντέλα αυτά αναφέρονται στα αστικά συστήματα με όρους ροών και αποθεμάτων, προκειμένου να περιγράψουν τις πρώτες ύλες, την πληροφορία και την ενέργεια. (Gilber and Troitzch, 1999). Οι μεταβολές στο χρόνο χωρίζονται σε διακριτά βήματα, ενώ μέσω των μοντέλων αναδεικνύονται ανθρώπινες και οικολογικές αλληλεπιδράσεις. Ενδεικτικά συστημικά μοντέλα είναι αυτά των Forrester (1969) και Sanders (2004).

- **Μοντέλα πρακτόρων και πολλαπλών πρακτόρων (Agents and Multi- Agents Models):** Πρόκειται για μια τάξη υπολογιστικών μοντέλων για προσομοίωση των ενεργειών και αλληλεπιδράσεων των αυτόνομων "πρακτόρων", δηλαδή μεμονωμένων ή συλλεκτικών οντοτήτων όπως οι οργανισμοί ή ομάδες με σκοπό την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων τους για το σύστημα στο σύνολό του (Niazi, Muaz; Hussain, Amir, 2011). Η ιδέα των μοντέλων πρακτόρων αναπτύχθηκε ως έννοια στα τέλη του '40, αλλά εξαιτίας της υπολογιστικής απαίτησης δεν έγινε ευρέως γνωστή έως το '90. Η ιστορία των μοντέλων έχει τις ρίζες της στη μηχανή του Von Neumann, μια θεωρητική μηχανή αυτοαναπαραγωγής, η οποία βελτιώθηκε από τον Stanislaw Ulam που πρότεινε τη μεταφορά της στο χαρτί ως μια συλλογή κελιών πάνω σε ένα πλέγμα, δημιουργώντας κατά αυτό τον τρόπο τις μηχανές που αργότερα ονομάστηκαν Κυψελοειδή Αυτόματα. Τα μοντέλα πολλαπλών πρακτόρων έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης στην αστική μοντελοποίηση (Torrens and Benenson 2005; Benenson, Omer, and Hatna 2002; Benenson 1999, 1998). Έχουν σχεδιαστεί ως μια συλλογή της αλληλεπίδρασης των αυτόνομων πρακτόρων, καθένας από τους οποίους έχει τις δικές του ικανότητες και στόχους, αλλά μαζί συσχετίζονται με ένα κοινό περιβάλλον. Ο τύπος αυτών των μοντέλων λειτουργεί με τις ίδιες αρχές όπως τα ΚΑ μοντέλα, με κάθε πράκτορα να θεωρείται ως ένα μεμονωμένο αυτόνομο πράκτορα- αυτόματο (Torrens, 2003). Η διάκριση με τα ΚΑ μοντέλα εντούτοις, αφορά αφενός στο ότι στα μοντέλα πρακτόρων η βασική μονάδα είναι μια συλλογή πρακτόρων, όπως μεμονωμένα άτομα, σχεδιαστές, πολεοδόμοι ή λήπτες αποφάσεων, καθώς και το ότι οι πράκτορες είναι αυτόνομοι υπό την έννοια ότι έχουν την ικανότητα να προβαίνουν σε ανεξάρτητες δράσεις, οι οποίες ορίζονται μέσω της επιτυχίας σκοπών και στόχων, ενώ η επίδρασή τους στο περιβάλλον πραγματοποιείται σε διάφορες κλίμακες.

- **Γεωγραφικά Συστήματα πληροφοριών (ΓΣΠ / GIS, Geographical Information Systems):** Τα ΓΣΠ είναι ένας συνδυασμός υλικού (hardware) και λογισμικού (software) που χρησιμοποιείται για την ανάκτηση αποθήκευση, διαχείριση, ανάλυση και προβολή γεωγραφικών δεδομένων. Το ακρόνυμο GIS χρησιμοποιείται όμως και για τον ορισμό της επιστήμης των Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information Science), η οποία αναφέρεται στον επιστημονικό κλάδο που αφορά στην ενασχόληση και σπουδή με τα γεωγραφικά πληροφοριακά συστήματα, ο οποίος είναι ένας μεγάλος κλάδος εντός του ευρύτερου επιστημονικού πεδίου της γεωπληροφορικής (ESRI, 2011), ενώ με απλούστερους όρους μπορεί να θεωρηθεί ως η συνένωση των τεχνολογιών της χαρτογραφίας, της στατιστικής ανάλυσης και της επιστήμης των υπολογιστών. Ο όρος ΓΣΠ περιγράφει κάθε πληροφοριακό σύστημα που ενσωματώνει, αποθηκεύει, και αναλύει γεωγραφική πληροφορία

προς ενημέρωση σε λήψη αποφάσεων, ενώ οι εφαρμογές ΓΣΠ είναι εργαλεία που επιτρέπουν στους χρήστες να θέτουν ερωτήματα, να αναλύουν τη χωρική πληροφορία και να παρουσιάζουν τα αποτελέσματα όλων αυτών των εφαρμογών (Clarke, K. C., 1986). Η επιστήμη των ΓΣΠ είναι η επιστήμη πίσω από τις γεωγραφικές έννοιες, τις εφαρμογές και τα συστήματα (Goodchild, 2010). Η πρώτη γνωστή χρήση του όρου "Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών" έγινε από τον Roger Tomlinson το 1968 στην εργασία του με τίτλο "A Geographic Information System for Regional Planning" (ESRI, 2013), ο οποίος αναγνωρίζεται ως ο πατέρας των ΓΣΠ. Αν και τα ΓΣΠ αναπτύχθηκαν πριν από περίπου τρεις δεκαετίες και έχουν αναγνωρισθεί ως αποτελεσματικά εργαλεία στη γεωγραφική έρευνα, οι τεχνικές αυτές είχαν αναπτυχθεί παράλληλα με την αστική μοντελοποίηση εδώ και περίπου δύο δεκαετίες. (Sui, 1998). Δεν ήταν μέχρι τα τέλη της δεκαετίας του 1980 παρόλα αυτά, όταν οι ερευνητές ΓΣΠ προσπάθησαν να ενσωματώσουν τις τεχνικές τους στην αστική μοντελοποίηση, προκειμένου να βελτιώσουν τις ικανότητες ανάλυσης των τεχνικών των ΓΣΠ (Fischer, Scholton, and Unwin 1996; Fotheringham and Rogerson 1994; Anselin and Getis 1992; Fischer and Nijkamp 1992; Goodchild, Haining, and Wise 1992). Κατά τη διάρκεια του '90, τόσο οι χρήστες ΓΣΠ, όσο και οι σχεδιαστές αστικών μοντέλων έδειξαν έντονο ενδιαφέρον για την ενσωμάτωση των δύο τεχνικών, ενώ μέσω αυτής, οι σχεδιαστές έχουν αναγνωρίσει ότι τα ΓΣΠ προσφέρουν νέες πλατφόρμες για τη διαχείριση των δεδομένων και την οπτικοποίηση. (Nyerges, 1995). Υπάρχουν πολλές στρατηγικές για τη σύνδεση μοντέλων με τα ΓΣΠ, οι οποίες μπορούν με τη σειρά τους να κατηγοριοποιηθούν ως χαλαρές ή πιο δυνατές συνδέσεις. Η χαλαρή διασύνδεση βασίζεται συνήθως στην εισαγωγή ή εξαγωγή κοινών δεδομένων που χρησιμοποιούνται στο μοντέλο και στα ΓΣΠ, ενώ η στενή διασύνδεση βασίζεται στην προσθήκη της λειτουργικότητας του ενός συστήματος στο άλλο, είτε ενσωματώνοντας το μοντέλο εντός του ΓΣΠ, είτε αντίστροφα (Batty and Xie 1994a). Άλλες κατηγοριοποιήσεις σχετικά με την ενσωμάτωση των δύο τεχνικών αναγνωρίζουν τέσσερις (4) διαφορετικές προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως από τους ερευνητές. Αυτές περιλαμβάνουν:

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

Αν και μέσω της χρήσης λογισμικών ΓΣΠ σε συνεργασία με λογισμικά τρίτων έχει αναγνωριστεί η σημασία των δυνατοτήτων ανάλυσης και μοντελοποίησης, εντούτοις οι περισσότερες προσπάθειες αστικής μοντελοποίησης που βασίζονται σε ΓΣΠ πραγματοποιούνται μέσω της προσέγγισης της χαλαρής ή στενής διασύνδεσης (Clarke and

Gaydos 1998; Sui 1998). Με την μετατόπιση δε της αστικής μοντελοποίησης από τη συμβατική από πάνω-προς τα κάτω προσέγγιση προς τις πρόσφατες πρακτικές που απευθύνονται σε πιο τοπικές προσεγγίσεις, τα μοντέλα που χρησιμοποιούν τεχνικές ΚΑ έχουν επιδείξει σημαντικές δυνατότητες στα αμοιβαία οφέλη τόσο των αστικών μοντέλων, όσο και των ΓΣΠ (Batty, Xie, and Sun 1999; Wu 1998a,b, 1996).

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

3.4 Κυβελοειδή αυτόματα (Cellular Automata)

Από τις μεθόδους και τεχνικές μοντελοποίησης που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες ενότητες επιλέχθηκε να μελετηθεί στην παρούσα εργασία αυτή των Κυβελοειδών Αυτόματων.

Τα Κυβελοειδή Αυτόματα (Cellular Automata) είναι απλά μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την προσομοίωση πολύπλοκων συστημάτων. (Waldrop 1992, Wolfram, 1986). Οφείλουν την ονομασία τους στο γεγονός ότι αποτελούνται από κελιά ή ένα πλέγμα κελιών (cells), όπως σε μια σκακιέρα και ότι αυτά μπορούν να εξελιχθούν σύμφωνα με έναν απλό κανόνα μετάβασης, αλλιώς "αυτόματα" (Engelen, 1995).

Καθένα από τα κελιά μπορεί να βρίσκεται σε μια συγκεκριμένη από πολλές πιθανές "καταστάσεις", ο αριθμός των οποίων εξαρτάται από το εκάστοτε "αυτόματο". Οι τιμές των κελιών μεταβάλλονται ταυτόχρονα, εντός καθορισμένων χρονικών βημάτων και καθορίζονται λαμβάνοντας υπόψη τοπικούς κανόνες, την κατάσταση του κελιού τη δεδομένη χρονική στιγμή, αλλά και αυτή των γειτονικών του στο προηγούμενο χρονικά βήμα. Το χαρακτηριστικό αυτών των μοντέλων είναι ότι η συμπεριφορά τους είναι "αναδυόμενη" δηλαδή δημιουργείται από την επαναλαμβανόμενη εφαρμογή των κανόνων πέρα από τις αρχικές συνθήκες. (Wolfram, 1984).

Η επιστήμη των ΚΑ δεν είναι καινούργια. Προτάθηκαν για πρώτη φορά από το φυσικό Stanislan Marcin Ulam τη δεκαετία του 1940 κατά τη μελέτη της ανάπτυξης των κρυστάλλων χρησιμοποιώντας ως μοντέλο ένα απλό πλέγμα δικτύου (Pickover, Clifford A, 2009), ενώ την ίδια περίοδο χρησιμοποιήθηκαν από το συνάδελφό του John von Neumann κατά την έρευνά του σχετικά με τα "αυτοαναπαραγόμενα συστήματα" (Schiff, 2011). Οι Ulam και Neumann συνεργάστηκαν και δημιούργησαν στα τέλη του '50 μια μέθοδο υπολογισμού των υγρών σε κίνηση, θεωρώντας το υγρό ως ένα σύμπλεγμα διακριτών κελιών και υπολογίζοντας την κίνηση καθενός, με βάση τη συμπεριφορά των γειτονικών του. (Bialinicki, Birula, 2004). Έτσι, γεννήθηκε το πρώτο σύστημα ΚΑ. Τη δεκαετία του '60 τα ΚΑ μελετήθηκαν για πρώτη φορά ως τμήματα ενός δυναμικού συστήματος και το 1969 ο πρωτοπόρος Γερμανός Konrad Zuse υποστήριξε στο βιβλίο του Calculating Space ότι οι φυσικοί νόμοι του σύμπαντος είναι διακριτοί εκ φύσεως και ότι το σύμπαν είναι το αποτέλεσμα ενός ντετερμινιστικού

υπολογισμού πάνω σε ένα ΚΑ (Schiff, 2011). Το 1970 το παιχνίδι της ζωής ή αλλιώς Game of Life, το οποίο εφευρέθηκε από το Βρετανό μαθηματικό John Horton Conway και έγινε ευρέως γνωστό ιδιαίτερα στην πρώιμη κοινότητα της πληροφορικής, είναι ένα ακόμα ΚΑ, η εξέλιξη του οποίου καθορίζεται αποκλειστικά και μόνο από την αρχική του κατάσταση (Gardner, Martin, 1970). Παρά την απλοϊκότητά του, το μοντέλο επιτυγχάνει μια εντυπωσιακή ποικιλία συμπεριφορών κυμαινόμενο ανάμεσα στην τάξη και τη φαινομενική τυχαιότητα. (Charman, 2002). Ιδιαίτερα ενδιαφέρουσες μελέτες πάνω στα ΚΑ πραγματοποιήθηκαν από τον Wolfram στα μέσα του 1981 αναφορικά με την προσομοίωση των νευρωνικών δικτύων. Η απροσδόκητη πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς των απλών κανόνων των ΚΑ τον οδήγησαν στην άποψη ότι η πολυπλοκότητα στη φύση πιθανότατα οφείλεται σε παρόμοιους μηχανισμούς, ενώ το 2002 στο βιβλίο του A New Kind of Science, στο οποίο παρουσίασε μια γιγάντια συλλογή αποτελεσμάτων αναφορικά με τα ΚΑ, υποστήριξε ότι όχι μόνο δεν αποτελούν μεμονωμένα περιστατικά, αλλά αντίθετα είναι ισχυρά συστήματα, ιδιαίτερης σημασίας σε όλους τους επιστημονικούς κλάδους. (Wolfram, 2002).

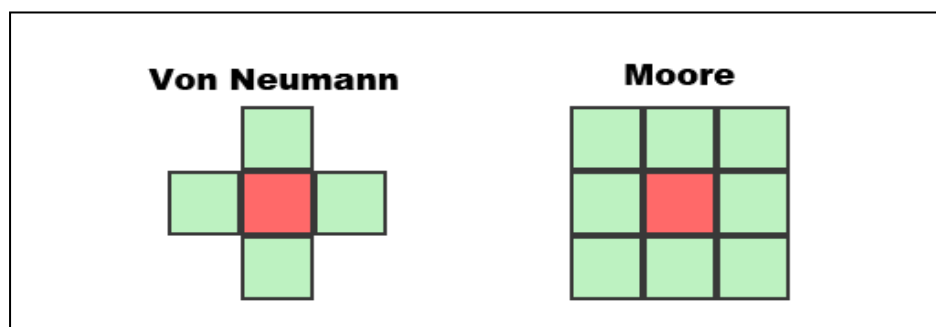
3.4.1 Χαρακτηριστικά ενός ΚΑ

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

1. Το κύτταρο (The cell) αποτελεί το χώρο μέσα στον οποίο υπάρχει και εξελίσσεται ένα ΚΑ. Πολλά κύτταρα μαζί δημιουργούν ένα δισδιάστατο πλέγμα, το οποίο ενδείκνυται κυρίως για τη μοντελοποίηση χωρικών φαινομένων, όπως της αστικής διάχυσης και των χρήσεων γης, αν και στα πρώτα ΚΑ το πλέγμα ήταν συνήθως μονοδιάστατο. Υπάρχουν και πλέγματα ν-διαστάσεων που εξυπηρετούν άλλες εφαρμογές.

2. Η κατάσταση (The state) καθορίζει τα χαρακτηριστικά του συστήματος και αφορά στον αριθμό των πιθανών καταστάσεων που μπορεί να λάβει ένα κελί, ο οποίος τυπικά είναι πεπερασμένος. Ιδιαίτερα στα ΚΑ που βασίζονται σε αστικά μοντέλα, η κατάσταση των κελιών μπορεί να αντιπροσωπεύει τις κατηγορίες των χρήσεων γης, δηλαδή εάν η χρήση είναι αστική, αγροτική ή άλλη, παρόλα αυτά δύναται να αντιπροσωπεύει άλλα χαρακτηριστικά μιας αστικής περιοχής, όπως της κοινωνικές πληθυσμιακές ομάδες (Portugali and Benensen, 1995).

3. Η γειτονιά (The neighbourhood) αποτελείται από ένα σύνολο κελιών, τα οποία αλληλεπιδρούν μεταξύ τους, εξαιτίας του ότι εφάπτονται. Μπορεί να οριστεί με διάφορους τρόπους, αλλά δύο από τα συνηθισμένα πρότυπα σε ορθογωνικούς καννάβους με τετράγωνα κελιά είναι οι γειτονιές Von Neumann και Moore. (Hogeweg, 1988).



Εικόνα 3-2: Γειτονιά "Von Neumann" και "Moore" σε δισδιάστατα Κυψελοειδή Αυτόματα

Η γειτονιά Von Neumann περιλαμβάνει τα τέσσερα ορθογωνικά (4) κελιά που περικλείουν το κεντρικό, ορίζοντας κατά αυτόν τον τρόπο τους Βόρειους, Νότιους, Ανατολικούς και Δυτικούς γείτονές του, ενώ η γειτονιά Moore περιλαμβάνει συνολικά οκτώ (8) γείτονες του κεντρικού κελιού, προσαυξάνοντας τον αριθμό που έχει οριστεί από τον Neumann με τα τέσσερα εφαπτόμενα σε αυτό. Με αυτό τον τρόπο συμμετέχουν οι νέοι γείτονες κατά την Βόρειο-ανατολική, τη Βόρειο-δυτική, τη Νότιο-ανατολική και Νότιο-δυτική κατεύθυνση.

4. Οι κανόνες μετάβασης (The transition rules) υπαγορεύουν ουσιαστικά τη μεταβολή της κατάστασης των κελιών μέσα στο χρόνο. Η αλλαγή αυτή είναι μια λειτουργία που εξετάζει παράλληλα και την κατάσταση των κελιών που ορίζουν την εκάστοτε γειτονιά, ενώ οι κανόνες εφαρμόζονται ομοιόμορφα και συγχρονισμένα σε όλα τα κελιά. Η γενική διατύπωση τους περιλαμβάνει προτάσεις του τύπου IF, THEN, αλλά και ELSE σε πιο πολύπλοκες περιπτώσεις, προκειμένου να περιγραφούν οι συνθήκες που επικρατούν στη "γειτονιά" αλλά πώς αυτές επηρεάζουν αντίστοιχα την κατάσταση του κελιού. Υπό αυτή την έννοια, πολλές λειτουργίες που περιγράφονται με παραδοσιακές μαθηματικές συναρτήσεις, μπορούν να αντικατασταθούν από διαδικασίες βασισμένες σε κανόνες που αντικατοπτρίζουν το πώς λειτουργούν τα συστήματα στην πραγματικότητα, καθώς και υπό ιδανικές συνθήκες (Batty, 1997).

Τέλος, ένα από τα χαρακτηριστικά ενός ΚΑ αποτελεί ο χρόνος, εντός του οποίου καθορίζεται η χρονική του διάσταση. Σε ένα τυπικό ΚΑ οι καταστάσεις όλων των κελιών ενημερώνονται ταυτόχρονα εντός διακριτών χρονικών βημάτων. Παρόλα αυτά η παράμετρος του χρόνου σε ένα ΚΑ παρουσιάζει ενδιαφέρον, καθώς τα "διακεκριμενοποιημένα" χρονικά βήματα έρχονται σε αντίθεση με τη ρευστότητα της χρονικής δραστηριότητας στην πραγματικότητα, δημιουργώντας ερωτηματικά και για την ταυτόχρονη ενημέρωση της κατάστασης των κελιών, ενώ τα πειράματα που έχουν πραγματοποιηθεί με ασύγχρονη ενημέρωση της κατάστασης των κελιών δείχνουν ότι οι δυναμικές επιπτώσεις σε αυτή την περίπτωση παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον (Bersini and Detours, 1994).

3.4.2 Μαθηματική αναπαράσταση των ΚΑ

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

Ένα ΚΑ ορίζεται από:

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

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

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

όπου το Nx_{ij} αντιπροσωπεύει μια σειρά κελιών που βρίσκονται στη γειτονιά του κελιού x_{ij} , το $S_{Nx_{ij}}^t$ μια σειρά καταστάσεων των κελιών Nx_{ij} και το f μια συνάρτηση μετάβασης. Θεωρώντας κάθε κελί σαν μέλος της γειτονιάς του, η παραπάνω σχέση μπορεί να μετασχηματιστεί σε :

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

και τελικά ένα ΚΑ ορίζεται σαν: ΚΑ:=(L, S, N, f) (Liu, 1987)

Σύμφωνα με τον Batty (1997) η εξίσωση αυτή μπορεί να πάρει και τη λεκτική μορφή

EAN (IF) κάτι συμβεί στη γειτονιά του κελιού

TOTE (THEN) κάτι άλλο θα συμβεί στο κελί σε ένα επόμενο χρονικά βήμα.

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

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

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

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

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

ζωντανούς γείτονες. Ένα ζωντανό κελί θα "πεθάνει" εάν μετά το μετασχηματισμό έχει λιγότερους από δύο (2) γείτονες ή περισσότερους από τρεις (3). Στην πρώτη περίπτωση το κελί πεθαίνει εξαιτίας της απομόνωσης (isolation), ενώ στη δεύτερη εξαιτίας του υπερπληθυσμού (overcrowding). Τέλος, ένα πεθαμένο κελί θα γεννηθεί, εάν μετά το μετασχηματισμό έχει ακριβώς τρεις (3) ζωντανούς γείτονες.

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

- Κανόνας επιβίωσης

EAN {υπάρχουν 2 ή 3 ζωντανά κελιά στη γειτονιά Moore ενός ζωντανού κελιού σε χρόνο t }

TOTE {το κελί παραμένει ζωντανό στο επόμενο μετασχηματισμό σε χρόνο $t+1$ }

- Κανόνας θανάτου

EAN {υπάρχουν <2 ή >3 ζωντανά κελιά στη γειτονιά Moore ενός ζωντανού κελιού σε χρόνο t }

TOTE {το ζωντανό κελί πεθαίνει στο επόμενο μετασχηματισμό σε χρόνο $t+1$ }

- Κανόνας γέννησης

EAN {υπάρχουν ακριβώς 3 ζωντανά κελιά στη γειτονιά Moore ενός νεκρού κελιού σε χρόνο t }

TOTE {το κελί παραμένει μετατρέπεται σε ζωντανό στο επόμενο μετασχηματισμό σε χρόνο $t+1$ }.

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

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

1. Να μην υπάρχει αρχικό πρότυπο για το οποίο να υπάρχει έστω και μια μικρή απόδειξη ότι ο πληθυσμός μπορεί να αναπτυχθεί χωρίς όρια.

2. Να μην υπάρχουν αρχικά πρότυπα που προφανώς αναπτύσσονται χωρίς όρια και

3. Να υπάρχουν απλά αρχικά πρότυπα, τα οποία μεγαλώνουν και αλλάζουν για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, πριν "πεθάνουν", με κάποιον από τους παρακάτω πιθανούς τρόπους:

- εξαιτίας υπερπληθυσμού ή απομόνωσης και
- με το να βρεθούν σε μια σταθερή κατάσταση, ή οποία δεν αλλάζει περαιτέρω ή να εισέλθουν σε μια φάση κατά την οποία επαναλαμβάνουν έναν ακατάπαυστο κύκλο δύο ή τριών περιόδων.

Το παιχνίδι της ζωής προσέλκυσε μεγάλο ενδιαφέρον εξαιτίας των εντυπωσιακών τρόπων με τους οποίους αναπτύσσονται τα πρότυπα, ενώ η "Ζωή" αποτελεί ένα παράδειγμα ανάδυσης και αυτο-οργάνωσης, ιδιαίτερης σημασίας για πολλούς επιστημονικούς κλάδους σχετικά με την εμφάνιση πολύπλοκων προτύπων από την εφαρμογή πολύ απλών κανόνων. (Dennet, 2001, 2002, 2003). Δημιούργησε δε ένα καινούργιο πεδίο στη μαθηματική έρευνα, αυτό των ΚΑ, καθώς οι αναλογίες της "Ζωής" με τη γέννηση, την πτώση και τις αλλαγές μιας κοινωνίας ζωντανών οργανισμών, ανήκουν σε μια αναπτυσσόμενη τάξη των λεγόμενων "παιγνιδιών προσομοίωσης", τα οποία μιμούνται τις διαδικασίες της πραγματικής ζωής καθιστώντας με αυτό τον τρόπο τα ΚΑ ως ισχυρά εργαλεία μοντελοποίησης. (http://www.conwaylife.com/wiki/Conway's_Game_of_Life, πρόσβαση 4/9/2013).

3.5 Η Χρήση ΚΑ για την προσομοίωση αστικών συστημάτων

Η μοντελοποίηση γεωγραφικών συστημάτων χρησιμοποιώντας ΚΑ είναι μια πρόσφατη εξέλιξη (Silva and Clarke, 2002). Ο Tobler (1979) ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε αυτά τα μοντέλα στη γεωγραφία περιγράφοντας εν συντομία πέντε (5) μοντέλα καλύψεων γης, τα οποία βασίζονταν σε μια σειρά κελιών κανονικού μεγέθους, όπου η κάλυψη γης σε μια συγκεκριμένη θέση εξαρτιόταν από την αντίστοιχη κάλυψη σε άλλες θέσεις. Η δυναμική της προσέγγισης ωστόσο, συνδέθηκε με το σχεδιασμό, κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1980 (Batty & Longley, 1994a; Batty, Xie, & Sun, 1999; Couclelis, 1985, 1997) και έχει αυξηθεί σημαντικά την τελευταία δεκαετία (de Almeida, 2003; Li and Yeh, 2001b; Ward et al, 2000).

Η λογική και οι μηχανισμοί των ΚΑ επιτρέπουν τη σύνδεση του τοπικού με το παγκόσμιο, όχι μόνο μέσω της προσομοίωσης και της πρόγνωσης των μοντέλων, αλλά επίσης υπό την έννοια ότι τα παγκόσμια πρότυπα και μορφές μπορούν να απεικονιστούν μέσω τοπικών διαδικασιών (Batty, M., Xie, Y, 1994). Αν και γενικά υπάρχει μια δυσκολία να προσομοιωθούν μεγάλα συστήματα σε μικρο-κλίμακα, εντούτοις η κατανόηση των διαδικασιών και η εξέλιξη των μορφών σε ένα μικρότερο επίπεδο, επιτρέπουν αντίστοιχα την καλύτερη κατανόηση και μοντελοποίηση των διαδικασιών που παίρνουν μέρος στην επόμενη ιεραρχική κλίμακα.

Η πιο προφανής είναι ότι τα ΚΑ μοντέλα είναι χωρικά με τον ίδιο τρόπο που είναι κάθε αστικό ή άλλο γεωγραφικό σύστημα. Αυτή η θεώρηση του χώρου με έναν απόλυτο τρόπο είναι ένα πλεονέκτημα έναντι άλλων αστικών και τοπικών μοντέλων, όπου ο χώρος είναι σχετικός. Επίσης, η χωρική θεώρηση των ΚΑ συνδέεται με τα γεωγραφικά και τηλεπισκοπικά δεδομένα, πολλά από τα οποία χρησιμοποιούνται σα δεδομένα εισόδου για αυτά τα μοντέλα. Η δομή μορφής καννάβου αυτών των πηγών δεδομένων είναι η ίδια πλεγματική δομή που παρουσιάζεται και στα ΚΑ μοντέλα, καθιστώντας αυτά ιδανικές πηγές για κανονικά πλεγματικά δεδομένα (Dietzel and Clarke, 2004)

Παράλληλα, η διαδικασία της ταυτόχρονης υπολογιστικής προσομοίωσης στα ΚΑ επιτρέπει στους σχεδιαστές να δουν την ανάπτυξη των αστικών συστημάτων στο χώρο σε στάδια, παρά απλά ως αρχικά και τελικά σημεία. Αυτό δε σημαίνει ότι τα ΚΑ μοντελοποιούν ένα σύστημα σε μια συνεχή χρονική κλίμακα, απλά ότι τα στάδια ανάμεσα στις χρονικές περιόδους μπορούν να τεθούν σε τόσο μικρή χρονική περίοδο που το αποτέλεσμα να είναι ένα μοντέλο που να εμφανίζεται συνεχές στο χρόνο. Η ευελιξία στη χρονική δυναμική που

ένα ΚΑ επιτρέπει τη μοντελοποίηση γεγονότων που συμβαίνουν σε διάφορα χρονικά διαστήματα από τη συμπεριφορά πεζών έως την ανάπτυξη των πόλεων. Τα ΚΑ δρουν εντός μιας εντοπισμένης γειτονιάς, δημιουργώντας δυναμικές μικροκλίμακας. Αλλά όταν η συνολική συμπεριφορά του συστήματος μικροσκοπικά θεωρείται αθροιστικά, τότε αναδύεται το μακροσκοπικό πρότυπο. Αυτές οι δυναμικές είναι τυπικές των πολύπλοκων αυτών συστημάτων, όπου τα τοπικά στοιχεία επιτρέπεται να αλληλεπιδρούν, δημιουργώντας τη μακροσκοπική προοπτική (Dietzel and Clarke, 2004).

Επιπρόσθετα, η πλεγματική δομή και σύνδεση με τα γεωγραφικά και τηλεπισκοπικά δεδομένα κάνει τα ΚΑ μοντέλα αρκετά εποπτικά, δίνοντας στους σχεδιαστές και χρήστες των μοντέλων την ικανότητα να οπτικοποιήσουν τα αποτελέσματα των προβλέψεων του μοντέλου. Κάτι τέτοιο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν τα μοντέλα προσομοιώνονται για πολλαπλά σενάρια και γίνεται ανάλυση των αποτελεσμάτων. Ενσωματώνοντας τις χρονικές δυναμικές των ΚΑ με οπτικοποίηση, τα ΚΑ μοντέλα επιτρέπουν στο χρήστη να δει τη δυναμική διαδικασία ανάπτυξης καθώς αυτή λαμβάνει χώρα εντός του μοντέλου. Τα ΚΑ ενσωματώνουν εύκολα κοινές μορφές γεωγραφικών δεδομένων, διευκολύνουν την εκτέλεση διαδικασιών σε πολλαπλές κλίμακες και παράγουν εποπτικά αποτελέσματα υψηλής ποιότητας αυξάνοντας την κατανόηση και την αξιοπιστία τους (Dietzel and Clarke, 2004).

3.6 Κατηγοριοποίηση αστικών ΚΑ μοντέλων

Οι πρώτες εφαρμογές των ΚΑ στην μοντελοποίηση της δυναμικής της αστικής ανάπτυξης αφορούσαν θεωρητικά μοντέλα με σκοπό την προσομοίωση απλών αστικών δομών, τα οποία παρότι δεν εφαρμόστηκαν ποτέ, εντούτοις έβαλαν τα θεμέλια για την ανάπτυξη λειτουργικών αστικών ΚΑ (Sante I., Andres M., Garcia A., Miranda D., Crecente R., 2010). Το επόμενο βήμα ήταν η εφαρμογή των θεωρητικών αυτών μοντέλων στην προσομοίωση των αστικών διαδικασιών ανάπτυξης του πραγματικού κόσμου. Η ταυτόχρονη εμφάνιση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών συντέλεσε επίσης στη μετάβαση από τις τεχνητές εφαρμογές στις πραγματικές προσομοιώσεις (Couclelis, 1997).

Κάποιες από τις πρώτες εφαρμογές αστικών ΚΑ στη μοντελοποίηση αστικών διαδικασιών πραγματοποιήθηκαν από τους Batty και Xie (1994) και Xie (1996) στη Ν. Υόρκη. Παρόλα αυτά η "νέα εποχή" των ΚΑ αρχίζει στα μέσα της δεκαετίας του 1990 με το μοντέλο των White et al (1997) που βασίστηκε στα προηγούμενα μοντέλα των White και Engelen (1993, 1997) και υπολόγιζε για κάθε κελί την ενδεχόμενη μετάβαση σε διαφορετικές καλύψεις γης επιβεβαιώνοντας τη δυνατότητα επίτευξης εξαιρετικά ρεαλιστικά προβλέψεων της αστικής ανάπτυξης χρησιμοποιώντας μοντέλα βασιζόμενα στα ΚΑ.

Έκτοτε έχει αναπτυχθεί ένας μεγάλος αριθμός αστικών ΚΑ, τα οποία έχουν κατηγοριοποιηθεί, είτε με βάση τα τέσσερα (4) βασικά χαρακτηριστικά τους (κανόνες μετάβασης, πλέγμα, γειτονιά, κατάσταση κελιών), είτε με βάση το σκοπό, τις μεθόδους βαθμονόμησης, καθώς και την αξιολόγηση των μοντέλων.

Αναφορικά με τους κανόνες μετάβασης (transition rules) έχουν αναπτυχθεί συνολικά έξι (6) τύποι:

1. Οι κανόνες τύπου I είναι αυστηρά δομημένοι, υπό την έννοια ότι η κατάσταση ενός κελιού είναι μια λειτουργία της τρέχουσας κατάστασής του και της αντίστοιχης των

γειτονικών του που μπορεί να εφαρμοστεί μέσω απλών κανόνων που βασίζονται αποκλειστικά στον αριθμό των γειτονικών κελιών κάθε χρήσης γης (Jenerette and Wu, 2001; Yózer, 2004) ή και σε ακόμα πιο πολύπλοκους κανόνες (Besussi et al., 1998; Stevens and Dragicevic, 2007; Ward et al., 2000)

2. Στους κανόνες τύπου II, η κινητήριος δύναμη της αστικής ανάπτυξης είναι το ενδεχόμενο της εξέλιξης, όπως για παράδειγμα η πιθανότητα που έχει κάθε κελί να αλλάξει προς μια συγκεκριμένη χρήση γης, η οποία είναι μια λειτουργία της τρέχουσας χρήσης γης του κελιού και των γειτονικών του, αλλά και άλλων παραγόντων που περιορίζουν την εξέλιξη των χρήσεων γης. Οι White και Engelen ήταν οι πρώτοι που πρότειναν τον υπολογισμό της πιθανότητας εξέλιξης (Engelen et al, 1999, White et al,1997), ενώ στα μοντέλα που σχεδιάστηκαν από τον Wu (1998b, 2002) Wu και Martin (2002) και Wu and Webster (1998b) η πιθανότητα ανάπτυξης προσδιορίζεται ως συνάρτηση ενός αριθμού παραγόντων, όπως η γειτονιά. Οι παράγοντες αυτοί δεν είναι προκαθορισμένοι, γεγονός που επιτρέπει στους σχεδιαστές να θέσουν τους πιο κατάλληλους κανόνες για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή. Το ίδιο ισχύει και για τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν από τον Almeida et al. (2003, 2005) Cheng και Masser (2004) και He et al. (2006, 2008). Αντίστροφα, στα μοντέλα που προτάθηκαν από τους Lau και Kam (2005), Sui και Zeng (2001) και White και Engelen (2000) χρησιμοποιήθηκαν προκαθορισμένοι κανόνες, ενώ αυτά από τους White και Engelen (2000) και Lau και Kam (2005) επέτρεπαν ακόμα την ενσωμάτωση επιθυμητών παραγόντων στον υπολογισμό της καταλληλότητας.

3. Οι κανόνες τύπου III βασίζονται στη μορφή και στο σχήμα για την αναπαραγωγή των χωρικών προτύπων της αστικής ανάπτυξης. Ένα παράδειγμα αυτού του τύπου των κανόνων είναι το μοντέλο Sleuth, το οποίο θεωρεί τέσσερις (4) τύπους αστικής ανάπτυξης: την αυθόρμητη, την ανάπτυξη με βάση τη δημιουργία νέων κέντρων εξάπλωσης, την ανάπτυξη των άκρων και αυτήν που επηρεάζεται από το οδικό δίκτυο. Το μοντέλο που προτάθηκε από τον Li et al. (2003) βασίζεται στην αφομοίωση της χωρικής εμφάνισης της αστικής εξάπλωσης ως μια διαδικασία φυσικής διάχυσης. Το μοντέλο DINAMICA μπορεί να συμπεριληφθεί στους κανόνες τύπου III καθώς, από το σύνολο των κελιών με τις μεγαλύτερες πιθανότητες επιλέγονται ορισμένα κελιά χρησιμοποιώντας δύο λειτουργίες που στοχεύουν στην χωρική προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης, αυτήν της εξάπλωσης των υπαρχόντων τεμαχίων και αυτή της δημιουργίας νέων.

4. Οι κανόνες τύπου IV είναι μέθοδοι τεχνητής νοημοσύνης που μαθαίνουν αλγορίθμους με σκοπό την αναγνώριση πολύπλοκων προτύπων βασιζόμενων στα δεδομένα, είτε ακόμα μέθοδοι άντλησης δεδομένων, οι οποίες ανακατασκευάζουν αυτόματα σαφείς κανόνες μετάβασης.

5. Οι κανόνες τύπου V βασίζονται σε ασαφή λογική, η οποία επιτρέπει να συμπεριληφθεί η αβεβαιότητα της ανθρώπινης συμπεριφοράς στην προσομοίωση και τον καθορισμό των κανόνων μετάβασης μέσα από μια φυσική γλώσσα.

6. Τέλος, οι κανόνες τύπου VI περιλαμβάνουν κανόνες μετάβασης, οι οποίοι δεν μπορούν να ομαδοποιηθούν σε μια γενική μέθοδο. Τα μοντέλα που εμπίπτουν σε αυτή την κατηγορία βασίζονται σε απλούς κανόνες που καθορίζονται μέσω λογικών πράξεων. Αντίθετα, το μοντέλο που αναπτύχθηκε από τον Xie (1996) είναι πιο περίπλοκο, καθώς ορίζει ένα σχέδιο με βάση το οποίο μπορούν να σχεδιαστούν πολλά μοντέλα.

Μια άλλη κατηγοριοποίηση των ΚΑ αναφέρεται στο πλέγμα των κελιών (cell space), με όλα τα μοντέλα να χρησιμοποιούν ένα πλέγμα που αποτελείται από τετράγωνα κελιά διαφόρων διαστάσεων (από 10 μ έως 1 χλμ) πλην αυτού των Stevens and Dragicevic (2007), το οποίο χρησιμοποιεί ένα ακανόνιστο πλέγμα κελιών που απαρτίζεται από γεωτεμάχια κτηματολογίου. Οι Minard και Marceau (2005) και ο Samat (2006) απέδειξαν την ευαισθησία των ΚΑ στο μέγεθος των κελιών και τόνισαν τη σημασία της προσαρμογής του μεγέθους τους στα αντικείμενα που συνθέτουν το τοπίο.

Επίσης, σχετικά με την κατάσταση των κελιών (cell states), τα περισσότερα μοντέλα προσομοιώνουν την αλλαγή από τις μη-αστικές στις αστικές χρήσεις γης. Ο White et al. (1997) κάνει μια διάκριση μεταξύ ήδη καθορισμένων χρήσεων γης, οι οποίες επηρεάζουν τις μεταβολές, αλλά παραμένουν σταθερές και λειτουργιών που μπορεί να αλλάξουν κατάσταση, ενώ ο Barredo et al. (2004) προσδιορίζει δύο είδη λειτουργιών, τις ενεργές (αστικές χρήσεις) και τις ανενεργές.

Με βάση τη χρήση της γειτονιάς (neighbourhood), χρησιμοποιείται η τοπική γειτονιά των αυστηρών ΚΑ, με πιο συνηθισμένη τη γειτονιά Moore, ενώ σε πολλά μοντέλα το μέγεθος της γειτονιάς εκτείνεται σε μια ακτίνα 2-9 κελιών, το οποίο έχει υιοθετηθεί από τους Kocabas και Dragicevic (2006b), καθώς υποστηρίζουν ότι αυτό το μέγεθος και τύπος επηρεάζουν σημαντικά τα εξαγόμενα του μοντέλου.

Τα ΚΑ μπορούν επίσης να κατηγοριοποιηθούν με βάση το σκοπό τους (objective) σε τρεις κατηγορίες:

1. Περιγραφικά μοντέλα που αναλύουν τους παράγοντες και τη δυναμική της εξέλιξης της αστικής γης
2. Μοντέλα πρόγνωσης που προσομοιώνουν τις αλλαγές στις χρήσεις γης στο κοντινό μέλλον και
3. Κανονιστικά μοντέλα με στόχο τη βέλτιστη διαμόρφωση των χρήσεων γης. Τα περισσότερα μοντέλα βαθμονομούνται ώστε να προσομοιώσουν τις παρατηρούμενες αλλαγές και κάποια εφαρμόζονται περαιτέρω ώστε να προβλέψουν στη μελλοντική ανάπτυξη.

Ένας άλλος τρόπος κατηγοριοποίησης είναι με βάση τις μεθόδους βαθμονόμησης (calibration), η οποία στοχεύει στον καθορισμό των τιμών των παραμέτρων που μπορούν να λάβουν οι κανόνες μετάβασης, ώστε να αναπαραχθεί, όσο το δυνατόν πιστότερα το παρελθόν της εξέλιξης των χρήσεων γης. Υπάρχουν δύο τρόποι βαθμονόμησης των ΚΑ μοντέλων:

1. Αυτές που βασίζονται σε μεθόδους δοκιμής και λάθους, οι οποίες δεν απαιτούν αυστηρή μαθηματική διατύπωση και περιλαμβάνουν την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων που επιτυγχάνονται από εναλλακτικούς συνδυασμούς των τιμών των παραμέτρων (Ward et al., 2000), τη διαδοχική βελτιστοποίηση πολλαπλών σταδίων με αυτοματοποιημένη διερεύνηση των συνδυασμών των παραμέτρων (Silva και Clarke, 2002), είτε ακόμα τη χειροκίνητη ρύθμιση των παραμέτρων μέσω διαδραστικών γραφικών (Barredo et al., 2004), ή την υιοθέτηση της προσέγγισης Monte Carlo (He et al., 2008), με βάση την οποία το μοντέλο εκτελείται πολλές φορές, ώστε να είναι υπολογιστικά εντατικό, καθώς ο χρόνος βαθμονόμησης αυξάνεται εκθετικά με τον αριθμό των παραμέτρων.

2. Αυτές που βασίζονται σε στατιστικές μεθόδους, με πιο συνηθισμένη τη λογιστική παλινδρόμηση, η οποία παρέχει διαισθητικά τα βάρη των μεταβλητών που υπεισέρχονται

Ωστόσο, η λογιστική παλινδρόμηση βασίζεται σε μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες δεν είναι σε θέση να συλλάβουν την πολυπλοκότητα των σχέσεων.

Τέλος, όσον αφορά στην αξιολόγηση των μοντέλων (Validation), η απλούστερη μέθοδος συνίσταται στην οπτική εκτίμηση των μοντελοποιημένων και των πραγματικών χαρτών και συνήθως συμπληρώνεται από ποσοτικές μεθόδους που αξιολογούν τη συνολική ακρίβεια. Για το σκοπό αυτό οι πιο συνηθισμένοι δείκτες είναι: (i) το κλάσμα των προσομοιωμένων προς τον πραγματικό αριθμό των κελιών (αλλιώς clusters), (ii) η συνολική ακρίβεια, όπως το ποσοστό των ορθώς ταξινομημένων κελιών, (iii) η ανάλυση της παλινδρόμησης μεταξύ των προσομοιωμένων αποτελεσμάτων και των πραγματικών δεδομένων και (iv) οι πίνακες σύγκρισης και ο δείκτης Kappa.

Τα σημαντικότερα αστικά μοντέλα ΚΑ είναι τα εξής:

- Το μοντέλο SLEUTH, το οποίο είναι ευρέως διαδεδομένο, προσομοιώνει την αστική διάχυση και τη γενικότερη μεταβολή των χρήσεων γης. Συνολικά αναγνωρίζει τέσσερις μορφές εξέλιξης, οι οποίες εφαρμόζονται κυκλικά και ελέγχονται από πέντε παραμέτρους ανάπτυξης, τη διάχυση, αναπαραγωγή, διάδοση, οδική βαρύτητα και κλίση. Αναπτύχθηκε από τον Clarke et al. (1997), προκειμένου να μοντελοποιήσει τη δυναμική της αστικής ανάπτυξης στην πόλη του Σαν Φρανσίσκο και στη συνέχεια εφαρμόστηκε και σε άλλες περιοχές στη Β. Αμερική (Clarke and Gaydos, 1998; Yang and Lo, 2003; Herold et al., 2003), την Ευρώπη (Silva and Clarke, 2002), τη Ν. Αμερική (Leo et al., 2004) και την Ασία (Mahiny and Gholamifard, 2007).

- Τα μοντέλα Moland/ Murbandy βασίζονται στην αρχική εργασία των White και Engelen (1993), προσομοιώνουν τη μεταβολή των χρήσεων γης, ενώ υιοθετούν την κατηγοριοποίηση Corine χρησιμοποιώντας ορθοκανονικό πλέγμα κελιών διαστάσεων 100 μ. Τα μοντέλα αυτά εξελίχθηκαν κυρίως στα πλαίσια Ευρωπαϊκών ερευνητικών προγραμμάτων. Το μοντέλο Moland έχει εφαρμοστεί για έναν μεγάλο αριθμό Ευρωπαϊκών πόλεων, μεταξύ αυτών και για την πόλη του Ηρακλείου Κρήτης, για την οποία όμως δεν υπάρχουν δημοσιευμένα αποτελέσματα. (Μαντέλας, 2011)

- Το μοντέλο Obcus είναι ένα καινοτομικό ολοκληρωμένο μοντέλο που εφαρμόζει λειτουργικά το παράδειγμα των Γεωγραφικών Αυτόματων Συστημάτων (Geographic Automata System- GAS). Τα Γεωγραφικά Αυτόματα θεωρούν ότι τα αστικά συστήματα αποτελούνται από ενιαία σχετικά αντικείμενα (Benenson, Aronovich et al. 2004), τα οποία είναι είτε καθορισμένες οντότητες (fixed), είτε μη καθορισμένες (non- fixed) (Benenson and Toopens 2004). Οι καθορισμένες οντότητες (κτήρια, πάρκα, οδικό δίκτυο) συνήθως δεν αλλάζουν θέση από τη στιγμή που καθορίζονται, μέσω σχέσεων μεταξύ τους, ενώ οι μη καθορισμένες μπορεί να αλλάξουν και οριοθετούνται δείχνοντας προς τις καθορισμένες, πάλι μέσω σχέσεων.

- Τέλος, το μοντέλο του O' Sullivan ενσωματώνει τη θεωρία γραφημάτων, προκειμένου να ενεργοποιείται η έρευνα μεταξύ χωρικής δομής και της αστικής δυναμικής (Γιώτη, 2012).

Από τα μοντέλα που αναφέρθηκαν, επιλέχθηκε να εφαρμοστεί για τη μοντελοποίηση της αστικής ανάπτυξης το μοντέλο Sleuth, το οποίο αναπτύσσεται λεπτομερώς στις επόμενες ενότητες.

3.7 Μοντέλο αστικής διάχυσης Sleuth

Το Sleuth είναι ένα μοντέλο υπολογιστικής προσομοίωσης, το οποίο χρησιμοποιεί προσαρμόσιμα ΚΑ για την προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης και των αλλαγών των χρήσεων γης που προκαλούνται από την αστικοποίηση. Το μοντέλο χρησιμοποιεί την προσέγγιση των Κυψελοειδών Αυτόματων, κάνοντας ταυτόχρονα χρήση πολλών διαφορετικών επιπέδων πληροφορίας για παραμετροποίηση (Dietzel and Clarke, 2007).

Αναπτύχθηκε από τον Keith Clarke στο ερευνητικό κέντρο της NASA το 1991, κατόπιν συζητήσεων με το Γεωγράφο Len Gaydos πάνω στο θέμα των αλλαγών στις χρήσεις γης, ενώ η ανάπτυξη της πρώτης λειτουργικής έκδοσης του Sleuth, που αργότερα ονομάστηκε Μοντέλο Αστικής Ανάπτυξης (Urban Growth Model) ήταν μέρος του ερευνητικού προγράμματος για την αστική δυναμική στο Γεωλογικό Ινστιτούτο των Ηνωμένων Πολιτειών (Kirtland et al., 1994). Το μοντέλο επεκτάθηκε μακροπρόθεσμα, με την υποστήριξη του Γεωλογικού Ινστιτούτου, και στην προσομοίωση των αλλαγών των χρήσεων γης παράλληλα με την αστικοποίηση (Clarke, 1997). Το αναδιατυπωμένο πλέον μοντέλο αναρτήθηκε στον παγκόσμιο ιστότοπο κάτω από το Project Gigaopolis (Clarke et al., 1997), ο οποίος μετά το 1996 επεκτάθηκε για να συμπεριλάβει την αντίστοιχη βιβλιογραφία και έναν τόπο δημόσιας διαβούλευσης, παράλληλα με την επέκταση της δεύτερης έκδοσης του μοντέλου με δυναμική εκχώρηση μνήμης. Η εργασία στη φορητή μνήμη είχε ως αποτέλεσμα τη δημιουργία της έκδοσης 3 του κώδικα, ενώ μέσω ομοσπονδιακής στήριξης, το μοντέλο αποτελεί ένα λογισμικό ανοιχτού κώδικα από την αρχή της λειτουργίας του, παρέχοντας τη δυνατότητα μεταφόρτωσης του ολοκληρωμένου σετ του πρωτογενούς κώδικα και των αντίστοιχων δεδομένων ελέγχου. Οι πιο πρόσφατες αξιοσημείωτες εξελίξεις έχουν επιτρέψει την εκτέλεση του μοντέλου σε πλατφόρμα Linux και σε Cygwin, έναν εξομοιωτή της πλατφόρμας Linux για τα Windows (Clarke, 2008).

Το Sleuth είναι ένα ακρώνυμο για τα δεδομένα εισόδου που απαιτούνται προκειμένου να εφαρμοστεί το μοντέλο και είναι τα εξής: Τοπογραφική κλίση (Slope), Κάλυψη γης (Landuse), Εξαιρούμενες περιοχές (Excluded), Αστική επέκταση (Urban), Οδικό δίκτυο (Transportation) και Σκίαση αναγλύφου (Hillshade). Το επίπεδο της κλίσης βοηθά να εφαρμοστούν οι τοπογραφικοί περιορισμοί στο μοντέλο, εστιάζοντας στην ανάπτυξη σε πιο επίπεδες, πιο κατάλληλες περιοχές, που είναι λιγότερο κοστοβόρες για ανάπτυξη. Η χρήση του επιπέδου των καλύψεων γης στη μοντελοποίηση είναι προαιρετική, καθώς το μοντέλο δεν απαιτεί δεδομένα καλύψεων γης, αλλά περιλαμβάνει ένα ξεχωριστό υπομοντέλο, το οποίο ονομάζεται "deltatron" για να μοντελοποιήσει τις αλλαγές αυτές. Δύο επίπεδα καλύψεων γης με οποιοδήποτε αριθμό κλάσεων, αλλά με την ίδια ταξινόμηση απαιτούνται, εάν επιθυμείται η μοντελοποίηση τους. Η εφαρμογή σεναρίων εντός του πλαισίου του μοντέλου επιτυγχάνεται μέσω του χειρισμού του επιπέδου εξαιρούμενων περιοχών. Το επίπεδο αυτό επιτρέπει στο χρήστη να εφαρμόσει περιορισμούς στο μοντέλο, απαγορεύοντας την ανάπτυξη σε κάποιες περιοχές, παρέχοντας αντιστάσεις ή ελκυστικότητα σε άλλες. Η μοντελοποίηση της αστικής ανάπτυξης είναι και ο κύριος στόχος του μοντέλου. Αναγνωρίζοντας ότι η αστική ανάπτυξη δεν είναι μια γραμμική διαδικασία, απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερα (4) επίπεδα εισαγωγής για την αστική χρήση, ώστε να παρουσιαστεί ένα πιο δυναμικό μοντέλο ανάπτυξης. Η επίδραση του οδικού δικτύου στην αστικοποίηση είναι μια γνωστή παράμετρος, έτσι ένα επίπεδο υποδομών οδικού δικτύου περιέχεται στο μοντέλο, ενώ η ταξινόμηση υποδιαιρείται σε κλάσεις, με βάση την προσβασιμότητά τους, παρέχοντας

παρόλα αυτά πλήρη έλεγχο στο χρήστη αναφορικά με την ταξινόμηση αυτών των διαδρομών. Το τελευταίο επίπεδο είναι μια σκίαση αναγλύφου, αν και ο μόνος σκοπός αυτού του επιπέδου είναι η προσθήκη αναφοράς θέσης στους εξαγόμενους χάρτες, ώστε οι χρήστες να έχουν μια γεωγραφική αίσθηση της προβλεπόμενης θέσης της αστικοποίησης (Dietzel and Clarke, 2004).

Η εφαρμογή του μοντέλου πραγματοποιείται σε δύο φάσεις: στη βαθμονόμηση, κατά την οποία το μοντέλο "εκπαιδεύεται" στο να αναπαράγει τα πρότυπα της ανάπτυξης και τις ιστορικές τάσεις, και της πρόγνωσης, μέσω της προβολής των ιστορικών αυτών τάσεων στο μέλλον. Ειδικότερα, η βαθμονόμηση του Sleuth παράγει ένα σετ 5 παραμέτρων, τη διάχυση (diffusion), την αναπαραγωγή (breed), τη διάδοση (spread), την αντίσταση στην κλίση (slope resistance) και την οδική βαρύτητα (road gravity), οι οποίες περιγράφουν ένα μεμονωμένο χαρακτηριστικό ανάπτυξης, που όταν συνδυάζεται με άλλα χαρακτηριστικά, μπορεί να περιγράψει πολλές διαφορετικές διαδικασίες ανάπτυξης. Οι παράμετροι αυτοί οδηγούν με τη σειρά τους τέσσερις κανόνες μετάβασης, που προσομοιώνουν την αυθόρμητη (κατάλληλης κλίσης και απόστασης από υπάρχοντα κέντρα), τη διαχεόμενη (νέα κέντρα ανάπτυξης), την οργανική (διείσδυση και ανάπτυξη στα άκρα) και την επηρεαζόμενη από το οδικό δίκτυο (μια λειτουργία με βάρος στο οδικό δίκτυο και την πυκνότητα) ανάπτυξη. Οι Clarke και Gaydos (1998) περιγράφουν την αρχική συνθήκη εκκίνησης ως το έτος "γόνος", από το οποίο η ανάπτυξη και η αλλαγή συμβαίνουν σε ένα κελί τη φορά, ενώ κάθε κελί ενεργεί ανεξάρτητα από τα άλλα, μέχρι που να αναδυθεί ένα πρότυπο κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης και ο "οργανισμός" να μάθει περισσότερα για το περιβάλλον του. Οι κανόνες μετάβασης που εφαρμόζονται περιλαμβάνουν την τυχαία επιλογή ενός κελιού, τη διερεύνηση των χωρικών συνθηκών της γειτονιάς του, και κατόπιν την αστικοποίησή του, με βάση πιθανότητες που επηρεάζονται από τα τοπικά χαρακτηριστικά. Η εκτέλεση του μοντέλου στη λειτουργία της βαθμονόμησης είναι μια διαδικασία τριών βημάτων (coarse, fine, final) και προϋποθέτει τον εξευγενισμό του σετ των παραμέτρων ελέγχου στις διαδοχικές φάσεις, ελέγχοντας κατά αυτό τον τρόπο την ικανότητά τους να αναπαράγουν τα πρότυπα της ιστορικής ανάπτυξης που παρατηρούνται μεταξύ των εισαγόμενων δεδομένων ετών. Τα δεδομένα εισαγωγής χρησιμοποιούνται σαν σημεία ελέγχου στην αξιολόγηση της απόδοσης κάθε σετ παραμέτρων αναφορικά με την επαναδημιουργία των ιστορικών αστικών τάσεων ανάπτυξης μέσω του χρόνου. Σε επόμενο στάδιο ο καλύτερος συνδυασμός των παραμέτρων ελέγχου που προέκυψαν κατά τη βαθμονόμηση, χρησιμοποιείται για την εκκίνηση της λειτουργίας της πρόγνωσης του μοντέλου στο μέλλον.

Το μοντέλο έχει εφαρμοστεί με επιτυχία σε αρκετές περιοχές ανά τον κόσμο, μετρώντας περίπου εκατό (100) διαφορετικές, ενώ κατά το μεγαλύτερο μέρος οι εφαρμογές του έχουν πραγματοποιηθεί σε πόλεις της Β. Αμερικής. Μετά την περιοχή του Κόλπου του Σαν Φρανσίσκο το 1997, το Sleuth χρησιμοποιήθηκε για την προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης της Βαλτιμόρης, της Σάντα Μάρμπαρα και του Σαν Χοακίν στην Καλιφόρνια. Επίσης, εφαρμόστηκε σε περιπτώσεις Ευρωπαϊκών πόλεων, όπως αυτών του Πόρτο και της Λισαβόνας σε μια προσπάθεια να προσομοιωθούν τα πρότυπα της ανάπτυξης σε διαφορετικά περιβάλλοντα από τα αντίστοιχα των πόλεων της Β. Αμερικής. Αναφορικά με την Αφρική εξετάστηκε το παράδειγμα της Μητροπολιτικής περιοχής του Κέιπ Τάουν της Ν. Αφρικής, ενώ στην Ινδία το μοντέλο εφαρμόστηκε στην πόλη Πούνα. Τέλος, στον ελλαδικό χώρο το Sleuth εφαρμόστηκε στην περιοχή της Μυτιλήνης (Ρετσιλίδου και Κακούρης, 2010), στην

Πάτρα (Γαροφαλάκης, 2012), στο Βόλο (Νικολάου, Σταθάκης, 2012) και πιο πρόσφατα στο Δ. Αχαρνέων Αττικής (Γιώτη, 2012).

3.8 Αξιοσημείωτα ευρήματα των εφαρμογών του Sleuth

Η πλειοψηφία των εφαρμογών του Sleuth αφορά στην αστική πρόγνωση ή στην ενοποίηση της μοντελοποίησης της αστικής ανάπτυξης με άλλες κοινωνικές ή φυσικές διαδικασίες μοντέλων ή προσπαθειών σχεδιασμού. Επιπρόσθετα με τη μοντελοποίηση των υπάρχοντων αστικών περιοχών, το Sleuth έχει αποδειχτεί ένα εργαλείο εξερεύνησης θεωρητικών ερευνών των αστικών διαδικασιών (Clarke, Dietzel, and Goldstein, 2008)

Οι εφαρμογές του μοντέλου αξιολογήθηκαν μέσω της επικοινωνίας όλων των χρηστών του τύπου διαβούλευσης και της διεξαγωγής μιας βιβλιογραφικής έρευνας, η οποία προσδιόρισε τριάντα δύο (32) σημαντικές μελέτες με δημοσιευμένα αποτελέσματα (Clarke et al., 2007). Το αποτέλεσμα ήταν μια προσθήκη στον ιστότοπο της απογραφής των εφαρμογών, και για περίπου είκοσι (20) από αυτές, προστέθηκαν αποτελέσματα των βαθμονομήσεων των πόλεων και αντίστοιχα δεδομένα. Οι σημαντικότερες από τις εφαρμογές αυτές, τόσο στην ιστορία όσο και στην ανάπτυξη του μοντέλου αναφέρονται στη συνέχεια

Η πρώτη εφαρμογή του προγόνου του Sleuth, του UGM (Urban Growth Model) έγινε στο Σαν Φρανσίσκο σε μια μεγάλη ανάλυση των 600μ και η αστική επέκταση ψηφιοποιήθηκε από χάρτες και τηλεπισκοπικές εικόνες από το 1850 έως το 1990 (Clarke et al., 1997). Η εργασία του 1997, η οποία έθεσε τα θεμέλια για όλες τις μετέπειτα εφαρμογές, παρείχε τις λεπτομέρειες των μηχανισμών του UGM περιγράφοντας τα απαραίτητα επίπεδα δεδομένων, τις πέντε μεταβλητές και τους τέσσερις τύπους συμπεριφοράς αστικής ανάπτυξης και αυτορρύθμισης και υπολογίζοντας αντίστοιχα στατιστικά στοιχεία, ενώ ακολούθησε μια δεύτερη εφαρμογή στη Βαλτιμόρη και μια σύγκριση των δύο εφαρμογών μεταξύ τους (Clarke and Gaydos, 1998). Η δεύτερη αυτή εργασία εξέτασε το ρόλο που παίζουν τα Γ.Σ.Π. στη μοντελοποίηση.

