



Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών στην  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ  
ΠΟΛΙΤΙΚΗ &  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ**

**ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ  
ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

**Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση και  
Πρόβλεψη των Αλλαγών Χρήσεων Γης σε Αστικό και  
Περιαστικό Περιβάλλον Χρησιμοποιώντας Κυψελοειδή  
Αυτόματα – Εφαρμογή στη νήσο Νάξο.**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Χατζόπουλος Ιωάννης**

**Ρετσιλίδου Όλγα**

**Πανεπιστήμιο Αιγαίου  
Τμήμα Περιβάλλοντος**

**Μυτιλήνη  
Φεβρουάριος 2012**





Μεταπτυχιακό πρόγραμμα σπουδών στην  
**ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΗ  
ΠΟΛΙΤΙΚΗ &  
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ**

**ΠΡΟΤΑΣΗ ΕΚΠΟΝΗΣΗΣ  
ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ**

**Ανάπτυξη Μεθοδολογίας για την Ακριβή Εκτίμηση και  
Πρόβλεψη των Αλλαγών Χρήσεων Γης σε Αστικό και  
Περιαστικό Περιβάλλον Χρησιμοποιώντας Κυψελοειδή  
Αυτόματα – Εφαρμογή στη νήσο Νάξο.**

**Επιβλέπων Καθηγητής: Χατζόπουλος Ιωάννης**

**Ρετσιλίδου Όλγα**

**Πανεπιστήμιο Αιγαίου  
Τμήμα Περιβάλλοντος**

**Μυτιλήνη  
Φεβρουάριος 2012**

## ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ.....	2
1.1. ΘΕΩΡΗΤΙΚΕΣ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	2
1.2. ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	5
1.3. ΟΙ ΠΟΛΕΙΣ ΩΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΑΥΤΟ- ΟΡΓΑΝΩΣΗΣ.....	5
1.4. ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗ ΑΥΤΟΜΑΤΑ.....	8
1.4.1. Τυπικοί ορισμοί.....	9
1.4.2. Βασικά Στοιχεία.....	11
1.5. ΤΑ ΚΥΨΕΛΟΕΙΔΗ ΑΥΤΟΜΑΤΑ ΣΤΗΝ ΑΣΤΙΚΗ ΜΟΝΤΕΛΟΠΟΙΗΣΗ.....	14
1.5.1. Απλότητα στην Διαμόρφωση του Μοντέλου.....	16
1.5.2. Φυσική Συγγένεια με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών.....	17
1.6. ΠΡΑΚΤΙΚΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ.....	19
1.6.1. Κυψελοειδής Χώρος.....	21
1.6.1.1. Ορθο- κανονικά κελιά μικρής ή μεγάλης ανάλυσης.....	21
1.6.1.2. Χρησιμοποίηση ακανόνιστων χωρικών μονάδων.....	23
1.6.1.3. Συνεχείς καταστάσεις κελιών.....	24
1.6.2. Ορισμός της Γειτονιάς.....	25
1.6.3. Κανόνες Μετάβασης.....	26
1.6.3.1. Αυστηροί κανόνες μετάβασης.....	27
1.6.3.2. Κανόνες μετάβασης που βασίζονται στην δυνατότητα μετάβασης ή πιθανότητα 28	
1.6.3.3. Κανόνες μετάβασης που βασίζονται στο σχήμα των αστικών χρήσεων.....	30
1.6.3.4. Μοντέλα κυψελοειδή Αυτομάτων που βασίζονται σε Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα Artificial Neural Network (ANN).....	32
1.6.3.5. Ασαφώς περιοριζόμενα μοντέλα Κυψελοειδών Αυτομάτων.....	33
1.6.3.6. Κανόνες μετάβασης που προέρχονται από άλλα μοντέλα.....	35
1.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	37
1.8. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΠΟΤΥΠΩΣΗ ΤΟΥ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	40
1.8.1. Επιλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων για την αποτύπωση του αστικού περιβάλλοντος.....	40
1.8.1.1. Ενσωμάτωση στοιχείων από διαφορετικούς αισθητήρες.....	41
1.8.1.2. Χρήση εικόνων πολλαπλών χρονοσειρών.....	42
1.8.2. Ορισμός αστικού περιβάλλοντος και επιλογή εκπαιδευτικών πεδίων.....	43
1.8.3. Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ταξινόμησης.....	44
1.9. ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΑΣΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	45
1.10. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΠΡΟ-ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (PRE-CLASSIFICATION).....	45
1.11. ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΙΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	47
1.11.1.1. Προσεγγίσεις ταξινόμησης για την επίλυση της φασματικής σύγχυσης.....	49
1.11.1.2. Προσεγγίσεις ήπιας ταξινόμησης (ανά υπό-εικονοστοιχείο).....	50
1.11.1.3. Προσεγγίσεις ταξινόμησης ανά-τομέα.....	51
1.11.1.4. Προσεγγίσεις ταξινομητών συνάφειας.....	52
1.11.1.5. Προσεγγίσεις ταξινόμησης βασισμένες στη γνώση.....	54
1.12. ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΜΕΤΑ-ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ (POST- CLASSIFICATION).....	55
1.12.1. Εφαρμογή φίλτρων.....	55
1.12.2. Χρησιμοποίηση βοηθητικών δεδομένων.....	56
1.13. ΜΙΑ ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΠΡΟΣΕΓΓΙΣΕΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ.....	57
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	60
2.1. ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	60
<i>Φυσικογεωγραφικά Στοιχεία.....</i>	60
<i>Αθρωπογεωγραφικά στοιχεία.....</i>	60
<i>Χαρακτήρας αστικών χρήσεων.....</i>	61
2.2. ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΙΚΟΣ ΣΚΟΠΟΣ ΔΙΑΤΡΙΒΗΣ.....	63
2.2.1. Απώτεροι Στόχοι.....	65
2.3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΚΟ ΠΛΑΙΣΙΟ.....	67
2.4. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑΣ.....	78