Ενώ οι παλαιότερες εφαρμογές του Sleuth εστίασαν μεμονωμένα στη μοντελοποίηση της αστικής ανάπτυξης, ο συνδυασμός με το μοντέλο Deltatron, δηλαδή το υπο-μοντέλο εντός του Sleuth που προσομοιώνει τις αλλαγές στις χρήσεις γης, αύξησε την ικανότητα του μοντέλου να αναπαραστήσει πολλαπλές αλλαγές στις χρήσεις γης με το χρόνο. Οι Candau & Clarke το 2000 τεκμηριώνουν αυτό το υπο-μοντέλο και τη χρήση του στη μοντελοποίηση των αλλαγών στις καλύψεις γης, ενώ η εργασία αυτή δίνει μια σαφή εικόνα του πώς οι αλλαγές στις χρήσεις γης αλλάζουν αντίστοιχα τις λειτουργίες του KA (Deltatron) μοντέλου. Μοντελοποιώντας την περιοχή των 8 πολιτειών, οι Candau & Clarke κατάφεραν να χρησιμοποιήσουν τα δεδομένα χρήσεων γης για το 1975 και το 1992, παράγοντας έναν χάρτη πρόβλεψης των χρήσεων γης για το έτος 2050 και εισάγοντας την έννοια του χάρτη αβεβαιότητας, μέσω του οποίου ο αριθμός των φορών που μια χρήση γης προβλέπεται σε μια δοθείσα περιοχή κατά τη διάρκεια των Monte Carlo προσομοιώσεων, αποφάσιζε τη βεβαιότητα της αλήθειας αυτής της πρόβλεψης. Αυτά τα 3 επιτεύγματα ήταν κρίσιμα, στο να εξελιχθεί το Sleuth σε ένα περισσότερο δυναμικό μοντέλο αναφορικά με τις ικανότητες προσομοίωσής του και της ενσωμάτωσης της αλληλεπίδρασης μεταξύ της αστικής ανάπτυξης και των αλλαγών χρήσεων γης που παρατηρούνται στα συστήματα του πραγματικού κόσμου. (Clarke, Dietzel, and Goldstein, 2008)

Σε κάθε εφαρμογή του Sleuth, μια από τις περισσότερο συσσωρευτικές διαδικασίες από άποψη χρόνου είναι αυτή της βαθμονόμησης. Οι Silva & Clarke παρουσιάζουν μια πιο περιορισμένη εστίαση στη βαθμονόμηση του Sleuth κατά τη διάρκεια της εφαρμογής του μοντέλου στη Λισαβόνα και το Πόρτο. Η εργασία τους παρουσιάζει τέσσερα (4) ευρήματα κλειδιά από την εφαρμογή, που καταδεικνύουν: 1) τη φορητότητα του μοντέλου, το οποίο μπορεί να εφαρμοστεί όχι μόνο στις πόλεις της Β. Αμερικής, αλλά και σε Ευρωπαϊκές και σε πόλεις άλλων περιοχών επίσης, 2) την ευαισθησία του μοντέλου αυξάνοντας τη χωρική ανάλυση και κρατώντας σταθερά τα δεδομένα εισαγωγής, 3) τον εξευγενισμό των παραμέτρων του μοντέλου κατά τη φάση της βαθμονόμησης χρησιμοποιώντας μια πολυσταδιακή μέθοδο, ώστε να βρεθεί εκείνος ο συνδυασμός παραμέτρων που αναπαριστά με τον καλύτερο τρόπο τα πρότυπα της ιστορικής ανάπτυξης ενός αστικού συστήματος και 4) τη σύγκριση και την ερμηνεία των παραμέτρων που αντλήθηκαν από τη βαθμονόμηση του μοντέλου μεταξύ διαφορετικών συστημάτων, οι οποίες μπορούν να καταστούν ιδιαίτερης σημασίας για την κατανόηση των διαδικασιών της αστικής ανάπτυξης που είναι μοναδικές για κάθε αστικό σύστημα. Ήταν δε το τελευταίο αυτό σημείο από το οποίο ο Silva (2001), ανέπτυξε την έννοια του αστικού DNA, το οποίο ερευνήθηκε σε θεωρητικό επίπεδο, ενώ η εργασία του με τον Clarke για τη διαδικασία βαθμονόμησης του Sleuth στη Λισαβόνα και το Πόρτο αποτέλεσε τη βάση για την εργασία και άλλων στην εφαρμογή του μοντέλου, καθιστώντας τις εργασίες αυτές αρκετά σθεναρές μέσω της καλύτερης κατανόησης της διαδικασίας βαθμονόμησης (Jantz et al. 2003; Yang and Lo 2003; Dietzel and Clarke 2004a).

Η πιο πρόσφατη εξέλιξη στη χρήση του Sleuth αφορά στη σύνδεσή του με άλλα χωροχρονικά μοντέλα, προκειμένου να αποκτηθεί μεγαλύτερη επίγνωση σχετικά με τη μελλοντική αστικοποίηση. Μερικές από αυτές τις εφαρμογές περιλαμβάνουν τη διασύνδεση των εξαγόμενων του μοντέλου με άλλες κοινωνικές προσπάθειες μοντελοποίησης, ενώ άλλες εμμένουν περισσότερο στον τομέα της φυσικής μοντελοποίησης. Οι Claggett et al. (2004) πέτυχαν τη διασύνδεση του μοντέλου με το Western Futures Model (Theobald 2001) επιδεικνύοντας με αυτόν τον τρόπο την ικανότητα του Sleuth να υπερβεί τη χωροχρονική διάσταση της αστικής ανάπτυξης, κατηγοριοποιώντας την σε διαφορετικές κλάσεις "πίεσεων ανάπτυξης" που βασίζονται στην προβλεπόμενη αύξηση του πληθυσμού. Παράλληλα, οι Leão et al. (2004), πραγματοποίησαν τη διασύνδεση των εξαγόμενων του Sleuth με μια πολυκριτηριακή αξιολόγηση της καταλληλότητας υγειονομικών χώρων ταφής απορριμμάτων (Siddiqui et al. 1996), προκειμένου να ληφθούν αποφάσεις δημιουργίας ζωνών γύρω από την πόλη Porto Alegre της Βραζιλίας, οι οποίες και δεν θα αστικοποιούνταν. Ο Arthur (2001) χρησιμοποίησε το Sleuth παράλληλα με ένα μοντέλο αστικής απορροής στην κομητεία Chester στην Pennsylvania. Οι Cogan et al. (2001) σύγκριναν τη χρήση των εξαγόμενων του Sleuth με το μοντέλο αστικής ανάπτυξης California Urban Futures model (Landis 1994), προκειμένου να αξιολογήσουν τις πιέσεις στη βιοποικιλότητα, αποδεικνύοντας τελικά τις δυνατότητες ενσωμάτωσης του μοντέλου σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών που κυμαίνεται από την αστική ανάπτυξη, έως τις περιβαλλοντικές επιπτώσεις και ακόμα περαιτέρω.

Επιπρόσθετα, μέσω του χρηματοδοτούμενου ερευνητικού προγράμματος από το Ίδρυμα Φυσικών Επιστημών των Ηνωμένων Πολιτειών έγινε εμφανής η αξία της χρήσης σεναρίων ως μια παρουσίαση των αποτελεσμάτων του Sleuth. Η εφαρμογή του Sleuth στη Σάντα Μπάρμπαρα, όπως αναφέρθηκε από τον Herold et al το 2003 ήταν μέρος μιας ευρύτερης μελέτης που στόχευε να αυξήσει το ενδιαφέρον των κατοίκων της περιοχής πάνω στις αρχές της έξυπνης ανάπτυξης και των επιλογών σχεδιασμού μέσω της μοντελοποίησης. Τόσο το

Sleuth, όσο και το Scope χρησιμοποιήθηκαν για να δημιουργήσουν ένα σετ σεναρίων που θα μπορούσε να πειραματιστεί με εναλλακτικές μελλοντικές προοπτικές. Το Scope είναι ένα μοντέλο προσομοίωσης των αστικών δυναμικών που περιλαμβάνει διάφορες κοινωνικές, οικονομικές και δημογραφικές μεταβλητές (Onsted, 2002). Το Sleuth επιτρέπει την πολιτική και το σχεδιασμό να ενσωματωθούν μέσω των νέων επιπέδων μεταφορών και μέσω διαφοροποιήσεων στο επίπεδο εξαιρούμενων περιοχών. Η επιλογή σεναρίων και η χρήση μοντέλων, συμπεριλαμβανομένου και του Sleuth, οδήγησε στη συνέχεια σε έρευνα πάνω στη φύση του σχεδιασμού των σεναρίων και στην απλούστευση στη μοντελοποίηση. Πιο πρόσφατα, η σύνδεση μεταξύ των παραμέτρων, της συμπεριφοράς του μοντέλου και της παραγωγής σεναρίων έχει γίνει το αντικείμενο περαιτέρω έρευνας.

Το Sleuth έχει χρησιμοποιηθεί για εξερευνητική οπτικοποίηση. Οι Acevedo & Masuoka παρουσίασαν το 1997 τις γενικές μεθοδολογίες που χρησιμοποίησαν για να δημιουργήσουν τα δύο και τριών διαστάσεων γραφικά της περιοχής της Baltimore- Washington DC. Η Candau το 2000 παρουσίασε τους πιθανούς τρόπους απεικόνισης της αβεβαιότητας χωροθέτησης της αστικής ανάπτυξης σε ένα προσομοιωμένο τοπίο, ενώ οι Aerts et al το 2003 συνέχισαν αυτή την πρόκληση πειραματιζόμενοι σχετικά με την κατανόηση της αβεβαιότητας της προβλεπόμενης αστικής ανάπτυξης σε ένα τμήμα της Σάντα Μάρμπαρα χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικές τεχνικές. Αν και το πλήθος των τεχνικών οπτικοποίησης έχει εξαπλωθεί από την εισαγωγή του Sleuth, η κατανόηση και η επεξήγηση των προβλέψεων προσομοίωσης παραμένει ένα αναπτυσσόμενο ερευνητικό ζήτημα, δίνοντας πρόσβαση των μοντέρνων τεχνικών οπτικοποίησης στη διαδικασία της λήψης αποφάσεων.

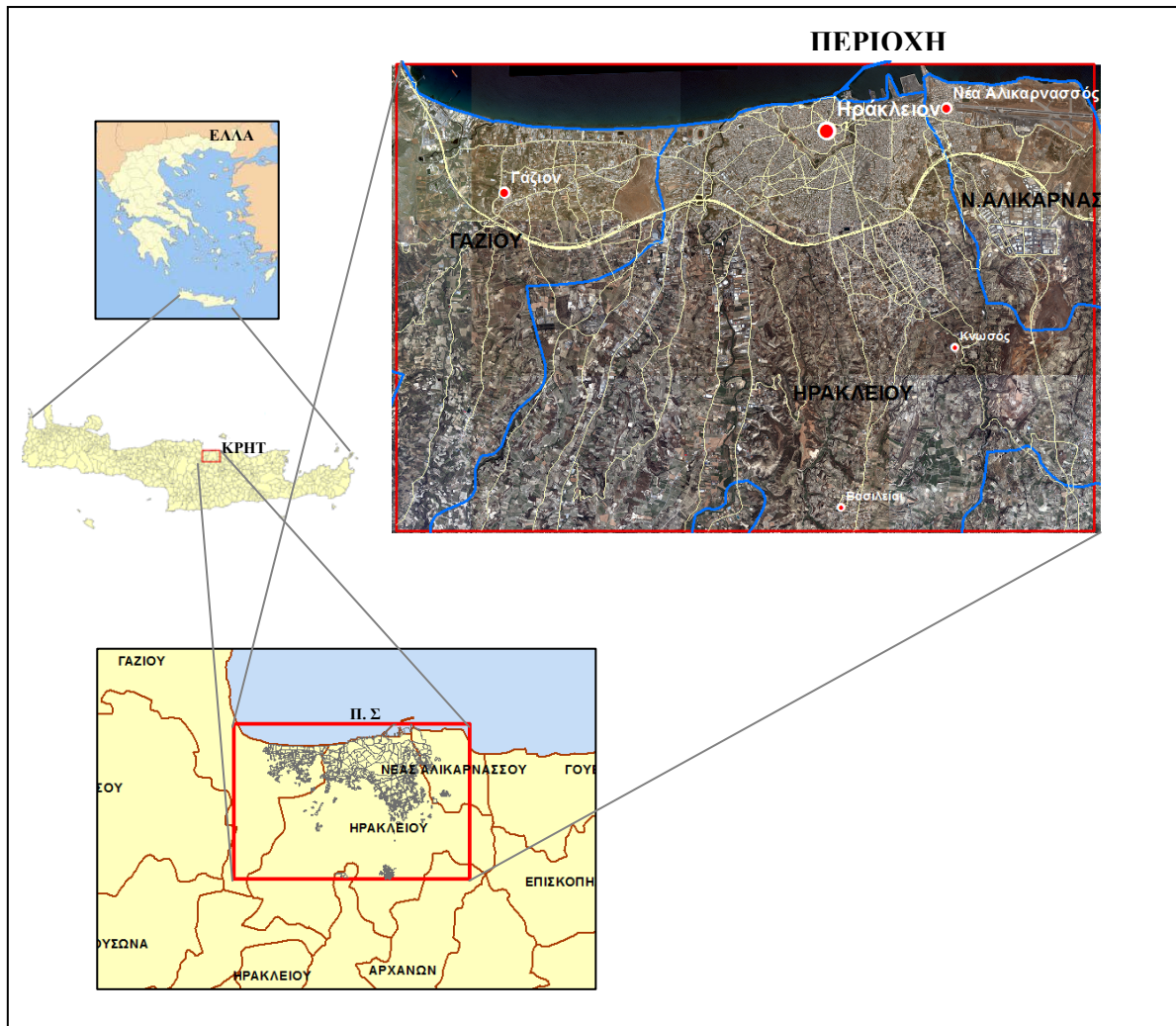
4 Παρουσίαση περιοχής μελέτης

4.1 Το Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου

Το Ηράκλειο είναι πόλη της νησιωτικής Ελλάδας, βρίσκεται στο νότιο άκρο της και οριοθετείται στρατηγικά στο κέντρο της νοτιοανατολικής λεκάνης της Μεσογείου και στη συμβολή τριών ηπείρων. Είναι η πρωτεύουσα, η μεγαλύτερη πόλη και η έδρα της Περιφέρειας Κρήτης, με βάση την τελευταία διοικητική μεταρρύθμιση του Προγράμματος Καλλικράτης (Ν. 3852/2010).

Βρίσκεται στη μέση της Βόρειας παραλίας της Κρήτης και διαθέτει τον μεγαλύτερο λιμένα του νησιού και ένα από τα σημαντικότερα σε κίνηση αεροδρόμια της Ελλάδας. Απέχει 339 χιλιόμετρα από την Αθήνα, είναι η τέταρτη μεγαλύτερη σε πληθυσμό πόλη καθώς και ένα από τα σημαντικότερα αστικά κέντρα της χώρας.

Η περιοχή μελέτης στην οποία εφαρμόστηκε το μοντέλο αστικής ανάπτυξης Sleuth αφορά στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου, το οποίο αναπτύσσεται σε έκταση που διοικητικά ανήκει στους Καποδιστριακούς δήμους Γαζίου, Ηρακλείου και Ν. Αλικαρνασσού. Αναπτύσσεται στο βόρειο θαλάσσιο μέτωπο της Κρήτης, τείνει όμως να ενωθεί με τους οικισμούς της βόρειας παραλίας σε όλο το μήκος του νομού. Ειδικότερα, η περιοχή καλύπτει περίπου εκατόν είκοσι (120) τετραγωνικά χιλιόμετρα, εκτεινόμενη κατά μήκος του βόρειου παραλιακού μετώπου σε απόσταση 13,4 χιλιομέτρων και κατά πλάτος 9 χιλιομέτρων.



Εικόνα 4-1: Θέση της περιοχής μελέτης (Πηγή: ΟΠΕΚΕΠΕ, Ιδία Επεξεργασία)

Το πολεοδομικό καθεστώς των τριών δήμων εντός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος ρυθμίζεται ενιαία από το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Ηρακλείου (ΓΠΣΗ). Το ΓΠΣΗ εισήχθη στην πολεοδομική νομοθεσία με το Ν. 1337/86, ο οποίος αν και αρχικά θεωρήθηκε προσωρινός, χρησιμοποιήθηκε τελικά για δεκαπέντε χρόνια. Το πολεοδομικό καθεστώς συμπληρώθηκε με το Ν. 2508/1997, προκειμένου να ανταποκριθεί στις σημερινές απαιτήσεις της βιώσιμης οικιστικής ανάπτυξης των πόλεων και των οικισμών της χώρας. Με το νέο οικιστικό νόμο διευρύνεται ο χώρος παρέμβασης με Γ.Π.Σ. τόσο στον αστικό, όσο και στον αγροτικό χώρο. (Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δήμου Ηρακλείου, 2008).

Η οικιστική ανάπτυξη του Π.Σ. εμποδίζεται και οριοθετείται κατά τον άξονα ανατολής-δύσης από τις χρήσεις του αεροδρομίου και της ΒΙ.ΠΕ. ανατολικά και τη Βιομηχανική περιοχή Λινοπεραμάτων δυτικά. Κατά την κατεύθυνση βορρά- νότου, το θαλάσσιο μέτωπο αποτελεί το προς βορρά όριο, ενώ ο Βόρειος Οδικός Άξονας Κρήτης (Β.Ο.Α.Κ.) δεν αποτέλεσε το προς νότο όριο της πόλης, καθώς τόσο η οικιστική ανάπτυξη, όσο και σημαντικές λειτουργίες του Π.Σ. πραγματοποιήθηκαν νότια του άξονα αυτού. (Σιόλα, Σακελλαρόπουλος, 2003).

Η περιοχή μελέτης διαθέτει διεθνούς σημασίας πολιτιστική κληρονομιά, με έμφαση στον αρχαιολογικό χώρο της Κνωσσού, ενώ ο τουρισμός, ιδιαίτερα στους βόρειους παραλιακούς οικισμούς, αποτελεί τον πιο δυναμικά αναπτυσσόμενο κλάδο.

Η γεωργία και κτηνοτροφία αποτελούν σημαντικούς τομείς ανάπτυξης της οικονομίας, καθώς η περιοχή διαθέτει γεωργική γη υψηλής παραγωγικότητας, ετήσιες καλλιέργειες και σημαντικές εκτάσεις βοσκοτόπων. Θετικά συμβάλλει και η ύπαρξη ζωνών οργανωμένης εγκατάστασης βιομηχανίας- βιοτεχνίας (ΒΙ.ΠΕ Ηρακλείου, βιομηχανικές- βιοτεχνικές χρήσεις της Φοινικιάς, νότια της πόλης) καθώς και η προσέλκυση φοιτητών στις σχολές του Πανεπιστημίου Κρήτης και των Τεχνολογικών Εκπαιδευτικών Ιδρυμάτων.

Στα πλαίσια της παρούσας εργασίας γίνεται η παραδοχή ότι η Βιομηχανική περιοχή (ΒΙ.ΠΕ) και η περιοχή του αεροδρομίου στα ανατολικά, οι βιομηχανικές- βιοτεχνικές χρήσεις στα νότια και η περιοχή των Λινοπεραμάτων, που βρίσκεται το εργοστάσιο της Δ.Ε.Η. στα δυτικά, εξαιρούνται της αστικής επέκτασης, ενώ εντός της περιοχής περιλαμβάνονται τα μεγάλα ξενοδοχειακά συγκροτήματα στην περιοχή της Αμμουδάρας στα δυτικά.

Οι ακριβείς συντεταγμένες της περιοχής μελέτης στο ΕΓΣΑ 87, είναι : (594.561, 3.912.002) για το βορειοδυτικό άκρο και (607.912, 3.903.001) για το νοτιοανατολικό άκρο.

4.2 Ιστορική και πολεοδομική εξέλιξη

Ιστορικά αναγνωρίζονται έξι σημαντικοί σταθμοί στην εξέλιξη της πόλης αν και υπάρχουν δείγματα κατοίκησης του οικισμού, τόσο κατά την Μινωική περίοδο, όσο και κατά τους Ελληνιστικούς και Ρωμαϊκούς χρόνους.

Σύμφωνα με τη Τζομπανάκη (1996), η πρώτη ιστορική περίοδος είναι η βυζαντινή που εκτείνεται χρονικά από το 395-αρχές 9^{ου} αιώνα, κατά την οποία πιθανολογείται ότι ο τότε οικισμός που ονομάστηκε Κάστρο είχε οργανωθεί με την κατασκευή οχυρωματικών τειχών κι η έκτασή του δεν ξεπερνούσε τα 80-110 στρέμματα. Ακολούθησε η περίοδος της Αραβοκρατίας, από το 832-961 μ.Χ. , για την οποία δεν υπάρχουν διαθέσιμες ιδιαίτερες πληροφορίες, ενώ ο οικισμός που πλέον ονομάζεται Φρούριο της Τάφρου επεκτάθηκε προς τα δυτικά. Κατά τη δεύτερη βυζαντινή περίοδο που εκτείνεται χρονικά έως το 1211 δημιουργήθηκαν καινούργια οχυρωματικά τείχη, στη θέση των παλαιών που είχαν καταστραφεί ολοσχερώς από τις πολιορκίες, ενώ κατά την περίοδο της Ενετοκρατίας που διαδέχθηκε τη βυζαντινή, η πόλη γνωρίζει αξιοσημείωτη άνθιση με τον εκσυγχρονισμό των τειχών, τη βελτίωση και διεύρυνση του λιμένα και τη μετατροπή του σε ένα σημαντικό διαμετακομιστικό λιμάνι της Ανατολικής Μεσογείου. Τον 15^ο αιώνα, η πόλη εξελίχθηκε εκτός των τειχών με την ανάπτυξη εκτεταμένων οικιστικών περιοχών, ενώ την ίδια περίοδο δημιουργείται ο βασικός πολεοδομικός ιστός (πλέγμα κεντρικών οδών και πλατείες) και αποφασίζεται η χάραξη νέας οχύρωσης για την προστασία, τόσο της παλιάς, όσο και της νέας πόλης. Τέλος, το 1669 η πόλη, που πλέον ονομάζεται Χάνδακας καταλαμβάνεται από τους Τούρκους μετά από 21 έτη πολιορκίας. Οι πληθυσμιακές μεταβολές ήταν αρκετά έντονες κατά την περίοδο αυτή, ενώ ο σεισμός του 1856 παίζει καθοριστικό ρόλο στην ανοικοδόμηση του Ηρακλείου με βάση πλέον τα πρότυπα της Οθωμανικής αυτοκρατορίας. Παράλληλα, την εποχή αυτή γίνονται πιο εμφανείς οι διακρίσεις ανάμεσα στις συνοικίες των πλούσιων και των φτωχών, με τις πρώτες να εκτείνονται στο κέντρο της πόλης, στις ανατολικές και βορειοανατολικές περιοχές, αλλά και στο ανατολικό μέρος του δυτικού παράκτιου μετώπου και τις δεύτερες να βρίσκονται σε όλο το βορειοδυτικό, δυτικό και νότιο τμήμα της εντός των τειχών πόλης. Μετά το 1898 και την αποχώρηση και των τελευταίων τουρκικών στρατευμάτων ξεκινά η περίοδος της Αυτονομίας για την πόλη μέσα από μια σειρά σχεδιασμού ενός ευρύτερου προγράμματος έργων και νομοθετημάτων.

Η πρώτη προσπάθεια για ρύθμιση πολεοδομικών θεμάτων στην ευρύτερη περιοχή του Ηρακλείου πραγματοποιείται με τη δημοσίευση του Ν.395/1901 "Περί του Σχεδίου Πόλεως του Ηρακλείου" από τον μηχανικό Πρωτοπαπαδάκη και το υπ' αριθμ. διάταγμα 37 "περί εγκρίσεως διαγράμματος ρυμοτομίας της πόλης του Ηρακλείου", το οποίο επεκτείνεται και στην οικοπεδοποίηση των ελεύθερων χώρων εντός των τειχών. Παρότι το σχέδιο αυτό δεν εφαρμόστηκε, καταστράφηκαν σημαντικά ενετικά μνημεία για τη διάνοιξη της παραλιακής λεωφόρου και ανοίχθηκαν ρήγματα στο φρουριακό συγκρότημα για να λυθεί το οξύ κυκλοφοριακό πρόβλημα εντός των τειχών, ενέργεια καθοριστική για την μετέπειτα επέκταση της πόλης που πραγματοποιήθηκε στον άξονα Ανατολής- Δύσης, ενώ δύο νέα ρήγματα με κατεύθυνση προς το νότο και τη δύση λίγα χρόνια αργότερα, θα καθορίσουν ουσιαστικά την Πολεοδομική εξέλιξη με τη μορφή που έχει έως σήμερα.

Η έλευση των προσφύγων της Μικρασιατικής καταστροφής το 1922 δημιούργησε νέες ανάγκες στέγασης διαμορφώνοντας παράλληλα νέες κοινωνικές συνθήκες. Ο μεγάλος όγκος των προσφύγων δημιούργησε οικιστικούς πυρήνες εκτός πόλης τροφοδοτώντας την παραγωγική διαδικασία και τονώνοντας την οικονομία. Το 1923, οπότε και υπογράφεται η Συνθήκη της Λωζάνης, εγκαταστάθηκαν στο Ηράκλειο 15.000 πρόσφυγες μέσα σε 11 μήνες, αυξάνοντας τον πληθυσμό στους 40.000 κατοίκους, όταν το 1913 ο πληθυσμός του Ηρακλείου ήταν μόλις 25.000. Το 45% του συνόλου των προσφύγων εγκαταστάθηκε στην πόλη και στη Νέα Αλικαρνασσό, ενώ γύρω από το Ηράκλειο ιδρύθηκαν 15 προσφυγικοί συνοικισμοί. Η ανάγκη διευθέτησης των ζητημάτων που προέκυψαν από την εγκατάσταση των προσφύγων, αλλά και η αλλαγή του νομικού πλαισίου σχετικά με τα σχέδια πόλης και το ιδιοκτησιακό καθεστώς, επέβαλλαν την ανάγκη ενός νέου σχεδίου πόλης.

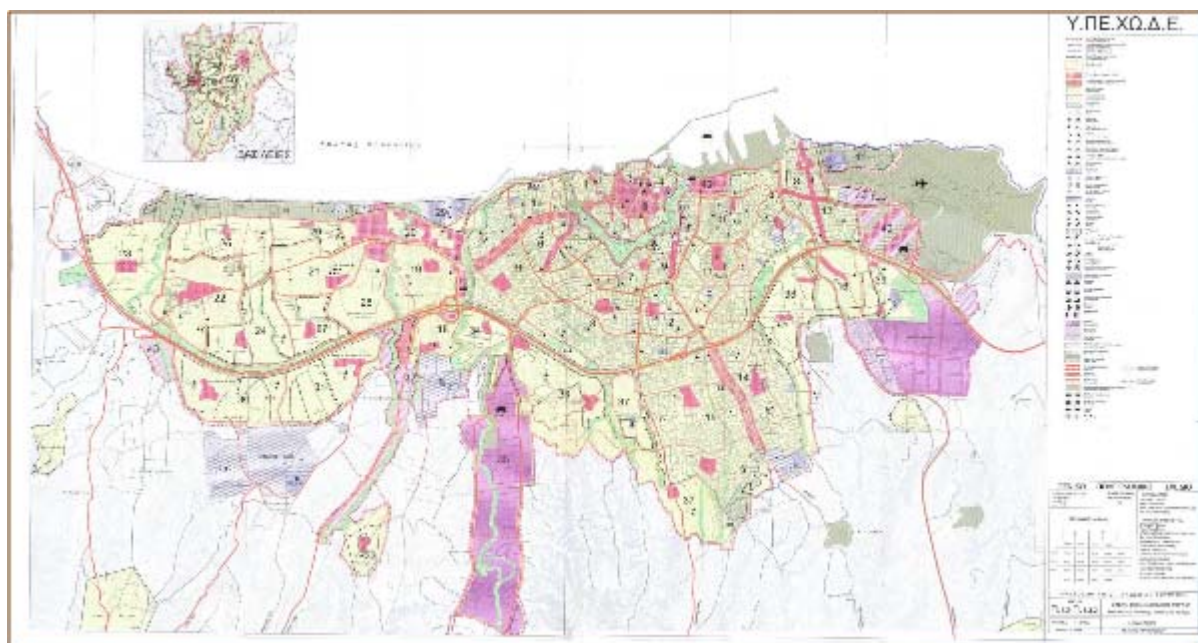
Μια δεύτερη προσπάθεια εκπόνησης ρυμοτομικού σχεδίου 10 χρόνια μετά τον καταστροφικό σεισμό, λαμβάνει χώρα το 1936 με το βασιλικό διάταγμα 31-10 /3-11-1936, ΦΕΚ 488 Α "περί καθορισμού ελαχίστων ορίων κ.λ.π. των οικοπέδων του Ηρακλείου Κρήτης", το οποίο εφαρμόζεται κυρίως εντός των τειχών με την κατασκευή πολυκατοικιών και τον τεμαχισμό των μεγάλων οικοδομικών τετραγώνων. Η κυρίαρχη φιλοσοφία του σχεδίου ήταν η αύξηση της χωρητικότητας της εντός των τειχών πόλης, μέσα στην οποία έπρεπε να πιεστούν όλες οι λειτουργίες, ενώ αγνοήθηκαν οι εκτός των τειχών περιοχές. Το σχέδιο πόλης λειτουργώντας ως απλό ρυμοτομικό βασιζόταν σε διανοίξεις δρόμων χωρίς συνοχή ή ιεράρχηση, ενώ οι αυθαιρεσίες που συνέβησαν συνολικά, χωρίς την ύπαρξη κάποιου καθοδηγητικού οργάνου στη διάρκεια αυτής της τριακονταετίας επέφεραν σημαντική αλλοίωση στον ιστό της πόλης.

Την περίοδο μετά τον πόλεμο και για την τριακονταετία 1950-1980 συντελέστηκε η κύρια φάση αστικοποίησης στην Ελλάδα, ενώ στο Ηράκλειο πραγματοποιείται η οικοπεδοποίηση των εξωτερικών οχυρώσεων και κατά επέκταση η εξαφάνιση της περιμετρικής ζώνης και των λοιπών ελεύθερων ζωνών, που θεωρητικά θα διαχώριζαν την περιοχή του ιστορικού κέντρου από τις επερχόμενες επεκτάσεις. Με το υπ' αριθμ. 3832 διάταγμα συντάσσεται το ρυμοτομικό σχέδιο του 1958, προκειμένου να διευθετηθούν οι αυξημένες ανάγκες στέγασης που προέκυψαν από την αύξηση του πληθυσμού. Το σχέδιο περιελάμβανε μερικές από τις εκτός των τειχών αδόμητες περιοχές καθώς και τις ήδη χτισμένες περιοχές των προφυγικών προαστίων. Αναπαρήγαγε τα προβλήματα του παλαιότερου σχεδίου και διαιώνιζε την αναχρονιστική ακτινωτή ανάπτυξη του ιστού της πόλης. Επίσης, υστερούσε σε ελεύθερους χώρους για κοινόχρηστες λειτουργίες και οι προβλεπόμενες ρυμοτομήσεις του αγνοούσαν σημαντικά μνημεία. Ίσχυσε για τριάντα χρόνια, οπότε και συντάσσεται το πρώτο Γενικό

Πολεοδομικό Σχέδιο του Ηρακλείου, και επέκτεινε τα όρια της πόλης προς το νότο ενώνοντας την κοινότητα της Ν. Αλικαρνασσού σε μια ενιαία οικιστική ενότητα με την πόλη του Ηρακλείου.

Το 1983 ανατίθεται η μελέτη της σύνταξης του πρώτου ΓΠΣ στον Χουρδάκη, η οποία εγκρίνεται αρχικά με την απόφαση 26968/1272/88 (ΦΕΚ 458/Δ/29-6-1988), "Έγκριση Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου του οικισμού Ηρακλείου του Δήμου Ηρακλείου, του οικισμού Νέας Αλικαρνασσού κοινότητας Ν. Αλικαρνασσού και των οικισμών Γαζίου και Αγίας Μαρίνας της κοινότητας Γαζίου (Ν. Ηρακλείου)." Το σχέδιο αυτό αντιμετωπίζει για πρώτη φορά το Δ. Ηρακλείου, Ν. Αλικαρνασσού και τους οικισμούς Γαζίου και Αγ. Μαρίνας σαν ένα ενιαίο πολεοδομικό συγκρότημα, (Βαγιανά Δ., Κάκια Σ., Καρανικόλας Ν., Παπαμαστοράκη Δ., 2006). Το σημαντικότερο από τα έργα που θα υλοποιηθούν και τα οποία ορίζει η μελέτη αφορά στη διάνοιξη της παραλιακής λεωφόρου, που θα ενώσει το λιμάνι με τις σημαντικότερες περιοχές της νέας έκτασης της πόλης, κυρίως στις ανατολικές και δυτικές εκτάσεις της. Το σχέδιο αυτό δε φέρει ουσιαστικές αλλαγές για την περιοχή, και θεσμοθετεί ουσιαστικά την υφιστάμενη κατάσταση, με ταυτόχρονη επέκταση των περιοχών κατοικίας, πέραν της νομιμοποίησης περιοχών αυθαίρετης δόμησης.

Τέλος, το 1997 ανατίθεται η μελέτη τροποποίησης του υπάρχοντος εγκεκριμένου ΓΠΣ του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Ηρακλείου, η οποία εκπονείται από τους Αρχιτέκτονες-Πολεοδόμους Ελισάβετ Σιόλα και Χριστόφορο Σακελλαρόπουλο και ολοκληρώνεται το 2003.



Εικόνα 4-2: Το ισχύον Γ.Π.Σ. (2003) της πόλης του Ηρακλείου (Πηγή: Βαγιανά Δ., Κάκια Σ., Καρανικόλας Ν., Παπαμαστοράκη Δ., Διερευνώντας τη σχέση των ΣΓΠ και της Πολεοδομίας: εφαρμογή στην πόλη του Ηρακλείου κατά τον 20ο αιώνα

Αποτελεί την πιο πρόσφατη μελέτη για το Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου, θεσμοθετήθηκε με την απόφαση 26882/2003 (ΦΕΚ 696/Δ/8-7-2003), ο χρονικός ορίζοντας είναι το έτος 2013 και ο εκτιμώμενος πληθυσμός κορεσμού για τον ορίζοντα αυτό ορίζεται στους 200.000 κατοίκους με τη δημιουργία 18 νέων Πολεοδομικών Ενοτήτων περιμετρικά. Περιλαμβάνει τους Δήμους Ηρακλείου, Νέας Αλικαρνασσού και Γαζίου, όπως και το

προηγούμενο σχέδιο, με τη διαφορά ότι στο προηγούμενο σχέδιο αποτελούσαν κοινότητες. Προχωρά στην ένταξη περιοχών, οι οποίες δεν περιλαμβάνονταν στο ΓΠΣ του '88, κατανοώντας την ανάγκη δημιουργίας ενός ενιαίου πολεοδομικού ιστού, ούτως ώστε να αποτελεί μια πόλη και όχι σύνδεση άναρχα δομημένων περιοχών.

Όπως αναφέρει η Ασημινάκη το 2007, οι ανάγκες σε περιοχή κατοικίας ικανοποιούνται κυρίως στην ευρύτερη περιοχή του Γαζίου, καθώς η επέκταση εμποδίζεται από τις χρήσεις του αεροδρομίου, του στρατοπέδου και της ΒΙ.ΠΕ ανατολικά, ενώ στο κεντρικό τμήμα που αφορά στην περιοχή του Δ. Ηρακλείου χωροθετούνται οι παραγωγικές δραστηριότητες της Φοινικιάς και οι ανάγκες για οικιστική επέκταση σε εκτός σχεδίου περιοχές νοτίως του Βορείου Οδικού Άξονα Κρήτης (ΒΟΑΚ). Παράλληλα, ανατολικά της παλιάς πόλης και εντός των τειχών χωροθετείται το ανατολικό κέντρο παρέχοντας τη δυνατότητα εφαρμογής προγραμμάτων ανάπλασης της περιοχής της παλιάς πόλης και αποσυμφόρησης των κεντρικών λειτουργιών από το ιστορικό κέντρο.

4.3 Χωροταξική οργάνωση και δίκτυα μεταφορών στο Π.Σ. Ηρακλείου

Η διάρθρωση του οικιστικού δικτύου εντός του Π.Σ Ηρακλείου περιλαμβάνει το Ηράκλειο, ως "οικιστικό κέντρο 1^{ου} επιπέδου", πρωτεύουσα της Περιφέρειας Κρήτης και του Νομού Ηρακλείου, σύμφωνα με το Περιφερειακό Πλαίσιο Χωροταξικού Σχεδιασμού και Αειφόρου Ανάπτυξης της Περιφέρειας Κρήτης (ΦΕΚ 1486/10-10-2003), το Γάζι και τη Ν. Αλικαρνασσό ως οικιστικά κέντρα 3^{ου} επιπέδου, τα οποία αποτελούν δυναμικά κέντρα του Νομού και τους υπόλοιπους οικισμούς ως κέντρα 5^{ου} επιπέδου.

Κέντρα 1 ^{ου} ή 2 ^{ου} επιπέδου	Κέντρα 3 ^{ου} επιπέδου ενισχυμένου	Κέντρα 3 ^{ου} επιπέδου	Κέντρα 4 ^{ου} επιπέδου ενισχυμένου	Κέντρα 5 ^{ου} επιπέδου ενισχυμένου
Ηράκλειο		Γάζι		Λοιποί οικισμοί
		Ν. Αλικαρνασσός		

Πίνακας 4-1: Διάρθρωση οικιστικού δικτύου της Περιφέρειας Κρήτης σε σχέση με το Π.Σ. Ηρακλείου
(πηγή: ΥΠΕΧΩΔΕ, 2003β)

Το σημαντικότερο από διοικητικής, οικονομικής και κοινωνικής άποψης Δημοτικό Διαμέρισμα είναι το Ηράκλειο, πρωτεύουσα και βασικό διαμετακομιστικό λιμάνι του Νομού με το μεγαλύτερο αριθμό οικισμών. Βρίσκεται επιπλέον σε πλεονεκτική γεωγραφική θέση στο χώρο της Νοτιοανατολικής Μεσογείου, καθώς συνδέει την περιοχή της Ευρώπης με τη Μ. Ανατολή και τη Β. Αφρική αποτελώντας ταυτόχρονα την πύλη εισόδου- εξόδου της ΕΕ σε τρίτες χώρες.

Τα Δ.Δ. Ν. Αλικαρνασσού και Γαζίου συμμετέχουν στην οικιστική ενότητα του Π.Σ. Ηρακλείου, ενώ οι ομώνυμοι οικισμοί τους, κέντρα 3^{ου} επιπέδου αποτελούν ενδιάμεση οικιστική βαθμίδα ανάμεσα στην πρωτεύουσα του νομού και τις έδρες των Δήμων, έχοντας αποκεντρωμένες υπηρεσίες τοπικής και νομαρχιακής εμβέλειας για την εξυπηρέτηση της ευρύτερης περιοχής επιρροής τους. Τα κέντρα 3^{ου} επιπέδου σε συνδυασμό με το Ηράκλειο συγκροτούν ένα σχετικά ισχυρό δίκτυο συμβάλλοντας στη συνολική αναπτυξιακή διαδικασία. Οι υπόλοιποι οικισμοί εντάσσονται στα κέντρα 5^{ου} επιπέδου ενισχυμένου διαδραματίζοντας το δικό τους ξεχωριστό ρόλο στην οικιστική ανάπτυξη.

Το κύριο χαρακτηριστικό του οικιστικού δικτύου εντός του Π.Σ. Ηρακλείου είναι ο μεγάλος αριθμός των οικισμών με μικρό πληθυσμό. Παρόλα αυτά το δίκτυο παρουσιάζεται ομοιογενές και πυκνό σε όλη σχεδόν την έκταση της περιοχής.

Η διασύνδεση των οικισμών πραγματοποιείται κυρίως μέσω του υφιστάμενου βόρειου άξονα μετακινήσεων, του Βόρειου Οδικού Άξονα της Κρήτης (ΒΟΑΚ) και των παρά αυτόν δευτερευόντων οδικών αξόνων, κατά μήκος του οποίου συναρθρώνεται ολόκληρη η αναπτυξιακή ενότητα της Κρήτης και ο οποίος συγκεντρώνει πολλαπλών προορισμών μετακινήσεις με επίκεντρο το Π.Σ Ηρακλείου.

Ο Β.Ο.Α.Κ. σχεδιάστηκε στις αρχές της δεκαετίας του '60 και η υλοποίησή του που ξεκίνησε το 1968 έχει συνολικό μήκος περί τα 312 χλμ και εκτείνεται σε όλη τη Β. Κρήτη, σε συνδυασμό δε με τους κάθετους άξονες, το Νότιο Άξονα και τις πύλες εισόδου του νησιού (Λιμάνια- Αεροδρόμια) επηρεάζει αποφασιστικά όλους τους άξονες ανάπτυξης της Κρήτης. Επιπρόσθετα, διασυνδέει τους πλέον αστικοποιημένους Δήμους της περιοχής μελέτης, στους οποίους αποδίδει υψηλό βαθμό προσπελασιμότητας και κεντρικότητας, καθώς επιτρέπει μικρή χρονοαπόσταση από το αστικό κέντρο του Ηρακλείου.

Παράλληλα, το ακτινικό πρότυπο σύνδεσης του Ηρακλείου με την ενδοχώρα του υποστηρίζει σχέσεις εξάρτησης της ενδοχώρας γενικότερα από την πόλη του Ηρακλείου, λόγω των υπηρεσιών που αυτή προσφέρει, εκφράζοντας στο χώρο την "ηρακλειοκεντρική" δομή πόλης- υπαίθρου. Τέλος, λιγότερο ανεπτυγμένο είναι το δίκτυο μεταφορών κατά την κατεύθυνση ανατολής- δύσης, ώστε να συνδέονται οριζόντια οι οικισμοί και τα μικρότερα αστικά κέντρα μεταξύ τους και να αποφεύγεται κατά αυτόν τον τρόπο η μετάβαση προς διάφορους προορισμούς μέσω της πόλης του Ηρακλείου με απώτερο σκοπό την πολυκεντρική ανάπτυξη της περιοχής.

Στην εύρωστη οικιστική ανάπτυξη της περιοχής του Π.Σ. Ηρακλείου σημαντικό ρόλο διαδραματίζει και η γενικότερη γεωμορφολογία της περιοχής, η οποία χαρακτηρίζεται από ήπιες κλίσεις και ομαλό- πεδινό έδαφος, γεγονός που διαχρονικά έχει ευνοήσει την αστικοποίηση σε συνδυασμό και με το φυσικό όριο του βόρειου παραθαλάσσιου μετώπου που εμπόδισε την προς βορρά αστική εξάπλωση.

Στις ενότητες που ακολουθούν καταγράφεται η πληθυσμιακή εξέλιξη και η ανάπτυξη της οικοδομικής δραστηριότητας στην περιοχή μελέτης για τη χρονική περίοδο από το 1960 έως το 2011 μέσα από στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ διαχρονικά, με σκοπό να διαφανεί η εντατικοποίηση του φαινομένου της αστικής διάχυσης και των τάσεων που διαμόρφωσαν την αστική ανάπτυξη στο Π.Σ. Ηρακλείου έως σήμερα

4.4 Πληθυσμιακά- Δημογραφικά στοιχεία

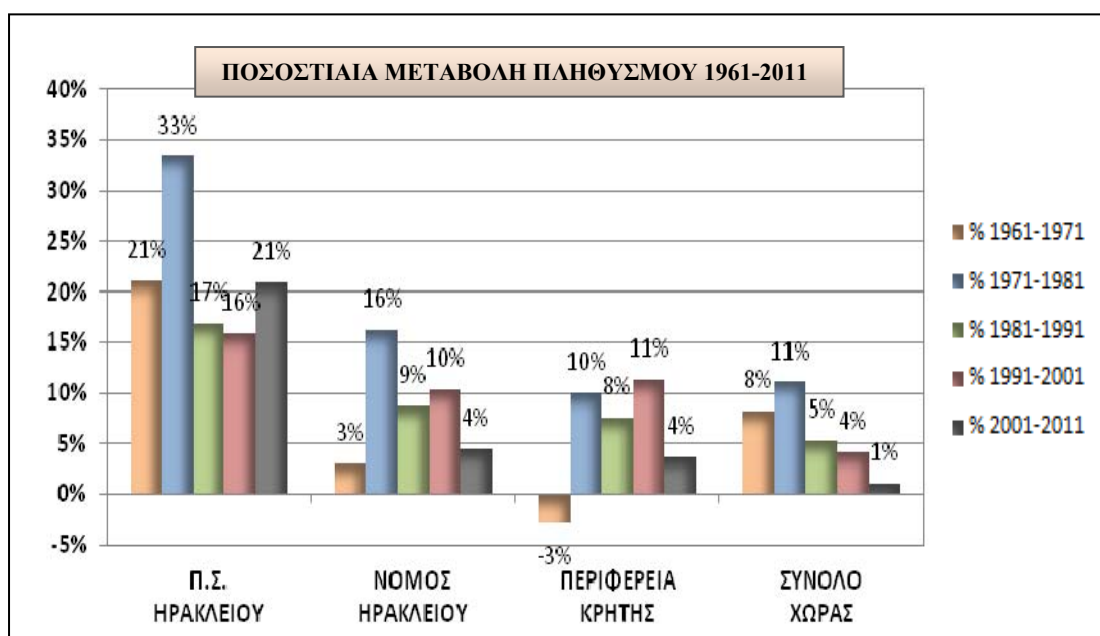
Ο πληθυσμός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Ηρακλείου άρχισε ήδη από το 1960 να καταγράφει σημαντική αύξηση, ενώ είναι αξιοσημείωτο ότι σε τέσσερις δεκαετίες (1961-2001) αυξήθηκε κατά 115% περίπου.

Η έκρηξη του ρυθμού αύξησης του πληθυσμού σημειώνεται κυρίως κατά την τρίτη μεταπολεμική δεκαετία (1971-1981), η οποία χαρακτηρίζεται από τον υψηλότερο ρυθμό αύξησης, ίσο με 31%. Η δυναμική αυτή αν και μειώθηκε μετά το 1981, ωστόσο παραμένει αυξητική, όπως φαίνεται στον πίνακα που ακολουθεί..

Π.Σ./ΝΟΜΟΣ	1961	1971	1981	1991	2001	2011
Π.Σ. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	69.983	84.710	110.958	132.117	150.253	185.180
ΝΟΜΟΣ ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	203.307	209.668	243.622	264.906	292.489	305.490
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑ ΚΡΗΤΗΣ	469.784	456.620	502.165	540.054	601.131	623.065
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	8.102.892	8.766.584	9.740.417	10.259.900	10.694.020	10.815.197

Πίνακας 4-2: Πληθυσμιακή εξέλιξη Πολεοδομικού Συγκροτήματος Ηρακλείου (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Απογραφή Πραγματικού Πληθυσμού 1961,1971,1981,1991,2001, 2011)

Βάσει της τελευταίας απογραφής του 2001 ο πληθυσμός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος ανέρχεται σε 150.253 κατοίκους και αντιστοιχεί στο 51,37% του πληθυσμού του Ν. Ηρακλείου και στο 25% της Περιφέρειας Κρήτης.



Διάγραμμα 4-1: Συγκριτική αποτύπωση ποσοστιαίας μεταβολής πληθυσμού ανά δεκαετία Π.Σ. Ηρακλείου, Ν. Ηρακλείου, Περιφέρειας Κρήτης & συνόλου Χώρας (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Ιδία Επεξεργασία)

Στο διάστημα των τελευταίων τριάντα ετών (1981-2011) ο πληθυσμός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος σημειώνει συνεχή ανοδική πορεία με την ποσοστιαία μεταβολή του πληθυσμού στα διαστήματα 1981-1991 (14%), 1991-2001 (18%) και 2001-2011 (23%) να είναι αρκετά υψηλότερη από την αντίστοιχη σε επίπεδο νομού (9%, 10%, 4%) αλλά και Περιφέρειας (8% και 11%, 4%).

Σε επίπεδο δήμων εντός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος, ο Δ. Ηρακλείου εμφανίζει τη μεγαλύτερη πληθυσμιακή συγκέντρωση, καθώς αφενός συσσωρεύει το σύνολο των οικονομικών και διοικητικών υπηρεσιών και αφετέρου αποτελεί πόλο έλξης λόγω του διαρκώς αναπτυσσόμενου μαζικού τουρισμού και των δυνατοτήτων αναζήτησης εργασίας.

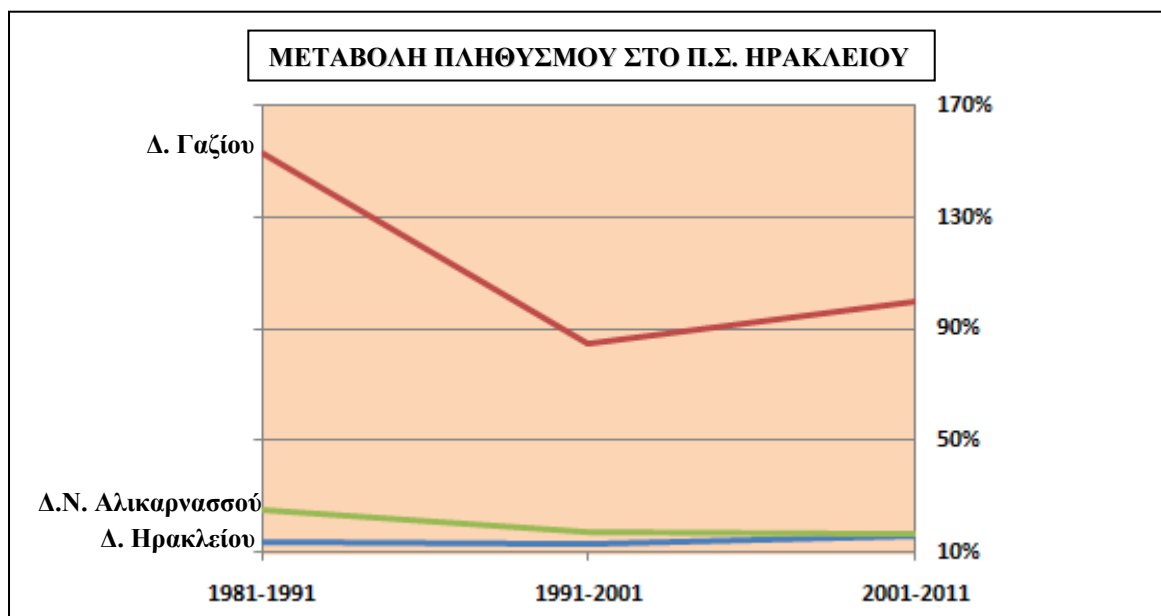
Δήμος	Πραγματικός πληθυσμός 1981	Πραγματικός πληθυσμός 1991	Πραγματικός πληθυσμός 2001	Πραγματικός πληθυσμός 2011	% 1981-1991	% 1991-2001	% 2001-2011
Δ. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	102.398	116.178	130.914	151.324	13%	13%	16%
Δ. ΓΑΖΙΟΥ	2.057	5.210	9.629	19.221	153%	85%	100%
Δ. ΝΕΑΣ ΑΛΙΚΑΡΝΑΣΣΟΥ	8.560	10.729	12.542	14.635	25%	17%	17%

Πίνακας 4-3: Πληθυσμιακή μεταβολή σε επίπεδο δήμων του Π. Σ. Ηρακλείου 1981-2011 (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Απογραφή Πραγματικού Πληθυσμού 1961,1971,1981,1991,2001, 2011)

Ωστόσο, κατά τη δεκαετία 1981-1991 καταγράφεται μια κατακόρυφη αύξηση του πληθυσμού στο Δ. Γαζίου, η οποία φθάνει το 153% και παρά τη μείωση του ρυθμού σε 85% για τη δεκαετία 1991-2001, εντούτοις διατηρεί αυξητική τάση και την επόμενη δεκαετία 2001-2011, αγγίζοντας το 100% και κατατάσσοντας το Δ. Γαζίου στο δεύτερο πληθυσμιακά αναπτυσσόμενο δήμο εντός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος.

Η αύξηση οφείλεται εν μέρει στη μικρή χρονοαπόσταση από το Δ. Ηρακλείου, αλλά και στην αύξηση του τομέα του τουρισμού, καθώς εντός των ορίων του Δ. Γαζίου δραστηριοποιείται μεγάλος αριθμός ξενοδοχειακών, τουριστικών και επιχειρήσεων σε άμεση σχέση με τον τουρισμό.

Ο Δ. Ν. Αλικαρνασσοῦ αντίστοιχα, παρουσίασε σταθερό ρυθμό αύξησης του πληθυσμού, 17%, για τις δύο δεκαετίες 1991-2001, 2001-2011, ο οποίος όμως είναι μικρότερος από τον ρυθμό 25% της δεκαετίας 1981-1991. Ο Δ. Ηρακλείου εμφάνιζε σταθερό ρυθμό αύξησης του πληθυσμού, ίσο με 13% τις δεκαετίες 1981-1991, 1991-2001, αλλά μεγαλύτερο κατά τρεις ποσοστιαίες μονάδες, ίσο με 16% δηλαδή, την δεκαετία 2001-2011.



Διάγραμμα 4-2: Πληθυσμιακή μεταβολή σε επίπεδο δήμων του Π. Σ. Ηρακλείου 1981-2011 (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Απογραφή Πραγματικού Πληθυσμού 1961,1971,1981,1991,2001, 2011)

Συμπερασματικά, η λειτουργία του βόρειου οικιστικού μετώπου ως υποδοχέα του φαινομένου της αστικοποίησης συνδέεται με την τάση τριτογενοποίησης της οικονομίας και της στροφής προς τον τουρισμό, τον παραθερισμό και τις υπηρεσίες. (*ΧΩΡΟΔΥΝΑΜΙΚΗ-ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ-ΑΝΑΠΤΥΞΗ, 'Ρυθμιστικό Σχέδιο και Πρόγραμμα Προστασίας Περιβάλλοντος Οικιστικού Συγκροτήματος Ηρακλείου ΣΤΑΔΙΟ Β1'*).

Σε ότι αφορά στην αστικότητα του πληθυσμού σε επίπεδο νομού, για την περίοδο 1961-1991, ο αγροτικός πληθυσμός το 1961 καταλαμβάνει περίπου το 60% επί του συνόλου του νομού, ενώ ο αστικός το 34%, καθώς παρά την κορύφωση της έντασης της ελληνικής αστικοποίησης η δυνατότητα μέχρι τότε των πόλεων να απορροφήσουν πληθυσμό ήταν μικρότερη της απώθησής του από τον αγροτικό χώρο.

Έτσι, ένα σημαντικό κομμάτι του αγροτικού υπερπληθυσμού δεν απορροφήθηκε, και δεδομένων και των μεταναστευτικών τάσεων της εποχής τροφοδότησε την εξωτερική μετανάστευση (Μαλούτας, 2000).

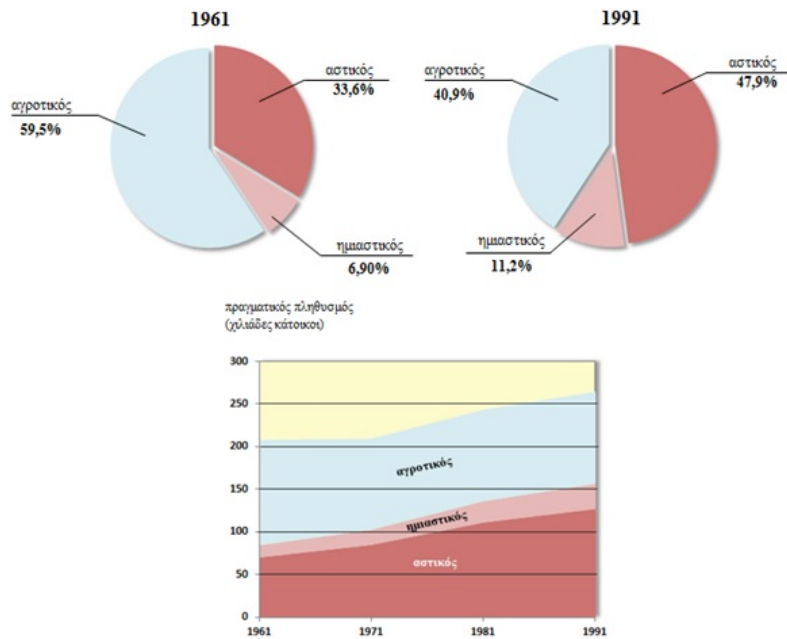
Ν. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	ΣΥΝΟΛΟ	ΑΣΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΗΜΙΑΣΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ ΠΛΗΘΥΣΜΟΣ	% ΑΣΤΙΚΟΣ	% ΗΜΙΑΣΤΙΚΟΣ	% ΑΓΡΟΤΙΚΟΣ
1961	208.329	69.938	14.469	123.922	33,57	6,95	59,48
1971	209.670	84.710	17.911	107.049	40,40	8,54	51,06
1981	243.622	110.958	25.224	107.440	45,55	10,35	44,10
1991	264.906	126.907	29.664	108.335	47,91	11,20	40,90

Πίνακας 4-4: Αστικότητα πληθυσμού στο Ν. Ηρακλείου για το διάστημα 1961-1991 (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, *Απογραφή Πραγματικού Πληθυσμού 1961,1971,1981,1991, Ιδία Επεξεργασία*)

Το κλίμα αλλάζει τις επόμενες δεκαετίες, καθώς παρατηρείται μια διαρκώς αναπτυσσόμενη αύξηση του ρυθμού μεταβολής του αστικού και ημιαστικού πληθυσμού έναντι του αγροτικού, οπότε και το 1991 ο αστικός πληθυσμός στο Ν. Ηρακλείου καταλαμβάνει πλέον το 48% επί του συνόλου, έναντι του αγροτικού που έχει πέσει στο 41%. Η πρωταρχικότητα της απώθησης πληθυσμού από τον αγροτικό χώρο, σε σχέση με την έλξη του από τις πόλεις, σηματοδοτείται και από τον τρόπο ενσωμάτωσης του νεοεισερχόμενου πληθυσμού στον αστικό χώρο.

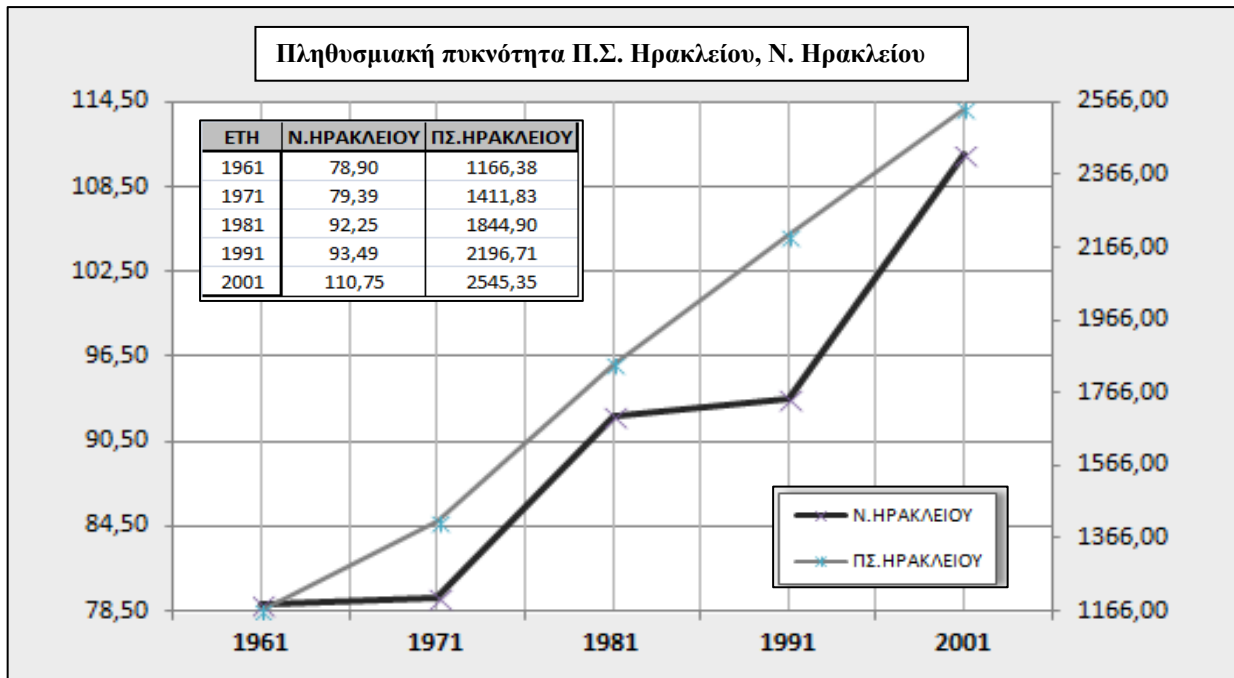
Η εξασφάλιση στέγης αποτέλεσε το βασικό στοιχείο σταθερότητας για τους νεοεγκαθιστάμενους, έναντι μιας αγοράς εργασίας που προσέφερε διάχυτες, αλλά ασταθείς ευκαιρίες, ενώ η σταθερή βιομηχανική απασχόληση δεν αποτέλεσε ποτέ τον κύριο κορμό των ευκαιριών, ούτε και την επιδίωξη του νέου αστικού πληθυσμού, ο οποίος βοηθούμενος και από την οικονομική συγκυρία, άρχισε γρήγορα να προσβλέπει σε επαγγελματική και κοινωνική ανέλιξη μέσω της αυτοαπασχόλησης και της απασχόλησης στο δημόσιο τομέα (Μαλούτας, 2000).

Σε επίπεδο πληθυσμιακών πυκνοτήτων, η αύξηση που παρατηρείται στο Π.Σ. Ηρακλείου από το 1961 έως το 2001 φθάνει το 118% περίπου, ενώ την ίδια χρονική περίοδο η αντίστοιχη αύξηση σε επίπεδο νομού δεν παρουσιάζει τον ίδιο δυναμισμό και φθάνει στο 40%. Η μεγαλύτερη ποσοστιαία μεταβολή της πυκνότητας, ίση με 30,67% σημειώνεται στο Π.Σ. Ηρακλείου τη δεκαετία 1971-1981, κατά την οποία η οικονομική ανάπτυξη οδήγησε σημαντικό μέρος του αγροτικού πληθυσμού στις μεγάλες πόλεις



Διάγραμμα 4-3: Ποσοστιαία κατανομή αγροτικού, ημιαστικού και αστικού πληθυσμού στο Ν. Ηρακλείου, 1961 και 1991 και αστικότητα πραγματικού πληθυσμού (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Ιδία Επεξεργασία)

Παρότι, γενικότερα, η δεκαετία 1981-1991 σηματοδοτεί τη σοβαρή μείωση του ρυθμού πληθυσμιακής αύξησης για το σύνολο των αστικών κέντρων, η πυκνότητα ακολουθεί μια μειούμενη τάση και στο Π.Σ. Ηρακλείου, που όμως κινείται σε υψηλά επίπεδα της τάξης του 20%.



Διάγραμμα 4-4: Εξέλιξη πληθυσμιακής πυκνότητας Π.Σ Ηρακλείου, Ν. Ηρακλείου 1961-2001 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Ιδία Επεξεργασία)

Τα αίτια αυτής της μείωσης μπορούν να αναζητηθούν αφενός στην πληθυσμιακή κυριαρχία των Αθηνών, η οποία αφαιμάζε πολλές περιοχές της χώρας και αφετέρου στη συνέχιση των μεγάλων μεταναστευτικών ρευμάτων, κυρίως προς τη Δυτική Ευρώπη.

Τέλος, με βάση τα στοιχεία του πληθυσμού για το Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου είναι δυνατό να υπολογιστεί η προβολή του πληθυσμού στο μέλλον κάνοντας χρήση του μέσου ετήσιου ρυθμού μεταβολής του πληθυσμού, ο οποίος στη βιβλιογραφία αναφέρεται και ως "τύπος ανατοκισμού" (Κοτζαμάνης, 2009).

Βάσει του τύπου του ανατοκισμού $P_{t+n} = P_t * (1+r)^n$ ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής δίνεται από τη σχέση $r = \left(\frac{P_{t+n}}{P_t}\right)^{\frac{1}{n-t}} - 1$, όπου P_t είναι ο πληθυσμός στην αρχή της περιόδου t , n είναι ο αριθμός των ετών που πέρασαν από το χρόνο εκκίνησης t , P_{t+n} είναι ο πληθυσμός στο τέλος της περιόδου και r είναι ο μέσος ετήσιος ρυθμός μεταβολής.

Στον πίνακα που ακολουθεί αποτυπώνονται οι μέσοι ετήσιοι ρυθμοί μεταβολής του πληθυσμού και για τις περιόδους μεταξύ 1961-2011.

	1961-1971	1971-1981	1981-1991	1991-2001	2001-2011
Π.Σ. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	1,93%	2,74%	1,76%	1,29%	2,11%

Πίνακας 4-5: Μέσοι ετήσιοι ρυθμοί μεταβολής πληθυσμού 1961-2011 στο Π.Σ. Ηρακλείου (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Απογραφή Πραγματικού Πληθυσμού 1961,1971,1981,1991, Ιδία Επεξεργασία)

Όπως προκύπτει, η μέση ετήσια μεταβολή για την περίοδο 2011-2025 ανέρχεται στο 1,97%, ως η μέση τιμή από τις μέσες ετήσιες μεταβολές των περιόδων 1961-1971, 1971-1981, 1981-1991, 1991-2001 και 2001-2011.



Διάγραμμα 4-5: Πληθυσμιακή προβολή πληθυσμού έως το χρονικό ορίζοντα- στόχο 2025 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Απογραφή Πραγματικού Πληθυσμού 1961,1971,1981,1991,2001, Ιδία επεξεργασία)

Με βάση τον τύπο του ανατοκισμού προκύπτει ότι η προβολή του πληθυσμού του Πολεοδομικού Συγκροτήματος για το έτος 2025 ανέρχεται στους 243.337 κατοίκους ή 31% αύξηση του πληθυσμού του 2001.

Το διάγραμμα 4-5 βασίζεται στα στοιχεία του προηγούμενου πίνακα καθώς και στα αντίστοιχα πληθυσμιακά στοιχεία αναφορικά με το Πολεοδομικό Συγκρότημα και απεικονίζει γραφικά την πληθυσμιακή εξέλιξη μέχρι το χρονικό ορίζοντα- στόχο.

4.5 Οικοδομική δραστηριότητα και τάσεις αστικοποίησης

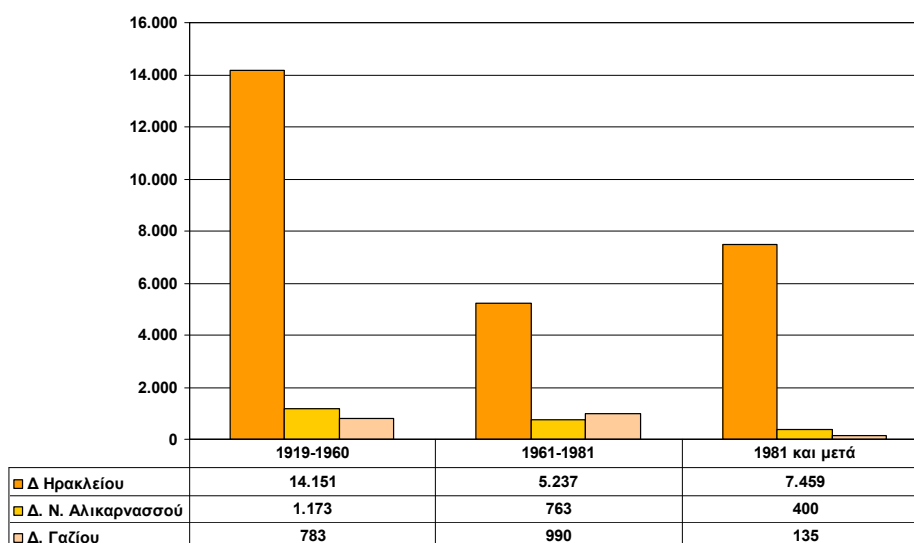
Εξετάζοντας διαχρονικά την εξέλιξη της οικοδομικής δραστηριότητας τις τελευταίες δεκαετίες στην Ελλάδα, παρατηρούνται κύκλοι έξαρσης και ύφεσης, ειδικότερα δε στην περιοχή μελέτης η δραστηριότητα αυτή σχετίζεται και με τον τουρισμό, φαινόμενο που μαζικοποιείται τόσο παγκοσμίως, όσο και στο σύνολο της χώρας στη διάρκεια των τελευταίων σαράντα ετών.

Χρησιμοποιώντας στοιχεία της ΕΛ.ΣΤΑΤ σχετικά με την απογραφή των κτηρίων με βάση τη χρονική περίοδο κατασκευής τους, παρατηρείται ότι ένας μεγάλος αριθμός κτηρίων κατασκευάστηκε την εικοσαετία 1961-1981 καταλαμβάνοντας το 41% επί του συνόλου των κτηρίων σε επίπεδο χώρας, ενώ μετά το 1981 ο αριθμός αυτός καταγράφει μείωση της τάξης του 59% φθάνοντας σε ποσοστό 17% επί του συνόλου. Αξιοσημείωτο είναι το γεγονός ότι και το διάστημα 1919-1960 καταγράφηκε μια σημαντική οικοδόμηση που έφθασε στο 32%.

Κτήρια κατά χρονική περίοδο κατασκευής	Σύνολο κτηρίων	Προ του 1919	1919 έως 1945	1946 έως 1960	1961 έως 1970	1971 έως 1980	1981 έως 1985	1986 και μετά	Υπό κατασκευή	Δε δηλώθηκε
Σύνολο Ελλάδας	3.821.175	299.786	500.592	723.796	810.240	755.892	386.500	256.240	78.886	9.243
Ν. Ηρακλείου	118.593	9.369	18.804	22.637	22.099	20.924	11.961	7.461	5.012	326
Δ Ηρακλείου	29.943	1.011	2.772	4.687	7.035	7.116	3.161	2.076	1.973	112
Δ. Ν. Αλικαρνασσού	2.588	3	90	310	435	738	494	269	247	2
Δ. Γαζίου	2.399	7	20	115	295	488	633	357	467	17

Πίνακας 4-6: Διάρθρωση κτηριακού αποθέματος (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Απογραφή κτηρίων, Ιδία Επεξεργασία)

Στο Ν. Ηρακλείου παρατηρούνται παρόμοιες τάσεις με αυτές της χώρας συνολικά, αλλά σε μικρότερη κλίμακα. Αναφορικά με τους δήμους εντός του Π.Σ. Ηρακλείου, ο Δ. Ηρακλείου δέχθηκε το μεγαλύτερο βάρος κατασκευής σε σχέση με τους δήμους Γαζίου και Ν. Αλικαρνασσού.



Διάγραμμα 4-6: Διάρθρωση κτηριακού αποθέματος σε επίπεδο δήμου στο Π.Σ. Ηρακλείου (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Απογραφή κτηρίων, Ιδία επεξεργασία)

Συνολικά δομήθηκαν 29.943 κτήρια εντός των ορίων του, ενώ ο αντίστοιχος αριθμός για τους υπόλοιπους δύο δήμους την ίδια περίοδο ήταν υποδεκαπλάσιος. Ωστόσο αν και οι τάσεις σε επίπεδο δήμου προσομοιάζουν με αυτές του νομού, την πενταετία 1981-1985 παρατηρείται μια αύξηση του αριθμού των κτηρίων στο Δ. Γαζίου της τάξης του 26%.

Αναφορικά με τις νέες οικοδομές και προσθήκες που δομήθηκαν για το χρονικό διάστημα από το 1977 έως το 2009 και ανά πενταετία, προκύπτει ο ακόλουθος πίνακας διάρθρωσης της οικοδομικής δραστηριότητας στο σύνολο της χώρας, σε επίπεδο νομού και στα όρια του Πολεοδομικού Συγκροτήματος. Τα στοιχεία αναφέρονται στη νόμιμη ιδιωτική οικοδομική δραστηριότητα.

	Σύνολα κτηρίων	1977 έως 1980	1981 έως 1985	1986 έως 1990	1991 έως 1996	2000 έως 2004	2005 έως 2009	% κτηρίων που δομήθηκαν πριν το 1990	% κτηρίων που δομήθηκαν μετά το 1990
Π.Σ. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	15.597	4.374	2.130	2.120	1.955	2.362	2.656	55%	45%
Ν. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ	44.271	7.421	7.856	6.097	7.025	7.384	8.488	48%	52%
ΣΥΝΟΛΟ ΧΩΡΑΣ	2.016.159	372.501	384.000	353.960	328.161	293.776	283.761	55%	45%

Πίνακας 4-7: Διάρθρωση κτηρίων Π.Σ. Ηρακλείου, Ν. Ηρακλείου, Σύνολο χώρας 1977-2009 (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Στατιστική Οικοδομικής Δραστηριότητας 1977-2009, Ιδία Επεξεργασία)

Όπως παρατηρείται, το 55% του νέου κτηριακού αποθέματος στο Π.Σ Ηρακλείου κατασκευάστηκε πριν το 1990 και το υπόλοιπο 45% έως το 2009, ενώ στα ίδια ποσοστά κινείται η οικοδομική δραστηριότητα και στο σύνολο της χώρας. Ωστόσο, η έξαρση του φαινομένου καταγράφηκε την τετραετία 1977-1980, γεγονός που συμπίπτει με την κατακόρυφη αύξηση του πληθυσμού του Πολεοδομικού Συγκροτήματος κατά την ίδια περίοδο, οπότε και μεγάλο μέρος του αγροτικού πληθυσμού άρχισε να εισρέει στα αστικά κέντρα αναζητώντας νέες ευκαιρίες στην εργασία και τη στέγαση. Χαρακτηριστικό δε είναι ότι μόνο την τετραετία αυτή κατασκευάστηκε το 28% των νέων οικοδομών και προσθηκών επί του συνόλου του κτηριακού αποθέματος, που αποτελεί και το υψηλότερο ποσοστό για τις περιόδους που μελετήθηκαν.



Διάγραμμα 4-7: Καταγραφή του όγκου των νέων οικοδομών και προσθηκών στο Π.Σ. Ηρακλείου από το 1977-2009 (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Στατιστική Οικοδομικής Δραστηριότητας 1977-2009, Ιδία επεξεργασία)

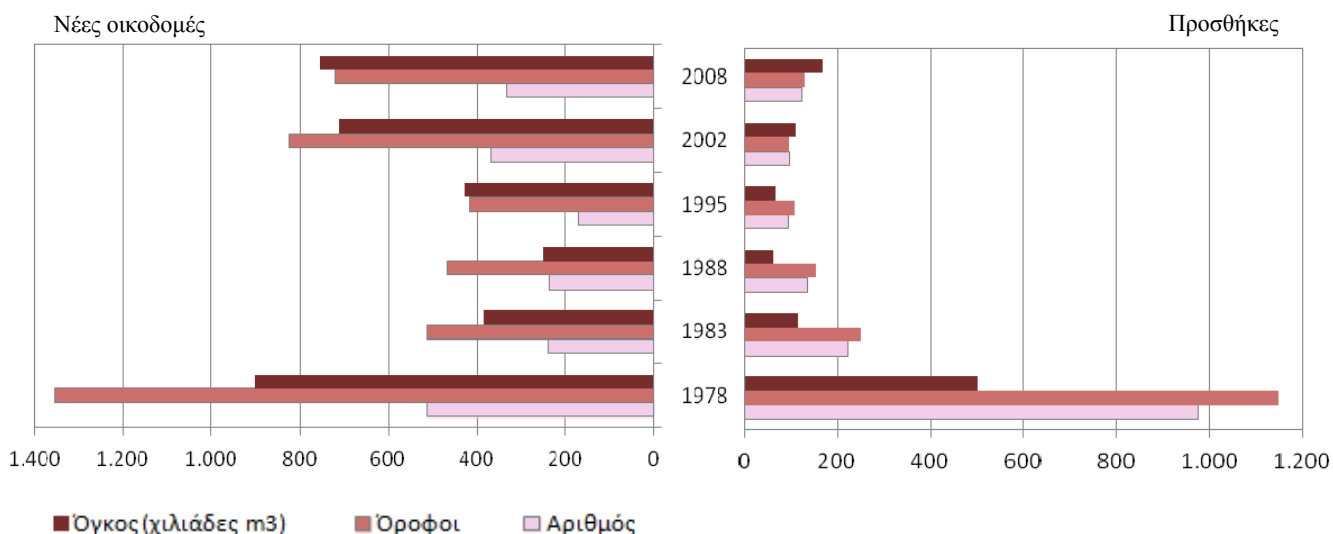
Σε επίπεδο νομού, υπάρχουν μικρές διαφοροποιήσεις και τα ποσοστά κυμαίνονται σε 48% για τις οικοδομές και προσθήκες πριν το 1990 και σε 52% για την περίοδο έως και το 2009. Ιδιαίτερα δε τις χρονικές περιόδους 2000-2004 και 2005-2009, δηλ. πριν και μετά τους Ολυμπιακούς αγώνες υπάρχει μια διαρκής ανοδική τάση της δραστηριότητας, η οποία κινείται στα επίπεδα της ανοικοδόμησης από το 1981-1990, καταγράφοντας παράλληλα αύξηση της τάξης του 20% σε σχέση με την περίοδο 1991-1996.

Στο προηγούμενο διάγραμμα απεικονίζεται ο όγκος των νέων οικοδομών και προσθηκών, ως δείκτης της οικοδομικής δραστηριότητας στο Π.Σ. Ηρακλείου από το 1977-2009.

Από το 1996 και έως το 2004, χρονιά τέλεσης των Ολυμπιακών Αγώνων, υπάρχει σχεδόν μια διαρκής ήπια αύξηση της οικοδομικής δραστηριότητας. Τη χρονιά 2005 παρατηρήθηκε η μεγαλύτερη αύξηση που έλαβε χώρα ποτέ και έτσι ο όγκος της οικοδομικής δραστηριότητας το 2005 ανήλθε στα 1,8 εκ. m³ περίπου. Η κατακόρυφη αυτή αύξηση της δραστηριότητας του 2005 έχει σαφώς τις ρίζες της στο γεγονός της εισαγωγής του ΦΠΑ στην οικοδομική δραστηριότητα για όσες άδειες και εργολαβικά θα εκδίδονταν μετά την 1^η Ιανουαρίου του 2006, γεγονός που οδήγησε τους κατασκευαστές σε μια αύξηση της δραστηριότητάς τους. Η αναμενόμενη διορθωτική συρρίκνωση τα έτη μετά το 2005 ήρθε, καθώς πλέον τα συσσωρευμένα οικοδομικά αποθέματα ήταν μεγάλα, όμως η χρηματοπιστωτική κρίση του 2008 βύθισε την οικοδομική δραστηριότητα σε πολύ χαμηλά επίπεδα.

Συγκριτικά, ο αριθμός των κτηρίων, οι όροφοι και ο όγκος των νέων οικοδομών, αλλά και των προσθηκών στο Π.Σ. Ηρακλείου για τις χαρακτηριστικότερες χρονιές εκ των πενταετιών που μελετήθηκαν αποδίδονται διαγραμματικά ακολούθως. Παρατηρούμε την έξαρση της οικοδομικής δραστηριότητας το 1978 με τον αριθμό των προσθηκών να παρουσιάζει πολύ υψηλές τάσεις και τον αριθμό των ορόφων να κινείται σε παρόμοια επίπεδα. Ο όγκος και στις δύο περιπτώσεις παραμένει υψηλότερος από κάθε άλλη χρονιά και μόνο τα έτη 2002 και 2008, σημειώνονται αντίστοιχες τιμές μόνο στο επίπεδο των νέων οικοδομών όμως. Η τάση αυτή συνεχίζει μειούμενη και το 1983, οπότε και τα τρία αυτά μεγέθη σταθεροποιούνται το 1988 και 1995, ενώ στην περίπτωση των προσθηκών, η μείωση είναι πολύ μεγαλύτερη, αλλά οι τάσεις σταθεροποιητικές.

Αριθμός, όροφοι και όγκος νέων οικοδομών και προσθηκών



Διάγραμμα 4-8: Αριθμός, όροφοι και όγκος νέων οικοδομών και προσθηκών στο Π.Σ. Ηρακλείου (Πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Στατιστική Οικοδομικής Δραστηριότητας 1977-2009, Ιδία επεξεργασία)

Αναφορικά με τις νέες κατοικίες που δομήθηκαν στο Π.Σ. Ηρακλείου για το ίδιο χρονικό διάστημα, ο πίνακας που ακολουθεί δίνει μια εικόνα των τάσεων και των μεγεθών που καταγράφηκαν. Πιο συγκεκριμένα, σε αναλογία με τα αντίστοιχα δεδομένα για τις νέες - οικοδομές και προσθήκες, ο αριθμός των νέων κατοικιών και των κατοικήσιμων δωματίων για την τετραετία 1977-1980 αποτελεί ποσοστό 17% και 20% αντίστοιχα επί του συνόλου και είναι υψηλότερος σε σχέση με όλες τις επόμενες χρονικές περιόδους. Τα μεγέθη αυτά ακολουθούν για την επόμενη δεκαετία μια φθίνουσα πορεία για να φθάσουν το 1991-1996 μόλις στις 2.909 κατοικίες και στα 9.431 κατοικήσιμα δωμάτια.

Η τάση αυτή αντιστρέφεται μετά το 2000, οπότε και παρατηρείται αύξηση της τάξης του 50% σε σχέση με την προηγούμενη περίοδο, ενώ την πενταετία 2005-2009 οι νέες κατοικίες και τα κατοικήσιμα δωμάτια στο Π.Σ. Ηρακλείου φθάνουν το 11% και 10% αντίστοιχα επί του συνόλου, γεγονός που εξηγείται και από τη ενσωμάτωση του ΦΠΑ στην οικοδομή από το 2006, όπως προαναφέρθηκε.

ΕΤΟΣ	ΝΕΕΣ ΚΑΤΟΙΚΙΕΣ					
	Αριθμός	Δωμάτια κατοικήσιμα	Όγκος	% αριθμού	% δωματίων	% όγκου
1977-1980	9.301	36.673	2.935.781	17%	20%	13%
1981-1985	3.815	14.280	1.297.090	7%	8%	6%
1986-1990	4.348	13.578	1.578.391	8%	8%	7%
1991-1996	2.909	9.431	1.398.000	5%	5%	6%
2000-2004	5.213	15.277	2.585.917	10%	9%	11%
2005-2009	6.119	17.931	3.108.368	11%	10%	13%
ΣΥΝΟΛΟ	54.584	179.18	23.106.313	100%	100%	100%

Πίνακας 4-8: Διάρθρωση νέων κατοικιών 1977-2009 στο Π.Σ. Ηρακλείου (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Στατιστική Οικοδομικής Δραστηριότητας 1977-2009, Ιδία Επεξεργασία)

Σε παρόμοια πλαίσια κινείται και ο δείκτης του όγκου των νέων κατοικιών με εξάρσεις τις χρονικές περιόδους 1977-1980 και 2005-2009, οπότε και καταγράφεται ίδιο ποσοστό, ίσο με 13% , ενώ ο συνολικός όγκος των νέων κατοικιών που δομήθηκε για το χρονικό διάστημα της μελέτης φθάνει περίπου στα 23 εκ. m³

Κτήρια ανά χρήση	1991				2001			
	Κατοικίες	Ξενοδοχεία	Καταστήματα - γραφεία	Αριθμός κανονικών κατοικιών	Κατοικίες	Ξενοδοχεία	Καταστήματα - γραφεία	Αριθμός κανονικών κατοικιών
Σύνολο Ελλάδας	2.496.091	9.943	104.850	3.652.118	2.755.570	22.830	111.097	4.381.317
Ν. Ηρακλείου	77.212	1.467	5.093	97.926	85.874	1.963	4.864	125.830
Δ. Ηρακλείου	21.950	49	1.773	38.272	26.138	39	1.792	53.881
Δ. Ν. Αλικαρνασσού	2.032	4	129	2.808	32.764	8	170	4.541
Δ. Γαζίου	1.624	123	116	1.645	4.688	288	255	7.134

Πίνακας 4-9: Διάρθρωση νέων κατοικιών 1977-2009 στο Π.Σ. Ηρακλείου (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Στατιστική Οικοδομικής Δραστηριότητας 1977-2009, Ιδία Επεξεργασία)

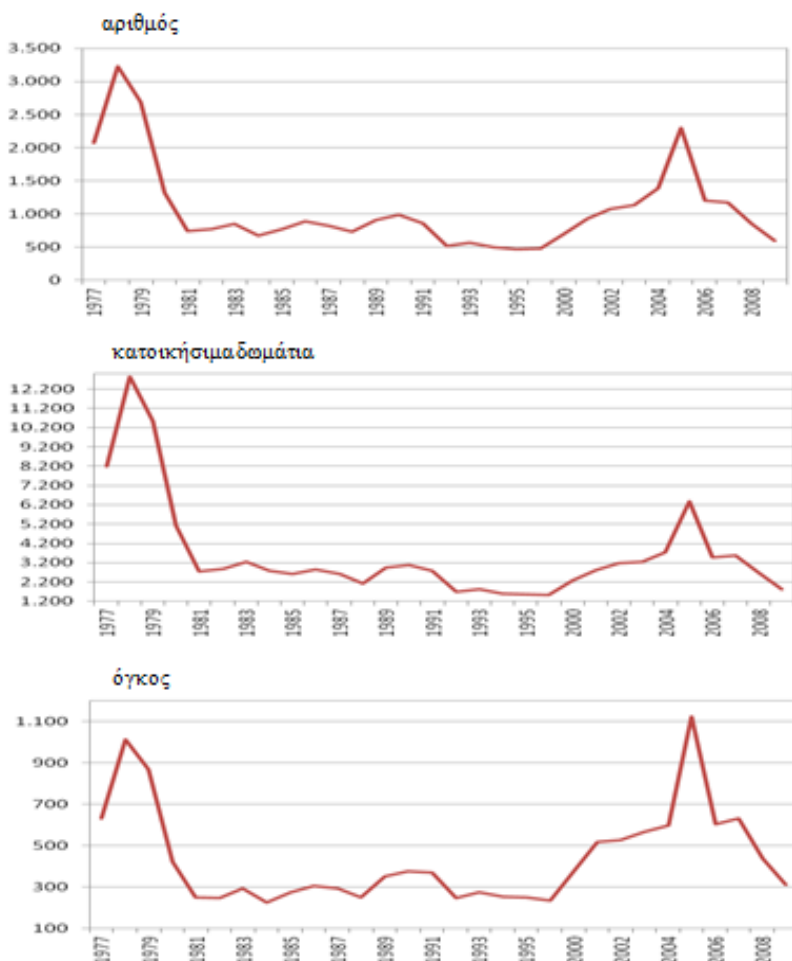
Στο διάγραμμα 4-9, που ακολουθεί, απεικονίζονται ο αριθμός των νέων κατοικιών και των κατοικήσιμων δωματίων, καθώς και ο όγκος που οι νέες κατοικίες καταλαμβάνουν στο Π.Σ. Ηρακλείου για το διάστημα μεταξύ 1977 και 2009.

Η εξέλιξη της δόμησης σε επίπεδο δήμου εντός του Π.Σ. Ηρακλείου επιβεβαιώνει τις έντονες οικιστικές πιέσεις που παρατηρούνται λόγω της αύξησης του πληθυσμού.

Από τη μελέτη της απογραφής των κτηρίων κατά αποκλειστική χρήση και του αριθμού των κανονικών τους κατοικιών προκύπτει ότι ο Δ. Ηρακλείου συγκέντρωσε το 1991 το 39% (38.272) των κανονικών κατοικιών του Νομού και το 2001 το 43% (53.881). Ωστόσο, κατά την περίοδο 1991-2001 οι όμοροι Δήμοι Γαζίου και Ν. Αλικαρνασσού σημείωσαν μεγαλύτερη μεταβολή κανονικών κατοικιών συγκριτικά με το Δήμο Ηρακλείου που ανήλθε σε 61,7% για το Δ. Ν. Αλικαρνασσού, ενώ ο Δ. Γαζίου τετραπλασίασε τον αριθμό των κανονικών του κατοικιών.

Σε επίπεδο δημοτικού διαμερίσματος, το Δημοτικό Διαμέρισμα Ηρακλείου συγκέντρωσε το 2001 το 95,41% (51.411) των κανονικών κατοικιών του Δήμου. Το αμέσως επόμενο Δημοτικό Διαμέρισμα σε τάξη μεγέθους κανονικής κατοικίας είναι το Δ.Δ. Γαζίου με 4.791 κανονικές κατοικίες και ακολουθεί το Δ.Δ.Ν. Αλικαρνασσού με 3.880 κανονικές κατοικίες

ΑΡΙΘΜΟΣ, ΔΩΜΑΤΙΑ ΚΑΙ ΟΓΚΟΣ ΝΕΩΝ ΚΑΤΟΙΚΙΩΝ ΣΤΟ Π.Σ. ΗΡΑΚΛΕΙΟΥ



Διάγραμμα 4-9: Αριθμός, κατοκήσιμα δωμάτια και όγκος νέων κατοικιών στο Π.Σ Ηρακλείου από το 1977-2009 (πηγή: ΕΛ.ΣΤΑΤ, Στατιστική Οικοδομικής Δραστηριότητας 1977-2009, Ιδία Επεξεργασία)

Σε ανάλογα επίπεδα κινείται ο αριθμός των ξενοδοχείων και των καταστημάτων-γραφείων σε επίπεδο δήμου παρουσιάζοντας αυξητικές τάσεις και στους τρεις δήμους με τον κύριο όγκο όμως να κατανέμεται στο Δ. Ηρακλείου, ενώ σημαντική αύξηση της τάξης του

134% σημειώνει ως προς τον αριθμό των ξενοδοχείων ο Δ. Γαζίου τη δεκαετία 1991-2001, εξαιτίας και της έντονης τουριστικής ανάπτυξης που σημειώνεται στο βόρειο παραλιακό μέτωπο του Πολεοδομικού Συγκροτήματος.

Τα δεδομένα που παρουσιάστηκαν κατά τη μελέτη της πληθυσμιακής εξέλιξης και της οικοδομικής δραστηριότητας για την περίοδο των πενήντα περίπου ετών από το 1960-2011 τεκμηριώνουν τις έντονες οικιστικές πιέσεις εντός του Π.Σ Ηρακλείου με τη μεγαλύτερη οικιστική δραστηριότητα να καταγράφεται στο Δ. Ηρακλείου και κατά μήκος της βόρειας ακτής και του Βόρειου Οδικού Άξονα (Β.Ο.Α.Κ.) με παραμέτρους ελκυστικότητας, όπως η προσπελασιμότητα των περιοχών (χρονοαπόσταση) και η γειτνίαση με τις βασικές μεταφορικές υποδομές

Η ποιοτική και ποσοτική ανάλυση που προηγήθηκε αποτέλεσε τη βάση για την πρακτική εφαρμογή της μοντελοποίησης της αστικής ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης παρέχοντας παράλληλα μια σαφή εικόνα των χωρικών και τοπικών χαρακτηριστικών που επέδρασαν στο φαινόμενο της αστικοποίησης σε όλη τη διάρκεια της διαχρονικής εξέλιξης καθορίζοντας αποφασιστικά τη σημερινή της μορφή.

4.6 Αυθαίρετη δόμηση στο Π.Σ. Ηρακλείου

Σύμφωνα με την Πυργάκη (2009) τα κίνητρα που οδήγησαν στη δημιουργία περιοχών αυθαίρετης δόμησης σε όλη την Ελλάδα πρέπει να αναζητηθούν στη μεγάλη ζήτηση οικοδομήσιμης γης και ειδικότερα στη ζήτηση φθηνής κατοικίας.

Ωστόσο, στην περίπτωση του Π.Σ.Ηρακλείου οι αυθαίρετες κατοικίες δεν ήταν φθηνές, καθώς δε συναντώνται παραπήγματα, αλλά τριώροφες κατασκευές, οι οποίες αν και εκτός σχεδίου, σχεδιάζονται βάσει στατικών μελετών και ως επί το πλείστον ακολουθούν τις διατάξεις του Γενικού Οικοδομικού Κανονισμού (ΓΟΚ). Οι περιοχές, στις οποίες αναπτύσσονται αυθαίρετες κατασκευές δίνουν την εντύπωση νόμιμων κατοικιών, γεγονός που φανερώνει ότι οι ιδιοκτήτες τους πίστευαν ότι αργά ή γρήγορα θα νομιμοποιηθούν. Η διαφορά είναι ότι απουσιάζει ο πολεοδομικός σχεδιασμός, καθώς υπάρχει έλλειψη σε κοινόχρηστους χώρους και δίκτυα, αλλά και οποιαδήποτε οργάνωση στον αστικό ιστό.

Η ιδιομορφία αυτή προέκυψε από την αδυναμία των Αρχών για πρόβλεψη νέων περιοχών κατοικίας, ώστε να καλυφθεί η ζήτηση. Η αυθαίρετη δόμηση στην περιοχή του Πολεοδομικού Συγκροτήματος ξεκίνησε στις αρχές της δεκαετίας του '70 και πήρε εκρηκτικές διαστάσεις σε όλη τη διάρκεια της δεκαετίας του '80. Το φαινόμενο εντάθηκε εξαιτίας και της καθυστέρησης να συνταχθεί Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο, για το οποίο, αν και γίνονταν προσπάθειες ήδη από το 1983, δεν θεσμοθετήθηκε καμία μελέτη.

Παράλληλα, μια δέσμη κατασταλτικών μέτρων που θεσμοθετήθηκε δεν εφαρμόστηκε, ενώ είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι από το σύνολο 30.000 αυθαίρετων κατοικιών σε όλο το Νομό Ηρακλείου, μόνο δύο (2) κατεδαφίστηκαν. Το 1983 ξεκίνησε μια διαδικασία νομιμοποίησης αυθαιρέτων με καταβολή χρηματικών ποσών ως πρόστιμα, ενώ η μείωση του ρυθμού δημιουργίας τους επήλθε τελικά με την κύρωση της Πράξης Εφαρμογής του Γ.Π.Σ. το 1988, οπότε και νομιμοποιήθηκε το μεγαλύτερο μέρος των αυθαιρέτων.

Σημαντικό αίτιο της όξυνσης του φαινομένου της αυθαίρετης δόμησης αποτελεί το μεγάλο ποσοστό της εσωτερικής μετανάστευσης που δέχτηκε ο Δ. Ηρακλείου το χρονικό διάστημα

αυτών συγκαταλέγονται και ευρωπαϊκές πόλεις, όπως το Πόρτο και η Λισαβόνα, στις οποίες μεταξύ άλλων ελέγχθηκε η φορητότητα του μοντέλου.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκε και το μοντέλο Deltatron, το οποίο είναι ένα υπο-μοντέλο εντός του Sleuth για τη μοντελοποίηση των χρήσεων γης, πέραν της αστικής εξάπλωσης.

5.1 Συλλογή δεδομένων

Το Sleuth, όπως έχει αναφερθεί, αποτελεί ένα ακρόνυμο για τα δεδομένα εισαγωγής: Slope (Κλίση), Landuse (Χρήσεις γης), Excluded (Περιοχές εξαιρούμενες της αστικοποίησης), Urban (Αστική Κατάσταση), Transportation (Οδικές υποδομές), Hillshade (Σκίαση αναγλύφου) που απαιτούνται, προκειμένου να λειτουργήσει.

Αστική Χρήση	Τουλάχιστον 4 σύνολα, για ισάριθμες χρονικές στιγμές.
Χρήσεις Γης	Τουλάχιστον 2 σύνολα για την κάθε περίπτωση, τα οποία να αφορούν χρονικές στιγμές ίδιες με τού πρώτου και τού τελευταίου χρονικά συνόλου Αστικής Χρήσης.
Οδικό Δίκτυο	
Περιοχές Εξαίρεσης- Κλίση	Ένα σύνολο, ίδιο για όλες τις χρονικές περιόδους.
Σκίαση Αναγλύφου	Η πληροφορία αυτή είναι προαιρετική, και βοηθάει απλώς στην οπτικοποίηση. Αν υπάρχει, ένα σύνολο αφορά όλες τις χρονικές στιγμές.

Πίνακας 5-1: Απαιτούμενα επίπεδα πληροφορίας για εισαγωγή στο Sleuth (Ιδία επεξεργασία)

Τα δεδομένα των Χρήσεων Γης, της Αστικής Κατάστασης και των Οδικών Υποδομών είναι ιστορικά, δηλαδή αναφέρονται σε συγκεκριμένα έτη αναφοράς του παρελθόντος, ενώ τα στοιχεία των Κλίσεων, του Σκιασμένου Αναγλύφου, και της Εξαίρεσης, παραμένουν σταθερά. Αριθμητικά τα απαιτούμενα σύνολα (ή επίπεδα κατά την ορολογία των GIS) δεδομένων είναι τα εξής:

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή προέρχονται κυρίως:

➤ από την ψηφιοποίηση ιστορικών ασπρόμαυρων γεωαναφερμένων φωτομωσαϊκών ανάλυσης 1 μ., τα οποία καλύπτουν τμήμα της περιοχής μελέτης και χορηγήθηκαν από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης του Τομέα Τοπογραφίας της Σχολής ΑΤΜ για τα έτη 1960, 1972 και 1988,

➤ από την ψηφιοποίηση αφενός ασπρόμαυρων ορθοφωτοχαρτών ανάλυσης 1 μ. για το έτος 1997 και αφετέρου έγχρωμων ορθοφωτοχαρτών ίδιας ανάλυσης για το έτος 2011, οι οποίοι χορηγήθηκαν από το Τμήμα Τεχνικών Ελέγχων του ΟΠΕΚΕΠΕ (Οργανισμός

Πληρωμών και Ελέγχου Κοινοτικών Ενισχύσεων Προσανατολισμού και Εγγυήσεων) και καλύπτουν την περιοχή μελέτης.

➤ από το μη κερδοσκοπικό διεθνές project Openstreetmap, μέσω της ελεύθερης διάθεσης γεωχωρικών δεδομένων που αφορούν στη διάρθρωση του οδικού δικτύου της περιοχής του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Ηρακλείου για το έτος 2011 και τα οποία προσαρμόστηκαν κατά περίπτωση,

➤ από εικόνες υψηλής ανάλυσης, οι οποίες προέρχονται από τον Ιαπωνικό Τηλεπισκοπικό δέκτη ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), ανάλυσης 30 μ. και αφορούν στο Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Aster Global DEM) της περιοχής μελέτης.

➤ από τον ιστότοπο ελεύθερης διάθεσης γεωχωρικών δεδομένων της δημόσιας διοίκησης geodata.gov, τα οποία αναφέρονται κυρίως στις περιοχές Natura, στους αρχαιολογικούς χώρους, και στις υδάτινες επιφάνειες που εξήχθησαν για τις ανάγκες της περιοχής μελέτης.

Συνοπτικά, τα δεδομένα εισαγωγής στο Sleuth αναφορικά με τα αντίστοιχα έτη ελέγχου απεικονίζονται πινακοποιημένα ως εξής:

Επίπεδα εισαγωγής	Έτη ελέγχου				
Αστική επέκταση (Urban)	1960	1972	1988	1997	2011
Χρήσεις γης (Landuse)	1960	1972			2011
Οδικές υποδομές (Transportation)	1960	1972			2011
Εξαιρούμενες περιοχές (Excluded)	Βάσει του έτους 2011+περιοχές Natura				
Κλίση (Slope)	Συνεχής και χωρίς αλλαγές για όλη την περίοδο				
Σκίαση αναγλύφου (Hillshade)	Μόνο για λόγους οπτικοποίησης				

Πίνακας 5-2: Δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο Sleuth στην περιοχή του Π.Σ. Ηρακλείου (Ιδία Επεξεργασία)

Η προετοιμασία και επεξεργασία των δεδομένων εισαγωγής στο μοντέλο Sleuth πραγματοποιήθηκε με χρήση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS). Η χρήση ΓΠΣ συνίσταται στην παραγωγή, ταξινόμηση και μορφοποίηση των απαιτούμενων επιπέδων πληροφορίας. Εκτός κι εάν σημειώνεται διαφορετικά, για την επεξεργασία όλων των δεδομένων χρησιμοποιήθηκε το Λογισμικό ArcGIS 10.1 της Esri.

Τα ιστορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να σκιαγραφηθεί χωροχρονικά η αστική ανάπτυξη στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου, επεξεργάστηκαν και μετασχηματίστηκαν κατάλληλα πριν την εισαγωγή τους στο μοντέλο. Το σύστημα συντεταγμένων εργασίας ήταν το ΕΓΣΑ 87, κι όλα τα δεδομένα μετασχηματίστηκαν στο σύστημα αυτό, ανεξάρτητα του όποιου αρχικού ήταν, με χρήση του ίδιου τού ArcGIS.

Μετά την ορθή ταξινόμηση κάθε τύπου δεδομένων, ακολούθησε η χωρική αποκοπή, ώστε να υπάρχουν στοιχεία μόνο για την περιοχή σχήματος ορθογώνιου παραλληλογράμμου που

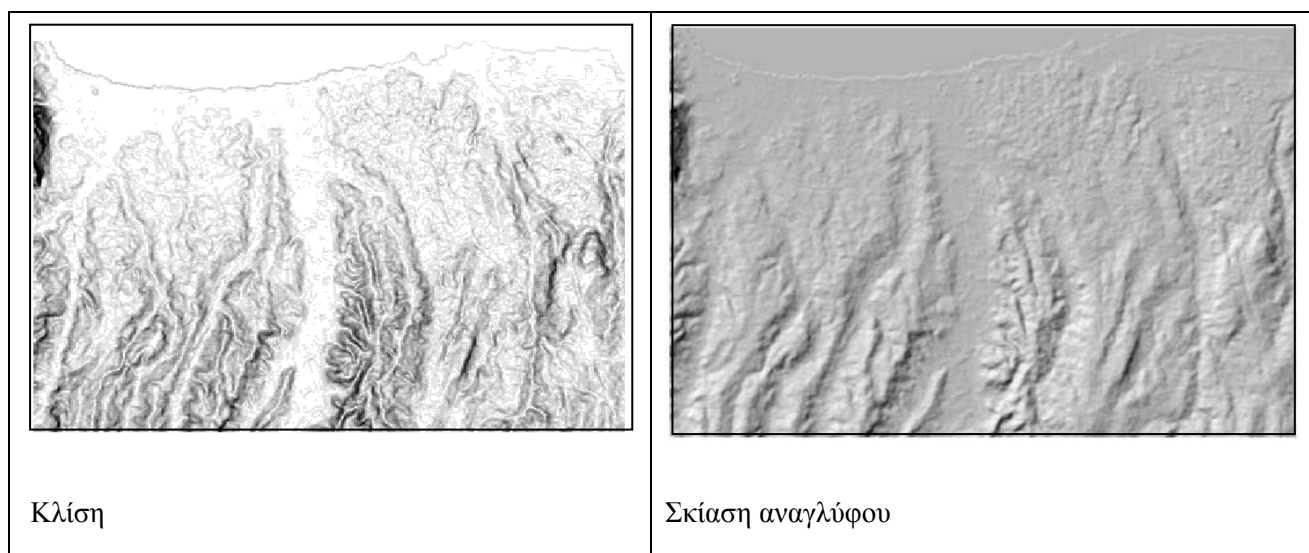
είχε επιλεγεί. Τα δεδομένα μετατράπηκαν όλα σε raster μορφή, με μέγεθος pixel ίσου προς 30m x 30m. Η ανάλυση αυτή επιλέχθηκε λαμβάνοντας υπόψη το μέγεθος της περιοχής, την εκτίμηση για τον απαιτούμενο χρόνο επεξεργασίας, την χωρική ανάλυση των διαθέσιμων δεδομένων, καθώς και τις ανάγκες για την αξιοποίηση των προϊόντων στοιχείων. Ας σημειωθεί πως όλα τα πηγαία δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν σε vector μορφή, με μόνη εξαίρεση τα στοιχεία υψομέτρων, τα οποία ήταν σε μορφή raster, ανάλυσης 30m.

Στο τελικό στάδιο, όλα τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο μετατράπηκαν σε εικόνες μορφής gif στην κλίμακα του γκρι, με τιμές κελιών μεταξύ 0 και 255 και την τιμή 0 να αντιπροσωπεύει μηδενική ή μη υπαρκτή τιμή. Όλες οι εικόνες είχαν μέγεθος $445 \times 300 = 135.000$ εικονοστοιχείων, αναφέρονταν στην ίδια ακριβώς περιοχή, ενώ χρησιμοποιήθηκε συγκεκριμένη ονοματοδοσία για αυτές, απαραίτητη για να εκτελεστεί ο κώδικας του μοντέλου.

Στις ακόλουθες υποενότητες αναπτύσσονται διεξοδικά τα δεδομένα εισαγωγής που χρησιμοποιήθηκαν.

5.1.1 Τοπογραφική κλίση (Slope)- Σκίαση αναγλύφου (Hillshade)

Η κλίση ως δεδομένο εισόδου στο μοντέλο εξήχθη από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) Aster Global DEM ανάλυσης 30 μ. κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας μέσω της εργαλειοθήκης Spatial Analyst (Surface→Slope) του Λογισμικού ArcGIS. Η κλίση υπολογίστηκε σε ποσοστό επί τοις εκατό (%) και όχι σε βαθμούς και το εύρος τιμών της ήταν μεταξύ 0-100. Για τις τιμές της κλίσης που προέκυψαν κατά τη μετατροπή από το ΨΜΕ και βρέθηκαν μεγαλύτερες του 100, έγινε επαναταξινόμησή τους (Spatial Analyst→Reclassification) στην τιμή 100.



Εικόνα 5-1: Κλίση και σκίαση αναγλύφου ως δεδομένα εισαγωγής στο Sleuth για το Π.Σ. Ηρακλείου (Ιδία επεξεργασία)

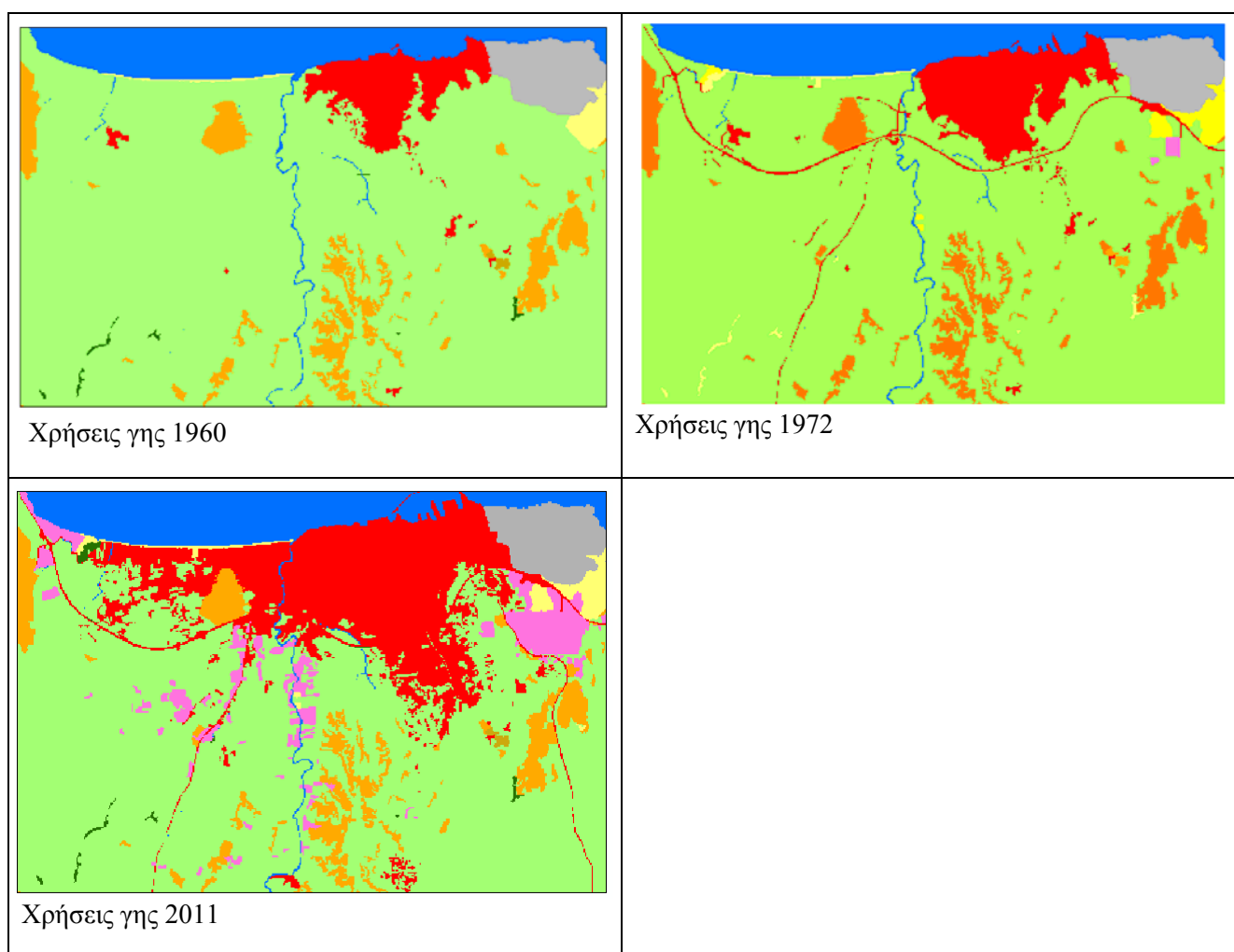
Το επίπεδο της σκίασης ανάγλυφου ενσωματώνεται στο μοντέλο, προκειμένου να δοθεί χωρική διάσταση στα δεδομένα αστικής χρήσης και επακόλουθα άλλων χρήσεων γης που οπτικοποιούνται. Όπως και στην περίπτωση της κλίσης, η σκίαση του ανάγλυφου εξήχθη από το Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (ΨΜΕ) Aster Global DEM ανάλυσης 30 μ. κατόπιν

κατάλληλης επεξεργασίας μέσω της εργαλειοθήκης Spatial Analyst (Surface→Hillshade) του Λογισμικού ArcGIS.

5.1.2 Χρήσεις γης (Landuse)

Οι χρήσεις γης αποτελούν ένα χρήσιμο δεδομένο για την προσαρμογή του μοντέλου στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της εκάστοτε περιοχής μελέτης. Κάθε τιμή στην κλίμακα του γκρι αντιστοιχεί σε μια μοναδική κλάση κάλυψης γης. Αναφορικά με τις χρήσεις γης για την περιοχή μελέτης, οι ελάχιστες απαιτούμενες από το μοντέλο αφορούν σε τρία (3) έτη ελέγχου.

Για τη *Βαθμονόμηση_1* και τη *Βαθμονόμηση_2_5_έτη* χρησιμοποιήθηκαν οι χρήσεις γης 1960 και 2011, για το πρώτο και τελευταίο έτος αναφοράς αντίστοιχα, ενώ για τη *Βαθμονόμηση_3*, η οποία διαφοροποιείται ως προς το πρώτο έτος αναφοράς, χρησιμοποιήθηκε το επίπεδο των Χρήσεων γης 1972.



Εικόνα 5-2: Χρήσεις γης ως δεδομένα εισαγωγής στο Sleuth για το Π.Σ. Ηρακλείου (Ιδία επεξεργασία)

Για το έτος 1960, η εξαγωγή των χρήσεων γης προέκυψε με χρήση φωτοερμηνείας και ειδικών φωτοερμηνευτικών κλειδιών μέσω της ψηφιοποίησης ασπρόμαυρων φωτομωσαϊκών ανάλυσης 1 μ., τα οποία χορηγήθηκαν από το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης, όπως έχει αναφερθεί. Συνολικά προέκυψαν 8 κλάσεις, με την τιμή 1 να αντιστοιχεί στην αστική κάλυψη και να ακολουθούν η αγροτική, οι εκτάσεις βοσκοτόπων, οι δασικές εκτάσεις, οι υδάτινες

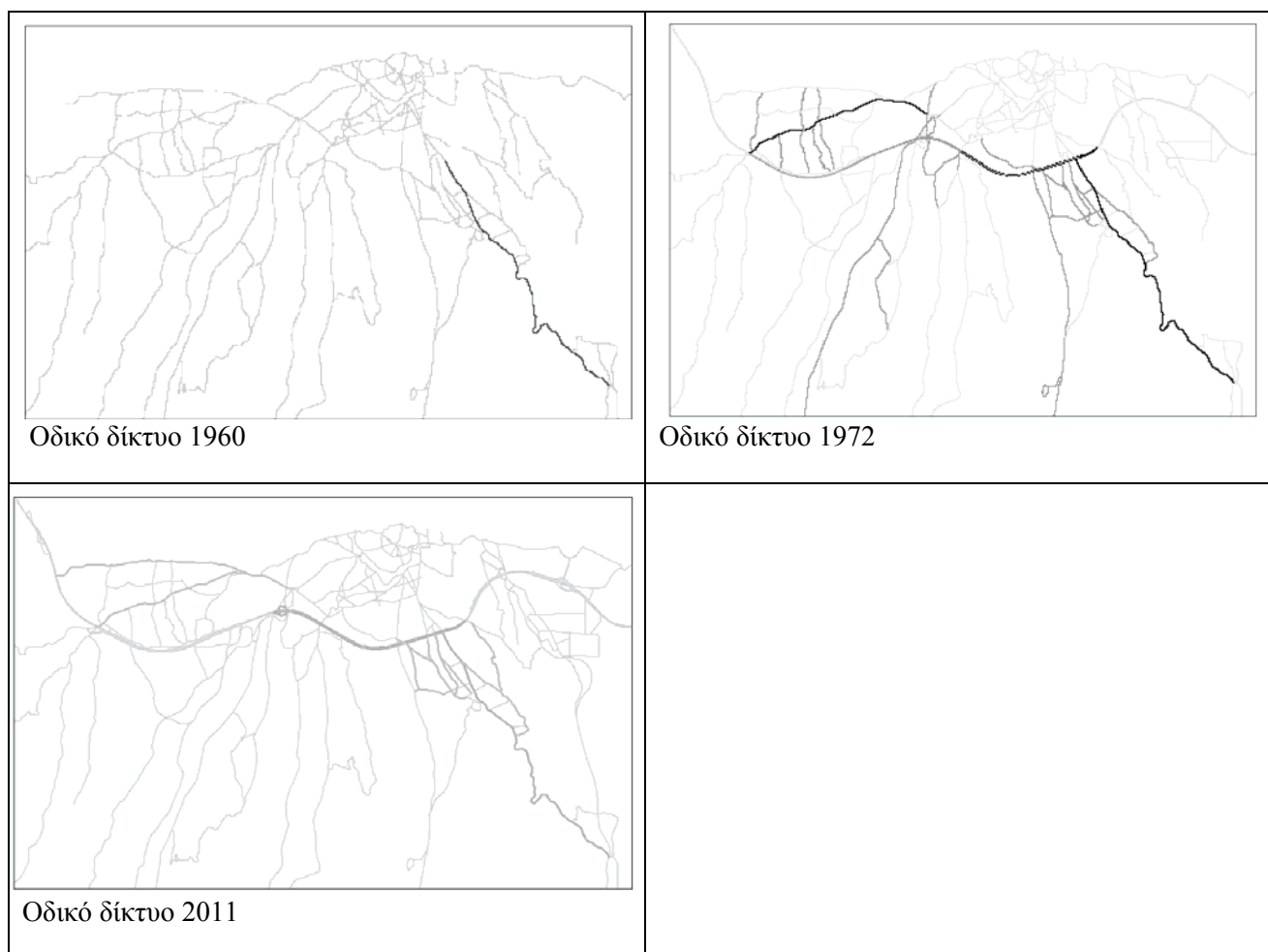
επιφάνειες, ο αρχαιολογικός χώρος της Κνωσού, οι άγονες εκτάσεις και τέλος η περιοχή του αεροδρομίου. Μια παραδοχή που έγινε σχετικά με την κατηγοριοποίηση αυτή είναι ότι ο αστικός ιστός μελετήθηκε ως ενιαίος περιλαμβάνοντας τόσο τον συνεχή, όσο και τον μη συνεχή.

Για το έτος 1972 η εξαγωγή των χρήσεων γης πραγματοποιήθηκε με τρόπο ανάλογο με τις αντίστοιχες του έτους 1960, μέσω ασπρόμαυρων φωτομωσαϊκών ανάλυσης 1μ. Οι κλάσεις των χρήσεων γης διαφοροποιούνται σε αυτή την περίπτωση, καθώς την οκταετία 1965-1973 τέθηκε σε εφαρμογή το θεσμικό πλαίσιο για τις ΒΙ.ΠΕ., οπότε στις ήδη υπάρχουσες κλάσεις προστίθεται και αυτή που αφορά στη ΒΙ.ΠΕ Ηρακλείου.

Για το έτος 2011 χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμοι γεωαναφερμένοι ορθοφωτοχάρτες ανάλυσης 1 μ., οι οποίοι χορηγήθηκαν από τον ΟΠΕΚΕΠΕ και οι κλάσεις γης προέκυψαν όπως και προηγουμένως, μέσω ψηφιοποίησης.

5.1.3 Οδικό δίκτυο (Transportation)

Η ενσωμάτωση των υποδομών οδικού δικτύου στο μοντέλο προσομοιώνει την τάση της αστικής εξάπλωσης να έλκεται προς περιοχές αυξημένης προσβασιμότητας, με αποτέλεσμα το οδικό δίκτυο να επηρεάζει σε μεγάλο βαθμό την ανάπτυξη μιας περιοχής.



Εικόνα 5-3: Δεδομένα οδικού δικτύου στο Sleuth για το Π.Σ. Ηρακλείου (Ιδία επεξεργασία)

Για να συμπεριληφθεί αυτή η επίδραση στη διαδικασία της βαθμονόμησης, χρησιμοποιούνται διάφορα επίπεδα οδικού δικτύου, τα οποία μεταβάλλονται στη διάρκεια του χρόνου. Όπως και στην περίπτωση του επιπέδου των χρήσεων γης, για τις δύο πρώτες βαθμονομήσεις χρησιμοποιήθηκαν τα επίπεδα του οδικού δικτύου για τα έτη 1960 και 2011, ενώ για στην τρίτη, το επίπεδο για το έτος 1960 αντικαταστάθηκε με αυτό του 1972.

Η διαφοροποίηση των τάξεων του οδικού δικτύου, υπό την έννοια της θελκτικότητας της αστικοποίησης αναγνωρίζεται από το μοντέλο, ανάλογα με τη διαβάθμιση των τόνων στην κλίμακα του γκρι. Για το λόγο αυτό και χρησιμοποιώντας, τόσο τις εικόνες της αστικής χρήσης, όσο και χαρτογραφικό, αλλά και πληροφοριακό υλικό από το διαδίκτυο σχετικά με τη διάρθρωση του οδικού δικτύου, αποδόθηκαν βάρη σε συγκεκριμένα τμήματά του διαχωρίζοντας το σε αντίστοιχες κατηγορίες.

Για την περιοχή μελέτης έγινε χρήση των δεδομένων οδικού δικτύου των ετών 1960, 1972 και 2011, τα οποία προέκυψαν αφενός μέσω ψηφιοποίησης ασπρόμαυρων φωτομωσαϊκών των ετών 1960 και 1972, ενώ για το 2011 έγινε χρήση των δεδομένων οδικού δικτύου από το Openstreetmap, τα οποία διορθώθηκαν κατά περίπτωση με βάση την αλληλεπίθεσή τους με τους έγχρωμους ορθοφωτοχάρτες του ίδιου έτους. Η πιο ουσιαστική διαφορά στο μεσοδιάστημα αυτό ήταν η κατασκευή του Βόρειου Οδικού Άξονα Κρήτης (Β.Ο.Α.Κ.), ο οποίος αποτυπώνεται στις εικόνες του 1972 και 2011, καθότι το 1960 δεν είχε ακόμα κατασκευαστεί.

Για την κατηγοριοποίηση του οδικού δικτύου στην εικόνα του 1960 ορίστηκαν δύο κλάσεις, με το τμήμα του οδικού δικτύου με κατεύθυνση προς την Κνωσό να έχει την υψηλότερη διαβάθμιση στην κλίμακα του γκρι προσομοιώνοντας με αυτό τον τρόπο την αστική χρήση σε αυτή τη διεύθυνση.

Για την εικόνα του 1972, οπότε και έχει ήδη αρχίσει να κατασκευάζεται ο Β.Ο.Α.Κ. και πλέον γίνεται εμφανής η τάση της αστικοποίησης στην κατεύθυνση ανατολής- δύσης, αλλά και νότια- νοτιοανατολικά, τρεις κλάσεις κρίθηκαν πιο αντιπροσωπευτικές ως προς τη μεταβολή της διαβάθμισης. Η υψηλότερη περιλαμβάνει το τμήμα του οδικού δικτύου με κατεύθυνση προς την Κνωσό, τμήμα του Β.Ο.Α.Κ., εκατέρωθεν των Λ. Αγ. Ιωάννη και Ερμής, καθώς και τμήμα της ΠΕ090 προς το Γάζι. Η αμέσως επόμενη περιελάμβανε τις οδούς Παπαναστασίου και Ούλωφ Πάλμε, την Ε.Ο. Ηρακλείου- Φαιστού και τμήμα του Β.Ο.Α.Κ. προς το Γάζι. Τέλος, στη χαμηλότερη διαβάθμιση εντάσσονται κυρίως τμήματα του οδικού δικτύου εντός των τειχών, είτε προς τα Λινοπεράματα, την περιοχή του Αεροδρομίου και τη ΒΙ.ΠΕ Ηρακλείου, περιοχές που εξαιρούνται της αστικοποίησης.

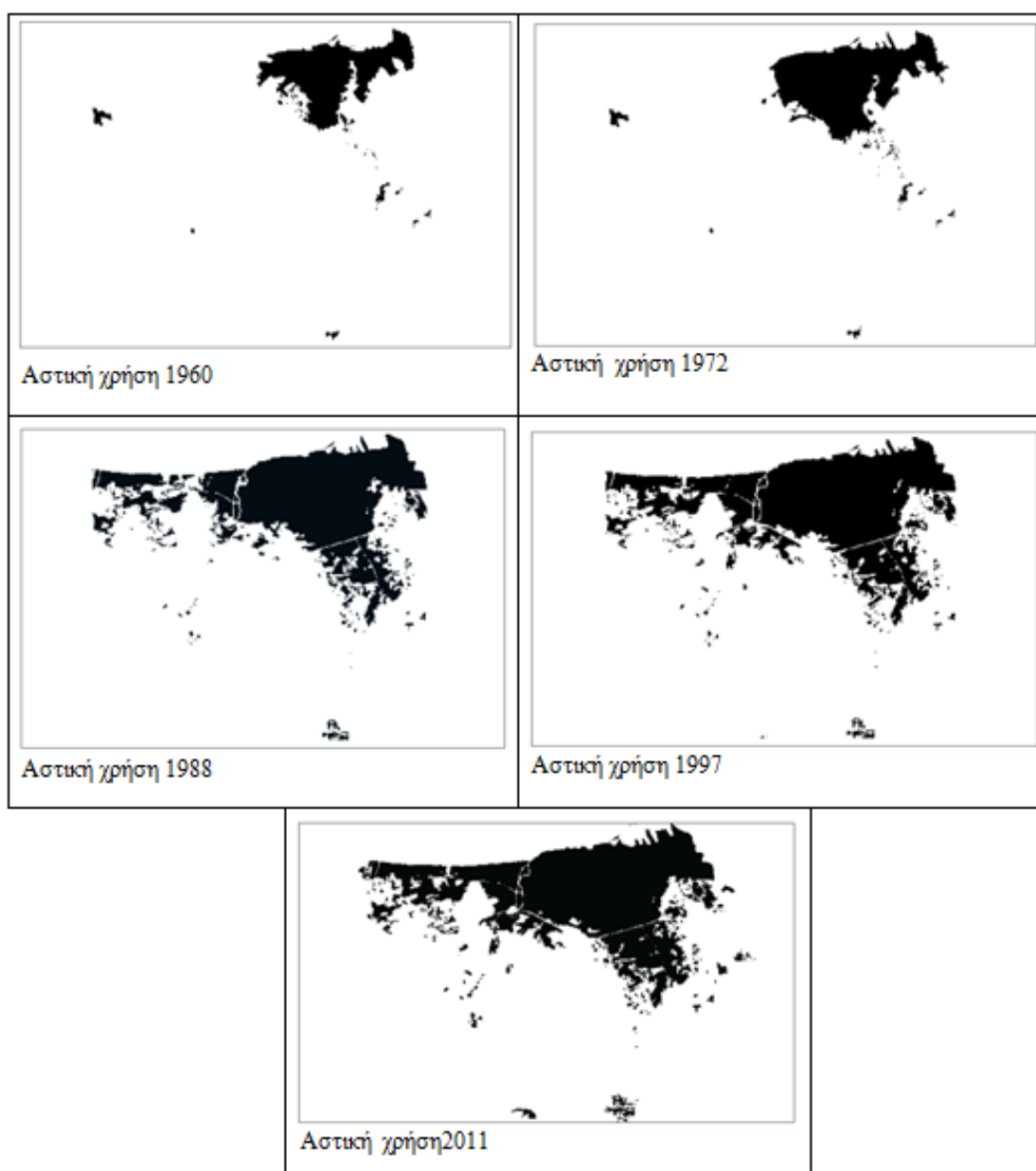
Για την εικόνα του 2011 ορίστηκαν επίσης τρεις κλάσεις. Η υψηλότερη περιλαμβάνει το τμήμα του Β.Ο.Α.Κ. από την Αρχελάου έως την Παναγιωτάκη και το τμήμα της Λεωφόρου Κνωσσού από τη συμβολή της με τον Β.Ο.Α.Κ. έως την Κνωσό. Το τελευταίο έχει παρατηρηθεί χωροχρονικά ότι έλκει μεγάλο μέρος της αστικοποίησης. Η αμέσως χαμηλότερη κλάση ορίζεται αφενός από τις οδούς εκατέρωθεν της Λ. Κνωσσού, δηλ. τις Παπαναστασίου, Ερμή και τις οριζόντιες διασταυρώσεις τους και αφετέρου από το τμήμα της Παλιάς Εθνικής Π.Ε. 090 που περνά μέσα από το Γάζι και διασταυρώνεται με την εθνική οδό 97, αλλά και η Λ. Α. Παπανδρέου, κατά μήκος της οποίας αναπτύσσεται όλο το βόρειο μέτωπο του Πολεοδομικού Συγκροτήματος. Τέλος, στη χαμηλότερη διαβάθμιση περιλαμβάνονται όλα τα τμήματα του οδικού τμήματος για το έτος ελέγχου 2011, τα οποία

ασκούν μικρή επιρροή στην έλξη της αστικής ανάπτυξης κατά μήκος τους, όπως οι περιοχές που όπως προαναφέρθηκε, εξαιρούνται της αστικοποίησης.

Για την ορθότερη ενσωμάτωση των δεδομένων οδικού δικτύου στο μοντέλο θα έπρεπε να υπάρχει κι ένα επιπλέον σύνολο, αναφερόμενο στη χρονιά λειτουργίας του ΒΟΑΚ κι αντίστοιχα σύνολα που να αφορούν όλες τις υπόλοιπες μεγάλες αλλαγές, τόσο στο οδικό δίκτυο, όσο και στις χρήσεις γης. Ωστόσο, στη συγκεκριμένη έκδοση, το Sleuth δε δέχεται πάνω από 2 σύνολα δεδομένων ανά περίπτωση, με αποτέλεσμα η ύπαρξη/ μη ύπαρξη του ΒΟΑΚ να μη λαμβάνεται αρκετά σωστά στο μοντέλο.

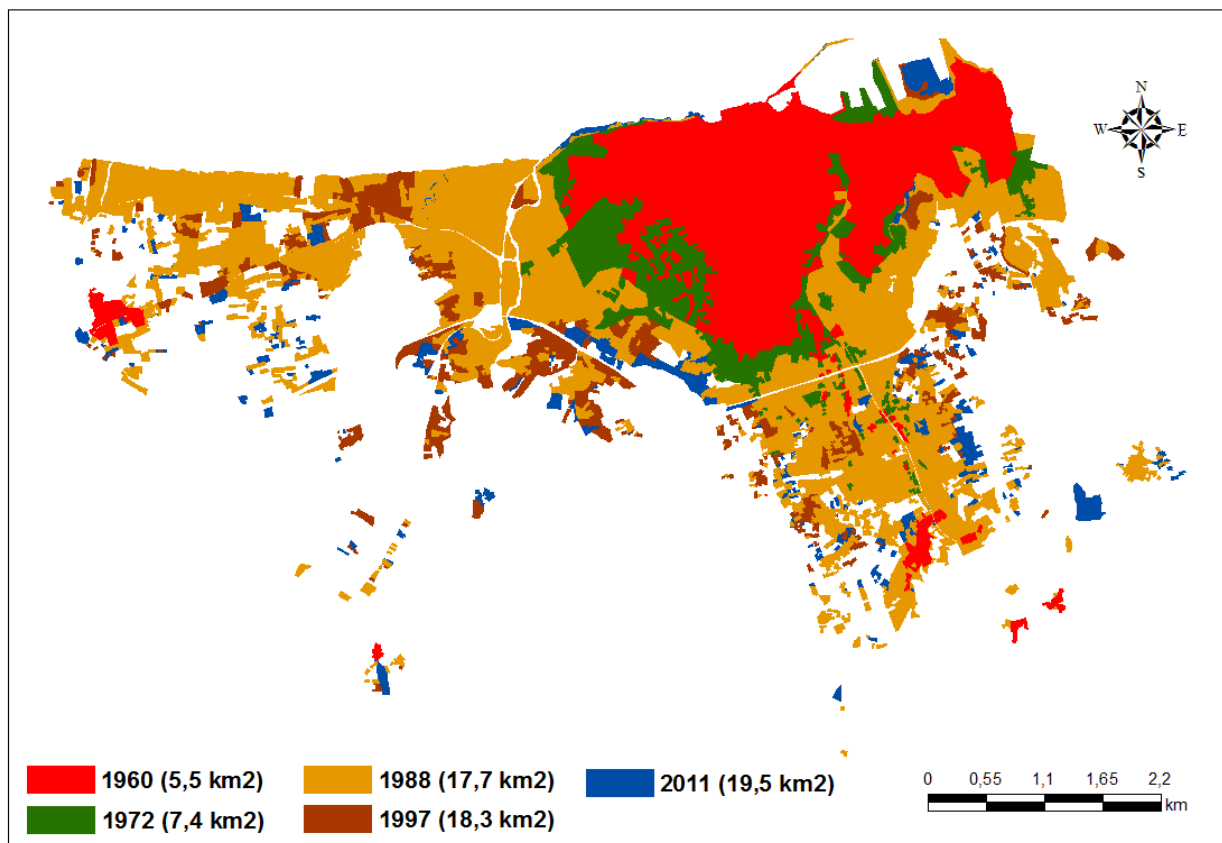
5.1.4 Περιοχές αστικής χρήσης (Urban)

Η απεικόνιση της αστικής επέκτασης και η μεταβολή της στο χρόνο αποτελούν ένα από τα σημαντικότερα δεδομένα, τόσο για τη βαθμονόμηση, όσο και για την πρόβλεψη του μοντέλου.



Εικόνα 5-4: Δεδομένα αστικής κάλυψης στο Π.Σ. Ηρακλείου (Ιδία επεξεργασία)

Κατά αντιστοιχία, αναφορικά με τα δεδομένα εισόδου για την περιοχή μελέτης, χρησιμοποιήθηκε ως έτος βάσης το 1960, για το οποίο η αστική εξάπλωση προέκυψε μέσω ψηφιοποίησης ασπρόμαυρων φωτομωσαϊκών, ενώ ως έτη ελέγχου ορίστηκαν τα έτη 1972, 1988, 1997 και 2011, τα οποία συνολικά αριθμούν περισσότερα από τα κατά ελάχιστον απαιτούμενα, οπότε μεταβάλλοντας το σύνολο των δεδομένων αυτών ως προς το πλήθος τους, ορίστηκαν οι διαφορετικές βαθμονομήσεις. Και για τα έτη αυτά η κάλυψη προέκυψε μέσω της ίδιας διαδικασίας. Επιπρόσθετα, και μόνο για το έτος 2011, χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμοι ορθοφωτοχάρτες.



Εικόνα 5-5: Ποσοτικοποίηση της αστικής ανάπτυξης στο Π.Σ. Ηρακλείου για τη χρονική περίοδο 1960-2011 με βάση τα δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο (Ιδία επεξεργασία)

Με βάση τα δεδομένα αστικής χρήσης που εισήχθησαν στο μοντέλο, και καλύπτουν τη χρονική περίοδο 1960-2011, και κατόπιν κατάλληλης επεξεργασίας τους, προέκυψε η παραπάνω εικόνα ποσοτικοποίησης της αστικής ανάπτυξης για το χρονικό διάστημα που αναφέρθηκε. Με χρήση του λογισμικού ArcGIS έγινε αλληλεπίθεση των επιπέδων αστικής χρήσης των αντίστοιχων στιγμιότυπων της εικόνας 5-5 και υπολογίστηκε η επιφάνεια κάθε επιπέδου σε τετρ. χλμ.

Κατά το αρχικό έτος ελέγχου 1960 η έκταση της αστικής κάλυψης στο Π.Σ. Ηρακλείου ήταν μόλις 5,5 τετρ. χλμ και περιελάμβανε κυρίως τον αστικό ιστό γύρω από την πόλη του Ηρακλείου. Η πόλη επεκτείνεται εκ νέου το 1972 φθάνοντας τα 7,4 τετρ. χλμ και αναπτύσσεται κυρίως "στα άκρα" έξω από την επιφάνεια που κατελάμβανε το 1960. Παράλληλα, διαφαίνεται μια μικρή τάση ανάπτυξης προς τα νότια και συγκεκριμένα κατά μήκος της Λεωφόρου Κνωσού. Δεκαέξι (16) χρόνια αργότερα, το 1988 καταγράφεται η μεγαλύτερη αύξηση της επιφάνειας της αστικής κάλυψης, η οποία είναι πλέον 17,7 τετρ. χλμ. επεκτεινόμενη στον άξονα Ανατολής- Δύσης και νοτιοανατολικά προς τον αρχαιολογικό

χώρο της Κνωσσού. Το "σχήμα" της ανάπτυξης προσομοιάζει με τη σημερινή εικόνα του Π.Σ. Ηρακλείου, ενώ ο ρυθμός μεταβολής κατά τη συγκεκριμένη περίοδο είναι ο μεγαλύτερος που καταγράφεται σε όλο το διάστημα των πενήντα ενός (51) ετών της ανάπτυξης. Το 1997 η επιφάνεια της αστικής χρήσης είναι 18,3 τετρ. χλμ., ενώ κατά το τελευταίο έτος 2011 φθάνει σχεδόν τα 20 τετρ. χλμ., είτε καλύπτοντας ορισμένα "κενά", είτε ακολουθώντας την ανάπτυξη κατά μήκος κυρίως των υπαρχόντων οδικών αρτηριών.

5.2 Διαδικασία εφαρμογής του μοντέλου Sleuth

Για την εφαρμογή του μοντέλου αστικής ανάπτυξης SLEUTH ακολουθούνται συγκεκριμένες διαδικασίες μέσω μιας προδιαγεγραμμένης ακολουθίας, ενώ οι παράμετροι για τους διάφορους παράγοντες που επηρεάζουν την εξαγόμενη μοντελοποίηση της ανάπτυξης τίθενται προκαταβολικά. Αυτό επιτρέπει στο μοντέλο να βαθμονομήσει τις διάφορες λειτουργίες του με τη χρήση των κατάλληλων παραμέτρων που επιτρέπουν την εξαγωγή των αναμενόμενων μοντελοποιημένων αποτελεσμάτων.

Η εκτέλεση του λογισμικού πραγματοποιείται μέσα από περιβάλλον γραπτών εντολών (terminal) του Linux. Τα σενάρια, οι παράμετροι δηλαδή της εκτέλεσης είναι απλά αρχεία κειμένου (text), τα οποία πρέπει να ακολουθούν μια συγκεκριμένη μορφοποίηση (human-readable), η οποία καθορίζεται από το ίδιο το Sleuth.

5.2.1 Ρυθμίσεις και λειτουργίες του μοντέλου

Η εφαρμογή του μοντέλου Sleuth αφορά στη μοντελοποίηση, αφενός της αστικής ανάπτυξης για μια περιοχή μελέτης και αφετέρου, των μεταβολών των μη αστικών χρήσεων γης. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιείται η κύρια ρύθμιση του Sleuth, το μοντέλο αστικής ανάπτυξης Clarke (UGM), ενώ για τη δεύτερη υπάρχει ένα πρόσθετο, το μοντέλο deltatron (deltatron model). Το UGM λειτουργεί ανεξάρτητα από τις μεταβολές των χρήσεων γης, σε αντίθεση με το deltatron, το οποίο καθοδηγείται και λειτουργεί παράλληλα με το UGM.

Στην περίπτωση της παρούσας εργασίας το μοντέλο UGM χρησιμοποιήθηκε παράλληλα με το deltatron, οπότε ενσωματώθηκαν στα αρχεία σεναρίου και δεδομένα χρήσεων γης για τα έτη 1960, 1972 και 2011.

Αναφορικά με τις λειτουργίες, το Sleuth απαρτίζεται από τις εξής τρεις: 1) τη δοκιμή (test), 2) τη βαθμονόμηση (calibration) και 3) την πρόβλεψη (prediction). Η έναρξη κάθε λειτουργίας πραγματοποιείται μέσω ενός αρχείου κειμένου, που ονομάζεται αρχείο σεναρίου (scenario file), στο οποίο είναι γραμμένες οι πληροφορίες (π.χ. ποια αρχεία θα χρησιμοποιηθούν) για την εκτέλεση του μοντέλου, παρέχοντας ταυτόχρονα τη δυνατότητα να τεθεί ένα πλήθος παραμέτρων ελέγχου. Το αρχείο σεναρίου επιτρέπει με αυτό τον τρόπο στο χρήστη να ενεργοποιήσει ή απενεργοποιήσει επιλεκτικά συγκεκριμένες ρυθμίσεις στον κώδικα, προκειμένου να παραχθούν διάφορα επιπρόσθετα εξαγόμενα στοιχεία για μια λειτουργία, ή ακόμα και να ορίσει το χρώμα για διαφορετικές τιμές των εξαγόμενων κελιών, όσον αφορά δε τη μοντελοποίηση ή μη των μεταβολών των χρήσεων γης, αυτό εξαρτάται απλά από την αναφορά των συγκεκριμένων δεδομένων εισόδου στο αρχείο σεναρίου.

5.2.2 Εγκατάσταση Cygwin για προσομοίωση σε περιβάλλον Windows

Το μοντέλο Sleuth έχει σχεδιαστεί για να εκτελείται σε περιβάλλον Linux, λόγω όμως της ευρείας χρήσης του λειτουργικού συστήματος των Windows, υπάρχει η δυνατότητα εγκατάστασης του Cygwin, ενός προσομοιωτή του UNIX στα Windows. Το Cygwin είναι μια συλλογή εργαλείων που, μέσω των βιβλιοθηκών και υπηρεσιών που διαθέτει, παρέχει τη δυνατότητα στο χρήστη να έχει πρόσβαση στους πόρους ενός συστήματος Windows, μέσα από ένα περιβάλλον που ομοιάζει σε UNIX.

Πρόκειται για λογισμικό ελεύθερου κώδικα, το οποίο παρέχεται δωρεάν μέσω της αρχικής σελίδας <http://www.cygwin.com>, στην οποία περιλαμβάνονται σύνδεσμοι για μεταφόρτωση και εγκατάσταση, μια υπάρχουσα λίστα ιστοχώρων προς επιλογή κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, κατάλληλη για κάθε περιοχή, ένας οδηγός χρήστη, ένα περιβάλλον διεπαφής (API interface), λίστες και αρχεία καθώς και επιπρόσθετο μεταφερόμενο λογισμικό. Το Cygwin μπορεί να εκτελεστεί σε όλες τις τελευταίες 32 bit εκδόσεις των Windows, οι οποίες μέχρι τη στιγμή που γράφεται το παρόν κείμενο, αφορούν στα Windows 2000, Windows XP, Windows Server 2003, Windows Vista, Windows Server 2008, Windows 7, καθώς επίσης και στο 32 bit περιβάλλον WOW64 των 64 bit εκδόσεων των Windows που έχουν κυκλοφορήσει (XP/2003/Vista/2008/7/2008R2).

Τα πακέτα (packages) που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εφαρμογή είναι τα: `gcc`, `gdb` και `make`. Αναλυτικές οδηγίες εγκατάστασης του λογισμικού και των αντίστοιχων πακέτων περιέχονται στο Παράρτημα Δ.

5.2.3 Μεταφόρτωση (download) και μεταγλώττιση (compilation) του μοντέλου

Για τη συγκεκριμένη εφαρμογή χρησιμοποιήθηκε η έκδοση SLEUTH3.0beta_p01 LINUX released 6/2005, η οποία μεταφορτώθηκε από την ιστοσελίδα του Project Gigalopolis (<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/Dnload/download.htm>).

Το συμπίεμένο με κατάληξη *.tar.gz αρχείο αποτελείται από τη συνένωση πολλών αρχείων και φακέλων και περιλαμβάνει, όπως ήδη αναφέρθηκε, εκτός από το βασικό μοντέλο UGM και το deltatron, τον κώδικα γραμμένο στη γλώσσα C, τις βιβλιοθήκες, και ένα δείγμα σετ δεδομένων, το demo_city. Στην εικόνα που ακολουθεί, αποδίδεται σχηματικά η δομή του φακέλου του αρχείου μετά τη μεταφόρτωση.

Αναλύοντας την παρακάτω δομή, στους φακέλους που απεικονίζονται αποθηκεύονται τα απαραίτητα για την εκτέλεση του Sleuth αρχεία, ως εξής:

Ο GD είναι ο φάκελος για ένα πρόγραμμα που καλείται GD και διαχειρίζεται αρχεία σε μορφή GIF.

Στο φάκελο Input και μέσα σε υποφακέλους αποθηκεύονται τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο.

Στο φάκελο Output (μέσα σε υποφακέλους) εξάγονται όλα τα αρχεία που παράγονται κατά την εκτέλεση του κάθε αρχείου σεναρίου, ανάλογα με τα προαπαιτούμενα που ο χρήστης έχει θέσει, για τις τρεις λειτουργίες του μοντέλου (test, calibration, forecast).

Στο φάκελο Scenarios αποθηκεύονται τα αρχεία σεναρίου.

➤ Ομοίως, ο Whirlgif είναι ο φάκελος για ένα πρόγραμμα που καλείται Whirlgif και διαχειρίζεται αρχεία σε μορφή GIF.

```
SLEUTH3.0beta:      root directory and SLEUTH3.0beta
                    source code
|
|--GD*:             GD image libraries
|
|--Input**:        input files
|   |--demo50:     demo_city coarse calibration files
|   |--demo100:    demo_city fine calibration files
|   |--demo200:    demo_city final calibration files
|
|--Output**:       where all SLEUTH3.0beta out files
                    will be directed
|
|   |--demo200_land_test /* test run w/ land cover
|   |--demo200_test     /* test run w/o land cover
|   |--demo50           /* coarse calibration
|   |--demo100          /* fine calibration
|   |--demo200          /* final calibration
|   |--derive           /* coefficients for
|                       prediction are derived
|   |--predict          /* prediction with land cover
|   |--preNoland        /* prediction w/o land cover
|
|--Scenarios:      scenario files that control model
                    execution
|
|--Whirlgif**:     gif compiler libraries for creating
                    animated gifs

path defined in SLEUTH3.0beta/Code/Makefile
*path defined in SLEUTH3.0beta/Scenarios/ scenario.* files
```

Εικόνα 5-6: Σχηματική απεικόνιση της δομής του καταλόγου της έκδοσης SLEUTH3.0beta (Πηγή: Project gígalopolis, <http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/Imp/imVerDirStruct.htm>, πρόσβαση 20-6-2013)

Τέλος, υπάρχουν πολλά ακόμα αρχεία με καταλήξεις .o, .h, .c, τα οποία αποτελούν πηγαία αρχεία του Sleuth και είναι απαραίτητα για την δημιουργία των εκτελέσιμων (compiling) τού προγράμματος.

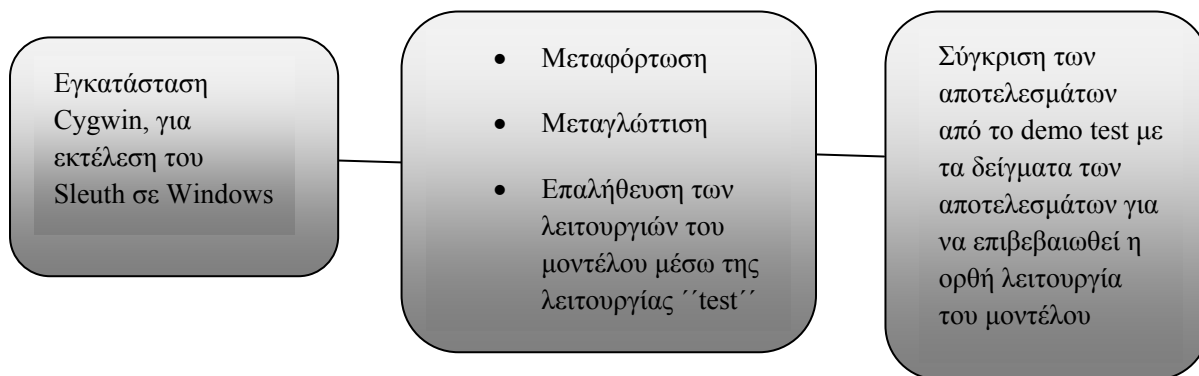
Για την εκτέλεση του λογισμικού SLEUTH απαιτείται η δημιουργία των εκτελέσιμων αρχείων από τα παρεχόμενα αρχεία με τον κώδικα σε γλώσσα C. Η δημιουργία αυτή μπορεί να γίνει με χρήση ενός compiler σαν το gcc, και για την αυτοματοποίηση της διαδικασίας παρέχονται επίσης τα σχετικά makefiles.

5.2.4 Επαλήθευση της εκτέλεσης του μοντέλου

Το αρχικό βήμα πριν τη βαθμονόμηση του μοντέλου είναι η επαλήθευση των σετ δεδομένων και η αρχική ανταπόκριση στα δεδομένα εισόδου (λειτουργία 'test'), προκειμένου να ελεγχθεί εάν εναρμονίζονται με τις προδιαγραφές των δεδομένων εισόδου. Χωρίς αυτή την αρχική δοκιμή, μέσω της οποίας εντοπίζονται πιθανά χονδροειδή ή συστηματικά σφάλματα, το μοντέλο θα μπορούσε να εκτελείται για μέρες χωρίς νόημα κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης, με αποτέλεσμα να χαθεί πολύτιμος χρόνος.

Για το σκοπό αυτό κρίνεται δόκιμο να εκτελείται καταρχήν το μοντέλο στη λειτουργία "test", σε όλες τις διαφορετικές αναλύσεις, και να επαληθεύονται, τόσο τα στατιστικά αρχεία, όσο και οι διαφορετικές εικόνες GIF που παράγονται. Μόλις ολοκληρωθεί η λειτουργία "test", η επόμενη φάση είναι αυτή της βαθμονόμησης, η οποία αποτελεί ουσιαστικά το σημαντικότερο βήμα για την επιτυχία των προβλέψεων του μοντέλου (Silva & Clarke, 2002, σελ 531)

Σχηματικά, τα βήματα που παρουσιάστηκαν στις προηγούμενες παραγράφους συνοψίζονται στην παρακάτω εικόνα:



Εικόνα 5-7: Διαδικασία εφαρμογής Sleuth πριν τη βαθμονόμηση (Ιδία επεξεργασία)

5.3 Βαθμονόμηση του μοντέλου Sleuth

Η λειτουργία της βαθμονόμησης του Sleuth αποτελεί την πιο σημαντική φάση για την επιτυχία των προβλέψεων. Αποφασίζει "δοθείσας μιας αρχικής εικόνας αστικής επέκτασης" ποιος συνδυασμός παραμέτρων ελέγχου οδηγεί σε μια εκτέλεση του μοντέλου που ταιριάζει καλύτερα με τα παρατηρούμενα ιστορικά δεδομένα. (Clarke & Gaydos, 1998; σελ. 706). Περιορίζοντας τόσο τη χωρική κλίμακα, όσο και το εύρος των παραμέτρων στις διαδοχικές φάσεις της βαθμονόμησης, ο χρήστης μπορεί να καταλήξει σε εκείνο το σει παραμέτρων που προσομοιώνει καλύτερα τα δεδομένα της εφαρμογής. Οι παράμετροι αυτοί χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να αποφασιστούν εκείνες οι τιμές που επιτρέπουν στο μοντέλο να εκτελεστεί με ορίζοντα το μέλλον, δηλ. να προβλέψει (Silva & Clarke, 2002; σελ.531).

Πρόκειται για μια αρκετά επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία, για την οποία η γνώση που αποκτήθηκε πέρασε από πολλά στάδια δοκιμών και λάθους (trial and error), εωσότου κατανοηθούν τα ιδιαίτερα τοπικά χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης και ενσωματωθούν στα δεδομένα εισόδου. Η υπάρχουσα ξενόγλωσση βιβλιογραφία, η οποία βρίσκεται αναρτημένη στην ιστοσελίδα του μοντέλου και καλύπτει μια χρονική περίοδο δεκαεσσάρων ετών, από το 1996 έως το 2010 αποτέλεσε έναν πολύτιμο οδηγό για τα μαθήματα της βαθμονόμησης και την ικανότητα του Sleuth να προσομοιώσει τόσο τις αστικές μεταβολές, όσο και τα πρότυπα των χρήσεων γης στο χώρο και στο χρόνο.

Ουσιαστικά, η επιτυχία της βαθμονόμησης έγκειται, μέσω μιας προδιαγεγραμμένης ακολουθίας πολλαπλών σταδίων, στην εύρεση εκείνου του σει παραμέτρων του μοντέλου, βάσει του οποίου προσομοιώνεται πιστότερα η πραγματικότητα. Πέντε συντελεστές ελέγχουν τη συμπεριφορά του μοντέλου, οι οποίοι είναι:

➤ **Diffusion:** επηρεάζει την αυθόρμητη ανάπτυξη και την ανάπτυξη με βάση το οδικό δίκτυο.

- **Breed:** Δείχνει την πιθανότητα για νέα κέντρα εξάπλωσης και επηρεάζει κατά έναν βαθμό την ανάπτυξη που βασίζεται στο οδικό δίκτυο.
 - **Spread:** αφορά στην πιθανότητα για οργανική ανάπτυξη από υπάρχοντα αστικά κέντρα.
 - **Slope:** αφορά στην κλίση του εδάφους και είναι αντιστρόφως ανάλογη της αστικοποίησης.
 - **Road gravity:** Επηρεάζει, 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.
- (<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/gwCoef.htm>, πρόσβαση 10/6/2013)

5.3.1 Επιλογή εύρους παραμέτρων βαθμονόμησης

Για την επιλογή του εύρους των παραμέτρων του μοντέλου σε κάθε μια εκ των φάσεων της βαθμονόμησης γίνεται χρήση των αρχείων που παράγονται από το Sleuth βάσει των ρυθμίσεων του αρχείου σεναρίου και συγκεκριμένα του αρχείου *control.stats.log*. Κάθε γραμμή του αρχείου αυτού προκύπτει ως αποτέλεσμα μιας μοναδικής εκτέλεσης του μοντέλου και τα στατιστικά δεδομένα που περιέχονται στο αρχείο αυτό αναφέρονται ως αποτελέσματα κάθε εκτέλεσης, ενώ οι στήλες των παραμέτρων στο τέλος κάθε γραμμής αποτελούν τις αντίστοιχες αρχικές τιμές των παραμέτρων.

Το Sleuth παράγει στατιστικά στοιχεία για έντεκα (11) δείκτες, οι οποίοι είναι οι εξής:

- **compare:** συγκρίνει την ποσότητα της αστικής έκτασης από το μοντέλο προς τη “γνωστή” αστική έκταση για το τελευταίο έτος ελέγχου.
- **pop:** η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων της αστικής έκτασης από το μοντέλο συγκρινόμενης με την πραγματική για τα έτη ελέγχου.
- **edges:** η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων για την ποσότητα της αστικής περιμέτρου από το μοντέλο προς την πραγματική αστική περίμετρο για τα έτη ελέγχου.
- **clusters:** η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων για τον αριθμό των αστικών συγκεντρώσεων από το μοντέλο, συγκρινόμενα με τον πραγματικό αριθμό αυτών για τα αντίστοιχα έτη ελέγχου.
- **cluster_size:** η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων για τον μέσο όρο του μεγέθους των αστικών συγκεντρώσεων από το μοντέλο, συγκρινόμενων με το γνωστό μέσο όρο των αστικών συγκεντρώσεων για τα έτη ελέγχου.
- **leesalee:** ένας χωρικός δείκτης, μια μέτρηση της χωρικής συσχέτισης μεταξύ της ανάπτυξης που προκύπτει από το μοντέλο και της γνωστής αστικής έκτασης για τα έτη ελέγχου, με την τιμή 1 να αναφέρεται στην πλήρη ταύτιση και την τιμή 0 να αντιπροσωπεύει πλήρη χωρική ασυμφωνία.
- **slope:** η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων της μέσης κλίσης των αστικοποιημένων κελιών συγκρινόμενης με τη μέση κλίση των γνωστών αστικών κελιών για τα έτη ελέγχου.

- **%urban:** η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων του ποσοστού των διαθέσιμων αστικοποιημένων κελιών συγκρινόμενα με τα αστικοποιημένα κελιά για τα έτη ελέγχου.
- **xmean:** η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων του μέσου γεωγραφικού μήκους για τις μοντελοποιημένες αστικές περιοχές συγκρινόμενου με το μέσο γεωγραφικό μήκος των αστικών περιοχών για τα έτη ελέγχου.
- **ymean:** η διαφορά των ελαχίστων τετραγώνων του μέσου γεωγραφικού πλάτους για τις μοντελοποιημένες αστικές περιοχές συγκρινόμενου με το μέσο γεωγραφικό πλάτος των αστικών περιοχών για τα έτη ελέγχου.
- **rad:** αφορά μια μέτρηση της αστικής διασποράς.

(<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/dtDtControlDefine.htm>, πρόσβαση 10/6/2013)

Οι δείκτες αυτοί παράγονται για κάθε έτος ελέγχου. Τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης συγκρίνονται στη συνέχεια με τους δείκτες των ιστορικών δεδομένων και υπολογίζονται οι διαφορές των ελαχίστων τετραγώνων, που καταγράφονται τελικά στο αρχείο control.stats.log που προαναφέρθηκε.

Ταξινομώντας τις πέντε παραμέτρους του μοντέλου (Diffusion, Breed, Spread, Slope, Road Gravity) βάσει ενός ή περισσότερων από τους παραπάνω δείκτες, μπορούν να βρεθούν τα σεντ των παραμέτρων με την υψηλότερη απόδοση. Ο αλγόριθμος που περιορίζει το εύρος των παραμέτρων, ώστε να βρεθεί ο καλύτερος δυνατός συνδυασμός τους, αποτελεί μια περιοχική διαρκούς συζήτησης μεταξύ των χρηστών, χωρίς να έχει συμφωνηθεί κάποιος "ορθός" τρόπος έως τώρα, ενώ υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις που περιλαμβάνουν, είτε την ταξινόμηση όλων των δεικτών εξίσου, είτε δίνοντας βάρος σε κάποιους δείκτες, είτε ακόμα και μόνο σε έναν. Γεγονός υπό διερεύνηση αποτελεί επίσης και η επιλογή του αριθμού των αποτελεσμάτων που επηρεάζουν την επιλογή του εύρους των παραμέτρων με προτάσεις που αφορούν τις 5, 10 ή ακόμα και 50 καλύτερες.

Στη διεθνή βιβλιογραφία υπάρχουν παραδείγματα επιλογής του εύρους των παραμέτρων χρησιμοποιώντας το δείκτη Leesalee, μέθοδος η οποία χαρακτηρίζεται από μεγάλη ακρίβεια που απαιτεί όμως αρκετό υπολογιστικό χρόνο, προκειμένου να εξαχθούν τα απαιτούμενα αποτελέσματα, όπως για παράδειγμα κατά την εφαρμογή του μοντέλου στις μητροπολιτικές περιοχές του Πόρτο και της Λισσαβώνας (2001). Μέσω αυτής της μεθόδου εκτελούνται πολλαπλές βαθμονομήσεις, επιλέγοντας μεταξύ των καλύτερων αποτελεσμάτων του δείκτη Leesalee σε κάθε φάση της βαθμονόμησης και περιορίζοντας ουσιαστικά το εύρος των παραμέτρων, με σκοπό να βρεθεί το καλύτερο σεντ παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια για την πρόβλεψη από το μοντέλο.

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται είναι η Optimum SLEUTH Metric (OSM), μέσω της οποίας εκτελείται ο κώδικας του δείκτη Optimum SLEUTH Metric (Dietzel and Clarke, 2007) παράγοντας ένα αρχείο κειμένου που αποθηκεύει τα 50 καλύτερα σεντ παραμέτρων. Στη συνέχεια για τα τρία καλύτερα αποτελέσματα επιλέγονται αντίστοιχα οι μικρότερες και μεγαλύτερες τιμές κάθε παραμέτρου, οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν σαν τιμές έναρξης και τέλους για την επόμενη φάση της βαθμονόμησης, με σκοπό την εύρεση του καλύτερου σεντ που θα τροφοδοτήσει τη λειτουργία της πρόγνωσης.

Στην περίπτωση του Πολεοδομικού συγκροτήματος του Ηρακλείου χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος βαθμονόμησης με χρήση του δείκτη Leesalee, αλλά ορίστηκαν δύο διαφορετικές προσεγγίσεις βαθμονόμησης με βάση τα επίπεδα της αστικής κάλυψης που ήταν διαθέσιμα. Οι προσεγγίσεις αυτές και τα αντίστοιχα εξαγόμενα αποτελέσματα αναλύονται στις επόμενες παραγράφους.

5.4 Μέθοδος βαθμονόμησης με χρήση του δείκτη Leesalee

Αυτή η μέθοδος βαθμονόμησης περιλαμβάνει τη χρήση ενός μόνο δείκτη από τους έντεκα που εξάγονται από το Sleuth, του Leesalee, ο οποίος, όπως αναφέρθηκε ήδη είναι ένας χωρικός δείκτης, μια μέτρηση ουσιαστικά της χωρικής συσχέτισης μεταξύ της αστικής ανάπτυξης όπως προκύπτει από το μοντέλο, και της γνωστής αστικής επέκτασης για τα έτη ελέγχου που χρησιμοποιούνται. Στη διεθνή βιβλιογραφία παρόλα αυτά αναφέρεται ότι είναι αρκετά δύσκολο να επιτευχθούν υψηλές τιμές χωρικής συσχέτισης μέσω του δείκτη αυτού (Clarke & Gaydos, 1998, p. 708).

Τα αποτελέσματα των τιμών του δείκτη ταξινομούνται κατά φθίνουσα σειρά και τα εύρη των τιμών των παραμέτρων που θα τροφοδοτήσουν την επόμενη φάση της βαθμονόμησης επιλέγονται μεταξύ των χαμηλότερων και υψηλότερων τιμών των παραμέτρων, θέτοντας αυτές ως τιμές έναρξης και τέλους αντίστοιχα, ενώ το βήμα προκύπτει ως η διαφορά μεταξύ των ακραίων αυτών τιμών διαιρούμενη με έναν αριθμό μεταξύ 4-6. Η όλη διαδικασία επιλογής του εύρους των παραμέτρων σε κάθε φάση εκτέλεσης του μοντέλου αναπτύσσεται διεξοδικά στα Παραρτήματα Α και Β.

5.4.1 Βαθμονομήσεις του μοντέλου Sleuth

Στο στάδιο της βαθμονόμησης του Sleuth με χρήση του δείκτη Leesalee στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, ορίστηκαν τρεις (3) διαφορετικές βαθμονομήσεις, χρησιμοποιώντας τα πέντε (5) επίπεδα πληροφορίας της αστικής χρήσης που εισήχθησαν στο μοντέλο.

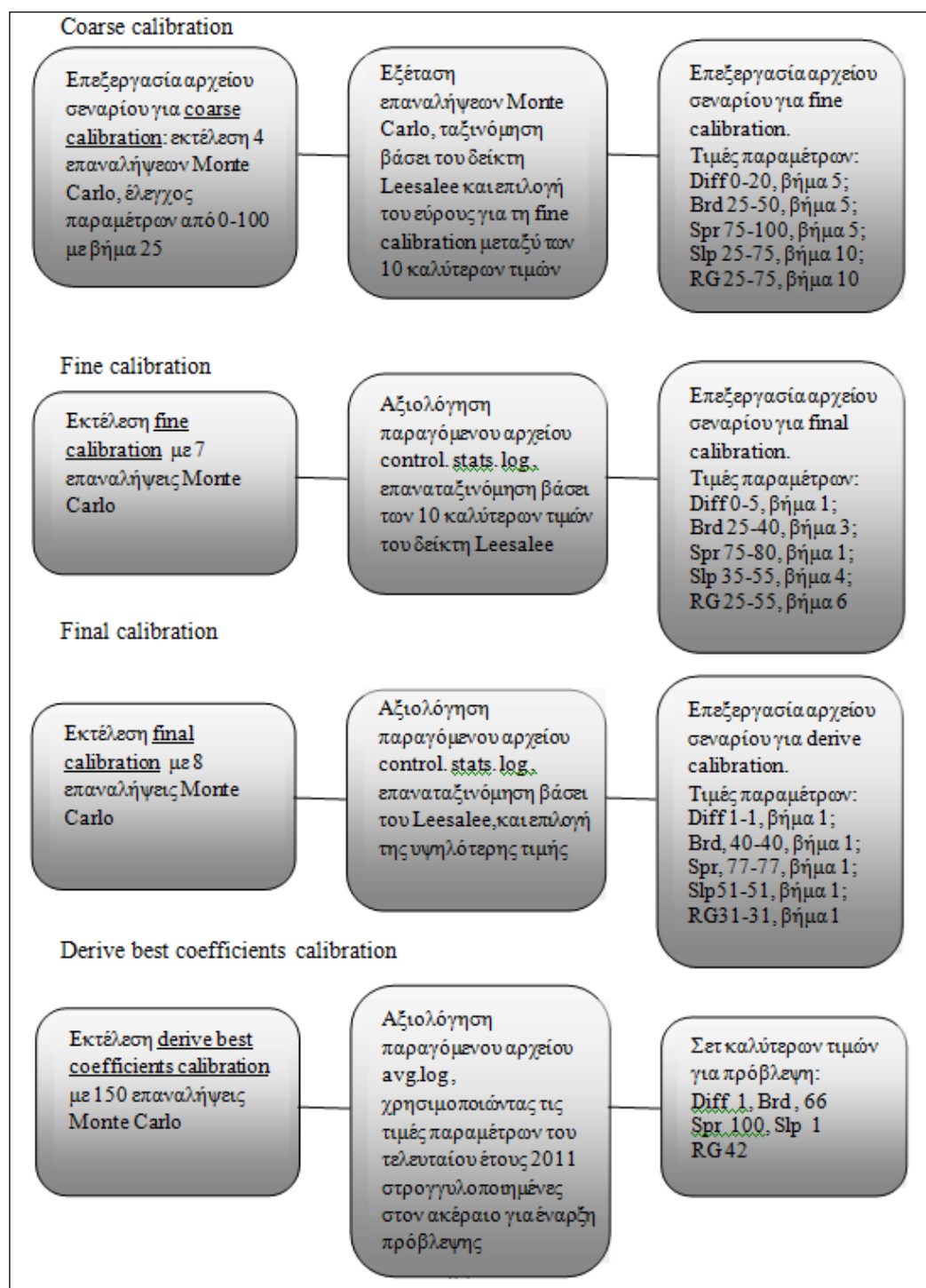
Βαθμονόμηση 1	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Βαθμονόμηση 2_5_έτη	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Βαθμονόμηση 3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
	1960	1972	1988	1997
				2011

Εικόνα 5-8: Προσεγγίσεις βαθμονόμησης βάσει των επιπέδων αστικής επέκτασης που χρησιμοποιήθηκαν (Ιδία επεξεργασία)

Διαφοροποιώντας τα δεδομένα εισόδου μεταβλήθηκε επίσης ο αριθμός των σημείων ελέγχου για τη στατιστική σύγκριση μεταξύ των μοντελοποιημένων ετών και των ετών ελέγχου κάθε βαθμονόμησης, με σκοπό να μελετηθεί εκτός των άλλων η αποτελεσματικότητα του μοντέλου χρησιμοποιώντας, τόσο μακροπρόθεσμα, όσο και βραχυπρόθεσμα ιστορικά δεδομένα. Οι διαφορετικές βαθμονομήσεις που ορίστηκαν, απεικονίζονται σχηματικά στο προηγούμενο σχήμα και αναπτύσσονται διεξοδικά στις επόμενες υποενότητες:

5.4.1.1 Βαθμονόμηση_1 (1960, 1972, 1997, 2011)

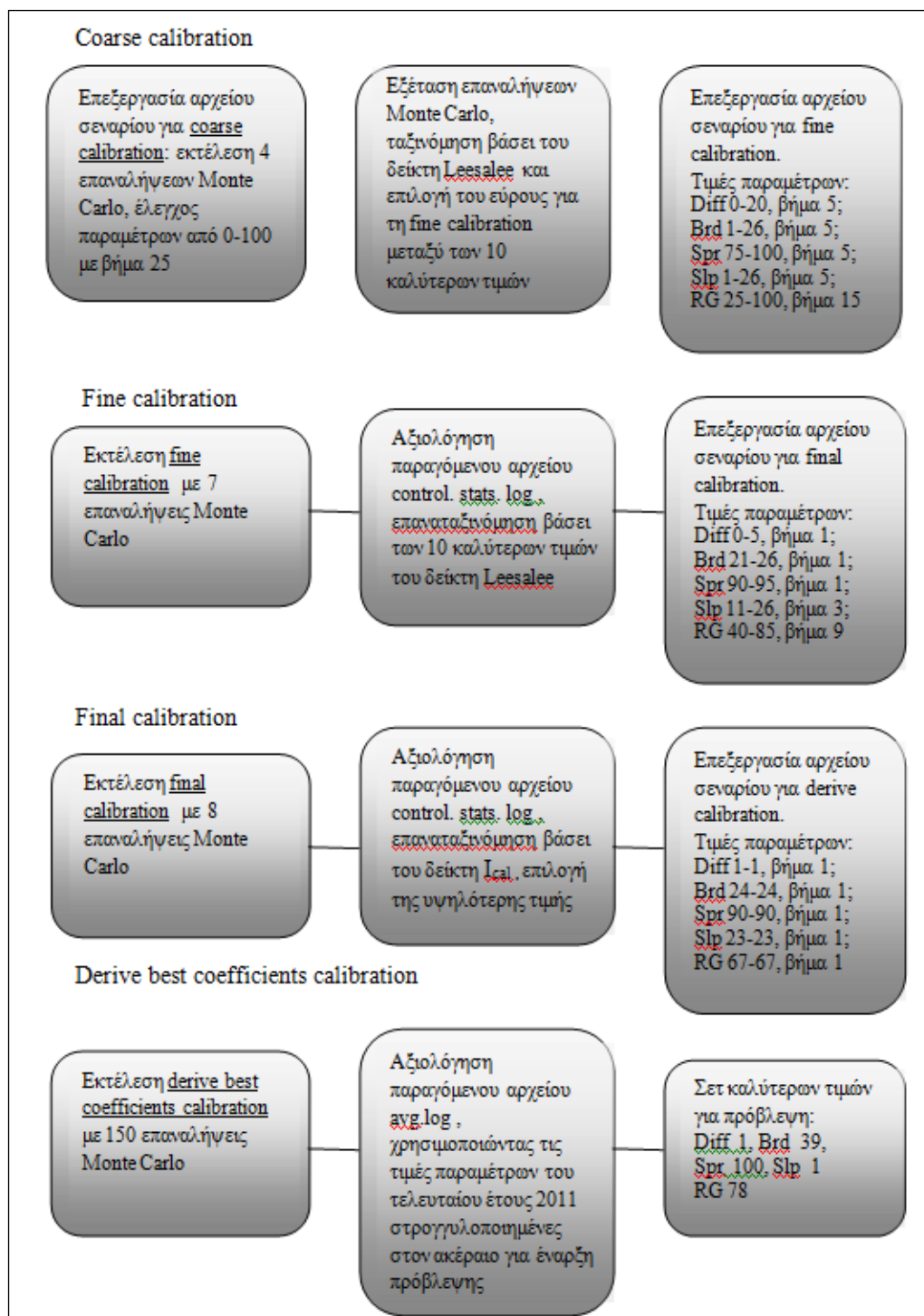
Η συγκεκριμένη βαθμονόμηση εκτελέστηκε χρησιμοποιώντας τα τέσσερα (4) επίπεδα της αστικής κάλυψης (1960, 1972, 1997, 2011), που είναι και τα ελάχιστα απαιτούμενα από το μοντέλο. Η χρονική περίοδος που αφορούν τα ιστορικά δεδομένα καλύπτει μια περίοδο πενήντα ενός (51) ετών. Ο αριθμός των ετών μεταξύ των δεδομένων κυμάνθηκε από 12 έως 25 έτη και ο μέσος όρος αυτών είναι 12,75 έτη.



Εικόνα 5-9: Σχήμα ροής διαδικασίας βαθμονόμησης με χρήση του δείκτη Leesalee για τη Βαθμονόμηση 1 (Ιδία επεξεργασία)

5.4.1.2 Βαθμονόμηση 2_5_έτη (1960, 1972, 1988, 1997, 2011)

Στη δεύτερη περίπτωση το μοντέλο χρησιμοποίησε και τα πέντε (5) επίπεδα της αστικής χρήσης (1960, 1972, 1988, 1997, 2011) ως έτη ελέγχου, εκτελώντας μιας ευρείας περιόδου και πυκνής από στιγμιότυπα βαθμονόμηση. Η διάρκεια των ετών ελέγχου που υπεισέρχονται είναι, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση η ίδια (51 έτη). Ο αριθμός των ετών μεταξύ των δεδομένων κυμάνθηκε από 9 έως 16 έτη με ένα μέσο όρο 10,2 έτη.



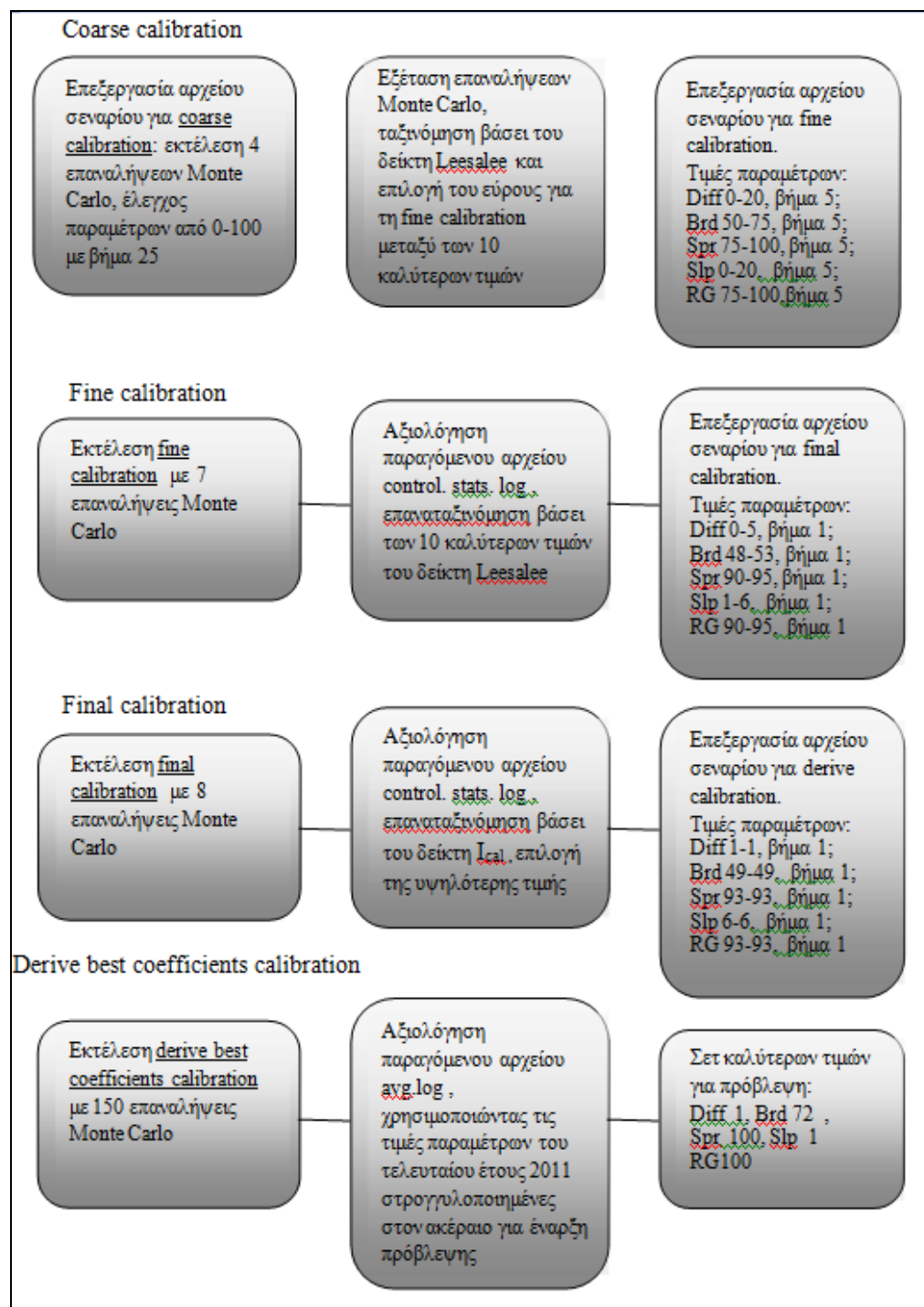
Εικόνα 5-10: Σχήμα ροής διαδικασίας βαθμονόμησης με χρήση του δείκτη Leesalee για τη Βαθμονόμηση 2 (Ιδία επεξεργασία)

Παρότι η όλη διαδικασία επιλογής του εύρους των παραμέτρων σε κάθε φάση εκτέλεσης του μοντέλου αναπτύσσεται διεξοδικά στο Παράρτημα Α, στα διαγράμματα

δίνεται μια σχηματοποιημένη εικόνα με σκοπό την κατανόηση αυτής της πολυσταδιακής ακολουθίας (coarse, fine, final, derive best coefficients calibration) εύρεσης του κατάλληλου συνδυασμού, ώστε να μοντελοποιηθεί όσο το δυνατόν πιστότερα η πραγματική εικόνα της αστικής ανάπτυξης.

5.4.1.3 Βαθμονόμηση 3 (1972, 1988, 1997, 2011)

Τέλος, στην τρίτη περίπτωση το μοντέλο εκτέλεσε μια μικρής περιόδου και πυκνής ως προς τα στιγμιότυπα βαθμονόμηση.



Εικόνα 5-11: Σχήμα ροής διαδικασίας βαθμονόμησης με χρήση του δείκτη Leesalee για τη Βαθμονόμηση 3 (Ιδια επεξεργασία)

Στην περίπτωση όμως αυτή χρησιμοποιήθηκαν τα πιο πρόσφατα δεδομένα αστικής κάλυψης, που καλύπτουν χρονικά μια περίοδο τριάντα εννέα (39) ετών από το 1972-2011. Ο αριθμός των ετών μεταξύ των δεδομένων κυμάνθηκε από 9 έως 16 έτη με ένα μέσο όρο 13 έτη.

Σχηματικά, τα στάδια της βαθμονόμησης και γι αυτή την περίπτωση παρουσιάζονται μέσω διαγραμμάτων ροής.

5.4.2 Υπολογιστικός χρόνος για τη λειτουργία της βαθμονόμησης

Κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του Sleuth στη λειτουργία "Βαθμονόμηση" (Calibration) εξάγονται διάφορα αρχεία (αρχεία εικόνας, στατιστικά αρχεία κ.λ.π.), τα οποία αποθηκεύονται εντός του φακέλου Output. Το είδος των αρχείων αυτών εξαρτάται από τις παραμέτρους που τίθενται στα αντίστοιχα αρχεία σεναρίου, εντός του φακέλου (Scenarios), για κάθε ένα από τα επιμέρους στάδια της βαθμονόμησης (Coarse, Fine, Final).

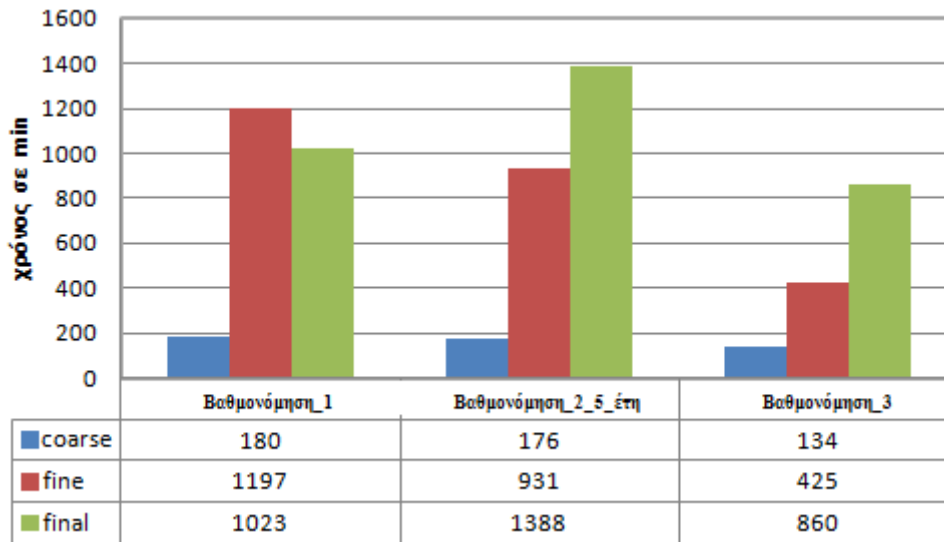
Από τους χρόνους που καταγράφηκαν κατά την δημιουργία των επιμέρους αρχείων και για τις τρεις (3) βαθμονόμησης που εκτελέστηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, είναι δυνατόν να υπολογιστεί η διάρκεια εκτέλεσης κάθε σταδίου του μοντέλου. Στην προκειμένη περίπτωση η έναρξη και λήξη αντίστοιχα καθορίστηκε από τη δημιουργία των αρχείων LOG_0 και control_stats ή avg.log.

Και στις τρεις περιπτώσεις βαθμονόμησης που αναπτύχθηκαν, χρησιμοποιήθηκε ένας laptop υπολογιστής με τετραπύρνη επεξεργαστή Intel(R) Core(TM) i5 3210M στα 2.5 GHz, με 4 gigabytes μνήμη και 64-bit Windows 7 Home Premium λειτουργικό σύστημα.

Τα αποτελέσματα που καταγράφηκαν ανά στάδιο και είδος βαθμονόμησης απεικονίζονται στο ακόλουθο διάγραμμα.

Από το διάγραμμα προκύπτει ότι στην περίπτωση της *Βαθμονόμησης 2_5_έτη* (1960-2011), στην οποία χρησιμοποιήθηκαν περισσότερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα επίπεδα αστικής κάλυψης (πέντε αντί για τέσσερα), οι χρόνοι που καταγράφηκαν τόσο στο στάδιο coarse, όσο και στο fine ήταν μικρότεροι συγκριτικά με τη *Βαθμονόμηση_1*. Επομένως, περισσότερα δεδομένα δε σημαίνει απαραίτητα και μεγαλύτερους χρόνους επεξεργασίας, καθώς είναι πιθανόν τα επιπλέον δεδομένα να οδηγούν γρηγορότερα στο αποτέλεσμα, στενεύοντας τα εύρη τιμών που χρησιμοποιούνται στα διάφορα στάδια, γεγονός που οδηγεί σε πιο αξιόπιστα αποτελέσματα. Λαμβάνοντας δε υπόψη ότι ο συνολικός χρόνος που διανύθηκε κατά τη διάρκεια της βαθμονόμησης αυτής (*Βαθμονόμηση_2_5_έτη*) είναι τελικά κατά 1,5 ώρες μεγαλύτερος σε σχέση με τη *Βαθμονόμηση_1*, τα περισσότερα δεδομένα δεν αποτελούν απαραίτητα επιβαρυντικό παράγοντα για τον υπολογιστικό χρόνο εκτέλεσης του μοντέλου.

Από την άλλη, οι μικρότεροι χρόνοι και για τα τρία στάδια εκτέλεσης του μοντέλου διανύθηκαν κατά τη διάρκεια της *Βαθμονόμησης 3* (1972-2011), στην οποία χρησιμοποιήθηκαν τα πιο πρόσφατα από τα υπάρχοντα δεδομένα αστικής χρήσης και εκτελέστηκε μια μικρής περιόδου, "υψηλής" πυκνότητας βαθμονόμηση, κατά την οποία τα ιστορικά δεδομένα κάλυψαν μια περίοδο 39 ετών.



Διάγραμμα 5-1: Υπολογιστικοί χρόνοι για κάθε στάδιο και είδος βαθμονόμησης του μοντέλου σε λεπτά (Ιδία επεξεργασία)

Πιθανότατα, στα πλαίσια της παρούσας εργασίας, μια βαθμονόμηση με τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορεί να δώσει καλύτερους υπολογιστικούς χρόνους σε σχέση με μια βαθμονόμηση που χρησιμοποιεί παλαιότερα, "μακροπρόθεσμα" δεδομένα, ακόμα και εάν έχουν προστεθεί περισσότερα έτη ελέγχου.

5.4.3 Κανόνες αυτοτροποποίησης (Self modification rules)

Οι κανόνες αυτοτροποποίησης αποτελούν ένα δεύτερο επίπεδο κανόνων ανάπτυξης εντός του μοντέλου και εκκινούνται από έναν ασυνήθιστα υψηλό ή χαμηλό ρυθμό ανάπτυξης (growth rate). Ο ρυθμός ανάπτυξης προκύπτει ως το άθροισμα των τεσσάρων διαφορετικών τύπων που αναπτύχθηκαν στην ενότητα 3.7 (αυθόρμητη, διαχεόμενη, οργανική, επηρεαζόμενη από το οδικό δίκτυο).

Οι τιμές για τις μεταβλητές "υψηλό κρίσιμο" (critical high) και "χαμηλό κρίσιμο" (critical low) που αποφασίζουν τα κρίσιμα "κατώφλια" πάνω ή κάτω από τα οποία το σύστημα διέρχεται από φάση ανάπτυξης "boom" ή "boost", δηλαδή έντονα επιταχυνόμενης ή επιβραδυνόμενης ανάπτυξης αντίστοιχα, έχουν χρησιμοποιηθεί σε άλλες βαθμονομήσεις του Sleuth (Clarke et.al, 1997) και παρέμειναν σταθερές στην παρούσα εφαρμογή. Η τιμή critical high που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία είναι 1,3 και η critical low είναι 0,97.

Οι τιμές που αποδίδονται στις παραμέτρους αυτές προκύπτουν καθαρά εμπειρικά και όχι μέσω της βαθμονόμησης, με αποτέλεσμα να μην υπάρχει άμεσος έλεγχος της επιρροής που έχουν στην ανάπτυξη.

5.4.4 Διαδικασία πρόγνωσης του μοντέλου

Κατά τη διάρκεια των τριών φάσεων της βαθμονόμησης (coarse, fine, final) που αναπτύχθηκαν στις προηγούμενες ενότητες, προέκυψε ένας μοναδικός συνδυασμός παραμέτρων, βάσει του οποίου μοντελοποιούνται καλύτερα τα ιστορικά αστικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στα αντίστοιχα σενάρια.

Οι μέσοι όροι των έντεκα (11) δεικτών που παράγει το Sleuth και οι τιμές των παραμέτρων που προέκυψαν για κάθε έτος ελέγχου καταγράφηκαν σε ένα από τα εξαγόμενα αρχεία του μοντέλου, το αρχείο avg.log, το οποίο επίσης εισήχθη σε περιβάλλον excel για περαιτέρω ανάλυση, ενώ χρησιμοποιήθηκαν 150 επαναλήψεις Monte Carlo. Παρήχθη κατά αυτόν τον τρόπο ένα σετ βέλτιστης λύσης (BSS-Best Solution Set) για τις τιμές των παραμέτρων. Ο συνδυασμός αυτών για το τελευταίο έτος 2011 χρησιμοποιήθηκε για την έναρξη της λειτουργίας της πρόβλεψης του μοντέλου έως το 2025.

Η λειτουργία της πρόβλεψης εφαρμόστηκε για τα αποτελέσματα και των τριών σεναρίων βαθμονόμησης που περιγράφηκαν, ενώ η διεξοδική ανάλυσή των δύο λειτουργιών (βαθμονόμηση- πρόβλεψη) μελετάται στο επόμενο κεφάλαιο.

6 Αποτελέσματα από την εκτέλεση του μοντέλου

Στο κεφάλαιο αυτό αναλύονται τα αποτελέσματα από την εκτέλεση του μοντέλου αφενός για τη λειτουργία της βαθμονόμησης και για τις τρεις (3) βαθμονομήσεις του κεφαλαίου 5, καθώς και για τη λειτουργία της πρόγνωσης. Η ανάλυση αφορά αρχικά στην εξέταση των εξαγόμενων σε στατιστικό επίπεδο και εν συνεχεία στη χρησιμοποίηση των καλύτερων σετ παραμέτρων ελέγχου για το στάδιο της πρόβλεψης.

Για την αξιολόγηση της μοντελοποίησης είναι απαραίτητο να συγκριθούν τα αποτελέσματα της βαθμονόμησης με τα ιστορικά αστικά δεδομένα. Σε στατιστικό επίπεδο αυτό πραγματοποιήθηκε συγκρίνοντας τους δείκτες που εξήχθησαν σε κάθε βαθμονόμηση με τα αντίστοιχα "στατιστικά βάσης", που αναφέρονται στα υπάρχοντα "πραγματικά" δεδομένα του μοντέλου υπό τη μορφή όμως δεικτών. Τα στατιστικά βάσης έχουν αποθηκευτεί στο αρχείο LOG_0 στο τελευταίο στάδιο της βαθμονόμησης derive_best_coefficients_calibration.

Από τα στατιστικά στοιχεία για έντεκα (11) δείκτες που παράγει το Sleuth, χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα εργασία τέσσερις (4), οι τρεις από τους οποίους έχουν ήδη εφαρμοστεί από τον Clarke (1998). Οι δείκτες αυτοί είναι α) ο δείκτης πληθυσμού των αστικοποιημένων pixels (pop), β) ο δείκτης του αριθμού των κορυφών αστικών/ μη αστικών pixels (edges) και γ) ο δείκτης του αριθμού των αστικών συστάδων που μοντελοποιήθηκαν (clusters). Στους δείκτες αυτούς προστέθηκε και ένας τέταρτος δείκτης, ο Leesalee που αναφέρεται στη χωρική συσχέτιση μεταξύ μοντελοποιημένης και "πραγματικής" κατάστασης της αστικής ανάπτυξης και βάσει αυτού έγινε η επιλογή του εύρους των παραμέτρων σε κάθε στάδιο της βαθμονόμησης.

Στη φάση της βαθμονόμησης, η ανάλυση περιελάμβανε τη μελέτη της συμπεριφοράς των παραπάνω δεικτών και των καλύτερων αποτελεσμάτων αυτών, το εύρος των παραμέτρων βαθμονόμησης κάθε φάσης και για τις τρεις (3) βαθμονομήσεις, καθώς και τη συμπεριφορά των παραμέτρων στα αντίστοιχα έτη ελέγχου που επελέγησαν.

Στη φάση της πρόγνωσης, αναλύθηκε επίσης η συμπεριφορά των δεικτών και των παραμέτρων αντίστοιχα. Οι εξαγόμενες εικόνες από το στάδιο της πρόγνωσης εισήχθησαν στο ArcGIS για ανάλυση και ταξινομήθηκαν με βάση τις πιθανότητες αστικοποίησης, ενώ παρήχθησαν πιθανολογικοί χάρτες της αστικής εξάπλωσης στην περιοχή μελέτης για το έτος στόχο 2025.

Η ανάλυση αυτή είχε ως σκοπό εκτός από τη σύγκριση μεταξύ των αποτελεσμάτων διαφορετικών σεναρίων βαθμονόμησης, επιπλέον τη μελέτη της συμπεριφοράς των δεικτών και παραμέτρων κάθε φάσης καθώς και την οπτική αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου. Τα ανωτέρω αναπτύσσονται διεξοδικά στις επόμενες ενότητες:

6.1 Βαθμονόμηση (Calibration)

Τα εξαγόμενα αποτελέσματα από την εκτέλεση του μοντέλου για τη λειτουργία της βαθμονόμησης αφορούν α) στη μελέτη της συμπεριφοράς των επιμέρους δεικτών που προέκυψαν ως εξαγόμενα του μοντέλου β) στα βέλτιστα αποτελέσματα των δεικτών αυτών για καθένα από τα στάδια της βαθμονόμησης στα πλαίσια των τριών (3) βαθμονομήσεων, γ) στο εύρος των τιμών των παραμέτρων κάθε φάσης και δ) στη συμπεριφορά των μέσων τιμών των παραμέτρων για τα αντίστοιχα έτη ελέγχου.

6.1.1 Συμπεριφορά των δεικτών

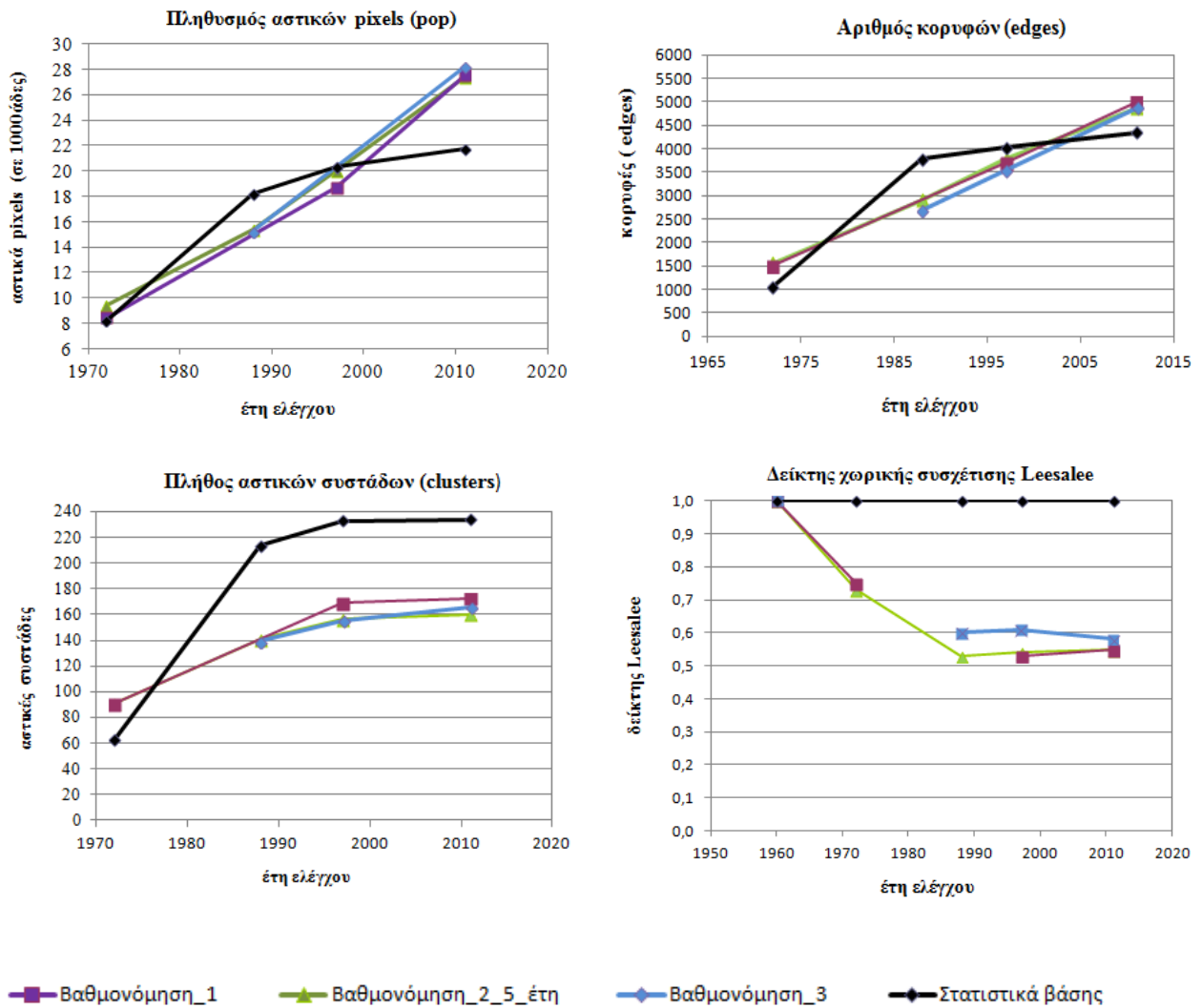
Στην ενότητα αυτή μελετήθηκαν τα αποτελέσματα των εξαγόμενων δεικτών (population, edges, clusters, leesalee) που αναφέρθηκαν, σε σύγκριση με τα στατιστικά βάσης για κάθε βαθμονόμηση. Οι μέσοι όροι των δεικτών αποθηκεύτηκαν στο αρχείο avg.log της φάσης derive best coefficient calibration της βαθμονόμησης. Οι τιμές αυτές καταγράφονται στο Παράρτημα Γ, ενώ στα ακόλουθα διαγράμματα απεικονίζονται σχηματικά τα αποτελέσματα για κάθε σενάριο βαθμονόμησης:

6.1.1.1 Βαθμονόμηση 1 (1960-2011)

Ο δείκτης πληθυσμού των αστικοποιημένων pixels (pop) υπερεκτίμησε την ανάπτυξη στο πρώτο και τελευταίο έτος ελέγχου 1972 και 2011 κατά 2% και 27% αντίστοιχα, ενώ την υποεκτίμησε το 1997. Ο αριθμός των αστικών κορυφών (edges) υπερεκτιμήθηκε το 1972 και 2011, ενώ υποεκτιμήθηκε κατά μόλις 8% το 1997. Ο αριθμός των αστικών συστάδων (clusters) μοντελοποιήθηκε καλύτερα σε αυτή τη βαθμονόμηση υπερεκτιμώντας τις "πραγματικές" τιμές το 1972 και υποεκτιμώντας αυτές αντίστοιχα τα έτη 1997 και 2011. Τέλος, ο δείκτης χωρικής συσχέτισης Leesalee έλαβε την καλύτερη τιμή του ίση με 0,75 το 1972, κατέγραψε μείωση σε 0,53 το 1997 για να κλείσει τελικά στην τιμή 0,55 το 2011.

6.1.1.2 Βαθμονόμηση 2_5_έτη (1960-2011)

Ο δείκτης πληθυσμού υπερεκτίμησε την ανάπτυξη το 1972, 1988 και 2011, ενώ για το 1997 κυμάνθηκε σε πολύ καλά επίπεδα καταγράφοντας τιμή μόλις 1% χαμηλότερα από την "πραγματική" τιμή του πληθυσμού. Ο αριθμός των αστικών κορυφών υποεκτιμήθηκε κατά τα έτη ελέγχου 1988 και 1997, για το οποίο όμως απέκλινε μόλις κατά 6% από τα "στατιστικά βάσης". Υψηλότερη διακύμανση από τις πραγματικές τιμές καταγράφηκαν για το δείκτη αυτό το 1972 και 2011. Η Βαθμονόμηση_2_5_έτη δεν κυμάνθηκε σε πολύ καλά επίπεδα αναφορικά με το δείκτη αστικών συστάδων, υποεκτιμώντας τον συνεχώς για τα έτη 1988, 1997, 2011, ενώ το 1972 κατέγραψε τιμές, οι οποίες απέκλιναν σε ποσοστό 44% από τον πραγματικό αριθμό αστικών συστάδων. Αναφορικά με το δείκτη Leesalee, αν και το 1972 κατέγραψε μια αρκετά καλή τιμή ίση με 0,73, χαμηλότερη όμως από τη _4_έτη, μειώθηκε τα επόμενα έτη 1988, 1997 και 2011 για να κλείσει τελικά στην ίδια τιμή με την προηγούμενη βαθμονόμηση.



Εικόνα 6-1: Εξαγόμενοι δείκτες για τις 3 βαθμονομήσεις σε σχέση με τα "στατιστικά βάσης" και τα έτη ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν (Ιδία επεξεργασία)

6.1.1.3 Βαθμονόμηση 3 (1972-2011)

Στην περίπτωση της βαθμονόμησης με τα πιο πρόσφατα δεδομένα που είχε διάρκεια τριάντα εννέα (39) ετών, ο δείκτης πληθυσμού κυμάνθηκε σε καλά επίπεδα υποεκτιμώντας την ανάπτυξη το 1988 και υπερεκτιμώντας αυτήν το 2011, ενώ το 1997 κατέγραψε πλήρη ταύτιση με τα στατιστικά βάσης, καθώς ο μοντελοποιημένος αριθμός των αστικών κελιών ήταν ίσος με τον πραγματικό φθάνοντας τις 20,30 χιλιάδες αστικά pixels. Ο αριθμός των κορυφών κυμάνθηκε στα επίπεδα της βαθμονόμησης_1_4_έτη υποεκτιμώντας τις πραγματικές τιμές τόσο το 1988, όσο και το 1997, για να κλείσει τελικά υπερεκτιμημένος κατά 12% το 2011. Αναφορικά με τον αριθμό των αστικών συστάδων, οι τιμές που καταγράφηκαν ήταν πιο κοντά με τις αντίστοιχες της Βαθμονόμησης 2, όμως κατά το τελευταίο έτος ελέγχου 2011 η τιμή που καταγράφηκε σε αυτή τη βαθμονόμηση ήταν αρκετά καλύτερη. Τέλος, ο δείκτης Leesalee κατέγραψε τις καλύτερες τιμές καθόλη τη διάρκεια αυτής της βαθμονόμησης. Το 1988 έλαβε τιμή ίση με 0,60, η μέγιστη τιμή του καταγράφηκε το 1997 (0,60) έναντι 0,55 των δύο προηγούμενων βαθμονομήσεων κι έκλεισε τελικά στην τιμή 0,58 το 2011.

6.1.2 Βέλτιστα αποτελέσματα δεικτών

Τα καλύτερα αποτελέσματα του δείκτη Leesalee χρησιμοποιήθηκαν για την επιλογή του καταλληλότερου συνδυασμού των παραμέτρων του μοντέλου και καταγράφονται αναλυτικά στο Παράρτημα Α για τη Βαθμονόμηση και Β για την Πρόγνωση.

Στην ενότητα αυτή παρουσιάζονται οι τιμές των τεσσάρων (4) δεικτών (pop, edges, clusters, leesalee), όπως προέκυψαν με βάση την ταξινόμηση του δείκτη Leesalee σε κάθε στάδιο της βαθμονόμησης (coarse, fine, final) και για καθεμιά των βαθμονομήσεων που εκτελέστηκαν. Οι τιμές αυτές αναφέρονται στα ελάχιστα τετράγωνα των αντίστοιχων δεικτών με την τιμή 1 να αντιπροσωπεύει την πλήρη ταύτιση με τις πραγματικές τιμές.

6.1.2.1 Βαθμονόμηση 1 (1960-2011)

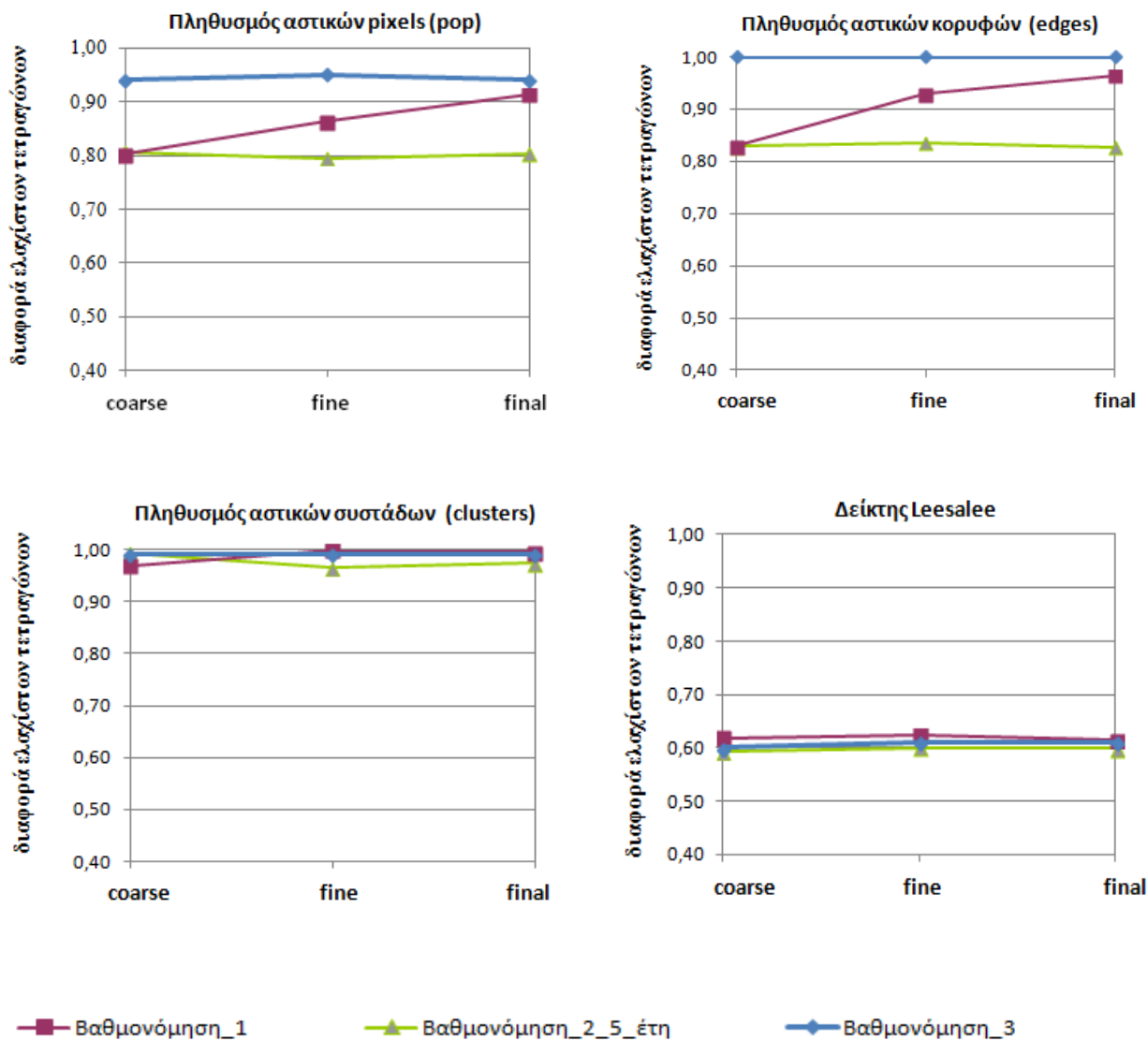
Η βαθμονόμηση αυτή κατέγραψε καλύτερες τιμές από την αντίστοιχή της που περιέλαμβανε πέντε (5) έτη ελέγχου, βελτιώνοντας σταθερά τις τιμές των προαναφερόμενων δεικτών κατά τη διάρκεια των τριών φάσεων της βαθμονόμησης. Ειδικότερα, ο αριθμός των αστικών pixels κατέγραψε τιμή 0,80 στο στάδιο coarse για να αυξηθεί σε 0,86 και να σταθεροποιηθεί σε 0,91 στο τελικό στάδιο final. Ομοίως και με τον αριθμό κορυφών (edges), αν και η τιμή του στο πρώτο στάδιο ήταν 0,80, βελτιώθηκε αισθητά λαμβάνοντας τιμή 0,93 στο στάδιο fine κι έφθασε στο 0,97 στο στάδιο final. Ο δείκτης αριθμός αστικών συστάδων (clusters) ξεκίνησε ήδη από πολύ υψηλή τιμή, ίση με 0,97 στο αρχικό στάδιο για να ταυτιστεί πλήρως με την πραγματική τιμή του στο στάδιο fine και να πέσει μόλις στην τιμή 0,99 στη φάση final. Ο δείκτης χωρικής συσχέτισης Leesalee κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα καταγράφοντας τιμή ίση με 0,62 στα δύο πρώτα στάδια της βαθμονόμησης για να σταθεροποιηθεί σε 0,61 στο τέλος της φάσης final.

6.1.2.2 Βαθμονόμηση_2_5_έτη (1960-2011)

Η βαθμονόμηση αυτή κατέγραψε τις χαμηλότερες τιμές στους δείκτες που μελετήθηκαν, σε σχέση με τις βαθμονομήσεις που εκτελέστηκαν. Ο αστικός πληθυσμός έλαβε τη μέγιστη τιμή του ίση με 0,81 κατά το στάδιο coarse για να σταθεροποιηθεί τελικά στο 0,80 στα στάδια fine και final της βαθμονόμησης. Ο δείκτης αστικών κορυφών έλαβε την ίδια τιμή ίση με 0,83 σε όλα τα στάδια της βαθμονόμησης, ενώ ο αριθμός των αστικών συστάδων κατέγραψε αρκετά υψηλές τιμές κοντά στη μονάδα. Τέλος, ο δείκτης χωρικής συσχέτισης Leesalee κατέγραψε τιμές που κυμάνθηκαν από 0,59 έως 0,60, τιμές που παρόλα αυτά δε χαρακτηρίζονται ως χαμηλές, εάν αναλογιστεί κανείς τις χαμηλές τιμές που έχει λάβει ο αντίστοιχος δείκτης κατά την εφαρμογή του Sleuth σε άλλες περιοχές.

6.1.2.3 Βαθμονόμηση_3 (1972-2011)

Η βαθμονόμηση αυτή κατέγραψε τα καλύτερα αποτελέσματα των δεικτών συγκριτικά με τις βαθμονομήσεις που προηγήθηκαν, βελτιώνοντας σταθερά τις τιμές τους σε όλα τα στάδια. Πιο συγκεκριμένα, ο δείκτης πληθυσμού κυμάνθηκε σε πολύ υψηλά επίπεδα καταγράφοντας τιμή ίση με 0,94 στα στάδια coarse και final, ενώ αυξήθηκε επιπλέον σε 0,95 στο ενδιάμεσο στάδιο fine. Ο δείκτης αστικών κορυφών κατέγραψε τη μέγιστη τιμή, ίση με τη μονάδα σε όλα τα στάδια παρουσιάζοντας πλήρη ταύτιση με τις πραγματικές τιμές.



Εικόνα 6-2: Βέλτιστα αποτελέσματα δεικτών για τα στάδια της βαθμονόμησης (Ιδία επεξεργασία)

Ο δείκτης αστικών συστάδων έλαβε επίσης πολύ υψηλή τιμή ίση με 0,99, την οποία και διατήρησε καθόλη τη διάρκεια της βαθμονόμησης. Ο δείκτης χωρικής συσχέτισης Leesalee, αν και στο στάδιο coarse πήρε την τιμή 0,60 έναντι 0,61 της Βαθμονόμησης_1, βελτίωσε την απόδοσή του και σταθεροποιήθηκε και στα δύο επόμενα στάδια στην τιμή 0,61.

Η συγκριτική ανάλυση των βαθμονομήσεων που εκτελέστηκαν σχετικά με την απόδοση και τη συμπεριφορά των δεικτών που μελετήθηκαν, καταδεικνύει την αξία της μικρής σε διάρκεια βαθμονόμησης και συχνότερων στιγμιότυπων στα πλαίσια της μοντελοποίησης της αστικής ανάπτυξης στο Π.Σ. Ηρακλείου.

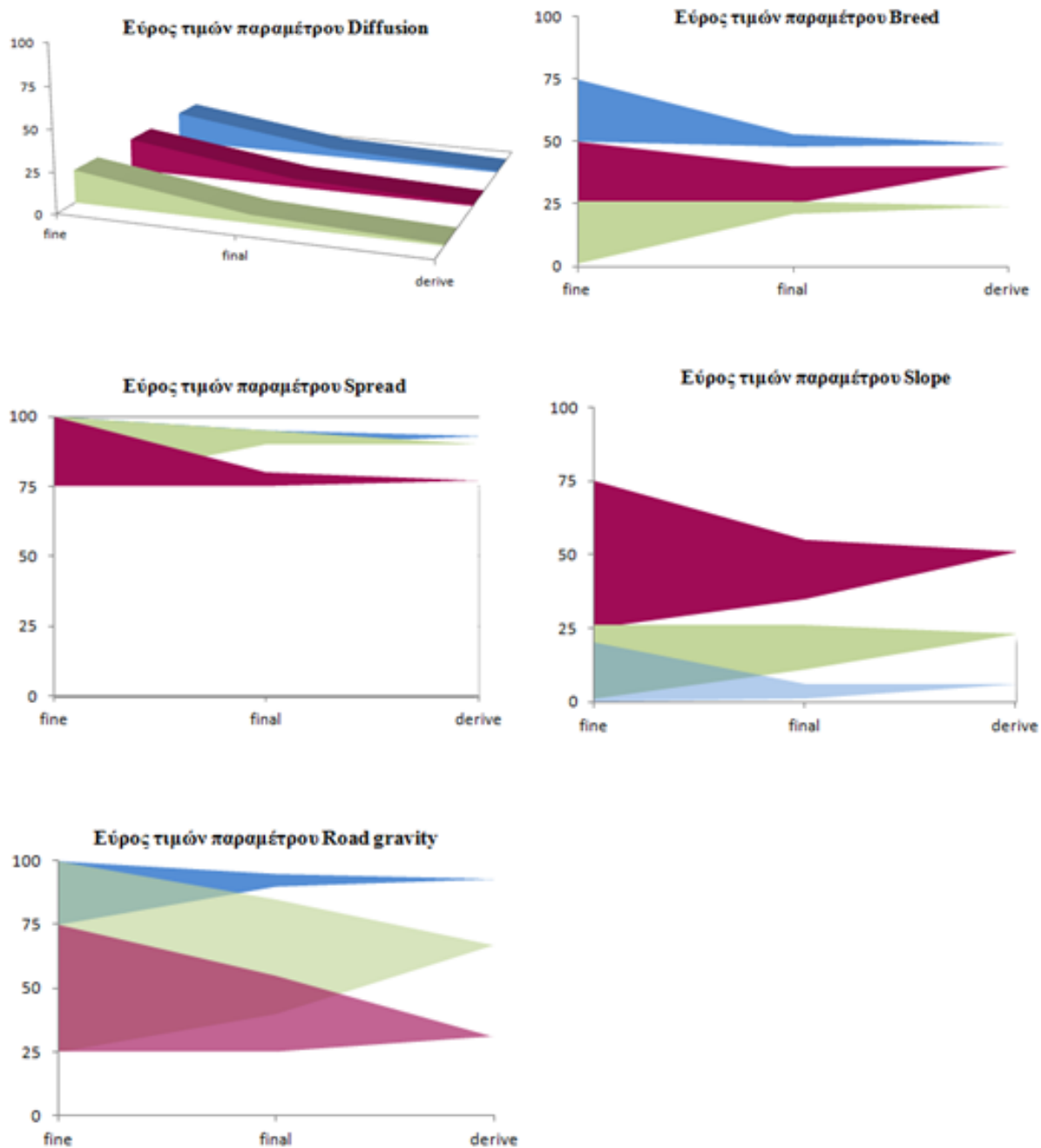
6.1.3 Εύρη παραμέτρων βαθμονόμησης

Κάθε μια εκ των παραμέτρων βαθμονόμησης δύναται να πάρει τιμές μεταξύ 0 και 100. Η διαδικασία επιλογής του συνδυασμού των παραμέτρων σε κάθε φάση της βαθμονόμησης δημιούργησε ένα μοναδικό "διάστημα" για κάθε παράμετρο στα στάδια fine, final και derive της βαθμονόμησης.

Τα “διαστήματα” αυτά για κάθε βαθμονόμηση και ανά παράμετρο βαθμονόμησης απεικονίζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν. Το στάδιο coarse δεν απεικονίστηκε, καθώς όλες οι παράμετροι ξεκίνησαν εντός του ίδιου εύρους 0-100.

6.1.3.1 Βαθμονόμηση_1 (1960-2011)

Στην περίπτωση της παραμέτρου “διάχυση” (diffusion), η οποία επηρεάζει την αυθόρμητη ανάπτυξη, μέσω της τυχαίας επιλογής υποψήφιων προς αστικοποίηση κελιών, το εύρος της για αυτή τη βαθμονόμηση κυμάνθηκε σε χαμηλά επίπεδα, εκφράζοντας ήδη από το στάδιο coarse την τάση να παραμείνει “χαμηλά”.



Εικόνα 6-3: Βέλτιστα αποτελέσματα δεικτών για τα στάδια της βαθμονόμησης (Ιδία επεξεργασία)

Έτσι, το διάστημα εντός του οποίου πήρε τιμές ήταν {0-20, με βήμα 5} στο στάδιο fine, περιορίστηκε στη φάση final σε {0-5, με βήμα 1}, καταλήγοντας τελικά στην τιμή 1 κατά το στάδιο derive, η οποία αποδείχτηκε και η καλύτερη τιμή της εν λόγω παραμέτρου κατά τη διάρκεια όλων των σταδίων της βαθμονόμησης. Η χαμηλή αυτή τιμή υποδηλώνει την πολύ μικρή επίδραση της "διαχεόμενης ανάπτυξης" στα παρατηρούμενα πρότυπα της αστικοποίησης στην περιοχή μελέτης.

Σχετικά με την παράμετρο "κλίση" (slope), το στάδιο fine εκκινήθηκε με ένα εύρος {25-75, με βήμα 5}, προσαρμόστηκε μεταξύ {35-55, με βήμα 4} στο στάδιο final, με την καλύτερη τιμή 51 να χρησιμοποιείται για τη φάση derive. Τα εύρη τιμών που προέκυψαν κατά την εκτέλεση αυτής της βαθμονόμησης ήσαν και τα υψηλότερα συγκριτικά με τις υπόλοιπες δύο, γεγονός που πιθανότατα οφείλεται στη μεγάλη χρονική διασπορά των ετών ελέγχου, καθώς μεταξύ του 1972 και 1997, για τα οποία έχουμε δεδομένα αστικής κάλυψης, μεσολαβεί περίπου μια εικοσιπενταετία. Οι τιμές της παραμέτρου "εξάπλωση" (spread) που καταγράφηκαν ήταν οι υψηλότερες και το εύρος τιμών της {75-100, με βήμα 5} στο στάδιο coarse ίδιο και για τις τρεις βαθμονομήσεις. Στο στάδιο fine το εύρος έλαβε τιμές {75-80, με βήμα 1} με τελική τιμή στο στάδιο derive ίση με 77. Η παράμετρος αυτή αποτέλεσε το "ρυθμιστή" της αστικοποίησης, καθώς πραγματοποιήθηκε από τον κύριο πυρήνα "προς τα έξω" και κατά μήκος του οδικού δικτύου.

Το εύρος τιμών της παραμέτρου "ανάπτυξης νέων αστικών κέντρων" (breed) καθορίστηκε σε {25-50, με βήμα 5}, περιορίστηκε σε {25-40, με βήμα 3} στο επόμενο στάδιο για να λάβει τελικά την τιμή 40 στο στάδιο derive της βαθμονόμησης

Τα διαστήματα που καθόρισαν τις τιμές της παραμέτρου "επίδραση του οδικού δικτύου" ή αλλιώς road gravity, ήταν σχετικά διευρυμένα, κυμαινόμενα μεταξύ των τιμών {25-75, με βήμα 10} στο στάδιο fine, {25-55, με βήμα 6} στο στάδιο final για να πάρει τελικά τιμή 31 στο στάδιο derive.

6.1.3.2 Βαθμονόμηση_2_5_έτη (1960-2011)

Η παράμετρος της "διάχυσης" (diffusion) έλαβε τιμές εντός του ίδιου εύρους με την προηγούμενη βαθμονόμηση και στα τρία στάδια coarse, fine και final υπογραμμίζοντας, όπως και παραπάνω τη μικρή επιρροή της στην αστική ανάπτυξη στην περιοχή μελέτης.

Η παράμετρος της "κλίσης" (slope) κατέγραψε χαμηλότερες τιμές από την προηγούμενη βαθμονόμηση με αντίστοιχα εύρη {1-26, με βήμα 5}, {11-26, με βήμα 3} και τιμή 23 στα στάδια coarse, fine και final αντίστοιχα. Πιθανότατα, οι μικρότερες τιμές που καταγράφηκαν οφείλονται στη μεγαλύτερη πυκνότητα των ετών ελέγχου, καθώς σε αυτή την περίπτωση, στα ήδη υπάρχοντα δεδομένα αστικής κάλυψης προστέθηκε και ένα επιπλέον του έτους 1988.

Η "εξάπλωση" (spread) κινήθηκε και σε αυτή τη βαθμονόμηση σε υψηλά εύρη τιμών, που κυμάνθηκαν σε {75-100, με βήμα 5} στο στάδιο fine, και σε {90-95, με βήμα 1} στο στάδιο final για να λάβει την τιμή 90 στο στάδιο derive.

Υψηλές τιμές στα αντίστοιχα εύρη έλαβε και η παράμετρος "επίδραση από το οδικό δίκτυο" (road gravity), οι οποίες κυμάνθηκαν μεταξύ {25-100, με βήμα 10}, {40-85, με βήμα 9} και τιμή 67 στα τρία στάδια της βαθμονόμησης.

Τέλος, στην περίπτωση της παραμέτρου “ανάπτυξης νέων κέντρων” (breed), τα εύρη τιμών που καταγράφηκαν περιελάμβαναν τις χαμηλότερες τιμές και από τις τρεις βαθμονομήσεις, εκκινώντας από {1-26,με βήμα 5} στο στάδιο fine, περιορίστηκαν σε {21-26,με βήμα 1} στο στάδιο final και τελικά έλαβαν τιμή 24 στο στάδιο derive.

6.1.3.3 Βαθμονόμηση_3 (1972-2011)

Τέλος, στη περίπτωση της τρίτης βαθμονόμησης που ως έτος έναρξης ελήφθη το 1972 και λήξης το 2011, τα εύρη τιμών για την παράμετρο της διάχυσης ήσαν ακριβώς ίδια με τις προηγούμενες βαθμονομήσεις, παρότι η διάρκειά της ήταν κατά 12 έτη μικρότερη.

Το εύρος τιμών για την παράμετρο της κλίσης (slope) ήταν το πιο περιορισμένο συγκριτικά με τις άλλες δύο βαθμονομήσεις με τιμές στα αντίστοιχα εύρη {0-20,με βήμα 5}, και {1-6,με βήμα 5} στα στάδια fine και final, ενώ στο στάδιο derive έλαβε τελικά τιμή 6.

Οι υψηλότερες τιμές στα αντίστοιχα εύρη καταγράφηκαν για τις παραμέτρους, τόσο της εξάπλωσης (spread), όσο και της “επίδρασης από το οδικό δίκτυο” (road gravity), σε αυτή τη βαθμονόμηση. Πιο συγκεκριμένα, για την πρώτη παράμετρο τα εύρη ήσαν ίδια με της Βαθμονόμησης_2_5_έτη (1960-2011) στα στάδια fine και final και μόνο στο στάδιο derive η τιμή που έλαβε ήταν υψηλότερη και ίση με 93, ενώ και η δεύτερη παράμετρος κινήθηκε εντός του ίδιου εύρους με την εξάπλωση και στα τρία στάδια. Προφανώς, οι υψηλές αυτές τιμές δικαιολογούνται λόγω του υψηλού ρυθμού αύξησης των αστικών pixels μεταξύ των ετών ελέγχου που υπεισέρχονται, ειδικά μεταξύ των ετών 1972 και 1988, οπότε και καταγράφεται η μεγαλύτερη αστική ανάπτυξη στην περιοχή του Π.Σ. Ηρακλείου, ίση με 140% περίπου.

Τέλος, στην περίπτωση της παραμέτρου “ανάπτυξη νέων κέντρων” (breed) το εύρος τιμών στα στάδια fine, final και derive ήταν αντίστοιχα {50-75,με βήμα 5}, {48-53,με βήμα 1} και 49.

6.1.4 Συμπεριφορά παραμέτρων

Στην ενότητα αυτή αναλύεται η συμπεριφορά των παραμέτρων του μοντέλου μέσω της μελέτης των λεγόμενων “κανόνων αυτοτροποποίησης” (self modification rules). Οι κανόνες αυτοί εμπεριέχονται στη λειτουργία του μοντέλου (Clarke et al, 1997), η οποία επιτρέπει τη μεταβολή των τιμών των πέντε παραμέτρων του Sleuth, με σκοπό να μοντελοποιηθούν πιο ρεαλιστικά οι διαφορετικοί ρυθμοί ανάπτυξης που παρατηρούνται σε ένα αστικό σύστημα μέσα στο χρόνο.

Όταν ο ρυθμός ανάπτυξης υπερβεί ένα συγκεκριμένο κρίσιμο κατώφλι, οι παράμετροι πολλαπλασιάζονται με έναν παράγοντα μεγαλύτερο της μονάδας προσομοιώνοντας μια “έκρηξη” στον κύκλο ανάπτυξης. Ομοίως όταν ο ρυθμός ανάπτυξης βρεθεί μικρότερος από ένα αντίστοιχο κρίσιμο κατώφλι, οι παράμετροι πολλαπλασιάζονται με έναν παράγοντα μικρότερο της μονάδας, προσομοιώνοντας σε αυτή την περίπτωση μια “ύφεση” στον κύκλο της ανάπτυξης. Χωρίς τους κανόνες αυτοτροποποίησης, το μοντέλο θα προσομοίωνε μόνο ένα γραμμικό ρυθμό ανάπτυξης. (Jantz et al, 2003, σελ. 255).

Στις υποενότητες που ακολουθούν χρησιμοποιήθηκαν οι μέσες τιμές των παραμέτρων για τα αντίστοιχα έτη ελέγχου ανά βαθμονόμηση, όπως αυτές προέκυψαν από την εκτέλεση

του σταδίου derive, απεικονίζοντας τη δυναμική συμπεριφορά των παραμέτρων κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης του μοντέλου.

6.1.4.1 Βαθμονόμηση_1 (1960-2011)

Η βαθμονόμηση αυτή διατήρησε μια χαμηλή τιμή για την παράμετρο της "διάχυσης" ξεκινώντας και καταλήγοντας στη μονάδα καθόλη της διάρκειά της. Χαμηλά κινήθηκε και η παράμετρος "κλίση", η οποία αν και το 1972 έλαβε την τιμή 35 προσαρμόστηκε τελικά στο 1 το 1988, όπου και παρέμεινε και το 2011. Η "εξάπλωση" κυμάνθηκε σε αρκετά υψηλή τιμή, ίση με 86 το 1972, ενώ από το 1988-2011 κατέγραψε την μέγιστη τιμή 100. Τέλος, η παράμετρος "ανάπτυξης νέων κέντρων" παρουσίαζε αύξουσα τάση εκκινώντας από την τιμή 45 το 1972 για να αυξηθεί εκ νέου σε 57 το 1988 και να σταθεροποιηθεί σε 66 το 2011. Παρόμοια τάση, αλλά σε χαμηλότερα επίπεδα κατέγραψε και η παράμετρος "επίδραση από το οδικό δίκτυο", λαμβάνοντας τιμές 33, 38 και 42 στα αντίστοιχα έτη ελέγχου.

6.1.4.2 Βαθμονόμηση_2_5_έτη (1960-2011)

Η βαθμονόμηση αυτή διατήρησε, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση μια χαμηλή τιμή για την παράμετρο της "διάχυσης" ξεκινώντας και καταλήγοντας στη μονάδα. Χαμηλά κινήθηκε και η παράμετρος "κλίση", η οποία αν και το 1972 έλαβε την τιμή 6 προσαρμόστηκε τελικά στο 1, όπου και παρέμεινε για τα επόμενα τρία έτη ελέγχου. Η "εξάπλωση" έλαβε ήδη από το πρώτο έτος τη μέγιστη τιμή της 100, την οποία διατήρησε καθόλη τη διάρκεια αυτής της βαθμονόμησης, ενώ αυξητικές τάσεις παρουσίασαν και οι υπόλοιπες δύο παράμετροι "επίδραση από το οδικό δίκτυο" και "ανάπτυξη νέων κέντρων". Πιο συγκεκριμένα, η μεν πρώτη εκκίνησε από την τιμή 69 το 1972 για να φθάσει έως το 78 το 2011, ενώ η δεύτερη κατέγραψε τιμή 27 και 39 αντίστοιχα.

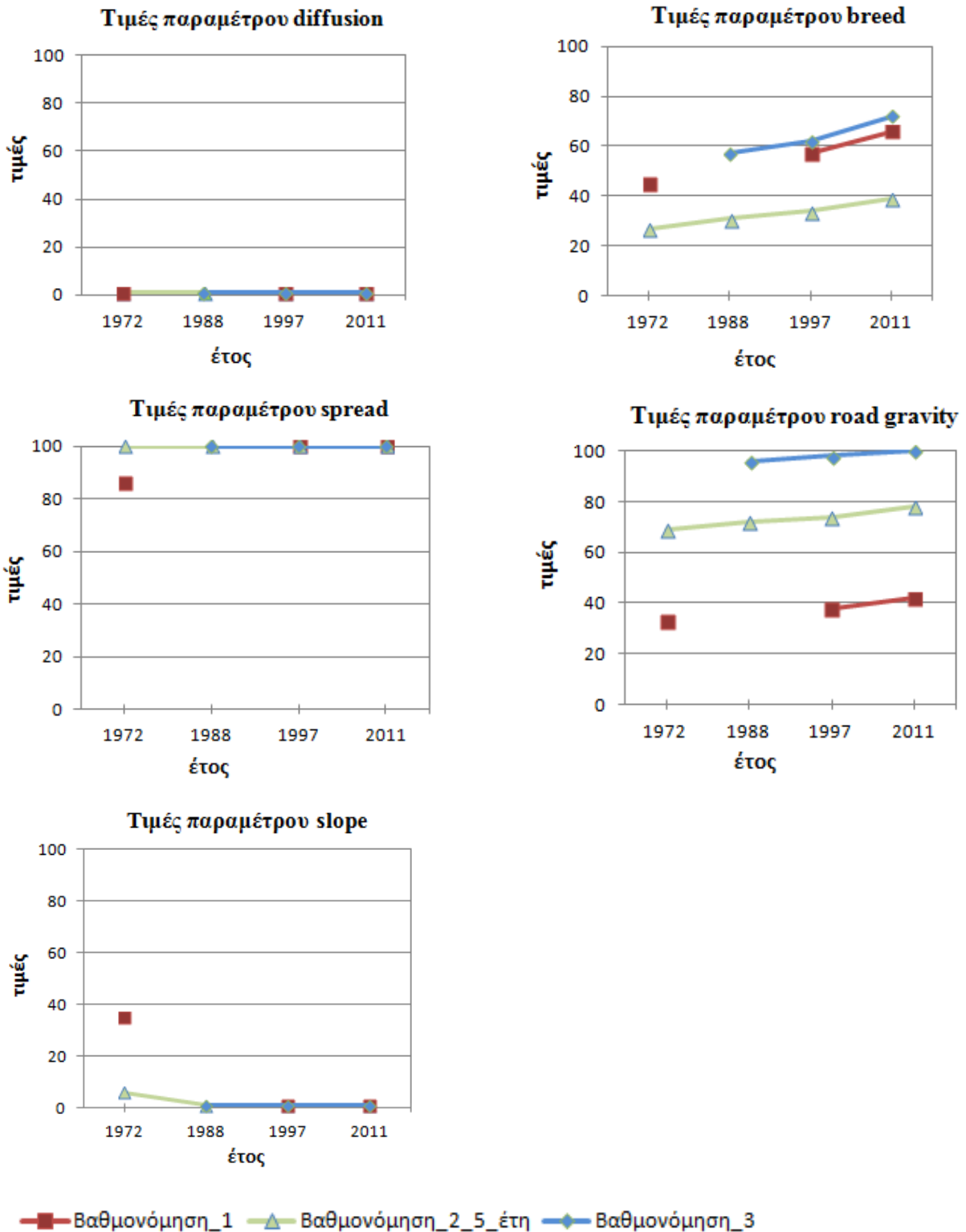
6.1.4.3 Βαθμονόμηση_3 (1972-2011)

Στην τρίτη βαθμονόμηση τέλος, παρατηρείται η ίδια τάση, τόσο για την παράμετρο "διάχυση", όσο και για την "κλίση", οι οποίες τελικά ελάχιστα επέδρασαν στη διαμόρφωση των αστικών προτύπων στην περιοχή μελέτης.

Ως κύριος ρυθμιστής της αστικοποίησης, η "εξάπλωση" καταγράφει ήδη από το 1988 τη μέγιστή τιμή της, η οποία διατηρείται το 1997 και 2011, ενώ σε αυτή τη βαθμονόμηση, πολύ υψηλή τιμή λαμβάνει και η παράμετρος "επίδραση από το οδικό δίκτυο".

Πιθανότατα, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι στα δεδομένα εισαγωγής που αφορούν το οδικό δίκτυο για το έτος 1972, οπότε και εκκινείται η βαθμονόμηση αυτή, έχει ήδη συμπεριληφθεί ο Β.Ο.Α.Κ. και έχουν αποδοθεί βάρη σε διάφορα τμήματά του, σε αντίθεση με τις προηγούμενες δύο βαθμονομήσεις. Αυτό σε συνδυασμό με τον υψηλό ρυθμό αύξησης των αστικών pixels, όπως διαφαίνεται και από τα εισαγόμενα επίπεδα αστικής κάλυψης, ωθούν τις παραμέτρους αυτές να λάβουν υψηλότερες συγκριτικά τιμές.

Τέλος και η παράμετρος "ανάπτυξη νέων κέντρων" κατέγραψε σχετικά υψηλές τιμές, παρόμοιες με της Βαθμονόμησης_2 (160-2011_4_έτη), ξεκινώντας από την τιμή 57 το 1988 και φθάνοντας στην τιμή 72 το 2011.



Εικόνα 6-4: Συμπεριφορά παραμέτρων για τις τρεις βαθμονομήσεις (Ιδία επεξεργασία)

6.2 Πρόγνωση (Forecast)

Το επόμενο στάδιο της λειτουργίας του μοντέλου αφορά τη διαδικασία της πρόγνωσης. Για την εκτέλεση της πρόγνωσης χρησιμοποιήθηκαν οι τιμές των παραμέτρων που προέκυψαν κατά το τελευταίο έτος της βαθμονόμησης, δηλ. το 2011 και για τις τρεις περιπτώσεις βαθμονόμησης, το οποίο αποτέλεσε το έτος εκκίνησης (start_date) στο επόμενο στάδιο του μοντέλου, ενώ ως έτος λήξης (stop_date) ορίστηκε το έτος 2025.

Προτιμήθηκε να γίνει μιας μικρής διάρκειας πρόβλεψη, ώστε να υπάρχει μια επαρκής εικόνα για το μέλλον, χωρίς όμως να μειώνεται η αξιοπιστία και η ακρίβεια των αποτελεσμάτων, καθώς εάν η πρόβλεψη γινόταν για τριάντα (30) χρόνια, τα αποτελέσματα θα έχαναν την αξιοπιστία και την ακρίβειά τους. Αυτό θα συνέβαινε διότι, όσο αυξάνονται τα έτη πρόβλεψης του πληθυσμού, τόσο πιο ανακριβής ενδέχεται να είναι η προβολή, ενώ υπάρχει μεγαλύτερη πιθανότητα να συμβούν γεγονότα τα οποία μπορούν να επηρεάσουν τη γεννητικότητα και τη θνησιμότητα (π.χ. οικονομική κρίση, φυσικές καταστροφές κ.λ.π.). Σε πρώτο στάδιο αναλύθηκε η συμπεριφορά των δεικτών και των παραμέτρων για τα δεκατέσσερα (14) έτη της πρόγνωσης του μοντέλου σε αντιστοιχία με την ανάλυση που προηγήθηκε κατά τις βαθμονομήσεις.

Σε δεύτερο στάδιο οι μοντελοποιημένες εικόνες που προέκυψαν και για τις τρεις (3) βαθμονομήσεις που εκτελέστηκαν, εισήχθησαν στο ArcGIS για περαιτέρω ανάλυση, παρήχθησαν χάρτες με βάση την πιθανότητα αστικοποίησης και πραγματοποιήθηκε επίσης μια ποσοτικοποίηση των αλλαγών στις χρήσεις γης για το χρονικό διάστημα της πρόβλεψης του μοντέλου.

6.2.1 Συμπεριφορά των δεικτών

Οι δείκτες που μελετήθηκαν και αναπτύσσονται στις επόμενες υποενότητες, αποθηκεύτηκαν στο αρχείο avg.log που προέκυψε από την εκτέλεση των αντίστοιχων αρχείων πρόβλεψης για καθεμιά από τα τρεις (3) βαθμονομήσεις, το οποίο παρατίθεται αναλυτικά στο Παράρτημα Γ. Στη συνέχεια, τα αποτελέσματα των δεικτών που αναπτύχθηκαν στα πλαίσια της βαθμονόμησης, πλην του Leesalee, εισήχθησαν στο Excel και απεικονίζονται στα ακόλουθα διαγράμματα ανά δύο (2) έτη, μέχρι το τελικό έτος πρόβλεψης 2025.

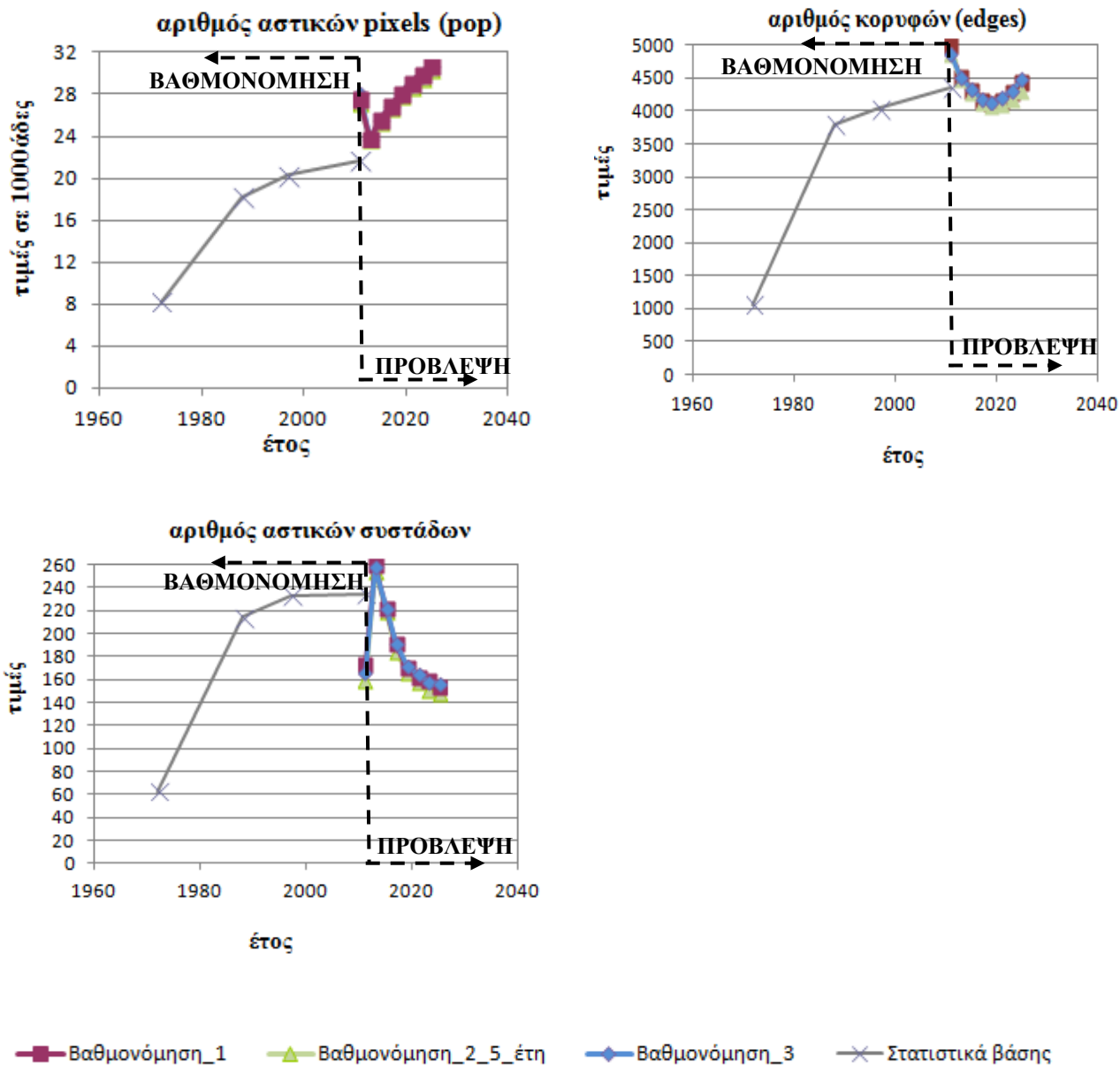
Ο δείκτης Leesalee δεν υπολογίζεται στο στάδιο της πρόβλεψης, καθώς αφορά στη χωρική συσχέτιση μεταξύ μοντελοποιημένης και "πραγματικής" ανάπτυξης. Δεδομένου ότι η πρόβλεψη "τρέχει" στο μέλλον μετά το 2011, οπότε και δεν υπάρχουν αντίστοιχα έτη ελέγχου, ο δείκτης αυτός δεν μπορεί να υπολογιστεί από το μοντέλο.

6.2.1.1 Βαθμονόμηση_1 (1960-2011)

Ο αριθμός των μελλοντικών αστικών κελιών (pop) αυξήθηκε από 22,72 χιλιάδες το 2012 σε 37,34 το 2025 ακολουθώντας μια διαρκώς αύξουσα πορεία στα ενδιάμεσα έτη της πρόβλεψης. Συνολικά, στα δεκατέσσερα (14) έτη έως το 2025 η ποσοστιαία αύξηση του δείκτη αυτού έφθασε στο 26% περίπου.

Ο δείκτης των αστικών κορυφών (edges), μειώθηκε από 4,5 χιλιάδες το 2012 σε 4,17 στο πρώτο μισό της πρόβλεψης για να αυξηθεί εκ νέου στο τελευταίο έτος 2025 σε 4,43 χιλιάδες, ενώ έλαβε τη μικρότερη τιμή στο μέσο της πρόβλεψης, ίση με 4,17 χιλιάδες.

Αντίθετα, ο αριθμός των αστικών συστάδων (clusters) ακολούθησε μια φθίνουσα τάση σε όλη τη διάρκεια της πρόβλεψης και μειώθηκε από 262 σε 153 περίπου στο τελευταίο έτος 2025 σημειώνοντας τελικά μια ποσοστιαία μείωση της τάξης του 42%.



Εικόνα 6-5: Συμπεριφορά δεικτών κατά την πρόγνωση από το 2011-2025 (Ιδία επεξεργασία)

6.2.1.2 Βαθμονόμηση_2_5_έτη (1960-2011)

Στο βαθμονόμηση αυτή ο δείκτης πληθυσμού κατέγραψε τη μικρότερη αύξηση συγκριτικά. Πιο συγκεκριμένα, από 22,72 χιλιάδες το 2012 κατέγραψε τιμή ίση με 30,34 χιλιάδες το 2025 και συνολική ποσοστιαία αύξηση 33,5%. Ακολουθώντας παρόμοιες τάσεις με την προηγούμενη βαθμονόμηση, ο δείκτης των μελλοντικών αστικών κορυφών κινήθηκε μειούμενος έως το έτος 2018, ενώ από το 2019 και έως το 2025 κατέγραψε αύξουσα πορεία και έκλεισε τελικά πολύ κοντά με την αντίστοιχη τιμή που έλαβε η Βαθμονόμηση_1, ίση με 4,32 χιλιάδες, που ήταν και η χαμηλότερη εκ των βαθμονομήσεων τιμή του δείκτη αυτού για το 2025. Τέλος, χαμηλότερα κινήθηκε και ο αριθμός για το δείκτη των αστικών συστάδων (clusters) σε όλη τη διάρκεια της πρόβλεψης, εκκινώντας από 256,65 το 2012 και φθάνοντας σε 148,29 το 2025, καταγράφοντας ποσοστιαία μείωση ίση με 42%.

6.2.1.3 Βαθμονόμηση_3 (1972-2011)

Η βαθμονόμηση που εκτελέστηκε από το 1972-2011 έδωσε τις περισσότερες υπερεκτιμημένες προβλέψεις και για τους τρεις (3) παραπάνω δείκτες που μελετήθηκαν. Παρόλα αυτά δεν παρουσιάστηκε κάποια ιδιαίτερα σημαντική διαφορά στις τιμές των δεικτών σε σχέση με τις βαθμονομήσεις 1 και 2. Αναφορικά με τον μελλοντικό αστικό πληθυσμό, αν και η ποσοστιαία αύξησή του ήταν όση και για την πρώτη βαθμονόμηση, σε πραγματικά μεγέθη έφθασε το 2025 στις 30,67 έναντι 30,60 χιλιάδες pixels, δηλαδή βρέθηκε 63 στρέμματα μεγαλύτερος, παρότι το 2012 και οι δύο βαθμονομήσεις κατέγραψαν τιμή ίση με 22,76 χιλιάδες. Ο δείκτης των κορυφών ακολούθησε παρόμοιες τάσεις με τις δύο βαθμονομήσεις με τιμή 4,52 και 4,48 χιλιάδες τα έτη 2012 και 2025, ενώ η μικρότερη τιμή του σημειώθηκε το 2019 και ήταν 4,16 χιλιάδες. Τέλος, και ο δείκτης των αστικών συστάδων (clusters) ακολούθησε φθίνουσες τάσεις και κινήθηκε μειούμενος από 262 σε 156 περίπου τα έτη 2012 και 2025, ενώ η ποσοστιαία μεταβολή που κατέγραψε μεταξύ του πρώτου και τελευταίου έτους της πρόβλεψης ήταν η μικρότερη, ίση με 40%.

6.2.2 Συμπεριφορά των παραμέτρων κατά την πρόγνωση

Τέλος, αναφορικά με τη συμπεριφορά των παραμέτρων του μοντέλου για τις τρεις (3) βαθμονομήσεις, οι τιμές που καταγράφηκαν στο στάδιο της πρόβλεψης του μοντέλου δε διέφεραν ουσιαστικά μεταξύ τους από τις αντίστοιχες τιμές στη λειτουργία της βαθμονόμησης. Οι τιμές αυτές αποτυπώνονται επίσης στα ακόλουθα διαγράμματα:

6.2.2.1 Βαθμονόμηση_1 (1960-2011)

Στη λειτουργία της πρόβλεψης οι παράμετροι της διάχυσης (diffusion) και κλίσης (slope) για τη βαθμονόμηση αυτή ακολούθησαν ίδιες τάσεις, επιδρώντας ελάχιστα κι έλαβαν την ίδια τιμή ίση με τη μονάδα ήδη από το πρώτο έτος της πρόγνωσης, την οποία και διατήρησαν μέχρι και το τέλος. Οι τιμές των παραμέτρων ανάπτυξης νέων αστικών κέντρων (breed) και επίδρασης από το οδικό δίκτυο (road gravity) κινήθηκαν σε υψηλά επίπεδα, με τιμές που για την μεν πρώτη κυμάνθηκαν από 66-74 και για τη δεύτερη μεταξύ 42-46, καταδεικνύοντας με τρόπο ανάλογο της βαθμονόμησης την επίδρασή τους στη μοντελοποίηση της ανάπτυξης στην περιοχή μελέτης. Τέλος, η παράμετρος εξάπλωσης (spread) διατήρησε τη μέγιστη τιμή 100 και στα δεκατέσσερα (14) έτη της πρόβλεψης, κατά αντιστοιχία με την έντονη δυναμική της και κατά τη βαθμονόμηση, γεγονός που αποδεικνύει την έντονη επιρροή της παραμέτρου στη διαδικασία εκτέλεσης του μοντέλου. Τη δυναμική αυτή επεξηγεί και η πραγματική εξέλιξη της ανάπτυξης, καθώς αυτή πραγματοποιήθηκε από το κέντρο της πόλης του Ηρακλείου και προς τα έξω μέσω των αστικών κέντρων που δημιουργήθηκαν κατά μήκος των νέων οδικών αρτηριών.

6.2.2.2 Βαθμονόμηση_2_5_έτη (1960-2011)

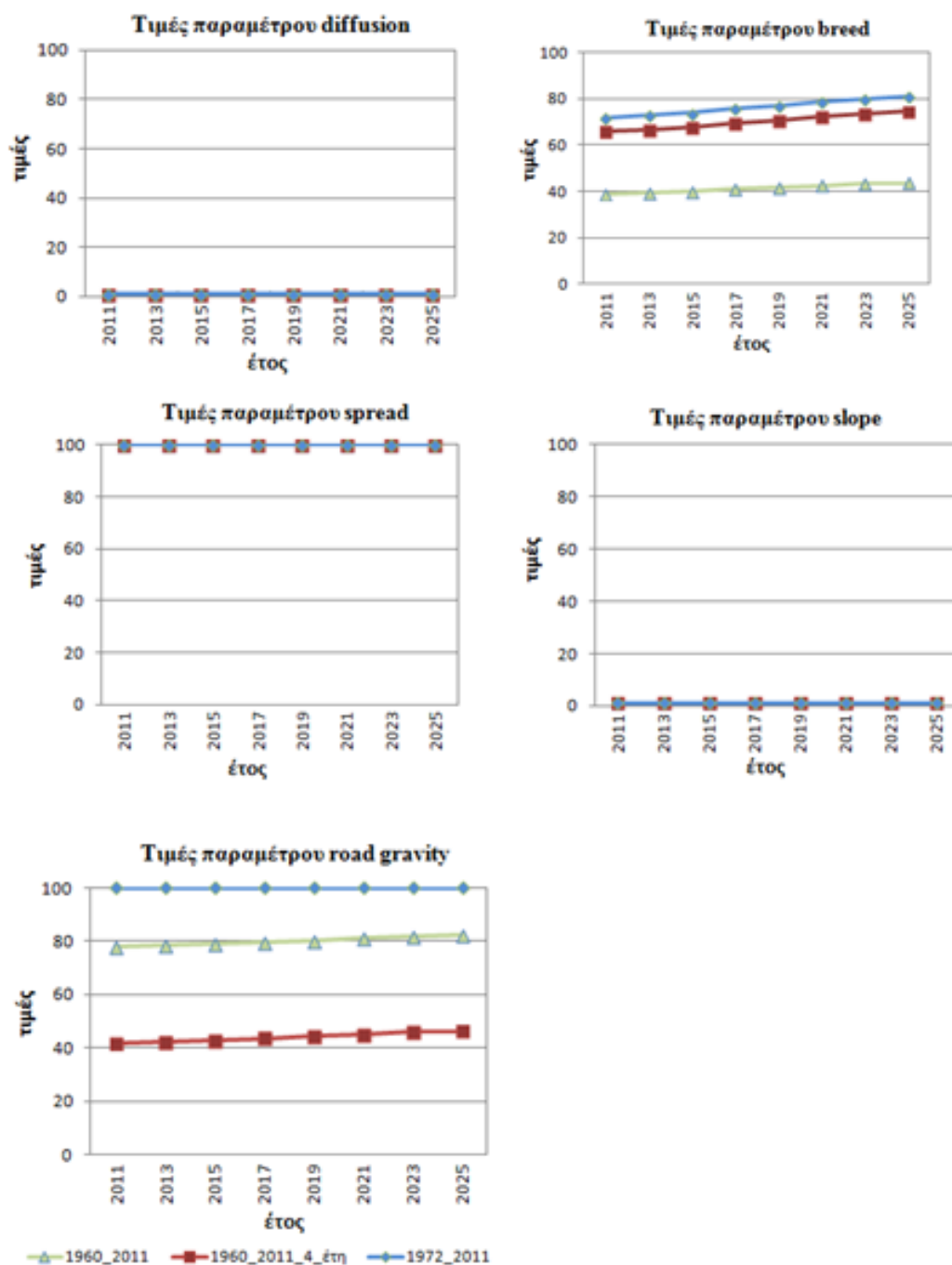
Οι παράμετροι της διάχυσης και της κλίσης για τη βαθμονόμηση αυτή, στην οποία χρησιμοποιήθηκαν πέντε (5) επίπεδα αστικής κάλυψης αντί για τα ελάχιστα απαιτούμενα τέσσερα, κινήθηκαν στα ίδια πλαίσια με την προηγούμενη βαθμονόμηση επηρεάζοντας ελάχιστα την ανάπτυξη στη φάση της πρόγνωσης του μοντέλου λαμβάνοντας τη μικρότερη τιμή ίση με τη μονάδα. Οι παράμετροι breed και road gravity σημείωσαν σε αντιστοιχία με τη υψηλές τιμές, μόνο που σε αυτή την περίπτωση αυτό έγινε αντίστροφα, δηλαδή οι τιμές της

παραμέτρου breed ήταν υψηλότερες και έλαβαν τιμές μεταξύ 39-44, ενώ η παράμετρος της επίδρασης από το οδικό δίκτυο (road gravity) μεταξύ 78-82.

Τέλος και σε αυτή τη βαθμονόμηση, η τιμή της παραμέτρου εξάπλωσης (spread) πήρε τη μεγαλύτερη τιμή της ίση με 100, την οποία διατήρησε σε όλη τη φάση της πρόβλεψης.

6.2.2.3 Βαθμονόμηση_3 (1972-2011)

Οι παράμετροι της διάχυσης και της κλίσης στην περίπτωση της τρίτης βαθμονόμησης κινήθηκαν στα ίδια ακριβώς πλαίσια με τις προηγούμενες περιπτώσεις επηρεάζοντας ελάχιστα την ανάπτυξη στη φάση της πρόγνωσης του μοντέλου λαμβάνοντας τη μικρότερη τιμή ίση με τη μονάδα.



Εικόνα 6-6: Τιμές παραμέτρων για τη λειτουργία της πρόβλεψης του μοντέλου (Ιδία επεξεργασία)

Η παράμετρος *breed* σημείωσε τις υψηλότερες τιμές από 72-81, ενώ οι παράμετροι *spread* και *road gravity* κατέγραψαν τη μέγιστη τιμή 100 σε όλη τη φάση της πρόγνωσης. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό, αφενός στον υψηλό ρυθμό της ανάπτυξης, κυρίως μεταξύ των ετών 1972-1988 κατά τη βαθμονόμηση, όσο και στο γεγονός ότι ήδη η ύπαρξη του Β.Ο.Α.Κ. στην εικόνα του οδικού δικτύου για το πρώτο έτος 1972 αυτής της βαθμονόμησης ώθησαν τις παραμέτρους αυτές αρκετά “υψηλά”.

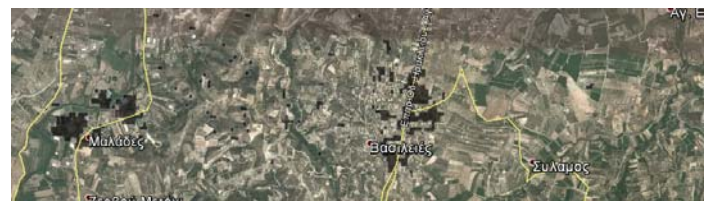
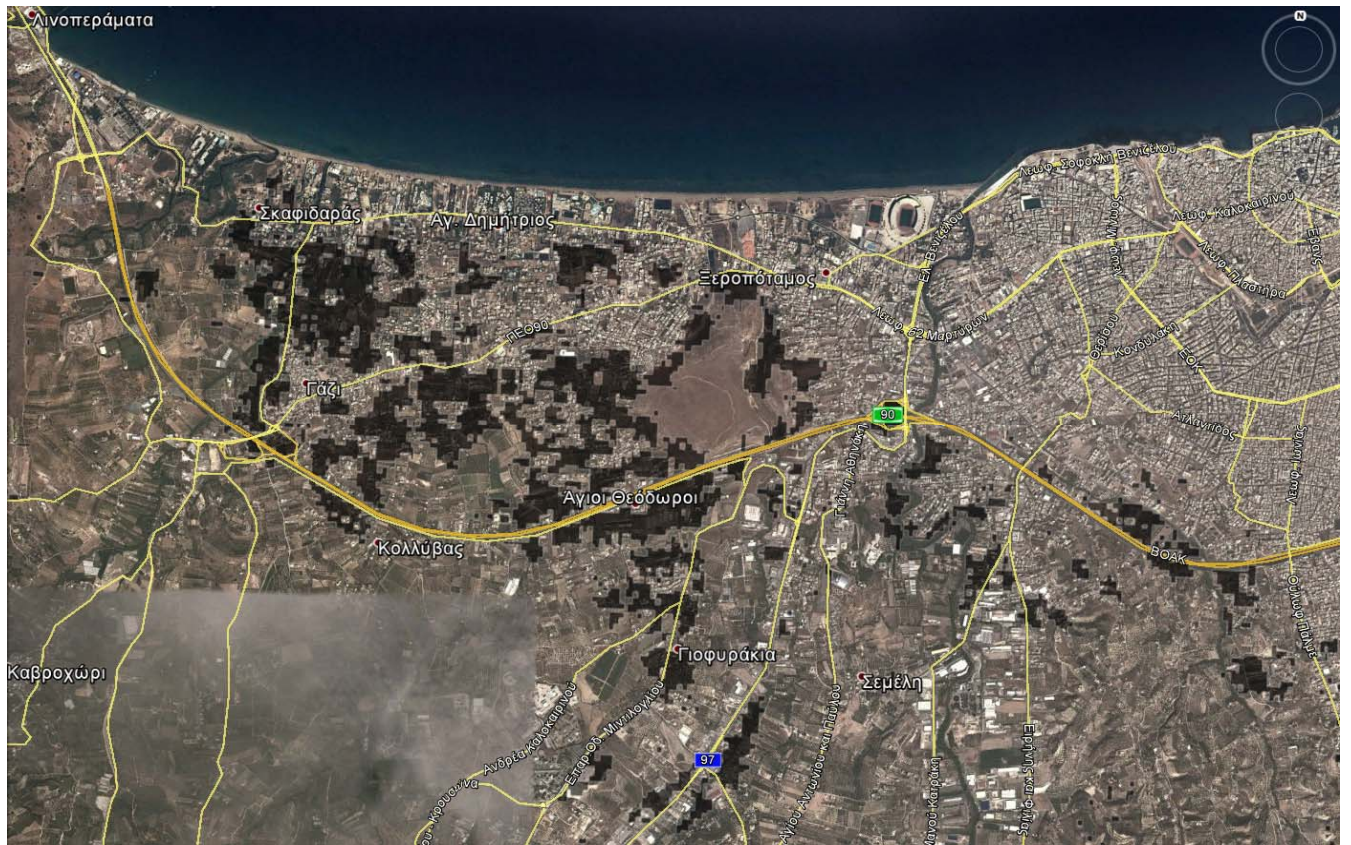
6.2.3 Επεξεργασία εικόνων κάλυψης γης για την πρόγνωση

Εκτός των στατιστικών στοιχείων που εξάγονται κατά τη διαδικασία της πρόγνωσης, ορισμένα από τα οποία αναλύθηκαν στις προηγούμενες υποενότητες, το *Sleuth* παρέχει, μέσω κατάλληλων ρυθμίσεων στα αρχεία των σεναρίων τη δυνατότητα εξαγωγής εικόνων τύπου gif ίδιας ανάλυσης και μεγέθους με τα αρχεία εισόδου. Στις εικόνες αυτές φαίνεται η αστική κάλυψη σε σχέση με τις υπόλοιπες χρήσεις γης που εισήχθησαν στο μοντέλο για κάθε χρονικό βήμα που έχει οριστεί, στην προκειμένη περίπτωση ανά έτος, δηλ. από το 2012 έως το 2025.

Από τη μελέτη των στιγμιότυπων προκύπτει ότι έως το 2025 οι κύριες τάσεις αστικοποίησης παρατηρούνται κυρίως στο δυτικό τμήμα του Πολεοδομικού Συγκροτήματος και εντός του Δ.Δ. Γαζίου, όπου και αναμένεται περαιτέρω αστική ανάπτυξη εις βάρος της υπάρχουσας αγροτικής γης. Πιο συγκεκριμένα, η επέκταση εντοπίζεται στους οικισμούς του Σκαφιδάρα και προς τα νότια με κατεύθυνση προς το Γάζι μέσω της 3^{ης} Σεπτεμβρίου, ενώ και η περιοχή μεταξύ της ΠΕ90 και του Β.Ο.Α.Κ. , καθώς και ο οικισμός των Αγίων Θεοδώρων δείχνουν να επηρεάζονται μελλοντικά. Παράλληλα, αλλαγές παρατηρούνται τόσο κατά μήκος της ΕΟ97, αλλά και της επαρχιακής οδού Μιντιλογλίου που διέρχεται μέσα από τον οικισμό Γιοφυράκια, όσο και κατά μήκος του Β.Ο.Α.Κ. με κατεύθυνση πλέον προς τα ανατολικά.

Στο δεύτερο στιγμιότυπο, η ένταση της αστικοποίησης εντοπίζεται στα Δ.Δ. Ηρακλείου, αφενός κατά μήκος της Ούλωφ Πάλμε και προς τον οικισμό Μαραθίτης και αφετέρου κατά μήκος της Λ. Κνωσσού, αλλά και στα άκρα της ήδη υπάρχουσας δομημένης επιφάνειας στο νότιο τμήμα του Δ.Δ. Ν. Αλικαρνασσού , ενώ μελλοντικά και ο οικισμός Καλλιθέα που οριοθετείται στα νότια της ΒΙ.ΠΕ Ηρακλείου φαίνεται να επεκτείνεται.

Τέλος, στο νοτιότερο τμήμα του Π.Σ. Ηρακλείου, όπως απεικονίζεται στο τρίτο στιγμιότυπο, καταγράφεται εξάπλωση της αστικής ανάπτυξης, τόσο στον οικισμό Μαλάδες, όσο και κατά μήκος της επαρχιακής οδού Ηρακλείου- Αγ. Σύλλα και προς τον οικισμό Βασιλειές.



Εικόνα 6-7: Τάσεις μελλοντικής αστικοποίησης μέσω της επεξεργασίας των εξαγόμενων εικόνων των ετών 2012 και 2025 (Ιδία επεξεργασία)

6.2.4 Επεξεργασία εξαγόμενων εικόνων πρόβλεψης αστικοποίησης

Ένα από τα εξαγόμενα του μοντέλου, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για περαιτέρω ανάλυση στο ArcGIS είναι το αρχείο "cumulate_urban". Πρόκειται για μια εικόνα τύπου.gif, που παίρνει τιμές από 0-100, ανάλογα με την πιθανότητα αστικοποίησης κάθε pixel στο τελικό έτος πρόβλεψης και περιέχει για κάθε μια εκ των πιθανοτήτων το αντίστοιχο πλήθος των pixels που ενδέχεται να αστικοποιηθεί.

Πιθανότητες αστικοποίησης	Βαθμονόμηση1_4_έτη (1960-2011)	Βαθμονόμηση_2_5_έτη (1960-2011)	Βαθμονόμηση_3 (1972-2011)
100-95% πιθανότητα	28.291	28.397	28.435
95-90% πιθανότητα	435	498	497
90-80% πιθανότητα	518	540	570
80-60% πιθανότητα	668	719	679
60-40% πιθανότητα	597	594	628
40-20% πιθανότητα	714	676	688
20- 0% πιθανότητα	102.277	102.076	102.003

Πίνακας 6-1: Αριθμός εικονοστοιχείων που προβλέπεται να αστικοποιηθούν έως το 2025 για τις περιπτώσεις των βαθμονομήσεων που εκτελέστηκαν (Ιδία επεξεργασία)

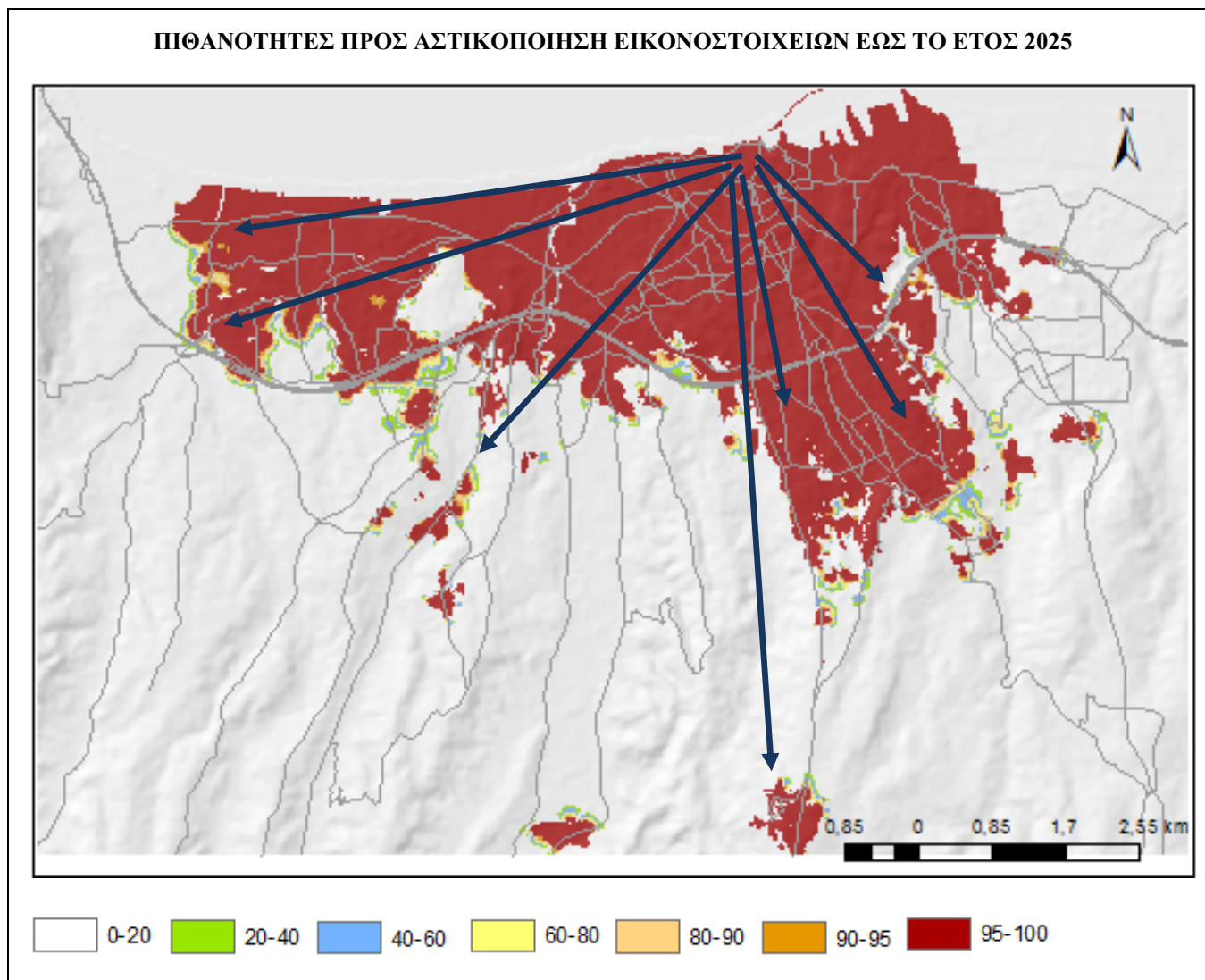
Τα αρχεία που εξήχθησαν σε κάθε περίπτωση εισήχθησαν στο ArcGIS παράλληλα με το αρχείο της γεωαναφοράς του τελευταίου έτους της βαθμονόμησης, δηλ. του 2011. Το αντίστοιχο πλήθος των εικονοστοιχείων βάσει των πιθανοτήτων αστικοποίησης παρατίθεται στον προηγούμενο πίνακα.

Σύμφωνα με τα εξαγόμενα του αρχείου "cumulate urban" για την περίπτωση που χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα (4) επίπεδα αστικής κάλυψης από το 1960-2011 προβλέπεται να έχουν γίνει αστικά έως το 2025 περίπου 28.726 pixels των 30 μ., με μια πιθανότητα μεγαλύτερη από 90%. Το πλήθος των εικονοστοιχείων που αναφέρθηκε, αντιστοιχεί σε μια έκταση της τάξης των 25,8 τετρ. χιλιομέτρων, ενώ 518 ακόμη μη αστικοποιημένα μέχρι στιγμής εικονοστοιχεία, δηλαδή περίπου 466 στρέμματα αναμένεται να μετατραπούν σε αστικά με μια πιθανότητα 80%-90% έως το ίδιο έτος.

Ο αριθμός των προς αστικοποίηση εικονοστοιχείων διαστάσεων 30*30 μ που καταγράφηκε στην περίπτωση που για την εκτέλεση του μοντέλου χρησιμοποιήθηκαν περισσότερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα επίπεδα αστικής χρήσης, κυμάνθηκε σε ελαφρώς υψηλότερα επίπεδα. Η πρόβλεψη για τα εικονοστοιχεία που αναμένεται να μετατραπούν σε αστικά έως το 2025 με μια πιθανότητα μεγαλύτερη από 90% αφορά σε έναν αριθμό της τάξης των 28.895, έναντι 28.726, ενώ 540 νέα αστικά κελιά, δηλαδή περίπου 5% περισσότερα σε σχέση με την προηγούμενη περίπτωση έχουν πιθανότητα μεταξύ 80-90% να δημιουργηθούν έως το τέλος του 2025.

Τέλος, στην περίπτωση εκτέλεσης του Sleuth με δεδομένα αστικής κάλυψης από το 1972-2011, οπότε και καταγράφηκαν οι υψηλότερες τιμές προς αστικοποίηση εικονοστοιχείων, αναμένεται έως το 2025 να μετατραπούν σε αστικά με μια πιθανότητα

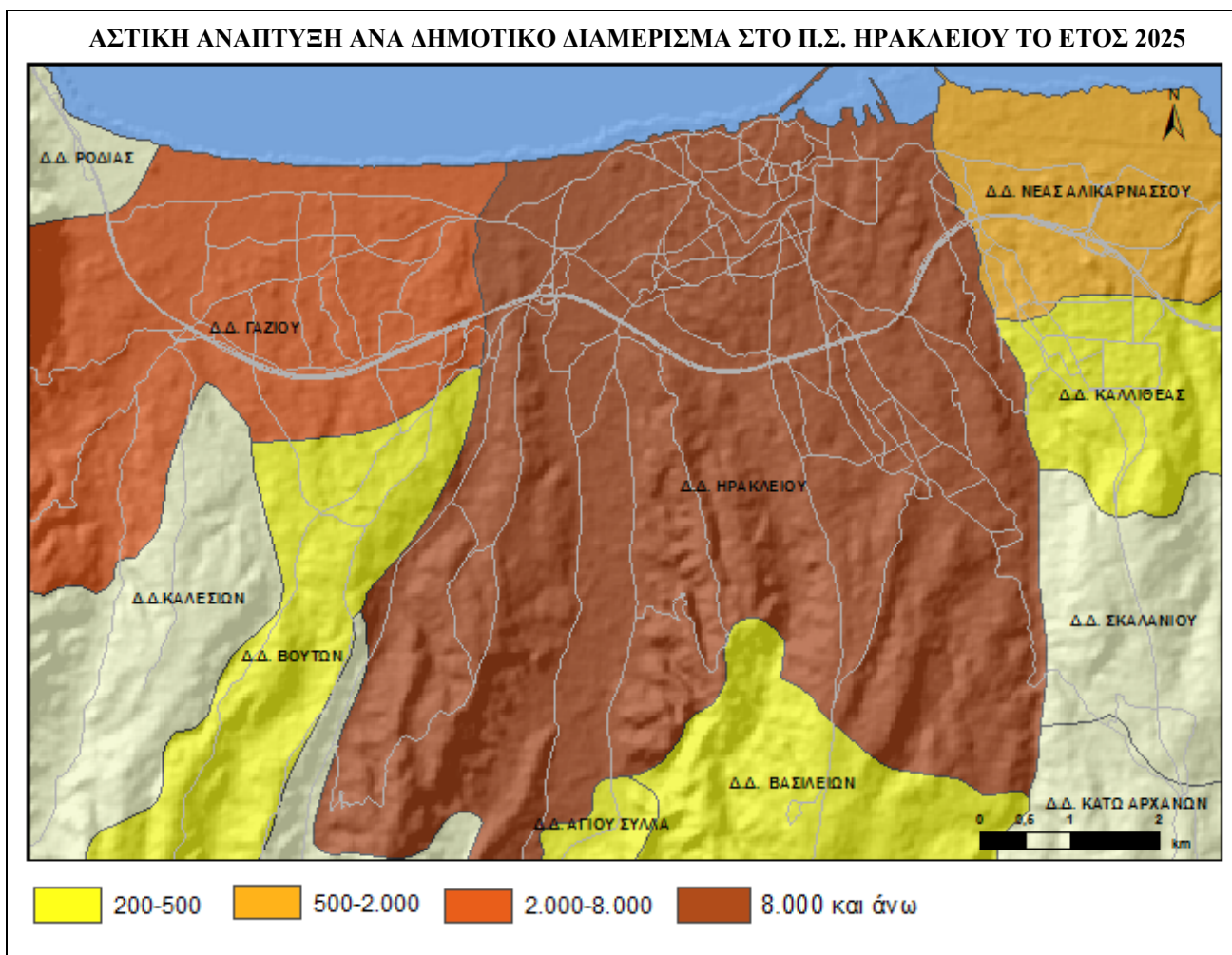
μεγαλύτερη από 90% περίπου 26 στρέμματα, τα οποία αντιστοιχούν σε 28.932, ενώ άλλα 570 εικονοστοιχεία ή 517 στρέμματα έχουν πιθανότητα μεταξύ 80%-90% να αστικοποιηθούν.



Εικόνα 6-8: Πιθανολογικός χάρτης αστικής ανάπτυξης για το Π.Σ. Ηρακλείου το έτος 2025 (Ιδία επεξεργασία)

Ο πιθανολογικός χάρτης της αστικής ανάπτυξης για το Π.Σ Ηρακλείου δείχνει ότι οι πιθανότητες της περαιτέρω εξάπλωσης έως το 2025 είναι υψηλότερες κατά τη διεύθυνση ανατολής- δύσης, καθώς αναμένεται να μετατραπεί σε αστική η διαθέσιμη γη που έχει απομείνει στην περιοχή του Γαζίου, μεταξύ της ΠΕ090 που διασχίζει τον οικισμό και διασταυρώνεται με τον Β.Ο.Α.Κ. και της Λ. Ανδρέα Παπανδρέου που εκτείνεται κατά μήκος όλου του Βόρειου παραθαλάσσιου μετώπου. Έντονη αναμένεται επίσης και η αστική ανάπτυξη με κατεύθυνση νοτιοανατολικά της πόλης του Ηρακλείου προς την Κνωσό, η οποία επηρεάζεται από το υπάρχον οδικό δίκτυο, καθώς η ΕΟ99 που αναπτύσσεται με κατεύθυνση τον οικισμό και τον αρχαιολογικό χώρο της Κνωσού έλκει σημαντικό μέρος της ανάπτυξης. Υψηλές επίσης τάσεις, με πιθανότητες πάνω από 90% παρατηρούνται κατά μήκος της ΕΟ97 που διασχίζει τις Γούρνες, αλλά και τμήματος του οδικού δικτύου προς τις Βούτες, ενώ παρόμοιες τάσεις καταγράφονται και κατά μήκος της επαρχιακής οδού Ηρακλείου- Αγ. Σύλλα προς τις Βασιλειές.

Το αρχείο “cumulate urban” του Sleuth μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί, προκειμένου να συνοψιστούν τα δεδομένα της πρόβλεψης ανά γεωγραφική μονάδα (περιφέρεια, νομός, δήμος, δημοτικό διαμέρισμα), ώστε να δοθεί μια τάξη μεγέθους της προβλεπόμενης ανάπτυξης ανά περιοχή.

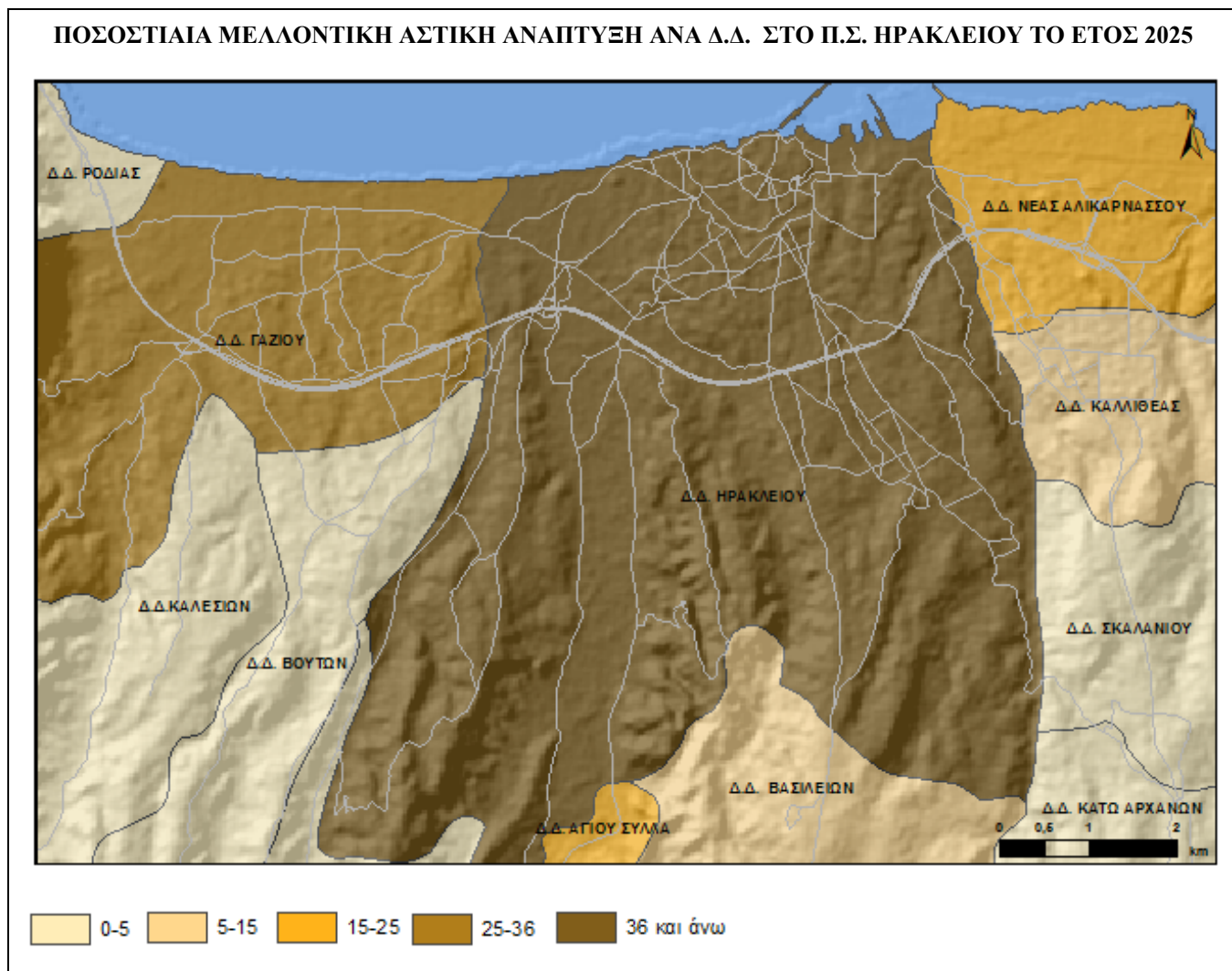


Εικόνα 6-9: Αστική ανάπτυξη ανά δημοτικό διαμέρισμα (Ιδία επεξεργασία)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε συνδυαστική χρήση του παραγόμενου αρχείου και του αρχείου των δημοτικών διαμερισμάτων βάσει Καποδίστρια που εμπίπτουν εντός των ορίων της περιοχής μελέτης με την ταυτόχρονη χρήση του εργαλείου Zonal Statistics του Spatial Analyst. Υπολογίστηκε κατά αυτόν τον τρόπο η συνολική έκταση ανά δημοτικό διαμέρισμα της αστικής ανάπτυξης για το έτος στόχο 2025.

Σύμφωνα με την παραπάνω εικόνα της μελλοντικής αστικής ανάπτυξης, το μεγαλύτερο τμήμα της συγκεντρώνεται στο Δ.Δ. Ηρακλείου, ακολουθώντας τις αντίστοιχες πληθυσμιακές τάσεις, αλλά και την έντονη οικοδομική δραστηριότητα, όπως αναπτύχθηκαν ποιοτικά και ποσοτικά στο κεφάλαιο της παρουσίασης της περιοχής μελέτης. Ειδικότερα, 18.125 στρέμματα αστικής έκτασης αναμένεται να αναπτυχθούν εντός του δημοτικού διαμερίσματος το διάστημα από το 2012-2025. Ακολουθεί το Δ.Δ. Γαζίου, στο οποίο η αντίστοιχη έκταση εκτιμάται ότι θα φθάσει στα 6.253 στρέμματα περίπου, καθώς με βάση και το Γ.Π.Σ. Ηρακλείου, ο Δ. Γαζίου αναμένεται να δεχθεί το κύριο βάρος για στέγαση πρώτης κατοικίας. Σημαντικό μέρος της έκτασης, αλλά σε μικρότερο βαθμό, λόγω του περιορισμού της

ανάπτυξης εξαιτίας της ΒΙ.ΠΕ. Ηρακλείου και του Αεροδρομίου κατανέμεται και στο Δ.Δ. Ν. Αλικαρνασσού, στο οποίο υπολογίζονται περί τα 1.585 στρέμματα αστικής έκτασης έως το 2025, ενώ ένα μικρό μέρος της αστικοποίησης έλκουν και τα Δ.Δ. Καλλιθέας, Βουτών, Αγ. Σύλλα και Βασιλείων, στα οποία συνολικά η έκταση προς αστικοποίηση φθάνει τα 1.200 στρέμματα. Στα υπόλοιπα διαμερίσματα, η έκταση της αστικής γης είναι πολύ χαμηλή και κυμαίνεται μεταξύ ενός έως και τριάντα στρεμμάτων



Εικόνα 6-10: Ποσοστιαία αστική ανάπτυξη ανά Δ.Δ. στο ΠΣ Ηρακλείου έως το έτος στόχο 2025 (Ιδία επεξεργασία)

Στη συγκεκριμένη περίπτωση έγινε συνδυαστική χρήση του παραγόμενου αρχείου και του αρχείου των δημοτικών διαμερισμάτων βάσει Καποδίστρια που εμπίπτουν εντός των ορίων της περιοχής μελέτης με την ταυτόχρονη χρήση του εργαλείου Zonal Statistics του Spatial Analyst. Υπολογίστηκε κατά αυτόν τον τρόπο η συνολική έκταση ανά δημοτικό διαμέρισμα της αστικής ανάπτυξης για το έτος στόχο 2025.

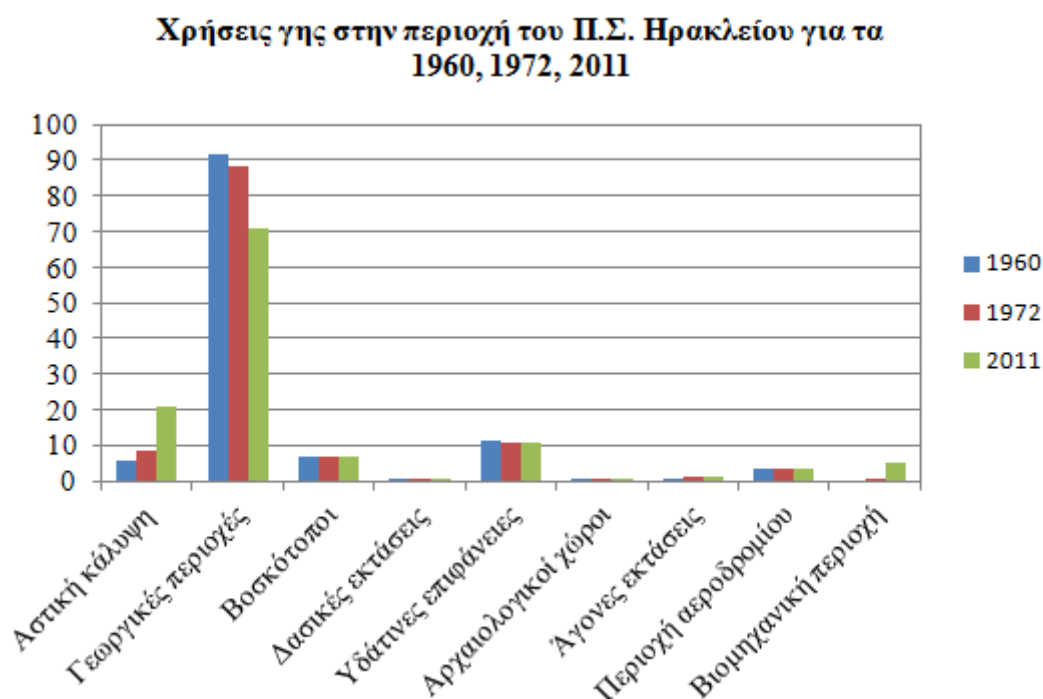
Από την αστική έκταση που αναμένεται να αναπτυχθεί έως το έτος στόχο υπολογίστηκε επίσης το ποσοστό της μελλοντικής αστικής κάλυψης ανά δημοτικό διαμέρισμα. Από την ανάλυση προκύπτει ότι στο Δ.Δ. Ηρακλείου αναμένεται τελικά να αστικοποιηθεί ένα ποσοστό της τάξης του 38% επί του συνόλου της έκτασής του επιβεβαιώνοντας τις έντονες οικιστικές πιέσεις που ασκούνται εντός του Δ. Ηρακλείου, ενώ στο Δ.Δ. Γαζίου το αντίστοιχο

ποσοστό αναμένεται να είναι περίπου 36%. Το ποσοστό αυτό είναι χαμηλότερο, γύρω στο 22% για το Δ.Δ. Ν. Αλικαρνασσοῦ, όπου όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν εγγενείς περιορισμοί στην αστικοποίηση και 23% για το Δ.Δ. Αγ. Σύλλα, ενώ εμφανίζεται αισθητά χαμηλότερο στα Δ.Δ. Καλλιθέας και Βασιλειών με ποσοστά που δεν ξεπερνούν το 6%-7%.

6.3 Ποσοτικοποίηση καλύψεων γης

6.3.1 Βαθμονόμηση

Οι βαθμονομήσεις που πραγματοποιήθηκαν στα πλαίσια της παρούσας εργασίας αφορούν δύο (2) εύρη χρονικών περιόδων. Το μεν πρώτο καλύπτει μια περίοδο πενήντα ετών (51) ετών και εκτείνεται από το 1960-2011, ενώ το δεύτερο ένα διάστημα τριάντα εννέα (39) ετών από το 1972-2011.



Διάγραμμα 6-1: Κατανομή χρήσεων γης για τα έτη 1960, 1972 και 2011 (Ιδία επεξεργασία)

Η αστικοποίηση μεγάλου μέρους της διαθέσιμης γης επέφερε γενικότερες αλλαγές στο σύνολο των χρήσεων γης που καταγράφηκαν στην περιοχή για τα παραπάνω χρονικά διαστήματα. Το πλήθος των εικονοστοιχείων για κάθε μια από τις κατηγορίες των καλύψεων γης για το πρώτο και το τελευταίο έτος της βαθμονόμησης του μοντέλου, υπάρχουν αποθηκευμένα στο αντίστοιχο αρχείο LOG_0 του σταδίου derive_coefficients_calibration.

Με βάση τα παραπάνω αρχεία προέκυψαν οι ακόλουθοι πίνακες αλλαγών χρήσεων γης, στους οποίους καταγράφεται το πλήθος των εικονοστοιχείων και η έκταση ανηγμένη σε τετραγωνικά χλμ. για κάθε κλάση και η αντίστοιχη μεταβολή της έκτασης για το ίδιο διάστημα. Υπολογίστηκε επίσης σε ποσοστό % η συμμετοχή κάθε κλάσης στη συνολική έκταση της περιοχής μελέτης για τα έτη 1960, 1972 και 2011 αντίστοιχα, ενώ στο παρακάτω διάγραμμα απεικονίζεται εποπτικά η αλλαγή.

Από τους πίνακες προκύπτει ότι συνολικά μετατράπηκαν σε αστική έκταση περίπου 15,5 τετρ. χλμ. από το 1960 έως το 2011 και εάν αναλογιστούμε ότι το 1960 δεν υπήρχε ακόμη θεσμοθετημένο πλαίσιο για τις Βιομηχανικές Περιοχές, το οποίο θεσμοθετήθηκε την πενταετία 1970-1975, παρατηρούμε ότι επιπλέον μετατράπηκαν σε βιομηχανικές εκτάσεις περίπου 5 τετρ. χλμ. Η ανάπτυξη αυτή έγινε σε βάρος των διαθέσιμων αγροτικών εκτάσεων της περιοχής, με αποτέλεσμα να χαθούν συνολικά περισσότερα από 20 τετρ. χλμ. , ενώ παράλληλα αυξήθηκαν κατά 0,08 τετρ. χλμ. οι εκτάσεις βοσκοτόπων και κατά 0,37 τετρ. χλμ οι άγονες εκτάσεις.

Την περίοδο 1972-2011, καταγράφηκαν απώλειες στη διαθέσιμη αγροτική γη που έφθασαν στα 17,09 τετρ. χλμ., εις βάρος της οποίας αυξήθηκαν η αστική κάλυψη και η βιομηχανική περιοχή καταγράφοντας μεταβολή από το 1972 ίση με 12,41 και 4,85 τετρ. χλμ. αντίστοιχα.

Καλύψεις γης	1960	1960	1972	1972	2011	2011	μεταβολή 1960-2011 σε km ²	μεταβολή 1972-2011 σε km ²
	πλήθος εικον/χειών	έκταση σε km ²	πλήθος εικον/χειών	έκταση σε km ²	πλήθος εικον/χειών	έκταση σε km ²		
Αστική κάλυψη	6.050	5,45	9.491	8,54	23.277	20,95	15,50	12,41
Γεωργικές περιοχές	102.029	91,83	97.984	88,19	78.998	71,10	-20,73	-17,09
Βοσκοτόποι	7.606	6,85	7.652	6,89	7.690	6,92	0,08	0,03
Δασικές εκτάσεις	456	0,41	599	0,54	596	0,54	0,13	0,00
Υδάτινες επιφάνειες	12.280	11,05	12.106	10,90	11.873	10,69	-0,37	-0,21
Αρχαιολογικοί χώροι	111	0,10	118	0,11	118	0,11	0,01	0,00
Άγονες εκτάσεις	912	0,82	1.324	1,19	1.325	1,19	0,37	0,00
Περιοχή αεροδρομίου	4.056	3,65	4.026	3,62	4.029	3,63	-0,02	0,00
Βιομηχανική περιοχή	0	0,00	200	0,18	5.594	5,03	5,03	4,85

Πίνακας 6-2: Ποσοτικοποίηση αλλαγών χρήσεων στην περιοχή μελέτης για τα έτη 1960, 1972 και 2011
(Ιδία επεξεργασία)

Η ποσοστιαία μεταβολή των χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης απεικονίζεται στον ακόλουθο πίνακα. Σύμφωνα με αυτόν, η αστική κάλυψη αποτελούσε μόλις το 4,97% επί του συνόλου της περιοχής μελέτης το 1960, ενώ το 1972 αυξήθηκε σε κατά 8 περίπου ποσοστιαίες μονάδες και το 2011 κατέγραψε ποσοστό ίσο με 19,12% επί του συνόλου.

Οι αγροτικές περιοχές κατέγραψαν τις μεγαλύτερες απώλειες καθώς μέσα σε πενήντα έτη χάθηκε το 20% της διαθέσιμης γης. Κατά ένα μικρό ποσοστό μεταβλήθηκε η έκταση των βοσκοτόπων, ενώ αυξήθηκαν οι άγονες εκτάσεις και παράλληλα δημιουργήθηκε μια καινούργια κλάση, οι βιομηχανικές περιοχές, που το 2011 αποτελούσαν το 4,60% της συνολικής έκτασης.

Καλύψεις γης	Ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το 1960	Ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το 1972	Ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το 2011
Αστική κάλυψη	4,97%	7,80%	19,12%
Αγροτικές περιοχές	83,83%	80,51%	64,91%
Βοσκότοποι	6,25%	6,29%	6,32%
Άγονες εκτάσεις	0,37%	1,09%	1,09%
Βιομηχανική περιοχή	-	0,16%	4,60%

Πίνακας 6-3: Ποσοστό συμμετοχής χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής για τα έτη 1960, 1972 και 2011 της βαθμονόμησης_1 (Ιδία επεξεργασία)

6.3.2 Πρόγνωση

Οι εξαγόμενες εικόνες κατά την εκτέλεση του μοντέλου στη λειτουργία "πρόγνωση", για την προβολή από το 2011-2025 μπορούν να χρησιμοποιηθούν, προκειμένου να ποσοτικοποιηθούν οι "μελλοντικές" καλύψεις γης παρέχοντας κατά αυτό τον τρόπο μια πιο ολοκληρωμένη άποψη για το μέγεθος της αλλαγής. Δεδομένου του αριθμού των pixels που εξάγονται για κάθε κατηγορία χρήσεων γης, αλλά και των διαστάσεων 30x30 μ κάθε pixel, το πλήθος τους ανάχθηκε σε έκταση. Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η έκταση κάθε χρήσης για το πρώτο και το τελευταίο έτος της πρόβλεψης, τόσο σε πλήθος εικονοστοιχείων, όσο και σε τετραγωνικά χιλιόμετρα καθώς και η μεταβολή της έκτασης των χρήσεων αυτών μέσα στο χρόνο.

Με βάση τον πίνακα, που αναφέρεται στην περίπτωση της πρόγνωσης για το σετ των παραμέτρων που προέκυψε από την εκτέλεση της Βαθμονόμησης_1_4_έτη, από τις εννέα (9) συνολικά χρήσεις, οι πέντε (5) παρέμειναν ουσιαστικά αμετάβλητες, ενώ 6,61 τετρ. χλμ μετατράπηκαν σε αστική κάλυψη. Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της έκτασης προέρχεται από τη μείωση της έκτασης των αγροτικών περιοχών και βοσκοτόπων, κατά 6,19 και 0,42 τετρ. χλμ. αντίστοιχα, ενώ το μοντέλο κατέγραψε και μια πολύ μικρή αύξηση, κατά μόλις 0,02 τετρ. χλμ. των άγονων εκτάσεων.

Καλύψεις γης	2012	2012	2025	2025	Μεταβολή σε km ²
	Πλήθος pixels	Έκταση σε km ²	Πλήθος pixels	Έκταση σε km ²	
Αστική κάλυψη	24.300	21,87	31.648	28,48	6,61
Αγροτικές περιοχές	77.903	70,11	71.021	63,92	-6,19
Βοσκότοποι	7.648	6,88	7.184	6,47	-0,42
Δασικές εκτάσεις	583	0,52	580	0,52	0,00
Υδάτινες επιφάνειες	11.861	10,67	11.837	10,65	-0,02
Αρχαιολογικοί χώροι	118	0,11	118	0,11	0,00

Άγονες εκτάσεις	1.329	1,20	1.347	1,21	0,02
Περιοχή αεροδρομίου	4.027	3,62	4.027	3,62	0,00
Βιομηχανική περιοχή	5.594	5,03	5.588	5,03	-0,01

Πίνακας 6-4: Ποσοτικοποίηση χρήσεων γης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης- Βαθμονόμηση_1 (Ιδία επεξεργασία)

Λαμβάνοντας υπόψη ότι η συνολική έκταση της περιοχής μελέτης είναι 109,54 τετρ. χλμ. είναι δυνατό να υπολογιστούν τα αντίστοιχα ποσοστά των χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το αρχικό και τελικό έτος της πρόβλεψης. Με βάση το σχετικό πίνακα που εξήχθη και στον οποίο παρουσιάζεται η συμμετοχή μόνο των χρήσεων που μεταβλήθηκαν, βλέπουμε ότι τα επόμενα δεκατέσσερα έτη, έως το 2025 αναμένεται μια αύξηση της αστικής κάλυψης περίπου κατά 6 ποσοστιαίες μονάδες, από 19,97% σε 26%. Ανάλογα, παρατηρείται μια αντίστοιχη μείωση των αγροτικών εκτάσεων από 64,01% σε 58,35% και μια μικρότερη μείωση της έκτασης των βοσκότοπων κατά 0,4 ποσοστιαίες μονάδες περίπου.

Καλύψεις γης	Ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το 2012	Ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το 2025
Αστική κάλυψη	19,97%	26,00%
Αγροτικές περιοχές	64,01%	58,35%
Βοσκότοποι	6,28%	5,90%
Άγονες εκτάσεις	0,48%	0,48%
Βιομηχανική περιοχή	4,60%	4,59%

Πίνακας 6-5: Ποσοστό συμμετοχής χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης- Βαθμονόμηση_1 (Ιδία επεξεργασία)

Σε αντιστοιχία με τα εξαγόμενα της προηγούμενης περίπτωσης, προέκυψαν ποσοτικά οι διαφοροποιήσεις στις αλλαγές των καλύψεων γης για το χρονικό διάστημα από το 2012-2025.

Ο καλύτερος συνδυασμός παραμέτρων που χρησιμοποιήθηκε σε αυτή την πρόβλεψη, αφορούσε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τη Βαθμονόμηση_2_5_έτη. Οι τιμές που προέκυψαν ήταν ελαφρώς χαμηλότερες συγκριτικά και παρατίθενται ακολούθως στους παραπάνω πίνακες. Με βάση τον πίνακα, 6,18 τετρ. χλμ έναντι 6,61 τετρ. χλμ. μετατράπηκαν σε αστική κάλυψη.

Καλύψεις γης	2012	2012	2025	2025	Μεταβολή σε km ²
	πλήθος εικον/χειων	έκταση σε km ²	πλήθος εικον/χειων	έκταση σε km ²	
Αστική κάλυψη	24.306	21,88	31.176	28,06	6,18
Γεωργικές περιοχές	77.825	70,04	71.195	64,08	-5,97
Βοσκότοποι	7.726	6,95	7.495	6,75	-0,21
Δασικές εκτάσεις	583	0,52	581	0,52	0,00
Υδάτινες επιφάνειες	11.859	10,67	11.859	10,67	0,00
Αρχαιολογικοί χώροι	118	0,11	118	0,11	0,00
Άγονες εκτάσεις	1.325	1,19	1.331	1,20	0,01
Περιοχή αεροδρομίου	4.027	3,62	4.027	3,62	0,00
Βιομηχανική περιοχή	5.594	5,03	5.588	5,03	-0,01

Πίνακας 6-6: Ποσοτικοποίηση χρήσεων γης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης- Βαθμονόμηση_2_5_έτη (Ιδία επεξεργασία)

Το μεγαλύτερο μέρος αυτής της έκτασης προέρχεται από τη μείωση της έκτασης των αγροτικών περιοχών και βοσκοτόπων, κατά 5,97 και 0,21 τετρ. χλμ. αντίστοιχα, ενώ το μοντέλο κατέγραψε και μια πολύ μικρή αύξηση, κατά μόλις 0,1 τετρ. χλμ. των άγονων εκτάσεων.

Καλύψεις γης	Ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το 2012	Ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το 2025
Αστική κάλυψη	19,97%	25,61%
Αγροτικές περιοχές	63,94%	58,50%
Βοσκότοποι	6,35%	6,16%
Άγονες εκτάσεις	1,09%	1,09%
Βιομηχανική περιοχή	4,60%	4,59%

Πίνακας 6-7: Ποσοστό συμμετοχής χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης- Βαθμονόμηση_2_5_έτη (Ιδία επεξεργασία)

Αναφορικά με το ποσοστό των χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής μελέτης, το ποσοστό της γης που μετατράπηκε σε αστική άγγιξε το 5,64% έναντι 6,04% και ανάλογα οι αγροτικές εκτάσεις μειώθηκαν κατά 5,45 ποσοστιαίες μονάδες έναντι 5,65 ποσοστιαίων μονάδων. Το ποσοστό τέλος των άγονων εκτάσεων μεταβλήθηκε μεταξύ των δύο περιπτώσεων κατά 0,6 ποσοστιαίες μονάδες περίπου, ενώ οι εκτάσεις των βοσκοτόπων κατέγραψαν ελαφρώς μεγαλύτερη μείωση 0,19 ποσοστιαίων μονάδων έναντι 0,38.

Καλύψεις γης	2012	2012	2025	2025	Μεταβολή σε km ²
	Πλήθος pixels	Έκταση σε km ²	Πλήθος pixels	Έκταση σε km ²	
Αστική κάλυψη	24.346	21,91	31.655	28,49	6,58
Γεωργικές περιοχές	77.861	70,07	70.914	63,82	-6,25
Βοσκότοποι	7.649	6,88	7.293	6,56	-0,32
Δασικές εκτάσεις	583	0,52	582	0,52	0,00
Υδάτινες επιφάνειες	11.859	10,67	11.844	10,66	-0,01
Αρχαιολογικοί χώροι	118	0,11	118	0,11	0,00
Άγονες εκτάσεις	1.327	1,19	1.328	1,20	0,00
Περιοχή αεροδρομίου	4.027	3,62	4.027	3,62	0,00
Βιομηχανική περιοχή	5.593	5,03	5.589	5,03	0,00

Πίνακας 6-8: Ποσοτικοποίηση χρήσεων γης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης- Βαθμονόμηση_3 (Ιδία επεξεργασία)

Από την επεξεργασία τέλος των αποτελεσμάτων της πρόβλεψης χρησιμοποιώντας τον καλύτερο συνδυασμό παραμέτρων, όπως προέκυψε από την εκτέλεση της βραχυπρόθεσμης, πλην όμως υψηλής πυκνότητας βαθμονόμησης 3, η ποσοτικοποίηση των αλλαγών των χρήσεων γης για το ίδιο διάστημα παρατίθεται στους ακόλουθους πίνακες. Από τον πίνακα ποσοτικοποίησης των αντίστοιχων χρήσεων γης προκύπτει ότι 6,58 τετρ. χλμ μετατράπηκαν σε αστική κάλυψη, ενώ 6,25 τετρ. χλμ. και 0,32 τετρ. χλμ αγροτικών εκτάσεων και εκτάσεων βοσκοτόπων αναμένεται να απομειωθούν έως το έτος στόχο 2025.

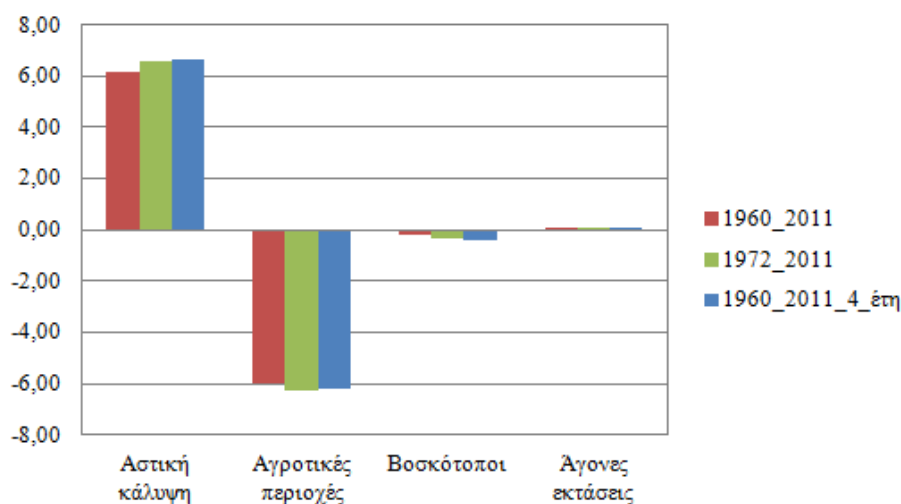
Καλύψεις γης	Ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το 2012	Ποσοστό επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το 2025
Αστική κάλυψη	20,00%	26,01%
Αγροτικές περιοχές	63,97%	58,26%
Βοσκότοποι	6,28%	5,99%
Άγονες εκτάσεις	1,09%	1,09%
Βιομηχανική περιοχή	4,60%	4,59%

Πίνακας 6-9: Ποσοστό συμμετοχής χρήσεων γης επί του συνόλου της περιοχής μελέτης για το πρώτο και τελευταίο έτος της πρόβλεψης- Βαθμονόμηση_3

Στον ακόλουθο πίνακα καταγράφονται τα αντίστοιχα ποσοστά των καλύψεων γης για την τελευταία περίπτωση και στο διάγραμμα που ακολουθεί απεικονίζονται οι μεταβολές των χρήσεων γης για το διάστημα της πρόβλεψης 2012-2025 για τις τρεις περιπτώσεις που μελετήθηκαν και για τις κυριότερες καλύψεις γης των αστικών, αγροτικών εκτάσεων, βοσκοτόπων και άγονων περιοχών.

Τέλος, τα ποσοστά των καλύψεων γης επί του συνόλου της περιοχής μελέτης πιθανολογούνται να είναι υψηλότερα των δύο προηγούμενων περιπτώσεων αναφορικά με την αστική κάλυψη, τις άγονες και τις εκτάσεις βοσκοτόπων, όπου τα αντίστοιχα μεγέθη καταγράφουν 26,01, 5,99 και 1,09 ποσοστιαίες μονάδες, και μόνο οι αγροτικές περιοχές καταλαμβάνουν ποσοστό 58,26 %

Μεταβολές καλύψεων γης για το διάστημα 2011-2025 της πρόβλεψης



Διάγραμμα 6-2: Μεταβολές κύριων χρήσεων γης στην περιοχή μελέτης για το διάστημα 2012-2025 της πρόβλεψης (Ιδία επεξεργασία)

7 Συμπεράσματα

7.1 Γενικά

Σκοπός της παρούσας εργασίας είναι η μοντελοποίηση της αστικής ανάπτυξης στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου Κρήτης μέσω της συνδυαστικής χρήσης ΚΑ μοντέλων και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Πιο συγκεκριμένα, η εργασία στοχεύει στην παρουσίαση μιας μεθοδολογίας σχετικά με τη διαδικασία βαθμονόμησης του μοντέλου Sleuth, ώστε να αναπαρασταθούν με ακρίβεια τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης.

Το ερευνητικό κομμάτι της μεταπτυχιακής εργασίας είναι η διερεύνηση της μεταβολής των χρησιμοποιούμενων δεδομένων εισαγωγής αστικής κάλυψης λαμβάνοντας υπόψη όλα τα διαθέσιμα ή μέρος αυτών, όπως και το κατά πόσο και με ποιο τρόπο οι παραπάνω διαφοροποιήσεις επιδρούν στα αποτελέσματα της βαθμονόμησης του μοντέλου Sleuth.

Για τη διερεύνηση των διαφοροποιήσεων χρησιμοποιήθηκαν ιστορικά δεδομένα αστικής εξέλιξης για πέντε (5) έτη, το 1960, 1972, 1988, 1997 και 2011, τα οποία προήλθαν από την ψηφιοποίηση ασπρόμαυρων φωτομωσαϊκών και ορθοφωτοχαρτών, ενώ για το τελευταίο έτος 2011 χρησιμοποιήθηκαν έγχρωμοι ορθοφωτοχάρτες ίδιας ανάλυσης. Εκτελέστηκαν τρεις (3) βαθμονομήσεις και επιχειρήθηκε να ελεγχθεί η "ευαισθησία" της βαθμονόμησης του μοντέλου μεταβάλλοντας κατά περίπτωση τα δεδομένα της αστικής κάλυψης.

Οι βαθμονομήσεις που εκτελέστηκαν διέφεραν, τόσο ως προς τη χρονική διάρκεια, όσο και ως προς το πλήθος των στιγμιότυπων που χρησιμοποιήθηκαν ως εξής:

1. Στην πρώτη, καλούμενη *Βαθμονόμηση_1*, το μοντέλο βαθμονομήθηκε για μια χρονική περίοδο 51 ετών, από το 1960-2011 και χρησιμοποιήθηκε ο ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός επιπέδων αστικής κάλυψης, ο οποίος καθορίζεται σε τέσσερα (4) και αφορά τα έτη ελέγχου 1960, 1972, 1997 και 2011.

2. Η δεύτερη *Βαθμονόμηση_2_5_έτη* είχε την ίδια χρονική διάρκεια με την πρώτη, με τη διαφορά ότι στα ήδη υπάρχοντα τέσσερα (4) επίπεδα προστέθηκε ένα επιπλέον, που αναφέρεται στην αστική κάλυψη για το έτος 1988.

3. Τέλος, στην τρίτη *Βαθμονόμηση_3 (1972_2011)*, το μοντέλο βαθμονομείται για τη μικρότερη χρονικά περίοδο, ίση με 39 έτη από το 1972-2011. Ο αριθμός των απαιτούμενων ετών ελέγχου αυτής της βαθμονόμησης ορίστηκε επίσης σε τέσσερα (4) και περιλαμβάνει τα έτη 1972, 1988, 1997 και 2011.

Τα συμπεράσματα που προέκυψαν από αυτή τη μελέτη παρατίθενται στις ενότητες που ακολουθούν, τόσο σε σχέση με τη λειτουργία της "βαθμονόμησης", όσο και με αυτή της "πρόγνωσης" του μοντέλου Sleuth, με σκοπό να προστεθεί γνώση στο πεδίο της αστικής καθώς και της μοντελοποίησης των χρήσεων γης με ΚΑ Αυτόματα.

7.2 Επίδραση της διαφοροποιημένης χρήσης των διαθέσιμων στοιχείων στη διαδικασία της βαθμονόμησης

Από τη μελέτη των στατιστικών αποτελεσμάτων που εξάγονται στη φάση της βαθμονόμησης του ΚΑ μοντέλου Sleuth για τις διαφορετικές εκτελέσεις και αφορούν το κατά πόσο και με ποιο τρόπο επιδρά στη βαθμονόμηση η διαφοροποίηση των δεδομένων αστικής κάλυψης, προέκυψε ότι τα στοιχεία της βαθμονόμησης επηρεάζονται αρκετά από τη χρονική διάρκεια των στιγμιότυπων και ότι ο αριθμός των ετών ελέγχου που υπεισέρχονται είναι καθοριστικός.

Πιο συγκεκριμένα, οι τέσσερις (4) δείκτες που μελετήθηκαν (Εικόνα 6.2), κατέγραψαν τις καλύτερες τιμές τους στην περίπτωση της μικρής χρονικής διάρκειας βαθμονόμησης και της πιο συχνής εμφάνισης των στιγμιότυπων που υπεισέρχονται, δηλ της *Βαθμονόμησης_3* και στα τρία (3) στάδια coarse, fine, final. Η βαθμονόμηση αυτή χρησιμοποίησε τις πιο πρόσφατες χρονικά εικόνες αστικής κάλυψης (από το 1972-2011) για την εκκίνηση του μοντέλου, σε αντίθεση με τις υπόλοιπες δύο (2), για τις οποίες η έναρξη πραγματοποιήθηκε δώδεκα (12) έτη πριν, το 1960.

Επομένως, για την παρούσα εφαρμογή, οι προβλέψεις από μια βαθμονόμηση με τα παραπάνω χαρακτηριστικά πιθανότατα παρέχουν έναν υψηλότερο βαθμό βεβαιότητας σε σχέση με μια βαθμονόμηση, στην οποία γίνεται χρήση παλαιότερων χρονικά, μεγαλύτερης χρονικής διάρκειας δεδομένων, ακόμα και εάν χρησιμοποιηθούν περισσότερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα δεδομένα αστικής κάλυψης.

Το εύρημα ότι, με χρήση μιας βάσης δεδομένων χρονικής διάρκειας τριάντα εννέα (39) ετών, μοντελοποιήθηκε με μεγαλύτερη ακρίβεια η αστική ανάπτυξη στην περιοχή, σε σχέση με μια αντίστοιχη πενήντα ενός (51) ετών, ωφελεί τη μελέτη της αστικής μοντελοποίησης με διάφορους τρόπους. Καταρχήν, ο χρόνος που απαιτείται, προκειμένου να παραχθούν τα δεδομένα εισαγωγής στο μοντέλο ελαχιστοποιείται σε μεγάλο βαθμό, καθώς όσο πιο πίσω στο χρόνο εκτείνεται μια βάση δεδομένων, τόσο δυσκολότερη είναι η εύρεση και η επεξεργασία επιπέδων πληροφορίας 'ύψηλης ακρίβειας'. Συχνά, απαιτείται η χρήση διαφορετικών πηγών δεδομένων από αεροφωτογραφίες έως αναλογικούς χάρτες, οι οποίες βρίσκονται σε τέτοιες δομές αρχείων (format) ώστε είναι εξαιρετικά χρονοβόρα η μετατροπή τους σε μια αποδεκτή για ένα Γ.Σ.Π. μορφή. Χρησιμοποιώντας ωστόσο διαθέσιμα δεδομένα από τα μέσα του '70 έως σήμερα για τη μοντελοποίηση της αστικής εξέλιξης μειώνονται σε μεγάλο βαθμό οι χρόνοι επεξεργασίας. Δεδομένου δε ότι για τις περισσότερες περιοχές στην Ελλάδα, όπως και για πολλά μέρη παγκοσμίως, παρέχονται χρονοσειρές δορυφορικών εικόνων από το 1980 και μετά, γίνεται σαφές ότι η χρήση τεσσάρων ή και περισσότερων δορυφορικών εικόνων ή αεροφωτογραφιών από τις τελευταίες τρεις δεκαετίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μοντελοποιηθεί με ακρίβεια η αστική ανάπτυξη. Παρότι στην παρούσα εργασία ωστόσο δεν χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες για την δημιουργία των δεδομένων εισαγωγής, το συγκεκριμένο εύρημα θα μπορούσε να αποτελέσει μια πολύ καλή περίπτωση μελέτης για τη μελλοντική εφαρμογή του Sleuth στην ίδια περιοχή.

Το δεύτερο πλεονέκτημα από την εφαρμογή μιας μικρής χρονικής διάρκειας βαθμονόμησης είναι ότι τα προϊόντα παλαιότερων χρονικά πηγών δεδομένων χρησιμοποιούν διαφορετικές μεθόδους, βάσει των οποίων είναι κατηγοριοποιημένη η πληροφορία, καθώς και διαφορετικούς τρόπους φωτοερμηνευτικής ταξινόμησης, γεγονός που καθιστά τη συμβατότητα μεταξύ των διαφόρων επιπέδων πληροφορίας δύσκολη, έως αδύνατη. Η κατηγοριοποίηση αντίθετα πιο πρόσφατων, καινούργιων σχετικά δεδομένων είναι περισσότερο συμβατή σε σύγκριση με τους παλιούς αναλογικούς χάρτες ή άλλου είδους ιστορικές πηγές.

Κατά τρίτον θα πρέπει να αναφερθεί ότι η εύρεση εικόνων ή άλλων δεδομένων που να καλύπτουν πλήρως μια περιοχή για μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο είναι γενικά δύσκολη για παλαιότερες χρονολογικά ημερομηνίες. Αντίθετα, εικόνες που προέρχονται από άλλες πηγές, π.χ. δορυφορικές, είναι πιο πιθανό να παρέχουν συνεχείς βάσεις δεδομένων που καλύπτουν μεγάλης έκτασης περιοχές διευκολύνοντας κατά αυτόν τον τρόπο τη μοντελοποίηση και σε περιφερειακό επίπεδο.

Τέλος, το τέταρτο πλεονέκτημα από την επιτυχή απόδοση της Βαθμονόμησης_3 αφορά τις υπολογιστικές απαιτήσεις που συνδέονται με τη διαδικασία της βαθμονόμησης, καθώς για μοντέλα, όπως το Sleuth, τα οποία είναι ιδιαίτερα απαιτητικά σε υπολογιστική ισχύ, οποιαδήποτε μείωση στα έτη ελέγχου, βάσει των οποίων μπορεί να μοντελοποιηθεί μια περιοχή, είναι σημαντική. Παρότι πρέπει να υπάρχει ένας ελάχιστος αριθμός ετών, προκειμένου να θεωρηθεί 'έγκυρη' μια βαθμονόμηση, μια χρονική περίοδος τριάντα εννέα (39) ετών είναι καλύτερη από μια αντίστοιχη πενήντα ενός (51), γεγονός που συνεπάγεται μείωση του χρόνου επεξεργασίας στο ένα τρίτο.

Στο σημείο αυτό χρειάζεται να αναφερθούμε και στις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζονται στην περίοδο 1960-1972, η οποία φαίνεται να είναι 'outlier' λόγω της θέσης της μακριά στο

παρελθόν, καθώς οι όποιες αλλαγές πραγματοποιήθηκαν ή όχι το διάστημα αυτό δε συνεχίστηκαν κατά ίδιο τρόπο στο πιο πρόσφατο παρελθόν. Επομένως, είναι καλύτερο, τόσο για την ίδια την πρόγνωση, όσο και για τους λόγους που προαναφέρθηκαν (μικρότερη επεξεργασία, ταχύτεροι χρόνοι κ.τ.λ.) να λαμβάνονται υπόψη τα στιγμιότυπα από τη χρονική περίοδο που παρουσιάζεται μια πιο ομοιόμορφη εξέλιξη, αγνοώντας τις παλιότερες καταστάσεις, ακόμα και αν με αυτό τον τρόπο αξιοποιούνται λιγότερα δεδομένα.

7.3 Αξιολόγηση υπολογιστικού χρόνου

Από τα αρχεία που εξάγονται, βάσει των σεναρίων του Sleuth κατά το στάδιο της βαθμονόμησης και τα οποία αποθηκεύονται στο φάκελο "Output", είναι δυνατό να υπολογιστούν οι χρόνοι επεξεργασίας για κάθε μια εκ των βαθμονομήσεων που εκτελέστηκαν και για τα τρία (3) στάδια coarse, fine και final αυτών. Αυτό καθίσταται εφικτό, καθώς κατά τη δημιουργία των προαναφερθέντων αρχείων καταγράφονται οι αντίστοιχοι χρόνοι έναρξης και ολοκλήρωσής τους.

Στο διάγραμμα 5.2 έχει καταγραφεί και απεικονίζεται σε λεπτά (min) η διάρκεια εκτέλεσης των επιμέρους σταδίων για τις βαθμονομήσεις που εκτελέστηκαν. Για τη *βαθμονόμηση_3* απαιτήθηκαν συνολικά 1419 λεπτά, κάτι λιγότερο από 24 ώρες δηλαδή, ενώ οι χρόνοι που καταγράφηκαν στα στάδια coarse, fine και final ήταν οι μικρότεροι συγκριτικά. Αντίθετα, για τις υπόλοιπες βαθμονομήσεις οι αντίστοιχοι χρόνοι ήταν σχεδόν 1,6 φορές μεγαλύτεροι, φθάνοντας συνολικά τα 2.400 και 2495 λεπτά, δηλαδή 40 και 41,5 ώρες αντίστοιχα.

Η επιτυχία της τρίτης βαθμονόμησης οφείλεται στο γεγονός ότι ο αριθμός των "κύκλων ανάπτυξης" που απαιτήθηκαν ήταν τριάντα εννέα (39) συγκριτικά με τους πενήντα έναν (51) στην περίπτωση των υπόλοιπων δύο. Με τον ίδιο αριθμό ετών ελέγχου (δηλαδή τέσσερα) η Βαθμονόμηση_1 εκτελείτο για 16,35 ώρες παραπάνω από τη Βαθμονόμηση_3, ενώ παρότι συνολικά κατέγραψε καλύτερους χρόνους από τη Βαθμονόμηση_2_5_έτη, στην οποία χρησιμοποιήθηκαν πέντε (5) αντί για τέσσερα (4) έτη ελέγχου, τα στάδια coarse και final ήταν λιγότερο χρονοβόρα στην περίπτωση της χρησιμοποίησης των περισσότερων ετών. Δεδομένου επίσης ότι η επιλογή του εύρους είναι σχετικά υποκειμενική και εξαρτάται και από το χρήστη του μοντέλου, θα μπορούσαμε να συμπεράνουμε ότι περισσότερα δεδομένα δε σημαίνουν απαραίτητα και μεγαλύτερους χρόνους επεξεργασίας.

7.4 Αξιολόγηση συνδυαστικής χρήσης Γ.Σ.Π. και Κ.Α. μοντέλων

Στην παρούσα εργασία η εφαρμογή του ΚΑ μοντέλου Sleuth στην περιοχή του Π.Σ. Ηρακλείου συνδυάστηκε με παράλληλη χρήση των Γ.Σ.Π.

Τα Γ.Σ.Π. χρησιμοποιήθηκαν αφενός στα πρώτα στάδια της προεπεξεργασίας και μετασχηματισμού των δεδομένων προκειμένου να εισαχθούν στο μοντέλο και η συμβολή τους κρίθηκε καθοριστική. Οι παρεχόμενες εργαλειοθήκες του λογισμικού αποδείχθηκαν ιδιαίτερα χρήσιμες κατά τη μετατροπή των δεδομένων μορφής vector σε raster, καθώς και για την περαιτέρω διαχείριση, ανάλυση και μετασχηματισμό των γεωγραφικών επιπέδων πληροφορίας.

Σε δεύτερο στάδιο, τα εξαγόμενα του μοντέλου, τόσο κατά το στάδιο της βαθμονόμησης, όσο και της πρόγνωσης, επεξεργάστηκαν εκ νέου μέσω Γ.Σ.Π. Πιο συγκεκριμένα,

παρήχθησαν χάρτες ποσοτικοποίησης των αλλαγών χρήσεων γης, ενώ μέσω κατάλληλης επεξεργασίας των εικόνων κάλυψης γης για τα έτη 2012 και 2025 της πρόγνωσης απεικονίστηκαν οι τάσεις της μελλοντικής ανάπτυξης. Παράλληλα, εξήχθησαν πιθανολογικοί χάρτες αστικής ανάπτυξης έως το 2025, ενώ με χρήση της εργαλειοθήκης Zonal Statistics του ArcGIS 10.1 η αστική έκταση για το τελευταίο έτος της πρόβλεψης κατανεμήθηκε ανά Δημοτικό Διαμέρισμα, με σκοπό να εντοπιστούν οι περιοχές εντός του Πολεοδομικού Συγκροτήματος, οι οποίες αναμένεται να δεχθούν τις πιο έντονες οικιστικές πιέσεις.

Τελικά, η συμβολή των Γ.Σ.Π. στη μοντελοποίηση με χρήση ΚΑ μοντέλων ήταν πολύ σημαντική, ενώ από τα παραπάνω διαφαίνεται η αξία της χαλαρής διασύνδεσης, αλλά και τα οφέλη που μπορούν να αποκομιστούν ως προς τη σημασία των δυνατοτήτων ανάλυσης και μοντελοποίησης.

8 Μελλοντική έρευνα και σχετικές εργασίες

Στην παρούσα εργασία έγινε μια προσπάθεια να μοντελοποιηθεί η αστική ανάπτυξη στην περιοχή του Π.Σ. Ηρακλείου, μέσω της εκτέλεσης διαφορετικών βαθμονομήσεων μεταβάλλοντας το ποια από τα υπάρχοντα δεδομένα αστικής κάλυψης χρησιμοποιούνται, καλύπτοντας διαφορετικού εύρους χρονικές περιόδους, ή/και χρησιμοποιώντας διαφορετικά στιγμιότυπα.

Ερευνητικές προσπάθειες μοντελοποίησης της αστικής ανάπτυξης βρέθηκε πως έχουν επιχειρηθεί από το 2010 έως και σήμερα σε τέσσερις περιοχές στην Ελλάδα. Συγκεκριμένα, στο Δ. Μυτιλήνης (Ρετσιλίδου Ο., 2010), στο Δ. Πατρέων (Γαρουφαλάκης Γ., 2012), στον Καλλικρατικό δήμο Βόλου (Νικολάου Κ., 2012) και στο Δ. Αχαρνέων Αττικής (Γιώτη Ε., 2012). Στη συγκεκριμένη εργασία, η περιοχή μελέτης δεν είχε καθορισμένα διοικητικά όρια, αλλά αναπτύχθηκε σε έκταση που περιλαμβάνει το Πολεοδομικό Συγκρότημα Ηρακλείου Κρήτης και διοικητικά ανήκει στους Καποδιστριακούς δήμους Γαζίου, Ηρακλείου και Ν. Αλικαρνασσού.

Αναφορικά με τις μεθόδους δημιουργίας των δεδομένων εισαγωγής στο μοντέλο, στις δύο εργασίες (Ρετσιλίδου, Γιώτη) χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικές εικόνες και εφαρμόστηκαν τηλεπισκοπικές μέθοδοι (επιβλεπόμενη ταξινόμηση), ενώ στην Τρίτη (Νικολάου) χρησιμοποιήθηκαν αφενός δορυφορικές εικόνες, καθώς και εικόνες από το Corine και το Urban Atlas, ενώ για κάποια χρονιά αστικής κάλυψης έγινε και ψηφιοποίηση. Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν εξολοκλήρου ασπρόμαυροι και έγχρωμοι ορθοφωτοχάρτες ανάλυσης 1μ. και τα απαιτούμενα επίπεδα εισαγωγής προέκυψαν μέσω ψηφιοποίησης και χρήση φωτοερμηνείας. Μόνο στην περίπτωση εξαγωγής των χρήσεων γης για το 2011 ψηφιοποιήθηκαν περί τα 3.600 πολύγωνα. Η διαδικασία αυτή αποδείχθηκε τελικά το πιο χρονοβόρο στάδιο της εργασίας, ακόμα περισσότερο και από τη φάση της βαθμονόμησης του μοντέλου. Δυστυχώς, παρότι έγινε προσπάθεια να χρησιμοποιηθούν δορυφορικές εικόνες τύπου LANDSAT, για τις οποίες διατίθεται δωρεάν χρονοσειρά εικόνων από το 1975, η ανάλυση δεν ήταν καλύτερη από 30 μ., γεγονός που δυσχέραινε κατά πολύ την ακρίβεια εξαγωγής των δεδομένων, ενώ η τιμή αγοράς εικόνων υψηλής ανάλυσης ήταν αρκετά υψηλή.

Στο σημείο αυτό θα πρέπει να τονιστεί η δυσκολία πρόσβασης σε ιστορικά δεδομένα υψηλής ακρίβειας και ποιότητας, τα οποία αποτελούν σημαντικό παράγοντα για την

αποτελεσματική και επιτυχή εφαρμογή του μοντέλου αστικής ανάπτυξης Sleuth. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα δεδομένα αυτά, είτε δεν υπάρχουν και πρέπει να δημιουργηθούν εξ αρχής, μέσω μεθόδων ψηφιοποίησης ή άλλων τηλεπισκοπικών μεθόδων, είτε διαφέρουν μεταξύ τους, τόσο ως προς την κλίμακα, όσο και ως προς την ποιότητα και την προέλευση τους, ώστε συχνά καθίσταται αδύνατη η συνδυαστική τους χρήση. Είναι επομένως απαραίτητη η ύπαρξη χρονοσειράς δεδομένων ή διάθεσης με κάποιο τρόπο δορυφορικών εικόνων υψηλής ανάλυσης, ώστε ο χρήστης του μοντέλου να μην επικεντρώνεται στο να παράγει εξ αρχής τα δεδομένα, αλλά κυρίως στην εκτέλεση και την επιτυχή βαθμονόμηση του μοντέλου.

Αναφορικά με τα εξαγόμενα του μοντέλου, στις δύο από τις τέσσερις εργασίες (Ρετσιλίδου 2010, Γαροφαλάκης 2013) παρήχθησαν ενδεικτικά σενάρια μελλοντικής ανάπτυξης μεταβάλλοντας το επίπεδο των εξαιρούμενων περιοχών (excluded), με σκοπό να διαφανεί η επίδραση που αυτή η αλλαγή μπορεί να επιφέρει στα παρατηρούμενα πρότυπα, ενώ στις άλλες δύο (Νικολάου 2013, Γιώτη 2013) έγινε μια αξιολόγηση της ακρίβειας του μοντέλου χρησιμοποιώντας είτε δεδομένα από το Google Earth, είτε το υπάρχον Γ.Π.Σ. της περιοχής καθώς και ποσοτικοποίηση των χρήσεων γης για το τελευταίο έτος της πρόγνωσης, όπως προέκυψε από τα εξαγόμενα του μοντέλου.

Η πρωτοτυπία της παρούσας εργασίας ήταν ότι για πρώτη φορά στα πλαίσια ελληνικών ερευνητικών εργασιών, χρησιμοποιήθηκαν περισσότερα από τα ελάχιστα απαιτούμενα δεδομένα αστικής κάλυψης, πέντε αντί για τέσσερα, γεγονός που παρείχε τη δυνατότητα να εκτελεστούν διαφορετικές βαθμονομήσεις και να αποκτηθεί γνώση σχετικά με αυτή τη λειτουργία του μοντέλου. Η διαδικασία της βαθμονόμησης ήταν επίσης μια επίπονη εργασία δοκιμής- λάθους (trial and error), μέσω της οποίας όμως διερευνήθηκε το κατά πόσο και πως επηρεάζεται η όλη διαδικασία και τα εξαγόμενα αποτελέσματα από τη διαφοροποίηση των χρησιμοποιούμενων στοιχείων.

Φαίνεται πως μια μικρότερης διάρκειας βαθμονόμηση καθώς και η διατήρηση πιο πρόσφατων στοιχείων, μειώνει την αναγκαία εργασία και τον απαιτούμενο χρόνο και επιπρόσθετα μπορεί να δίνει και καλύτερα αποτελέσματα, συγκριτικά με μια μεγαλύτερης διάρκειας βαθμονόμηση, ακόμα και με περισσότερα δεδομένα. Το εύρημα αυτό έχει αξία, τόσο ως προς το είδος και την ποιότητα των πρωτογενών πηγών δεδομένων που πρέπει να αναζητούνται, όσο και ως προς την εξοικονόμηση υπολογιστικής ισχύος, ιδιαίτερα σε περιπτώσεις ακόμα μεγαλύτερων σε έκταση περιοχών μελέτης. Αναφορικά με τα αποτελέσματα της πρόγνωσης, αν και η ποσοτικοποίηση των αλλαγών δεν επέδειξε σημαντικές διακυμάνσεις για καμιά από τις βαθμονομήσεις που εκτελέστηκαν, έδωσε μια πιθανολογική εικόνα της έντασης της μελλοντικής ανάπτυξης. Πιθανότατα, η αιτία που δεν υπήρξαν διακυμάνσεις μεταξύ των διαφορετικών περιπτώσεων να οφείλεται στο ότι κανένα από τα στιγμιότυπα για τις βαθμονομήσεις που εκτελέστηκαν δεν ήταν ακραία διαφορετικό, οπότε και οι τρεις συνέκλιναν τελικά σε στοιχεία που μπορούσαν να δώσουν παρόμοιες προγνώσεις.

Καθώς, η έρευνα γεννά διαρκώς καινούργιους προβληματισμούς και κάθε νέα προσπάθεια αποτελεί το έναυσμα για τη συνέχιση ή και την ολοκλήρωση μιας προγενέστερης, έτσι και η παρούσα εργασία για τη μοντελοποίηση της ανάπτυξης στο Π.Σ. Ηρακλείου και την διερεύνηση της επίδρασης της διαφοροποίησης των χρησιμοποιούμενων δεδομένων θα μπορούσε να συνεχιστεί. Μελλοντικά, θα είχε ενδιαφέρον να παρατηρούσαμε πως επιδρά

στην όλη διαδικασία μοντελοποίησης με το Sleuth η χρήση τελείως διαφορετικών στιγμιότυπων, καθώς επίσης και το κατά πώς μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποδοτικά η συνδυαστική χρήση του SLEUTH με εξελιγμένες τεχνικές και λογισμικά τηλεπισκόπησης, ιδίως για την επίτευξη αυτοματοποιημένων διαδικασιών.

Άλλο ένα σχετικό πεδίο στο οποίο θα μπορούσε να υπάρξει αρκετή ερευνητική δραστηριότητα, είναι η χρησιμοποίηση των περιοχών εξαίρεσης έτσι ώστε να συμπεριλαμβάνονται στο μοντέλο η ευνόηση και ο περιορισμός της αστικοποίησης, λαμβάνοντας με αυτόν τον τρόπο έμμεσα υπόψη διάφορες άλλες παραμέτρους, όπως π.χ. την θέα, την ασφάλεια, το κόστος, την απόσταση από λειτουργίες, κτλ.

Σε κάθε περίπτωση, αν και η εφαρμογή του ΚΑ μοντέλου Sleuth μέσω της συνδυαστικής χρήσης Γ.Σ.Π. αρχικά φάνηκε απροσπέλαστη, εν κατακλείδι εξελίχθηκε σε μια ενδιαφέρουσα ερευνητική προσπάθεια, κάτι το οποίο διαφαίνεται και για όλες τις πτυχές της μελλοντικής περαιτέρω έρευνας.

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση βιβλιογραφία

- Ασημινάκη Α., 2007, Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Ηρακλείου Κρήτης: Η περίπτωση του Δήμου Γαζίου, Διατμηματικό Πρόγραμμα Μεταπτυχιακών Σπουδών Αρχιτεκτονική- Σχεδιασμός του χώρου, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Βαγιωνά Δ., Κάκια Σ., Καρανικόλας Ν., Παπαμαστοράκη- Αυγουστάκη Δ., 2000, Διερευνώντας τη σχέση των Σ.Γ.Π. και της Πολεοδομίας: εφαρμογή στην πόλη του Ηρακλείου κατά τον 20^ο αιώνα, Εργασία, Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Ανάπτυξης, Βέροια, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Πολυτεχνική Σχολή
- Γαροφαλάκης, Γ., 2012, Αστική εξάπλωση και κυψελοεοδή αυτόματα: η μελέτη του Δ. Πατρών, Διπλωματική εργασία προπτυχιακού επιπέδου για το Τμ. Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Γιώτη, Ε., 2012, Η συνδυαστική αξιοποίηση Γεωγραφικών Πληροφοριακών Συστημάτων (GIS), Τηλεπισκοπικών Τεχνικών (Remote Sensing) και Κυψελοειδών Αυτόματων (Cellular automata) για τη μοντελοποίηση της αστικής εξάπλωσης. Μελέτη περίπτωσης: Δήμος Αχαρνών, Αττική, Διπλωματική εργασία μεταπτυχιακού επιπέδου για το Τμ. Γεωγραφίας, Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
- Δημόπουλος Κ., 2010, Η σύγχρονη δυτική μητρόπολη: επαναπροσέγγιση του πολεοδομικού σχηματισμού, επαναπροσδιορισμός του όρου και η διατύπωση μιας νέας ερευνητικής προοπτικής, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- ΕΤΑΜ Α.Ε., 2008, Δήμος Ηρακλείου: Επιχειρησιακό Πρόγραμμα Δράσης Περιόδου 2008 2010, Α' Ενότητα Στρατηγικός Σχεδιασμός- Α Παραδοτέο, ΑΝΩΝΥΜΗ ΕΤΑΙΡΙΑ ΣΥΜΒΟΥΛΕΥΤΙΚΩΝ & ΜΕΛΕΤΗΤΙΚΩΝ ΥΠΗΡΕΣΙΩΝ
- Καραθανάση Ε. και Συνεργάτες Ε.Ε., 2012, Ρυθμιστικό Σχέδιο και πρόγραμμα Προστασίας Περιβάλλοντος οικιστικού Συγκροτήματος Ηρακλείου, Στάδιο Β1, Χωροδυναμική- Περιβάλλον- Ανάπτυξη
- Μαντέλας, Ε., 2011, Υπολογιστική Προσομοίωση Αστικής Επέκτασης με χρήση Ασαφών Κυψελοειδών Αυτόματων, Διδακτορική διατριβή, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο
- Μαλούτας Θ. (2000) 'Κοινωνιολογία της πόλης. Παραδοσιακά ερμηνευτικά σχήματα, σύγχρονες συζητήσεις και ο ελληνικός αστικός χώρος' Στο Η. Ευθυμίου και Μ. Μοδινός (επιμ.) Η βιώσιμη πόλη, Στοχαστής/ΔΙΠΕ, Αθήνα, σελ. 86-98
- Μαντουβάλου Μ., Μαυρίδου Μ., 2009, «Αστική διάχυση» - «Νέα Πολεοδομία»: Πρότυπα εικόνες για το σχεδιασμό της Μητρόπολης, 2005, δημοσιευμένο στο Βαΐου Ντ, Μαντουβάλου Μ., Μαυρίδου Μ., «Κοινωνικές και πολιτικές διαστάσεις της αστικής ανάπτυξης στην Ελλάδα. Διαχρονικές αναγνώσεις», σημειώσεις του μαθήματος «Μεταλλαγές των ιδεών για την πόλη στον 20ο αιώνα»

- Νικολάου Κ., 2012, Μοντέλα Αστικής Εξάπλωσης: Η περίπτωση του Βόλου, Διπλωματική εργασία προπτυχιακού επιπέδου για το Τμ. Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Περούλιου- Σεργάκη Ι., 2009, Αυθαίρετοι οικισμοί και Σχέδιο Πόλης: Η περίπτωση του Ηρακλείου Κρήτης, για το ΔΠΜΣ Πολεοδομία Χωροταξία: Προσεγγίσεις του σχεδιασμού στην Ελλάδα, Ε.Μ.Π.
- Πορτοκαλίδης Κ., Ζυγούρη Φ., 2011, Η ιδιότυπη Συμπαγής Διάχυση των Ελληνικών Πόλεων, 9^ο Εθνικό Συνέδριο Ελληνικής Εταιρείας Περιφερειακής Επιστήμης (ERSA-GR), 9-11 Μαΐου 2011, Αθήνα
- Σιόλα Ε., Σακελλαρόπουλος Χ., 2003, Μελέτη Τροποποίησης του Εγκεκριμένου Γενικού Πολεοδομικού Σχεδίου του Πολεοδομικού Συγκροτήματος Ηρακλείου (Π.Σ. Ηρακλείου) των Δήμων Ηρακλείου, Νέας Αλικαρνασσοῦ και Γαζίου του Νομού Ηρακλείου, Γ΄ Φάση
- Τζομπανάκη, Χ., (επιμ.), 2000, Το Ηράκλειο εντός των τειχών αστική αρχιτεκτονική των νεότερων χρόνων από τις αρχές του 19^{ου} έως και τη δεύτερη δεκαετία του 20^{ου}, σ. 21
- Τζομπανάκη, Χ., 1996, Χάνδακας, η Πόλη και τα Τείχη, Εταιρεία Κρητικών Ιστορικών Σπουδών, Βικελαία Βιβλιοθήκη
- Τζομπανάκη, Χ., 1997, Θαλασσινή Τριλογία του Χάνδακα, το λιμάνι- τα νεώρια- το φρούριο στη θάλασσα (Κούλες), Τυποκρέτα, Ηράκλειο

Ξενόγλωσση βιβλιογραφία

- Abraham J. E., 1998, A review of the MEPLAN modelling framework from a perspective of urban economics, University of Calgary, Department of Civil Engineering Research Report No.CE982, http://www.ucalgary.ca/~jabraham/MEPLAN_and_Urban_Economics.PDF
- Acevedo, W., and P. Masuoka, 1997, Time-series animation techniques for visualizing urban growth. *Computers and Geosciences* 23:423-435
- Aerts, J.C.J.H., K.C. Clarke, and A.D. Keuper, 2003, Testing popular visualization techniques for representing model uncertainty. *Cartography and Geographic Information Science* 30:249-261
- Almeida, C.M., Batty, M., Monteiro, A.M.V., Camara, G., Soares-Filho, B.S., Cerqueira, G.C., Pennachin, C.L., 2003, Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. *Comput. Environ. Urban Syst.* 27, 481–509
- Anselin, L. and Getis, A., 1992, Spatial statistical analysis and geographical information systems. *Annals of Regional Science* 26: 19–33
- Anselin, L., Dodson, R. F. and Hudak, S., 1993, Linking GIS and spatial data analysis in practice. *Geographical Systems* 1: 2–23

- Arthur, S. T., 2001, A satellite based scheme for predicting the effects of land cover change on local microclimate and surface hydrology. PhD Dissertation, Department of Meteorology, Pennsylvania State University
- Ashton Patrick (1984) 'Urbanization and the Dynamics of Suburban Development under capitalism', στο Tabb W. και Sawers L. (επιμ.), *Marxism and Metropolis. New Perspectives in urban political economy*. New York, Oxford: Oxford University Press
- Barredo, J.I., Demicheli, L., Lavalle, C., Kasanko, M., McCormick, N., 2004, Modelling future urban scenarios in developing countries: an application case study in Lagos, Nigeria. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 31, 65–84
- Barros, J. and Sobreira, F., 2002. *City of slums: Self-organisation across scales*, Centre for advanced spatial analysis, Working Paper Series 55
- Bassett, K. and Short, J., 1989, Development and diversity in urban geography, In *Horizons in human geography*, Eds. D. Gregory and R. Walford, 175–93. London: Macmillan
- Batty, M. ,1976, *Urban modelling: algorithms, calibrations, predictions*. Cambridge, UK: Cambridge University Press
- Batty, M. and Xie, Y. , 1994a, Modelling inside GIS: Part 1. Model structures, exploratory spatial data analysis and aggregation. *International Journal of Geographical Information Systems* 8: 291–307
- Batty, M. and Xie, Y., 1994b, Urban analysis in a GIS environment: population density modelling using ARC/INFO. In *Spatial Analysis and GIS*, Eds. S. Fotheringham and P. Rogerson, 189–220. London: Taylor and Francis
- Batty, M., 1982, The quest for the qualitative: new directions in planning theory and analysis. *Urban Policy and Research* 1: 15–23
- Batty, M., 1997, Cellular automata and urban form: a primer. *Journal of the American Planning Association* 63: 266–74
- Batty, M., 2007, *Complexity in City Systems: Understanding, Evolution and Design*, Working Paper Series, Paper 117. London, UK: Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London
- Batty, M., and Xie, Y., and Sun, Z., 1999. Modelling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems*, 205–233
- Batty, M., Xie, Y. and Sun, Z., 1999, Modelling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers, Environment and Urban Systems* 23: 205–33
- Batty, M., Xie, Y., 1994, From cells to cities. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 21, σ. 31–48
- Batty, M., Xie, Y., 1997, Possible urban automata. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 24, 175–192
- Batty, Michael, and Paul Longley, 1994, *Fractal Cities: A Geometry of Form and Function*. San Diego, CA: Academic Press

- Batty, Michael, Elena Bessussi, Nancy Chin (2003) Traffic, urban growth and suburban sprawl Paper 70 Centre for Advanced Spatial Analysis
- Bellot, Bonet, Pena, and Sanchez. 2007. Human Impacts on Land Cover and Water Balances in a Coastal Mediterranean County. *Environmental Management* 39, no. 3 (March 17): 412-422. doi:10.1007/s00267-005-0317-9
- Benenson I, Omer I, Hatna E., 2002, Entity-based modeling of urban residential dynamics: the case of Yaffo, Tel Aviv. *Environment and Planning B: Planning and Design* 29: 491 – 512
- Benenson, I. and P. M. Torrens, 2004, *Geosimulation: automata-based modeling of urban phenomena*. London, Wiley
- Benenson, I., S. Aronovich, et al., 2004, *Let's Talk Objects: Generic Methodology for Urban High-Resolution Simulation*, *Computers, Environment and Urban Systems* Forthcoming
- Bersini H. and Detours V., 1994, Asynchrony Induces Stability in Cellular Automata Based Models - In *Proceedings of the IVth Conference on Artificial Life - MIT Press/Bradford Books*
- Besussi, E., Cecchini, A., Rinaldi, E., 1998, The diffused city of the Italian north-east: identification of urban dynamics using cellular automata urban models. *Comput. Environ. Urban Syst.* 22 (5), 497–523
- Bialynicki-Birula, Iwo, Bialynicka-Birula, Iwona, 2004, *Modeling Reality: How Computers Mirror Life*, Oxford University Press
- Birkin, M., Clarke, G., Clarke, M. and Wilson, A. G., 1996, *Intelligent GIS: Location decisions and strategic planning*. Cambridge: GeoInformation International
- Blumenfeld Hans (1972) *The Modern Metropolis: Its origins, growth, characteristics and planning*. Massachusetts, Cambridge, London: M.I.T. Press
- Brueckner, Jan (2000), Urban Sprawl, Diagnosis and Remedies, *International Regional Science Review* 23, 17-171
- Bruegmann Robert (2005) *Sprawl: A Compact History*. Chicago, London: The University of Chicago Press
- Burchell, R.W., Lowenstein, G., Dolphin W.R., Galley, C.C., Downs, A., Seskin, S. , Grey Still, K., Moore, T. (1998), “The Costs of Sprawl – Revisited”, TRCP Report 39, Washington D.C
- Burgess, E. W. ,1925, The growth of city: an introduction to a research project. In *The city*, Eds. R. E. Park, E. W. Burgess and R. D. McKenzie, 47–62. Chicago: The University of Chicago Press.
- Caliper Corporation, 1983, *TransCAD: the premier GIS for transportation, logistics, and operations research*. <http://www.caliper.com/default.htm> (πρόσβαση στις 5/8/2008)
- Camagni R, Gibelli MC, Rigamonti P (2002) Urban mobility and urban form: The social and environmental costs of different patterns of urban expansion. *Ecol Econ* 40:199–216

- Candau, J. , 2000, Visualizing modeled land cover change and related uncertainty. First International Conference on Geographic Information Science. Savannah, GA
- Candau, J., and K.C. Clarke, 2000, Probabilistic land cover modeling using deltatrons. Proceedings of the 38th Annual Conference of the Urban Regional Information Systems Association. Orlando, FL
- Candau, J., 2002, Temporal calibration sensitivity of Sleuth Urban Growth Model, Thesis for the degree of Master of Arts in Geography, University of California
- Carruthers, John I. and Gudmundur F. Ulfarsson (2002) Fragmentation and Sprawl: Evidence from Interregional Analysis *Growth and Change* 33:312-340
- Chapin, F. S. and Weiss, S. F. 1962a, Urban growth dynamics in a regional cluster of cities, New York: John Wiley
- Chapman,P., 2002 Life universal computer. <http://www.igblan.free-online.co.uk/igblan/ca/>, σ. 8
- Cheng, J. and Masser, I., 2003, Urban growth pattern modelling: a case study of Wuhan city, PR China. *Landscape and Urban Planning* 62(4): 199-217
- Cheng, J., 2003, Modelling spatial and temporal urban growth. Enschede. NL ITC: 203
- Cheng, J., Masser, I., 2004, Understanding spatial and temporal processes of urbangrowth: cellular automata modelling. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 31, 167–194
- Chin, N. (2002), Unearthing the roots of urban sprawl: a critical analysis of form, function and methodology, Centre for Advanced Spatial Analysis, University College, London
- Chisholm, M., 1967, General systems theory and geography.,*Transactions of the Institute of British Geographers* 42: 45–52
- Chorley, R. J. and Kennedy, B. A. 1971, Physical geography: a systems approach, London: Prentice Hall
- Cieslewicz, David J., 2002, The Environmental Impacts of Sprawl. In *Urban Sprawl: Causes, Consequences and Policy Responses*. ed. Squires, G., Washington DC: The Urban Institute Press
- Claggett, P., C.A. Jantz, S.J. Goetz, and C. Bisland., 2004, Assessing development pressure in the Chesapeake Bay watershed: An evaluation of two land-use change models. *Environmental Monitoring and Assessment* 94:129-146
- Clarke, K. and L. Gaydos ,1998, Loose-coupling a cellular automation model and GIS: longterm urban growth prediction for San Fransisco and Washington/Baltimore, *International Journal of Geographical Information Science*, 12(7): 699–714
- Clarke, K. C., 1986, *Advances in geographic information systems, computers, environment and urban systems*, Vol. 10, pp. 175–184
- Clarke, K.C., 1997, Land use modeling with deltatrons, The Land Use Modeling Conference.

Sioux Falls, SD. <http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/landuse97/>

- Clarke, K.C., 2008, A Decade of Cellular Urban Modeling with SLEUTH: Unresolved Issues and Problems, Ch. 3 in *Planning Support Systems for Cities and Regions* (Ed. Brail, R. K., Lincoln Institute of Land Policy, Cambridge, MA, σ.σ. 47-60
- Clarke, K.C., Gaydos, L.J., 2008, Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore, *int. j. geographical information science*, 1998, vol. 12, no. 7, σ.σ. 699- 714
- Clarke, K.C., Hoppen, C. and Gaydos, L., 1997, A self-modifying cellular automaton model of historical urbanisation in the San Francisco Bay Area, *Environment and Planning B*, 24: 247–261
- Clarke, M., 1990, Geographical information systems and model-based analysis. In *Geographical Information Systems for Urban and Regional Planning*, Eds. H. Scholten and S. Stillwell, 165–75. London: Kluwer Academic
- Cogan, C.B., F.W. Davis, and K.C. Clarke, 2001, Application of urban growth models and wildlife habitat models to assess biodiversity losses. University of California-Santa Barbara Institute for Computational Earth System Science. U.S. department of the Interior, US geological Survey, Biological Resources Division, Gap Analysis Program, Santa Barbara, CA
- Couch, C. and Karecha, J., 2006. Controlling urban sprawl: Some experiences from Liverpool. *Cities* 23(5):242-363
- Couch, C., Petschel-Held , G. and Leontidou, L., 2008 *Urban Sprawl in Europe. Landscape, Land-Use Change & Policy*. Blackwell Publishing, RICS
- Couch, Chris, Lila Leontidou and Karl-Olov Arnstberg (2007) *Introduction: Definitions, Theories and Methods of Comparative Analysis Urban Sprawl in Chris Couch, Lila Leontidou and Gerhard Petschel-Held “Europe-Landscapes, Land-Use Change & Policy”* Blackwell Publishing
- Couclelis, H., 1985, Cellular worlds: a framework for modeling micro-macro dynamics. *International Journal of Urban and Regional Research* 17 , σελ. 585-596
- Couclelis, H., 1997, From cellular automata models to urban models: new principles for model development and implementation, *Environment and Planning B*, 24, σελ. 165-174
- Daniels, T., 2001, *Smart Growth: A New American Approach to Regional Planning*. *Planning Practice & Research* 16, 271-279
- Dendrinos, D. S., and Mullally, H., 1985, *Urban evolution: Studies in the mathematical ecology of cities*. Oxford, UK Oxford University Press
- Dennett, D.C., 1991, *Consciousness Explained*. Boston, Back Bay Books
- Dennett, D.C., 1995, *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life.*, New York: Simon & Schuster.

- Dennett, D.C., 2003, *Freedom Evolves*. New York: Penguin Books
- Dietzel and Clarke, 2004, Replication of Spatio- Temporal Land Use Patterns at three levels of Aggregation by an Urban Cellular Automata, P.M.A. Sloot, B. Chopard, and A.G. Hoekstra (Eds.): ACRI 2004, LNCS 3305, σ.σ. 523–532, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2004
- Dietzel and Clarke, 2007, Toward Optimal Calibration of the SLEUTH Land Use Change Model, *Transactions in GIS*, Blackwell Publishing Ltd, 11 (1): σ.σ. 29-45
- Ding, Y. and Fotheringham, A. S, 1992, The integration of spatial analysis and GIS. *Computers, Environment and Urban Systems* 16: 3–19
- Downs, A. (1998), “How America’s Cities are growing: The big Picture”, In: *Brookings Review* 16 (4), 8-12
- Dunphy, Robert T. et al. , 1997, *Moving Beyond Gridlock: Traffic and Development*. Washington, DC: The Urban Land Institute
- Dwyer, John F. & Childs, 2004, G. M. Movement of people Across the Landscape: A Blurring of Distinctions Between Areas, Interests, and Issues Affecting Natural Resource Management. *Landscape and Urban Planning* 69, 153-164
- Engelen, G., White, R., Uljee, I., Drazan, P., 1995, Using cellular automata for integrated modelling of socio-environmental systems. *Environ. Monitoring Assess.* 34, 203–214
- ESRI, 2004a, *ArcGIS Desktop Help*. Redlands, California: ESRI Press
- ESRI, 2011, *Geographic Information Systems as an Integrating Technology: Context, Concepts, and Definitions*, Redlands, California: ESRI Press
- ESRI, 2013, *The 50th Anniversary of GIS*, Redlands, California: ESRI Press
- European Environment Agency (2006), *Urban Sprawl in Europe: The ignored challenge*, EEA Report No 10, σελ. 6
- Ewing, R. (1994), “Characteristics, Causes and Effects of Sprawl”, A literature Review, *Environmental and Urban Issues*: 1-15
- Ewing, R. (1997), “Is Los Angeles Style Sprawl Desirable?” In: *Journal of the American Planning Association* 63 (1), 107-127
- Fischer, M. M. and Nijkamp, P., 1992, Geographical information systems and spatial analysis, *Annals of Regional Science* 26: 5–17
- Fischer, M. M., Scholten, H. J. and Unwin, D., 1996, *Spatial analytical perspectives on GIS*, London: Taylor and Francis
- Forrester, J. W., 1969, *Urban dynamics*. Cambridge, MA: MIT Press
- Fotheringham, A. S. and Rogerson, P. A., 1994, *Spatial Analysis and GIS*, London: Taylor and Francis

- Fujita, M., Krugman, P., and Venables, A. J., 1999, *The spatial economy: Cities, regions, and international trade*, Cambridge, MA: MIT Press
- Fulton, W. et al., 2001, *Who sprawls the most? How growth patterns differ Across the U.S.* The Brookings Institution, Center on Urban and Metropolitan Policy
- Galster, G., Hanson R., Wolman, H., Coleman, S., Freihage, J. (2001), "Wrestling Sprawl to the Ground: Defining and Measuring an Elusive concept", *Housing Policy Debate*, Volume 12, Issue 4, Fannie Mae Foundation, 681-717
- Gardner, Martin ,1970, *Mathematical Games - The fantastic combinations of John Conway's new solitaire game "life"*. *Scientific American* 223. σ.σ. 120–123
- Gassner, E. (1978), *Zersiedelung im Umland, Problematik und Abwehrstrategie*, In: *Deutscher Rat für Landespflege (Hrsg.): Verdichtungsgebiete, Städte und ihr Umland*, Heft 30, 645-653.
- Gilbert, N., and K. G. Troitzsch, 1999, *Simulation for the social scientist*, London: Open University Press
- Glaeser, E. L., Kahn, M. E. (2003), *Sprawl and Urban Growth*, NBER Working Paper Series No. 9733
- Goodchild, M. F., Haining, R. and Wise, S. ,1992, *Integrating GIS and spatial data analysis: problems and possibilities*. *International Journal of Geographical Information Systems* 6: 407–23
- Goodchild, Michael F , 2010, *Twenty years of progress: GIScience in 2010*, *Journal of Spatial Information Science*
- Haggett, P. and Chorley, R. J. ,1967, *Models, paradigms and the new geography*. In *Models in geography*, Eds. R. J. Chorley and P. Haggett, 19–42. London: Methuen
- Hall P., (2002), *Cities of Tomorrow: An Intellectual History of Urban Planning and Design in the Twentieth Century – Third Edition*. Malden, Oxford, Victoria, Berlin: Blackwell
- Hambury, J. R. and Sharkey, R. H, 1961, *Land use forecast*. Chicago: Chicago Area Transportation Study
- Handy, S., 2005. *Smart growth and the transportation-land use connection: What does the research tell us?* *International Regional Science Review* 28(2):146-167
- Harris, C. D. and Ullman, E. L., 1945, *The nature of cities*. *Annals of the American Academy of Political and Social Sciences* 242: 7–17
- Harvey David (1996) *Justice, Nature & the Geography of Difference*. Malden, Oxford, Carlton:Blackwell
- Haslett, J., Wills, G. and Unwin, A., 1990, *SPIDER—An interactive statistical tool for the analysis of spatially distributed data*. *International Journal of Geographical Information Systems* 4: 185–96

- Haynes, K.E. and Fotheringham, A.S.,1984, Gravity and Spatial Interaction Models, Sage Publications, Beverly Hills
- He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., Li, J.,2008, Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. *Landsc. Urban Plann.* 86, 79–91
- He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., Zhang, J., 2006, Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. *Appl. Geogr.* 26, 323–345
- Herold, M., N.C. Goldstein, and K.C. Clarke, 2003, The spatio-temporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment* 86:286-302
- Hirschhorn, Joel S., 2001, Environment, quality of life, and urban growth in the new economy. *Environmental Quality Management* 10, 1-8
- Hogeweg, P., 1988, Cellulart Automata as a Paradigm for Ecological Modeling, *Applied Mathematics and Computation* 27:81-100, σ. 82
- Holland, J H, 1998, *Emergence: From Chaos to Order*, Perseus Books, Reading, MA
- Hoyt, H. ,1939, *The structure and growth of residential neighborhoods in American cities*. Washington, D.C.: U.S. Government Printing Office
- Isard, W. ,1956, *Location and space economy*, New York: John Wiley
- Jantz, C.A, Goetz, SJ, Donato D, Claggett P., 2003, Designing and implementing a regional urban modeling system using the SLEUTH cellular urban model, *Computers, Environment and Urban Systems* 34 (2010) 1–16, Elsevier
- Jantz, C.A., S.J. Goetz, and M.K. Shelley, 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* 31:251–71
- Jenerette, G.D.,Wu,J., 2001, Analysis and simulation of land-use change in the central Arizona-Phoenix region, USA. *Landsc. Ecol.* 16, 611–626
- Jenks, M., Burton, E. and Williams, K. (Editors), 1996, *The Compact City: A Sustainable Urban Form*, Spon Press
- Johnson, M.P. (2001), Environmental Impacts of Urban Sprawl: a Survey of the Literature and proposed Research Agenda. In: *Environment and Planning A*, Vol. 33 (4), 717–736
- Johnston, R. J. and Wrigley, N. ,1981, Urban geography. In *Quantitative geography: a British view*, Eds. N. Wrigley and R. J. Bennett, 335–51. London: Routledge and Kegan Paul
- Kahn, Matthew E., 2000, The environmental impact of suburbanization. *Journal of Policy Analysis and Management* 19, 569-586
- Kasanko, Marjo, Jose I. Barredo, Carlo Lavalle. 2006. Are European cities becoming dispersed?: A comparative analysis of 15 European urban areas. *Landscape and Urban Planning* 77, no. 1-2 (June 15): 111-130

- Kilbridge, M. D., O'Block, R. P. and Teplitz, P. V. , 1970, *Urban Analysis*. Boston: Harvard University
- Kirtland, D., L. Gaydos, K.C. Clarke, L. DeCola, W. Acevedo, and C. Bell, 1994, An analysis of human-induced land transformations in the San Francisco Bay/Sacramento area. *World Resources Review* 6:206-217
- Kocabas, V., Dragicevic, S., 2006b, Assessing a cellular automata model behavior using a sensitivity analysis approach. *Comput. Environ. Urban Syst.* 30, 921–953
- Kotkin Joel (2005) *The City: A global history*. New York: The Modern Library
- Landis J, Zhang M, 1998, The second generation of the California urban futures model. Part 1: Model logic and theory, *Environment and Planning B: Planning and Design* 25(5) 657 – 666
- Landis, J.D., 1994, The California Urban Futures Model - a new generation of metropolitan simulation models. *Environment and Planning B* 21:399-420
- Lau, K.H., Kam, B.H., 2005, A cellular automata model for urban land-use simulation. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 32, 247–263
- Leão, S., I. Bishop, and D. Evans, 2004, Spatial-temporal model for demand allocation of waste landfills in growing urban regions. *Computers Environment and Urban Systems* 28: 353-385
- Li, L., Sato, Y., Zhu, H., 2003, Simulating spatial urban expansion based on a physical process. *Landsc. Urban Plan.* 64, 67–76
- Liu Y., 2009, *Modeling Urban Development with Geographical Information Systems and Cellular Automata*, CRC Press/Taylor & Francis Group
- Liu Y., Phinn S.R., 2001, Developing a Cellular Automaton Model of Urban Growth Incorporating Fuzzy Set Approaches, 6th International Conference on GeoComputation, University of Queensland, Brisbane, Australia
- Loesch, A. ,1943, (translation 1954). *The economics of location*, New Haven, Connecticut: Yale University Press.
- Lowry I. S., 1964, *A Model of Metropolis*, Rm-4035-RC, Rand Corporation, Santa Monica, CA
- Malpezzi, S and Guo, W.K (2001) *Measuring Sprawl: Alternative Measures of Urban Form In U.S. Metropolitan Areas*, The Center for Urban Land Economics Research, University of Wisconsin, Madison, WI
- Mieszkowski Peter και Mills Edwin (1993) 'The Causes of Metropolitan Suburbanization', *Journal of Economic Perspectives*, vol.7, no.3, σσ. 135-147
- Miller, H. J., 1991, Modeling accessibility using space-time prism concepts within geographic information systems, *International Journal of Geographical Information Systems* 5: 287–301
- Minard, A., Marceau, D.J., 2005, Exploration of spatial scale sensitivity in geographic cellular automata. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 32, 693–714

- Mogridge Martin και Parr John (1997) 'Metropolis or Region: On the Development and Structure of London', *Regional Studies*, vol.31.2, σσ. 97-115
- Mumford Lewis (1989) *The City in History: Its Origins, its transformations, and its prospects*. San Diego, New York, London: Harcourt
- Nechyba, T. & Walsh, R., 2004, Urban sprawl. *Journal of Economic Perspectives* 18, 177-200
- Ness G. D., Low M. M., 2000, *Five Cities: Modeling Asian Urban Population-Environment Dynamics*, Oxford University Press, p.43-67
- Niazi, Muaz; Hussain, Amir , 2011, Agent-based Computing from Multi-agent Systems to Agent-Based Models: A Visual Survey (PDF), *Scientometrics (Springer)* 89 (2): 479–499
- Niazi, Muaz; Hussain, Amir, 2011, Agent-based Computing from Multi-agent Systems to Agent-Based Models: A Visual Survey (PDF), *Scientometrics (Springer)* 89 (2): 479–499
- Nyerges, T. L., 1995, Geographical information system support for urban/regional transportation analysis. In *The Geography of Urban Transportation*, 2nd ed. Ed. S. Hanson, 240–68. New York: Guildford
- Onsted, J.A, 2002, SCOPE: A modification and application of the Forrester Model to the South Coast of Santa Barbara County. Master's Thesis, Department of Geography, University of California – Santa Barbara
- Openshaw S., and Openshaw C.,1997, *Artificial Intelligence in Geography*, Chichester, England, John Wiley & Sons, σελ. 247
- Pavard, B. and J. Dugdate, 2002, *An Introduction to Complexity in Social Science*
- Peck, S., 1998, *Planning for Biodiversity: Issues and Examples*, Washington DC: Island Press
- Peiser Richard (2001) Decomposing urban sprawl. *Town Plann Rev* 72:275–298
- Pickover, Clifford A., 2009, *The Math Book: From Pythagoras to the 57th Dimension, 250 Milestones in the History of Mathematics*. Sterling Publishing Company, Inc., σ .406
- Porter, Douglas R. et al., 2000, *The practice of sustainable development*. (Washington DC: Urban Land Institute
- Portugali, J. and Benenson, I., 1995, Artificial planning experience by means of a heuristic cell-space model: simulating international migration in the urban process, *Environment and Planning A* 27: 1647–65
- Portugali, J., and Benenson, I. 1997. Human agents between local and global forces in a self-organizing city. in *Self-organization of Complex Structure: from Individual to Collective Dynamics*, ed. F. Schweitzer, (Gordon and Breach, London), 537-546
- PROPOLIS , 2004, *PROPOLIS (Policies and Research of Policies for Land Use and Transport for Increasing Urban Sustainability)*, Final Report for the Commission of the European Communities. Helsinki, Finland: LT Consultants Ltd..

- Pumain, D. (2003), Urban Sprawl: Is there a French Case? In: Richardson, H.W.;BAE, C.C. (Eds.): Urban Sprawl in Western Europe and the United States. London: Ashgate, S.137–157
- Reilly, W.J. ,1931, The Law of Retail Gravitation, Pilsbury, New York
- Robinson, G. M. ,1998, Methods and techniques in human geography. New York: John Wiley
- Wilson, A. G. 1970. Entropy in urban and regional modeling. London: Pion
- Robinson, G. M., 1998, Methods and techniques in human geography. New York: John Wiley
- Roe, P. H., G. N. Soulis, et al., 1992. The Discipline of Design, University of Waterloo Reprint, original 1967
- Samat, N., 2006, Characterizing the scale sensitivity of the cellular automata simulated urban growth: a case study of the Seberang Perai Region, Penang State, Malaysia. *Comput. Environ. Urban Syst.* 30, 906–920
- Sante, I., Andres, M., Garcia, A., Miranda, D., Crecente, R., 2002, Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: Arcview and analysis Land Laboratory, Department of Agricultural and Forestry Engineering, University of Santiago de Compostela
- Schiff, Joel L. , 2011, Cellular Automata: A Discrete View of the World., Wiley & Sons, Inc, σ. 1
- Siedentop, S. (2005), Urban Sprawl – verstehen, messen, steuern. *DISP* 160, Zürich, 23-35
- Silva, E.A., Clarke, K.C, 2002, Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems* 26, σ.σ. 525-552
- Stevens, D., Dragicevic, S., 2007, A GIS-based irregular cellular automata model of land-use change. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 34, 708–724
- Stevens, D., Dragicevic, S., 2007, A GIS-based irregular cellular automata model of land-use change. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 34, 708–724
- Sui, D. Z., 1998, GIS-based urban modelling: practices, problems, and prospects. *International Journal of Geographical Information Sciences* 12: 651–71
- Sui, D.Z., Zeng, H., 2001. Modeling the dynamics of landscape structure in Asia’s emerging Desakota regions: a case study in Shenzhen. *Landsc. Urban Plann.* 53, 37–52
- Sun, Z. 2003. Simulating Urban Growth Using Cellular Automata: a case study in Zhongshan city, China. UPLA. Enschede. NL, ITC
- Theobald, D., 2001, Land-use dynamics beyond the urban fringe. *Geographical Review* 91:544-564
- Tobler, W. R., 1979, Cellular Geography. In *Philosophy in Geography*, Eds. S. Gale and G. Olsson, 379–86, Dordrecht, Netherlands: D. Reidel
- Torrens, P. M. & Benenson, I., 2005, Geographic Automata Systems, *International Journal of Geographic Information Science*, 19(4): 385-412

- Torrens, P. M., Alberti, M. (2000), Measuring Sprawl, Paper presented to the Association of Collegiate Schools of Planning (CSP), Atlanta, GA, 1-13
- Torrens, P., 2003, Cellular automata and Multi-agent Systems as Planning Support Tools, Planning Support Systems in Practice Advances in Spatial Science, σ.σ. 205-222
- Torrens, P., O'Sullivan, D., 2001, Cellular automata and urban simulation: where do we go from here? Environment and Planning B 28
- Vichiensan V., Sato K., Miyamoto K., Kitazume K., 2003, Introduction of land use model to improve travel demand forecasting in a metropolitan area: a case of Σranus application to Sapporo, Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, vol.5, October, p.2863-2871
- Von Bertalanffy, L. , 1968, General systems theory: foundations, development, applications. New York: George Braziler
- Von Thuenen, J. H. , 1826, Der Isolierte Staat (English translation by C. M. Wartenberg, edited by P. Hall, von Thuenen's Isolated State, 1966. Oxford: Pergamon Press
- Waddell, P.,2002, UrbanSim: modelling urban development for land use, transportation and environmental planning. Journal of the American Planning Association 68, 297-314
- Waldrop, M., 1992, Complexity: The Emerging Science at the Edge of Order and Chaos (New York: Simon and Schuster)
- Ward, D.P., Murray, A.T., Phinn, S.R., 2000, Astochastically constrained cellular model of urban growth. Comput. Environ. Urban Syst. 24, 539–558
- Wassmer, R. W. (2002), An economic perspective on urban sprawl. Working Paper for the California Senate Office of Research: 1-21
- Weber, A., 1909, Ueber den Standort der Industrien. Toebingen: Reine Theorie des Standort
- Webster, C.J., Wu, F.,1999b, Regulation, land-use mix, and urban performance. Part1: simulation. Environ. Plann. A 31, 1529–1545
- Wegener M., 1985, The Dortmund housing market model: a Monte Carlo simulation of a regional housing market, Microeconomic Models of Housing Markets, Lecture Notes in Economic and Mathematical Systems, Berlin: Springer Verlag, τ..239, σ.σ. 144-191
- Wegener, M., 2005, Overview of land-use transport models. In Henscher, D.A. and Button, K. (Editors) Transport geography and spatial systems., Handbook 5 of the Handbook in transport. Kidlington, UK: Pergamon/Elsevier Science
- White R, Engelen G, 1997, Multi-Scale Spatial Modelling of Self-Organizing Urban Systems, in Self-Organization of Complex Structures: From Individual to Collective Dynamics Ed F Schweitzer Gordon and Breach, Amsterdam σ.σ. 519-535
- White, R. Engelen, G., 2000, High resolution modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. Comput. Environ. Urban Syst. 24, 383–400

- White, R., Engelen, G., 1993, Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land use patterns. *Environ. Plann. A* 25, 1175–1199
- White, R., Engelen, G., 1994, Cellular dynamics and GIS: modelling spatial complexity. *Geogr. Syst.* 1, 237–253
- White, R., Engelen, G., 1997, Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 24, 235–246
- White, R., Engelen, G., Uljee, I., 1997, The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environ. Plann. B: Plann. Design* 24, 323–343
- Wolfram, S., 2002, *A New Kind of Science*. Wolfram Media
- Wolfram, S., 1984, Cellular automata as models of complexity. *Nature*. 311: 419–24
- Wolfram, S., 1994, Cellular automata. In: *Cellular Automata and Complexity: Collected Papers* (Addison Wesley, Steven Wolfram, Reading, MA
- Wu, F. 1996. A linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growing region. *Computers, Environment, and Urban Systems* 20: 367–87
- Wu, F. 1998. Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic-controlled cellular automata in a geographical information system. *Journal of Environmental Management* 53: 293-308
- Wu, F. 1998a. An experiment on the generic polycentricity of urban growth in a cellular automatic city. *Environment and Planning B: Planning and Design* 25: 731–52
- Wu, F. 1998b. Simulating urban encroachment on rural land with fuzzy-logic-controlled cellular automata in a geographical information system. *Journal of Environmental Management* 53: 293–308
- Wu, F., and Webster, C. J., 2000, Simulating artificial cities in a GIS environment: urban growth under alternative regulation regimes. *International Journal of Geographical Information Science*, 14, 625–648
- Xie, Y., 1996. A generalized model for cellular urban dynamics. *Geogr. Anal.* 28, 350–373
- Young, E.C., 1924, *The Movement of Farm Population*, Cornell Agricultural Experimental Station, Bulletin 426, Ithaca, New York

Σύνδεσμοι στο διαδίκτυο

Δημόσια, Ανοικτά Δεδομένα,

http://geodata.gov.gr/geodata/index.php?option=com_sobi2&sobi2Task=search&Itemid=1, τελευταία πρόσβαση στις 10/9/2013

Project Giagalopolis,

<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/v2/About/abBkgground.htm>, τελευταία πρόσβαση στις 30/9/2013

Ελληνική Στατιστική Αρχή,

www.statistics.gr, τελευταία πρόσβαση στις 17/9/2013

OpenstreetMap,

<http://www.openstreetmap.org/#map=13/35.3162/25.1354>, τελευταία πρόσβαση στις 17/5/2013

Εργαστήριο Δημογραφικών και Κοινωνικών Αναλύσεων,

<http://www.e-demography.gr/>, τελευταία πρόσβαση στις 17/9/2013

Παράρτημα

A. ΕΠΙΛΟΓΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΔΕΙΚΤΗ LEE-SALEE

1. Γενικά

Η διαδικασία της βαθμονόμησης αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα στάδια εκτέλεσης του μοντέλου Sleuth, καθώς μέσω αυτής καθορίζονται οι τιμές των παραμέτρων του μοντέλου, με σκοπό την προσομοίωση της "πραγματικής" εικόνας της ανάπτυξης με βάση τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο. Είναι δε καθοριστική και στο επόμενο στάδιο, αυτό της πρόγνωσης, δεδομένου ότι οι τιμές των παραμέτρων που προκύπτουν κατά τη βαθμονόμηση, χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη της μελλοντικής αστικής ανάπτυξης.

Για την επιλογή των παραμέτρων βαθμονόμησης έχει προταθεί η χρήση διαφόρων δεικτών ή και συνδυασμός τους, δύο από τους γνωστότερους είναι: α) με χρήση του δείκτη Lee-Salee και β) με χρήση του δείκτη Optimum SLEUTH Metric (OSM).

Στη συγκεκριμένη εργασία η επιλογή των παραμέτρων βαθμονόμησης πραγματοποιήθηκε με χρήση του δείκτη Lee-Salee και η διαδικασία επιλογής παρατίθεται λεπτομερώς στις επόμενες ενότητες.

2. Επιλογή παραμέτρων από το στάδιο coarse calibration

Το αρχείο *control stats.log* είναι το προσωρινό αρχείο που χρησιμοποιείται, προκειμένου να καταγραφούν τα διάφορα αποτελέσματα (δείκτες) που προκύπτουν από τις πολλαπλές εκτελέσεις κατά τη διάρκεια της φάσης της βαθμονόμησης. Ταξινομώντας τα αποτελέσματα βάσει ενός ή περισσότερων δεικτών που περιέχονται στο αρχείο *control stats.log*, μπορεί να εντοπιστεί εκείνος ο συνδυασμός παραμέτρων με την καλύτερη απόδοση. Χρησιμοποιώντας στη συνέχεια αυτή την πληροφορία, ο χρήστης μπορεί να αποφασίσει για τα εύρη των παραμέτρων που θα τροφοδοτήσουν το επόμενο στάδιο της βαθμονόμησης.

Στη συγκεκριμένη εργασία, έγινε καταρχήν η κατάλληλη επεξεργασία του αρχείου σεναρίων για το στάδιο coarse και το αρχείο *control stats.log* εντός του φακέλου **Output** χρησιμοποιήθηκε για την επιλογή εκείνων των παραμέτρων που θα τροφοδοτήσουν το επόμενο στάδιο της βαθμονόμησης.

Αναλυτικότερα, τα βήματα που ακολουθήθηκαν παρατίθενται στη συνέχεια:

1. Ταξινόμηση του αρχείου *control stats.log* κατά φθίνουσα σειρά χρησιμοποιώντας το δείκτη **Lee-Salee**

2. Για τις τρεις υψηλότερες τιμές του δείκτη **Lee-Salee**: επιλέγουμε την υψηλότερη και χαμηλότερη τιμή των παραμέτρων

3. Για κάθε παράμετρο: στο αρχείο σεναρίου που θα χρησιμοποιηθεί στο στάδιο fine calibration, οι χαμηλές τιμές τίθενται στο `_START`

4. Για κάθε παράμετρο: στο αρχείο σεναρίου που θα χρησιμοποιηθεί στο στάδιο fine calibration, οι υψηλές τιμές τίθενται στο `_STOP`

5. Ως βήμα (_STEP value) επιλέγεται η τιμή που προκύπτει από τη διαφορά της υψηλότερης από τη χαμηλότερη τιμή διαιρούμενη με έναν αριθμό μεταξύ του 4-6
 Εάν η υψηλότερη και η χαμηλότερη τιμή μιας ή περισσότερων παραμέτρων είναι "1" επιλέγουμε για το επόμενο στάδιο fine τιμές START=0, STOP=20 και STOP=5

Εικόνα 1: Ταξινόμηση τριών υψηλότερων τιμών παραμέτρων από το στάδιο coarse calibration βάσει του

														δείκτης ταξινόμησης			αρχικές τιμές παραμέτρων				
														Cluster							
Run	Product	Compare	Pop	Edges	Clusters	Size	Leesalee	Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG			
229	0.00815	0.73877	0.80529	0.82798	0.99422	0.09300	0.59433	0.81375	0.74011	0.79340	0.90816	0.83814	0.82789	1	25	100	1	100			
206	0.00599	0.77246	0.76205	0.79259	0.98633	0.11572	0.59406	0.58303	0.69963	0.71755	0.96319	0.80125	0.83851	1	25	75	25	25			
202	0.00373	0.76615	0.76743	0.79707	0.99101	0.07241	0.59312	0.62831	0.70414	0.67160	0.94145	0.80326	0.83130	1	25	75	1	50			
612	0.02524	0.66356	0.79271	0.77883	0.94925	0.29605	0.59287	0.96269	0.73819	0.88227	0.86412	0.83541	0.81700	1	100	100	50	50			
363	0.00646	0.73041	0.74576	0.77195	0.93326	0.12323	0.59226	0.70799	0.68967	0.76571	0.91604	0.78742	0.83697	1	50	100	50	75			
233	0.00453	0.76573	0.78402	0.80180	0.99575	0.07257	0.59179	0.69457	0.71933	0.71184	0.92092	0.81952	0.82071	1	25	100	25	75			
364	0.00890	0.72840	0.74741	0.76702	0.92636	0.16405	0.59119	0.77446	0.69067	0.76732	0.90207	0.78854	0.81243	1	50	100	50	100			
234	0.00641	0.75328	0.78304	0.82077	0.99701	0.09754	0.59101	0.65371	0.71984	0.75524	0.94282	0.81899	0.83900	1	25	100	25	100			
365	0.00269	0.83435	0.66066	0.65241	0.77382	0.10101	0.59071	0.80853	0.60187	0.67544	0.83763	0.70223	0.83722	1	50	100	75	1			

δείκτη Lee Salee

coefficient type {_START -_STOP- _STEP}

dispersion	{0 - 20, 5}
breed	{1 - 26, 5}
spread	{75 - 100, 5}
slope	{1 - 26, 5}
road gravity	{25 - 100, 15}

Εικόνα 2: Εύρος παραμέτρων για το στάδιο fine calibration

3. Επιλογή παραμέτρων από το στάδιο fine calibration

Σε επόμενο στάδιο, το αρχείο *control stats.log* που προκύπτει από το στάδιο fine calibration επεξεργάζεται με ανάλογο τρόπο αυτού που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, προκειμένου αυτή η φορά να προκύψει το εύρος των τιμών των παραμέτρων που θα τροφοδοτήσει το στάδιο final της βαθμονόμησης.

Χρησιμοποιώντας το αρχείο *control stats.log*:

1. Ταξινόμηση του αρχείου κατά φθίνουσα σειρά χρησιμοποιώντας το δείκτη *Lee- Salee*
2. Για τις τρεις υψηλότερες τιμές του δείκτη *Lee- Salee*: επιλέγουμε την υψηλότερη και χαμηλότερη τιμή των παραμέτρων
3. Για κάθε παράμετρο: στο αρχείο σεναρίου που θα χρησιμοποιηθεί στο στάδιο fine calibration, οι χαμηλές τιμές τίθενται στο _START

4. Για κάθε παράμετρο: στο αρχείο σεναρίου που θα χρησιμοποιηθεί στο στάδιο fine calibration, οι υψηλές τιμές τίθενται στο _STOP

5. Ως βήμα (_STEP value) επιλέγεται η τιμή που προκύπτει από τη διαφορά της υψηλότερης από τη χαμηλότερη τιμή διαιρούμενη με έναν αριθμό μεταξύ του 4-6

Εάν η υψηλότερη και η χαμηλότερη τιμή μιας ή περισσότερων παραμέτρων είναι "1" επιλέγουμε για το επόμενο στάδιο final τιμές START=0, STOP=5 και STOP=1

δείκτης ταξινόμησης														αρχικές τιμές παραμέτρων				
Run	Product	Compare	Pop	Edges	Clusters	Size	Leesalee	Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG
1255	0.01883	0.77435	0.79581	0.83481	0.96586	0.24649	0.60075	0.70720	0.72968	0.75578	0.94871	0.82980	0.83357	1	26	95	26	40
1006	0.00875	0.78262	0.79893	0.86488	0.92190	0.12783	0.59675	0.64140	0.73300	0.74324	0.95992	0.83267	0.82419	1	21	90	26	85
1240	0.02794	0.76406	0.82897	0.84071	0.97731	0.24677	0.59531	0.87628	0.76076	0.82307	0.93507	0.85813	0.83008	1	26	95	11	85
1239	0.03829	0.77385	0.83146	0.81522	0.91290	0.37559	0.59527	0.89832	0.76134	0.78120	0.93681	0.86056	0.83035	1	26	95	11	70
1150	0.00961	0.77838	0.77646	0.79194	0.98841	0.14876	0.59431	0.68864	0.71136	0.72253	0.95244	0.81396	0.83713	1	26	80	26	85
724	0.01213	0.83046	0.80335	0.82798	0.97569	0.18342	0.59420	0.59830	0.72906	0.69308	0.97278	0.83333	0.84237	1	16	85	1	85
725	0.01213	0.83046	0.80335	0.82798	0.97569	0.18342	0.59420	0.59830	0.72906	0.69308	0.97278	0.83333	0.84237	1	16	85	1	100
915	0.01437	0.81853	0.78577	0.79369	0.95298	0.22682	0.59406	0.65913	0.71468	0.71424	0.95312	0.81827	0.83547	1	21	80	11	70
1241	0.03089	0.74998	0.82880	0.84050	0.99897	0.29068	0.59371	0.86034	0.76205	0.79880	0.93492	0.85950	0.81500	1	26	95	11	100

Εικόνα 3: Ταξινόμηση τριών υψηλότερων τιμών παραμέτρων από το στάδιο fine calibration βάσει του δείκτη Lee Salee

coefficient type {_START -_STOP- _STEP}

dispersion	{0 - 5, 1}	
breed	{21 - 26, 1}	
spread	{90 - 95, 1}	
slope	{11 - 26, 1}	
road gravity	{40 - 85, 9}	

Εικόνα 4: Εύρος παραμέτρων για το στάδιο final calibration

4. Επιλογή παραμέτρων από το στάδιο final calibration

Σε επόμενο στάδιο, το αρχείο *control stats.log* που προκύπτει από το στάδιο final calibration επεξεργάζεται με ανάλογο τρόπο αυτού που περιγράφηκε στην προηγούμενη ενότητα, προκειμένου αυτή η φορά να προκύψει το εύρος των τιμών των παραμέτρων που θα τροφοδοτήσει το στάδιο final της βαθμονόμησης.

Χρησιμοποιώντας το αρχείο *control stats.log*:

1. Ταξινόμηση του αρχείου κατά φθίνουσα σειρά χρησιμοποιώντας το δείκτη *Lee- Salee*
2. Για την υψηλότερη τιμή του δείκτη *Lee- Salee*: επιλέγουμε τις τιμές των παραμέτρων

3. Για κάθε παράμετρο: στο αρχείο σεναρίου που θα χρησιμοποιηθεί στο στάδιο *derive forecasting coefficients*, θέτουμε ως τιμές *_START* και *_STOP* την τιμή των παραμέτρων από το βήμα 2

4. Ως βήμα (*_STEP* value) επιλέγεται η τιμή 1

														δείκτης ταξινόμησης		αρχικές τιμές παραμέτρων			
Run	Product	Compare	Pop	Edges	Clusters	Size	Leesalee	Slope	%Urban	Xmean	Ymean	Rad	Fmatch	Diff	Brd	Sprd	Slp	RG	
675	0.01609	0.79816	0.80274	0.82704	0.97429	0.22182	0.60069	0.67737	0.73424	0.72103	0.94700	0.83480	0.82488	1	24	90	23	67	

Εικόνα 5: Ταξινόμηση υψηλότερων τιμών παραμέτρων από το στάδιο final calibration βάσει του δείκτη Lee Salee

coefficient type {*_START* -*_STOP* -*_STEP*}

dispersion	{1 - 1, 1}
breed	{24 - 24, 1}
spread	{90 - 90, 1}
slope	{23 - 23, 1}
road gravity	{67 - 67, 1}

Εικόνα 6: Εύρος παραμέτρων για το στάδιο derive forecasting coefficients

5. Επιλογή παραμέτρων από την εκτέλεση του derive coefficients values

Στο τελικό στάδιο της διαδικασίας βαθμονόμησης γίνεται η επιλογή του συνδυασμού των παραμέτρων που θα χρησιμοποιηθούν στο επόμενο στάδιο, αυτό της πρόγνωσης, η οποία προκύπτει από την εκτέλεση της φάσης *derive coefficients values*.

Στο στάδιο αυτό γίνεται χρήση ενός άλλου αρχείου που εξάγεται στο φάκελο **Output**, του αρχείου **avg.log** και τα βήματα που ακολουθούνται παρατίθενται στη συνέχεια:

Χρησιμοποιώντας το αρχείο **avg.log** :

1. Για την τιμή έτος *STOP_DATE* (σημ. η τελευταία γραμμή στο αρχείο **avg.log**), εύρεση των τιμών των παραμέτρων **diffus, breed, spread, slp_res και rd_grav**
2. Στρογγυλοποίηση των δεκαδικών τιμών σε ακέραιες
3. Οι τιμές αυτές χρησιμοποιούνται για την έναρξη της εκτέλεσης του σταδίου της πρόγνωσης

run	year	index	sng	sdg	sdg	og	rt	pop	area	edges	clusters	xmean	ymean	rad	slope	cl_size	diffus	spread	breed	slp_res	rd_grav	%urban	%road	grw_rate	leesalee	grw_pix
0	1972	1	1.07	0.65	0.00	287.89	20.75	9.382,06	9.382,06	1.557,91	90,61	274.77	65.07	54.65	6.80	104.38	1.12	100.00	26.78	6.47	68.65	16.72	0.00	3.31	0.73	310.37
0	1988	2	1.59	0.93	0.00	429.25	26.69	15.421,95	15.421,95	2.906,18	141,00	261.38	82.73	70.05	6.52	110.50	1.31	100.00	31.40	1.00	71.74	22.56	0.00	2.96	0.53	458.47
0	1997	3	1.39	1.02	0.00	512.89	22.67	20.039,59	20.039,59	3.781,09	156,30	249.08	88.14	79.84	6.33	128.87	1.43	100.00	34.34	1.00	73.94	27.02	0.00	2.68	0.54	537.97
0	2011	4	1.37	1.07	0.00	472.22	20.15	27.340,25	27.340,25	4.859,29	160,02	232.78	94.58	93.26	6.23	171.71	1.64	100.00	39.47	1.00	78.19	36.75	0.00	1.81	0.55	494.81

Εικόνα 7: Εύρεση τιμών παραμέτρων για τροφοδότηση της λειτουργίας *predict*

coefficient type PREDICTION_*_BEST_FIT

dispersion	1
breed	39
spread	100
slope	1
road gravity	78

Εικόνα 8: Τιμές παραμέτρων για πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης

Οι τιμές των παραμέτρων του πίνακα στην Εικόνα 8 θα χρησιμοποιηθούν ως αρχικές τιμές πλέον για την πρόβλεψη της αστικής ανάπτυξης από το 2011 έως και το 2025, διαδικασία που περιγράφεται σε επόμενο κεφάλαιο του Παραρτήματος.

B. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΠΡΟΓΝΩΣΗΣ (PREDICTION) ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ SLEUTH

1. Γενικά

Στην ενότητα αυτή αναλύεται η διαδικασία που ακολουθείται προκειμένου να δειχθεί πως το σετ των παραμέτρων που προέκυψε κατά την εκτέλεση του σταδίου *derive coefficients values* της βαθμονόμησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την έναρξη της λειτουργίας πρόβλεψης του μοντέλου Sleuth.

2. Επεξεργασία του αρχείου σεναρίου για την πρόγνωση

Πριν την εκτέλεση του μοντέλου στη λειτουργία της πρόγνωσης, θα πρέπει να έχει επεξεργαστεί κατάλληλα το αρχείου σεναρίου, ώστε να ανταποκρίνεται στα δεδομένα της περιοχής μελέτης και να έχουν τεθεί οι απαιτούμενες παράμετροι, προκειμένου η εκτέλεση να είναι επιτυχής.

Πιο συγκεκριμένα, τα βήματα που ακολουθούνται είναι τα εξής:

1. Δημιουργία αντιγράφου ή επεξεργασία του αρχείου σεναρίου που χρησιμοποιήθηκε στο στάδιο *derive forecasting coefficients*, ή επεξεργασία του πρότυπου αρχείου **scenario.demo200_predict** που περιέχεται στο φάκελο **Scenarios**.

2. Επεξεργασία του φακέλου **INPUT_DIR**, ώστε να δείχνει τη διαδρομή του φακέλου, στον οποίο περιέχονται οι εικόνες που χρησιμοποιούνται ως δεδομένα εισόδου στο μοντέλο (**Slope, Land Use, Excluded, Transportation, Hillshade**)

3. Επεξεργασία του φακέλου **OUTPUT_DIR**, ώστε να δείχνει σε μια επιθυμητή θέση στο δίσκο, όπου θα αποθηκευτούν τα εξαγόμενα από την εκτέλεση του μοντέλου.

4. Στην ενότητα **II. OUTPUT FILES** του αρχείου σεναρίου αλλαγή σε "yes" σχετικά με τη δημιουργία στατιστικών αρχείων στο φάκελο **OUTPUT_DIR**. (τουλάχιστον προτείνεται η δημιουργία του αρχείου *avg.log*)

5. Η παράμετρος **NUM WORKING GRIDS** ίσως χρειαστεί να αυξηθεί- σε περίπτωση που κατά την εκτέλεση εμφανιστεί μήνυμα λάθους στην οθόνη

6. Στην παράμετρο **MONTE CARLO ITERATIONS** τίθεται υψηλή τιμή, 100 ή παραπάνω

7. Θέτουμε τις τιμές των παραμέτρων για πρόγνωση

Χρησιμοποιούμε τις τιμές που προέκυψαν κατά το στάδιο *derive forecasting coefficients* από το στάδιο της βαθμονόμησης, όπως φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί.

Οι τιμές αυτές τίθενται στην ενότητα **B. MODES AND COEFFICIENT SETTINGS** του αρχείου σεναρίου.

coefficient type PREDICTION_*_BEST_FIT

dispersion	1
breed	39
spread	100
slope	1
road gravity	78

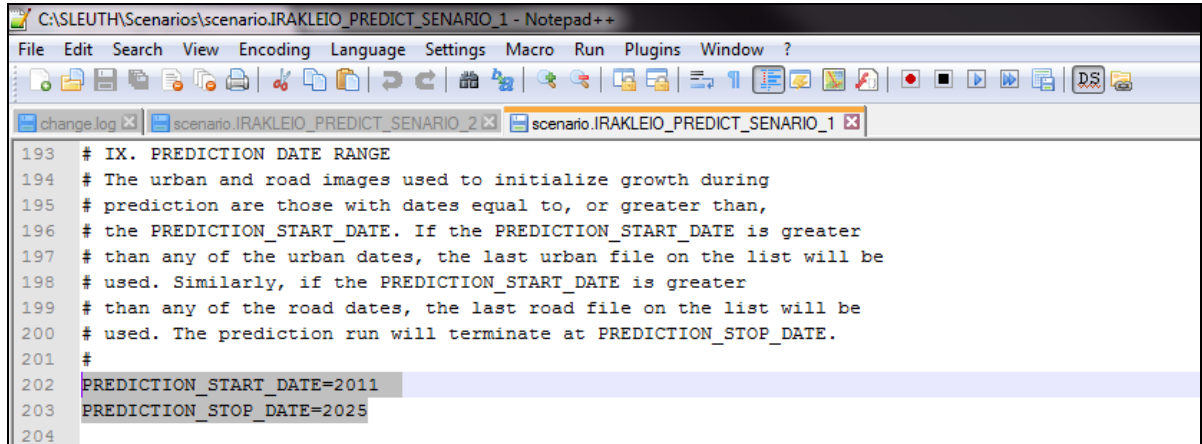
Εικόνα 1: Τιμές παραμέτρων για το στάδιο της πρόγνωσης, όπως εξάγονται από το αρχείο avg.log

```
148 # ROAD INFLUENCED GROWTH.
149 #
150 # B. MODES AND COEFFICIENT SETTINGS
151 # TEST: TEST mode will perform a single run through the historical
152 # data using the CALIBRATION_*_START values to initialize
153 # growth, complete the MONTE_CARLO_ITERATIONS, and then conclude
154 # execution. GIF images of the simulated urban growth will be
155 # written to the OUTPUT_DIRECTORY.
156 # CALIBRATE: CALIBRATE will perform monte carlo runs through the
157 # historical data using every combination of the
158 # coefficient values indicated. The CALIBRATION_*_START
159 # coefficient values will initialize the first run. A
160 # coefficient will then be increased by its *_STEP value,
161 # and another run performed. This will be repeated for all
162 # possible permutations of given ranges and increments.
163 # PREDICTION: PREDICTION will perform a single run, in monte carlo
164 # fashion, using the PREDICTION_*_BEST_FIT values
165 # for initialization.
166
167 CALIBRATION_DIFFUSION_START= 0
168 CALIBRATION_DIFFUSION_STEP= 100
169 CALIBRATION_DIFFUSION_STOP= 100
170
171 CALIBRATION_BREED_START= 0
172 CALIBRATION_BREED_STEP= 100
173 CALIBRATION_BREED_STOP= 100
174
175 CALIBRATION_SPREAD_START= 0
176 CALIBRATION_SPREAD_STEP= 100
177 CALIBRATION_SPREAD_STOP= 100
178
179 CALIBRATION_SLOPE_START= 0
180 CALIBRATION_SLOPE_STEP= 100
181 CALIBRATION_SLOPE_STOP= 100
182
183 CALIBRATION_ROAD_START= 0
184 CALIBRATION_ROAD_STEP= 100
185 CALIBRATION_ROAD_STOP= 100
186
187 PREDICTION_DIFFUSION_BEST_FIT= 1
188 PREDICTION_BREED_BEST_FIT= 39
189 PREDICTION_SPREAD_BEST_FIT= 100
190 PREDICTION_SLOPE_BEST_FIT= 1
191 PREDICTION_ROAD_BEST_FIT= 78
192
```

Εικόνα 2: Επεξεργασία αρχείου σεναρίου για εκτέλεση του μοντέλου Sleuth στη λειτουργία της πρόγνωσης (PREDICT)

8. Θέτουμε το εύρος ετών για πρόγνωση

Στη συγκεκριμένη εργασία στην ενότητα **IX. PREDICTION DATE RANGE** ως ημερομηνία **PREDICTION_START_DATE** τέθηκε η τιμή 2011 και ως ημερομηνία **PREDICTION_STOP_DATE** τέθηκε η τιμή 2025.



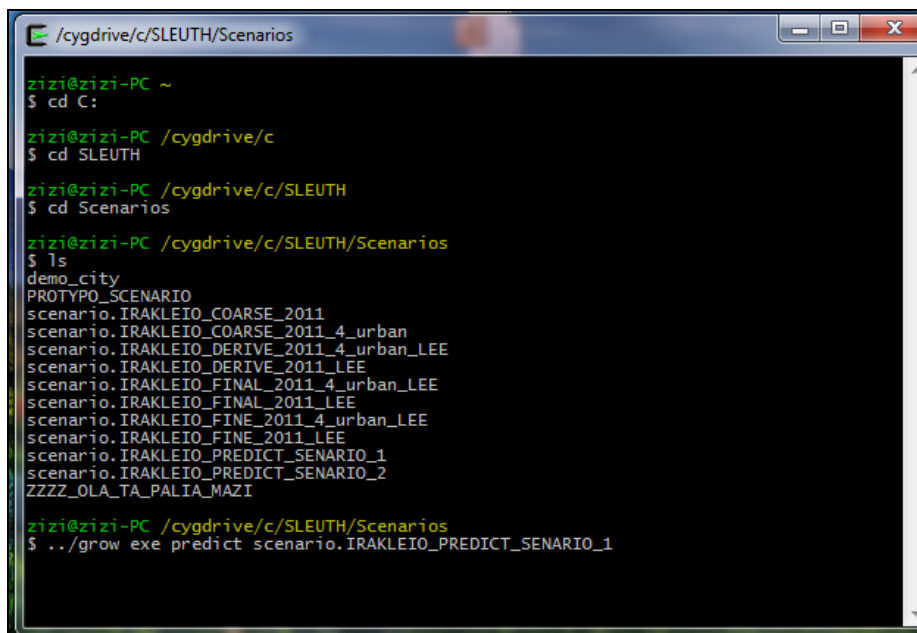
```
193 # IX. PREDICTION DATE RANGE
194 # The urban and road images used to initialize growth during
195 # prediction are those with dates equal to, or greater than,
196 # the PREDICTION_START_DATE. If the PREDICTION_START_DATE is greater
197 # than any of the urban dates, the last urban file on the list will be
198 # used. Similarly, if the PREDICTION_START_DATE is greater
199 # than any of the road dates, the last road file on the list will be
200 # used. The prediction run will terminate at PREDICTION_STOP_DATE.
201 #
202 PREDICTION_START_DATE=2011
203 PREDICTION_STOP_DATE=2025
204
```

Εικόνα 3: Επεξεργασία αρχείου σεναρίου για εκτέλεση του μοντέλου Sleuth στη λειτουργία της πρόγνωσης (PREDICT)

3. Εκτέλεση μοντέλου στη λειτουργία "PREDICT"

Στη συνέχεια μεταβαίνουμε σε περιβάλλον **Cygwin**, προκειμένου να "τρέξουμε" το αρχείο σεναρίου που επεξεργαστήκαμε στην προηγούμενη ενότητα.

Χρησιμοποιούμε εντολές σε γλώσσα C, αφού προηγουμένως πλοηγηθούμε στο φάκελο **Scenarios** εντός του καταλόγου **Sleuth**. Πιο συγκεκριμένα, πληκτρολογούμε τις ακόλουθες εντολές:



```
/cygdrive/c/SLEUTH/Scenarios
zizi@zizi-PC ~
$ cd C:
zizi@zizi-PC /cygdrive/c
$ cd SLEUTH
zizi@zizi-PC /cygdrive/c/SLEUTH
$ cd Scenarios
zizi@zizi-PC /cygdrive/c/SLEUTH/Scenarios
$ ls
demo_city
PROTYPO_SCENARIO
scenario.IRAKLEIO_COARSE_2011
scenario.IRAKLEIO_COARSE_2011_4_urban
scenario.IRAKLEIO_DERIVE_2011_4_urban_LEE
scenario.IRAKLEIO_DERIVE_2011_LEE
scenario.IRAKLEIO_FINAL_2011_4_urban_LEE
scenario.IRAKLEIO_FINAL_2011_LEE
scenario.IRAKLEIO_FINE_2011_4_urban_LEE
scenario.IRAKLEIO_FINE_2011_LEE
scenario.IRAKLEIO_PREDICT_SENARIO_1
scenario.IRAKLEIO_PREDICT_SENARIO_2
ZZZZ_OLA_TA_PALIA_MAZI
zizi@zizi-PC /cygdrive/c/SLEUTH/Scenarios
$ ../grow exe predict scenario.IRAKLEIO_PREDICT_SENARIO_1
```

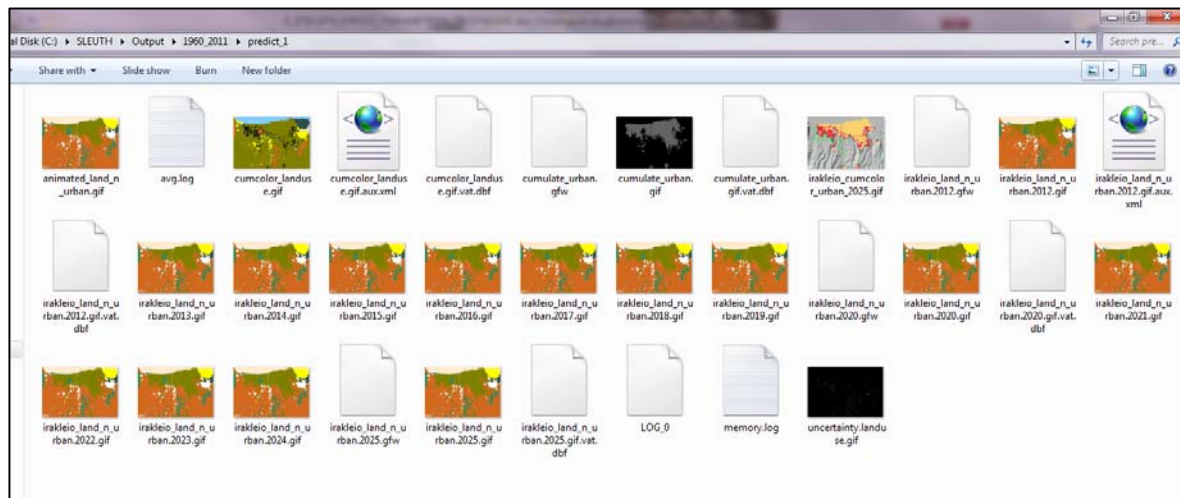
Εικόνα 4: Εκτέλεση σεναρίου πρόβλεψης για την περιοχή μελέτης από το 2011-2025

4. Επισκόπηση εξαγομένων πρόβλεψης

Τα εξαγόμενα αρχεία αποθηκεύονται εντός φακέλου στη θέση **Output**.

Εκτός των στατιστικών αρχείων (ascii αρχεία) που έχουν δημιουργηθεί, υπάρχουν ακόμα και αρχεία σε format *.GIF για τη διάρκεια μεταξύ των ετών 2011-2025, αλλά και άλλα αρχεία εικόνων που μαζί με τα υπάρχοντα στατιστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για στατιστική επεξεργασία μέσω excel και ArcGIS.

Παρακάτω παρουσιάζεται μια εικόνα των εξαγομένων αρχείων μετά την εκτέλεση του μοντέλου στη φάση **''PREDICT''**.



Εικόνα 5: Εξαγόμενα του μοντέλου Sleuth από το στάδιο της πρόγνωσης (PREDICT)

Γ. ΤΙΜΕΣ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΣΤΑΔΙΑ ΤΗΣ ΒΑΘΜΟΝΟΜΗΣΗΣ- ΣΤΑΘΕΡΕΣ ΑΥΤΟΤΡΟΠΟΙΗΣΗΣ ΚΑΙ ΕΥΡΗ ΤΙΜΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ

Στην ενότητα αυτή του Παραρτήματος παρατίθενται συνοπτικά οι τιμές και τα αντίστοιχα εύρη τιμών για το στάδιο της βαθμονόμησης, όπως προέκυψαν κατά την εκτέλεση των αρχείων σεναρίων.

Αναφορικά με τις σταθερές αυτοτροποποίησης αυτές διατηρήθηκαν ως είχαν στα αρχεία σεναρίου του Demo_city και φαίνονται στον ακόλουθο πίνακα:

Σταθερές αυτοτροποποίησης

CRITICAL_LOW	0,97
CRITICAL_HIGH	1,3
BOOM	1,01
BOOST	0,9
SLOPE_SENSITIVITY	0,1
ROAD_GRAV_SENSITIVITY	0,01

Εικόνα 1: Σταθερές αυτοτροποποίησης που χρησιμοποιήθηκαν κατά την εκτέλεση του μοντέλου Sleuth

Στη συνέχεια παρατίθενται τα εύρη τιμών των παραμέτρων βαθμονόμησης για τα διάφορα στάδια της βαθμονόμησης και για τις τρεις Βαθμονομήσεις. Σημειώνεται ότι τα εύρη τιμών των παραμέτρων για το στάδιο **coarse calibration** πήραν τις ίδιες τιμές και το ίδιο βήμα και για τις τρεις βαθμονομήσεις.

Βαθ.1- Βαθ.2- Βαθ.3- Ρυθμίσεις για coarse calibration

Παράμετροι	Εύρος		
	START	STOP	ΒΗΜΑ
dispersion	0	100	25
breed	0	100	25
spread	0	100	25
slope	0	100	25
road gravity	0	100	25

Βαθ. 1, Ρυθμίσεις για fine calibration

Παράμετροι	Εύρος		
	START	STOP	ΒΗΜΑ
dispersion	0	5	1
breed	21	26	1
spread	90	95	1
slope	11	26	3
road gravity	40	85	9

Βαθ. 1-Ρυθμίσεις για final calibration

Παράμετροι	Εύρος		
	START	STOP	ΒΗΜΑ
dispersion	0	5	1
breed	21	26	1
spread	90	95	1
slope	11	26	3
road gravity	40	85	9

Βαθ. 2-Ρυθμίσεις για fine calibration

Παράμετροι	Εύρος		
	START	STOP	ΒΗΜΑ
dispersion	0	20	5
breed	25	50	5
spread	75	100	5
slope	25	75	10
road gravity	25	75	10

Βαθ. 2- Ρυθμίσεις για final calibration

Παράμετροι	Εύρος		
	START	STOP	ΒΗΜΑ
dispersion	0	5	1
breed	25	40	3
spread	75	80	1
slope	35	55	4
road gravity	25	55	6

Βαθ. 3-, Ρυθμίσεις για fine calibration

Παράμετροι	Εύρος		
	START	STOP	ΒΗΜΑ
dispersion	0	20	5
breed	50	75	5
spread	75	100	5
slope	0	20	5
road gravity	75	100	5

Βαθ. 3- Ρυθμίσεις για final

Παράμετροι	Εύρος		
	START	STOP	ΒΗΜΑ
dispersion	0	5	1
breed	48	53	1
spread	90	95	1
slope	1	6	1
road gravity	90	95	1

Εικόνα 2: Εύρη τιμών παραμέτρων βαθμονόμησης και πρόγνωσης κατά την εκτέλεση του Sleuth**Βαθ. 1-Ρυθμίσεις για derive coeff**

Παράμετροι	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ
dispersion	1	1
breed	24	39
spread	90	100
slope	23	1
road gravity	67	78

Βαθ. 2-Ρυθμίσεις για derive_coeff

Παράμετροι	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ
dispersion	1	1
breed	40	66
spread	77	100
slope	51	1
road gravity	31	42

Βαθ. 3-Ρυθμίσεις για derive_coeff

Παράμετροι	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ
dispersion	1	1
breed	49	57
spread	93	100
slope	6	1
road gravity	93	96

Βαθ.1-Ρυθμίσεις για forecast

Παράμετροι	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ
dispersion	1	1
breed	39	43
spread	100	100
slope	1	1
road gravity	78	82

Βαθ.2-Ρυθμίσεις για forecast

Παράμετροι	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ
dispersion	1	1
breed	66	74
spread	100	100
slope	1	1
road gravity	42	46

Βαθ.3-Ρυθμίσεις για forecast

Παράμετροι	ΑΡΧΙΚΗ	ΤΕΛΙΚΗ
dispersion	1	1
breed	57	71
spread	100	100
slope	1	1
road gravity	96	100

Εικόνα 3: Εύρη τιμών παραμέτρων βαθμονόμησης και πρόγνωσης κατά την εκτέλεση του Sleuth για τις τρεις βαθμονομήσεις

Επίσης, στον ακόλουθο πίνακα αναγράφονται τα στατιστικά βάσης (BASE_STATS), όπως καταγράφηκαν στο αρχείο LOG_0 και συγκεκριμένα στον πίνακα με τίτλο LOG OF BASE STATISTICS FOR URBAN INPUT DATA.

Τα αρχεία αυτά χρησιμοποιήθηκαν για τη στατιστική επεξεργασία και τις συγκρίσεις μεταξύ της “πραγματικής” και της μοντελοποιημένης εικόνας της ανάπτυξης για τις τρεις βαθμονομήσεις 1, 2 και 3 της παρούσας εργασίας.

Year	Area	Edges	Clusters	Pop	Mean Center (x)	Mean Center(y)	Radius	Avg_slope	Mean Cluster Size
1960	6.049,00	977,00	58,00	6.049,00	280,52	53,7	43,88	7,37	104,00
1972	8.243,00	1.059,00	63,00	8.243,00	276,64	57,61	51,22	7,35	130,00
1988	18.221,00	3.791,00	214,00	18.221,00	257,28	74,61	76,16	6,84	85,00
1997	20.310,00	4.036,00	233,00	20.310,00	253,48	76,14	80,40	6,87	87,00
2011	21.688,00	4.348,00	234,00	21.688,00	253,34	78,73	83,09	6,92	92,00

Εικόνα 4: Στατιστικά βάσης για τα δεδομένα εισόδου στο μοντέλο Sleuth

Δ. ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΠΑΚΕΤΟΥ CYGWIN

1. Περιβάλλον προσομοίωσης Cygwin των Unix/ Linux για τα Windows

Όπως προαναφέρθηκε, η έκδοση του μοντέλου Sleuth που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα διπλωματική εργασία απαιτεί περιβάλλον Linux ή Cygwin, για να λειτουργήσει. Δεδομένης της ευρείας χρήσης του λειτουργικού συστήματος των Windows, κρίθηκε σκόπιμη η εγκατάσταση του πακέτου Cygwin για την εφαρμογή του μοντέλου Sleuth.

Το Cygwin είναι μια συλλογή εργαλείων που παρέχει ένα περιβάλλον προσομοίωσης των UNIX/ Linux για τα Windows. Μέσω των βιβλιοθηκών και υπηρεσιών που διατίθενται, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα να δημιουργεί προγράμματα, ενώ το ίδιο το εκτελέσιμο του προγράμματος τρέχει σε Windows.

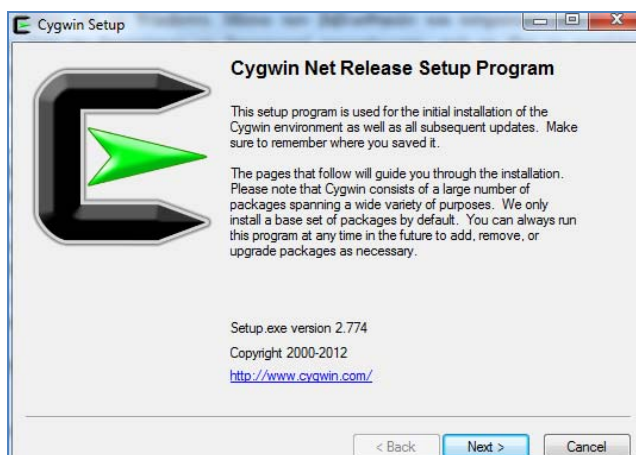
Πρόκειται για λογισμικό ελεύθερου κώδικα, το οποίο παρέχεται δωρεάν μέσω της αρχικής σελίδας <http://www.cygwin.com>, στην οποία περιλαμβάνονται σύνδεσμοι για μεταφόρτωση και εγκατάσταση, μια υπάρχουσα λίστα ιστοχώρων προς επιλογή κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, κατάλληλη για κάθε περιοχή, ένας οδηγός χρήστη, ένα περιβάλλον διεπαφής (API interface), λίστες και αρχεία καθώς και επιπρόσθετο μεταφερόμενο λογισμικό.

Το Cygwin αναμένεται να μπορεί να εκτελεστεί σε όλες τις τελευταίες 32 bit εκδόσεις των Windows, οι οποίες μέχρι τη στιγμή που γράφεται το παρόν κείμενο, αφορούν στα Windows 2000, Windows XP, Windows Server 2003, Windows Vista, Windows Server 2008, Windows 7, καθώς επίσης και στο 32 bit περιβάλλον WOW64 των 64 bit εκδόσεων των Windows που έχουν κυκλοφορήσει (XP/2003/Vista/2008/7/2008R2).

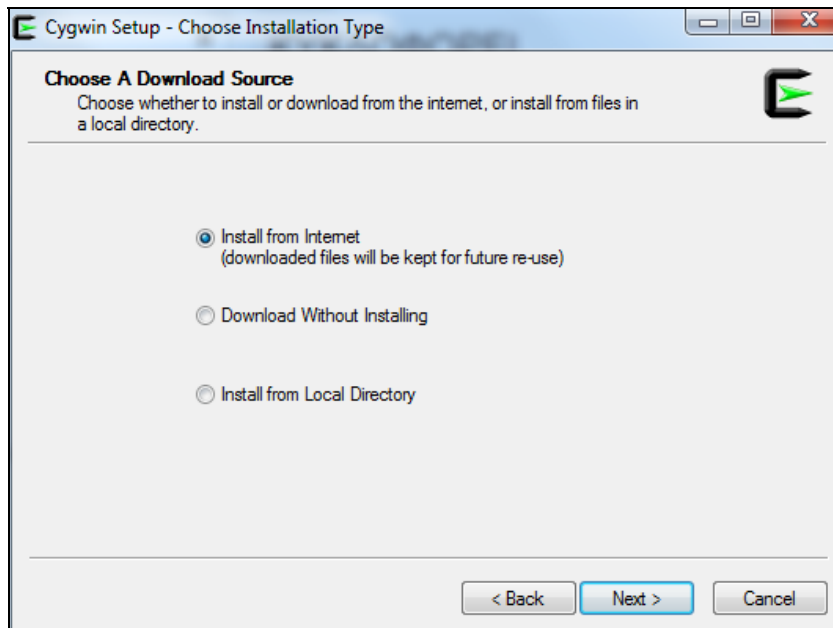
2. Εγκατάσταση του Cygwin

Η πιο πρόσφατη έκδοση του Cygwin DLL είναι η 1.7.17-1, η οποία εγκαθίσταται "τρέχοντας" το [setup.exe](#).

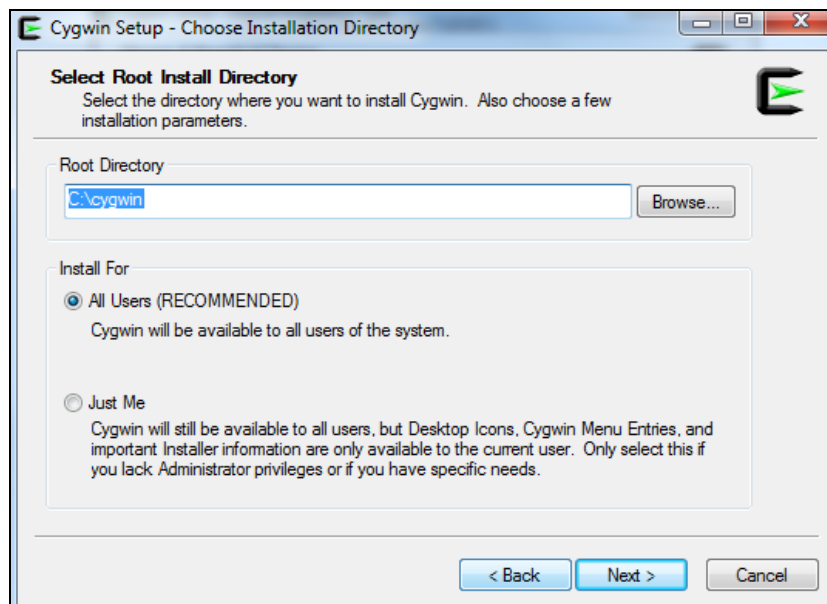
Τα βήματα της εγκατάστασης παρατίθενται αναλυτικά ακολούθως:



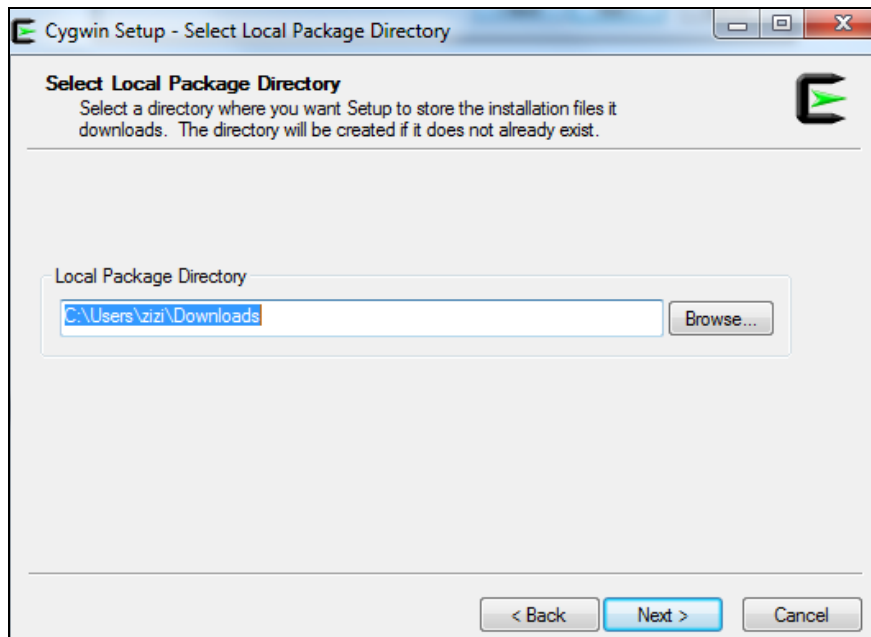
Εικόνα 1: Εκκίνηση της διαδικασίας εγκατάστασης



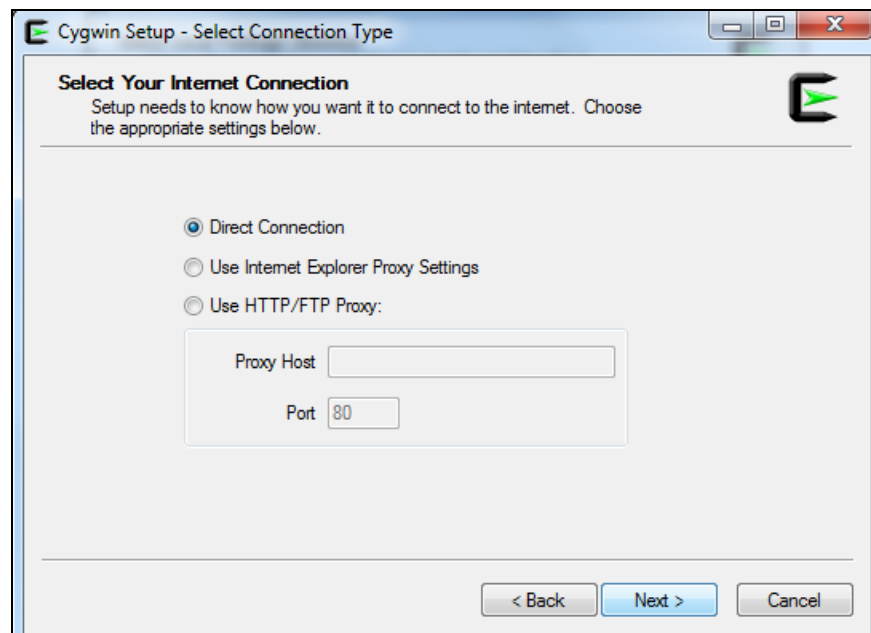
Εικόνα 2: Επιλογή πηγής εγκατάστασης



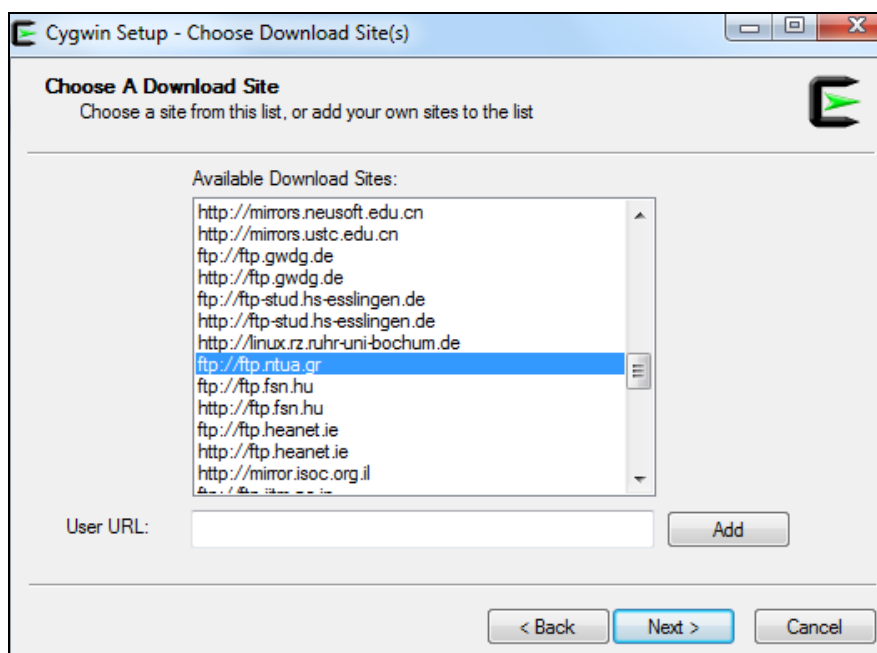
Εικόνα 3: Επιλογή θέσης εγκατάστασης του Cygwin



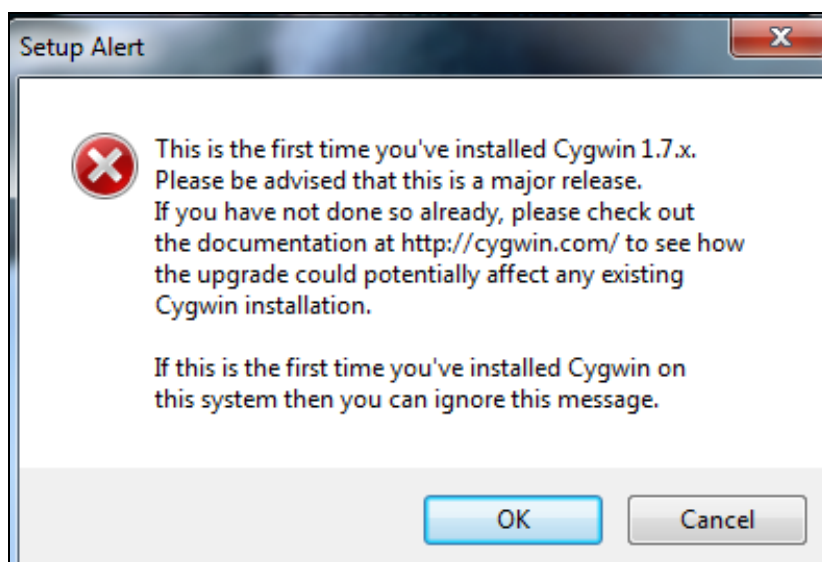
Εικόνα 4: Επιλογή φακέλου στο C των αρχείων εγκατάστασης



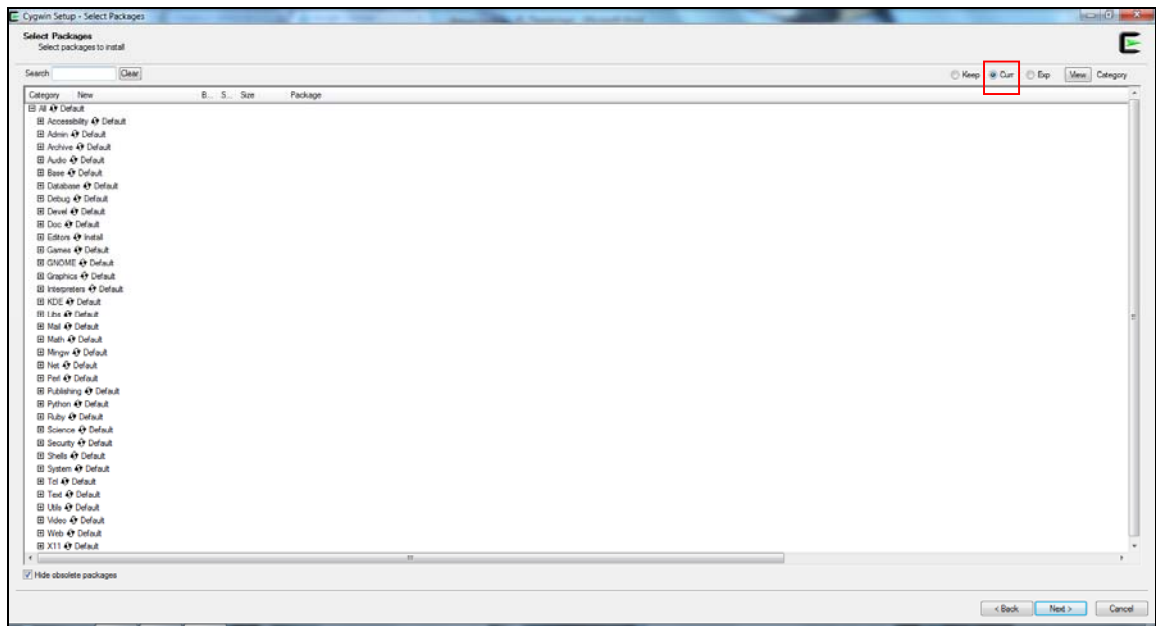
Εικόνα 5: Επιλογή σύνδεσης Internet



Εικόνα 6: Επιλογή τοποθεσίας μεταφόρτωσης (για την Ελλάδα επιλέγεται ο server ftp.ntua.gr)

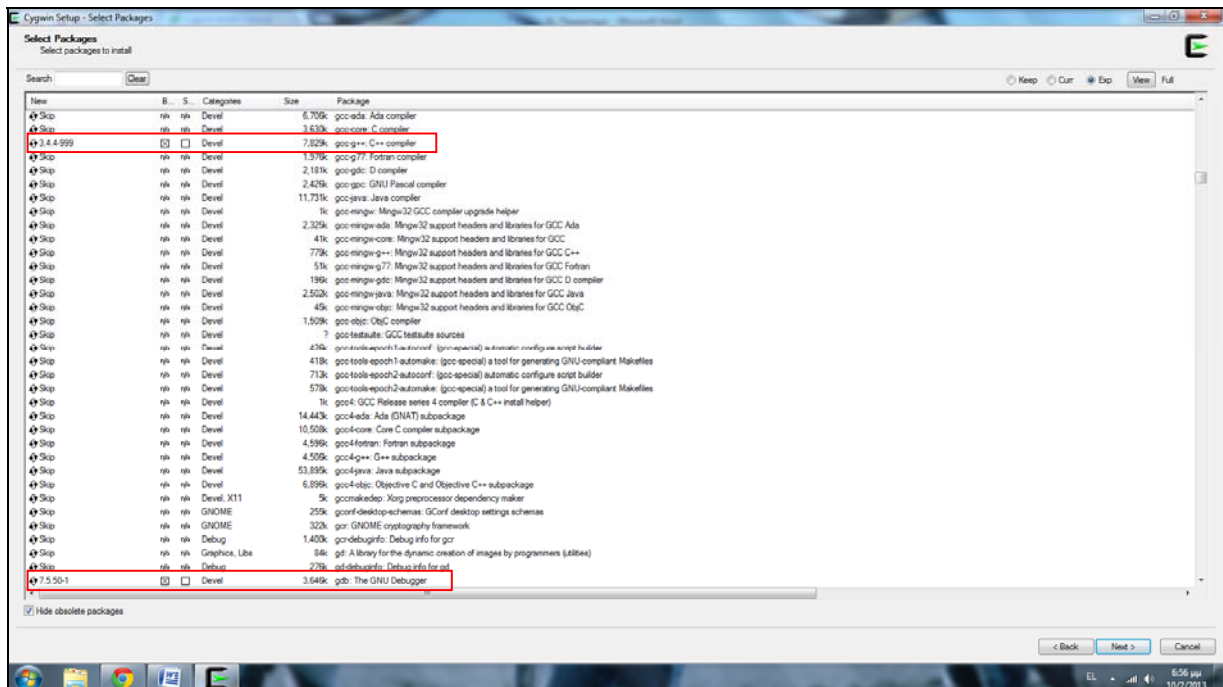


Εικόνα 6: Μήνυμα σε περίπτωση αναβάθμισης
(λαμβάνεται υπόψη σε περίπτωση ήδη εγκατεστημένης έκδοσης)

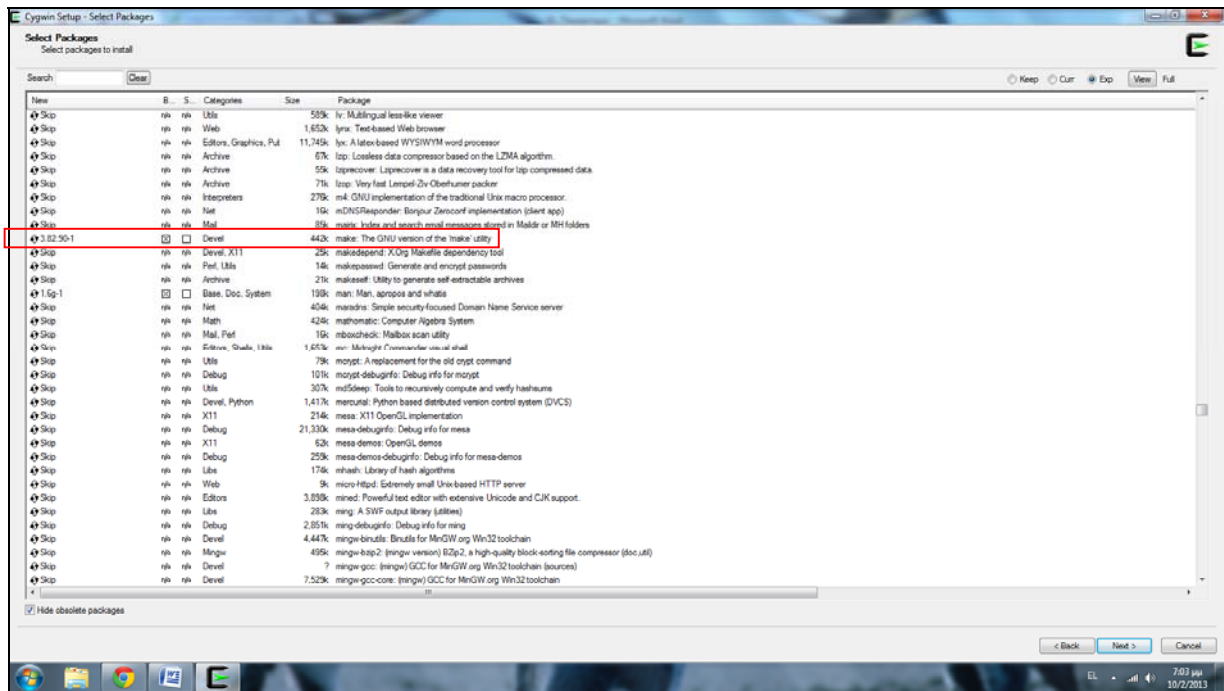


Εικόνα 7: Επιλογή πακέτων εγκατάστασης

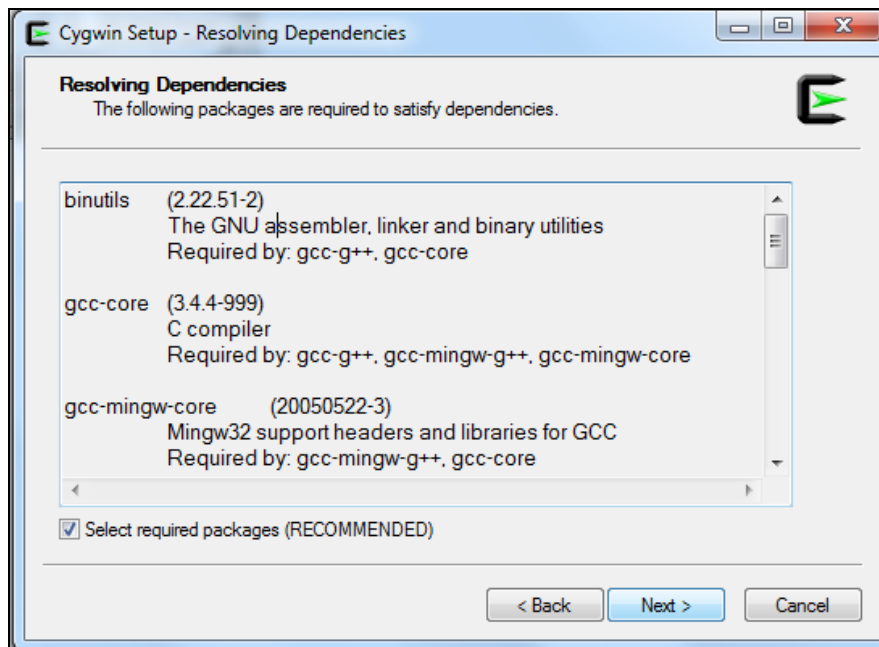
Εκτός των ήδη προεπιλεγμένων πακέτων, επεκτείνουμε την επιλογή, μέσω του exp, και προσθέτουμε επιπλέον στα προς εγκατάσταση πακέτα τα "gcc", "gdb" και "make":



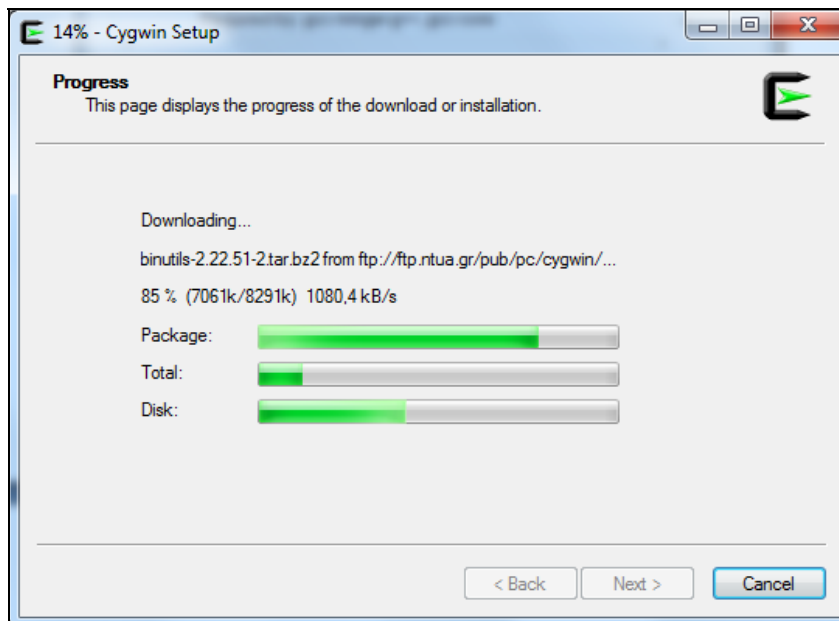
Εικόνα 8: Επιλογή επιπρόσθετων πακέτων gcc-g++ και gdb



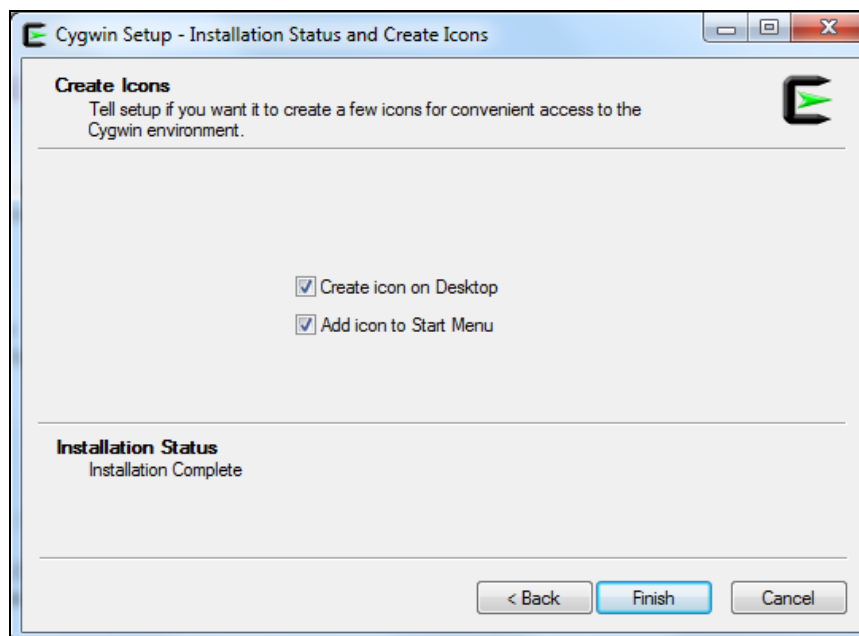
Εικόνα 9: Επιλογή επιπρόσθετου πακέτου make



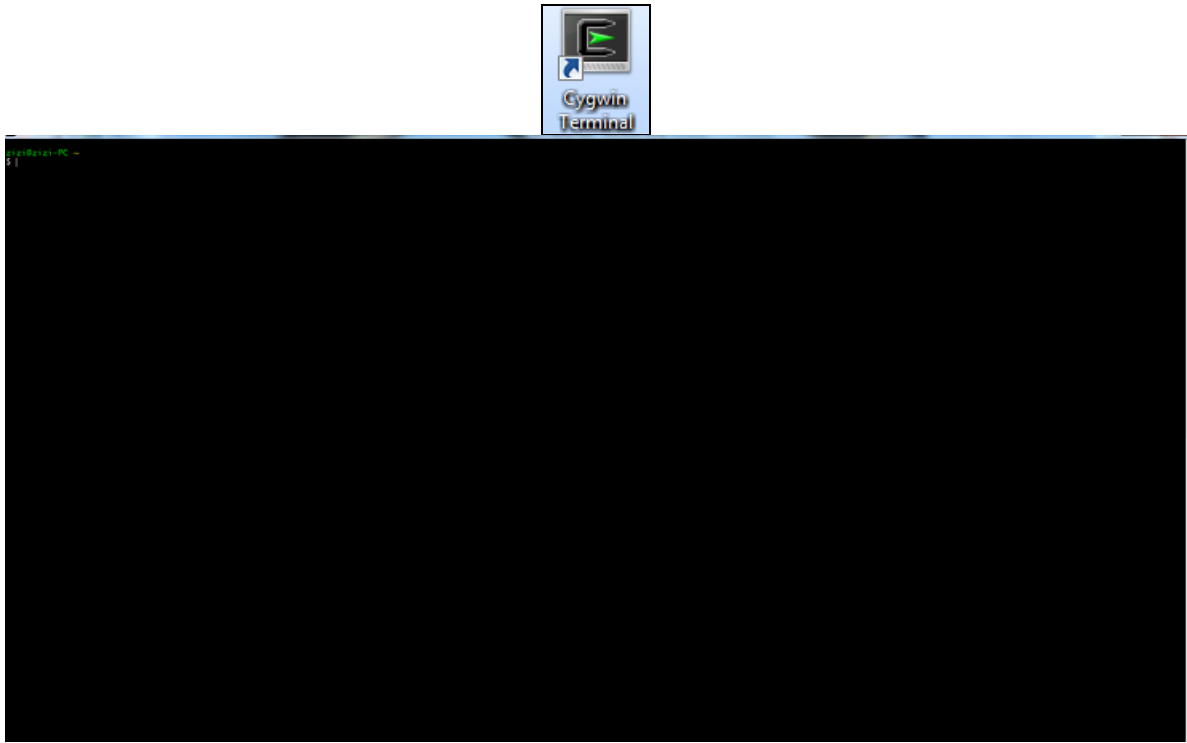
Εικόνα 10: Συνέχεια διαδικασίας εγκατάστασης



Εικόνα 11: Πρόοδος εγκατάστασης



Εικόνα 12: Ολοκλήρωση εγκατάστασης



Εικόνα 13: Περιβάλλον εργασίας Cygwin