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Εικόνα 1.1. Τυπικές γειτονιές σε ένα ΚΑ 2 διαστάσεων .....	11
Εικόνα 1.2. Το πρόβλημα αλλαγής κλίμακας .....	21

## **ΠΙΝΑΚΑΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 2.1. Διάγραμμα Ροής Εργασιών .....	78
--	----

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ**

# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΕΡΕΥΝΑ

## 1.1. Θεωρητικές προσεγγίσεις μοντελοποίησης αστικού περιβάλλοντος

Η οικολογική προσέγγιση βασίζεται στην πεποίθηση ότι η ανθρώπινη συμπεριφορά καθορίζεται από οικολογικές αρχές, όπως ο ανταγωνισμός, η διαδοχή και η κυριαρχία. Όπως και στην οικολογία των φυτών, έτσι και η πιο δυναμική ανθρώπινη ομάδα θα εξασφαλίσει την πιο πλεονεκτική θέση σε ένα δεδομένο αστικό περιβάλλον, όπως για παράδειγμα την καλύτερη περιοχή για κατοικία.

Η κοινωνική φυσική προσέγγιση βασίστηκε στην έννοια της ανθρώπινης αλληλεπίδρασης με τον χώρο. Η προσέγγιση αυτή αρχικά αναπτύχθηκε ως μια άμεση αναλογία με την φυσική. Δηλαδή, χρησιμοποιεί το νόμο της βαρύτητας του Νεύτωνα ως ανάλογο της κοινωνικής αλληλεπίδρασης μεταξύ περιοχών. Παρόλο που η κοινωνικο- φυσική προσέγγιση εφαρμόστηκε ευρέως σε μοντέλα αστικού σχεδιασμού, τα μοντέλα στηρίζονταν στην γενίκευση, τόνιζαν τη συμπεριφορά της ομάδας και όχι την ατομική συμπεριφορά, και έχαναν την δυνατότητα να ασχοληθούν με σημαντικούς αλλά μη ποσοτικούς παράγοντες. Επιπροσθέτως, καθώς τα μοντέλα αυτά βασίζονταν σε παραδοχές ανάλογες των θεωριών της φυσικής, η θεωρητική τους βάση ήταν πολύ αδύναμη.

Η οικονομική ισορροπία ή νεοκλασική προσέγγιση, έχει τις ρίζες της στις παραδοσιακές οικονομικές θεωρίες. Η νεοκλασική προσέγγιση στηρίχθηκε στην πεποίθηση ότι η διαδικασία της αστικής ανάπτυξης είναι ουσιαστικά ένα οικονομικό φαινόμενο, που καθοδηγείται από τους μηχανισμούς της αγοράς και τις φυσικές δυνάμεις του ανταγωνισμού μεταξύ οικονομικών δραστηριοτήτων και κοινωνικών ομάδων μέσα σε μια αστική περιοχή. Ωστόσο, λόγω της αγνόησης της επίδρασης της ανθρώπινης συμπεριφοράς στην αστική ανάπτυξη και την διαδικασία δημιουργίας

προτύπων, η προσέγγιση αυτή δέχτηκε δριμύτατη κριτική από του θεωρητικούς της συμπεριφορικής προσέγγισης.

Η προσέγγιση συμπεριφοράς αναπτύχθηκε μέσα από την κριτική των υπεραπλουστευμένων εννοιών της ανθρώπινης συμπεριφοράς που υπονοούνταν από την αστική οικολογική και νεοκλασική προσέγγιση. Η συμπεριφορική προσέγγιση προσπάθησε να εστιάσει την προσοχή της στα κίνητρα πίσω από την ατομική συμπεριφορά, τον τρόπο με τον οποίο τα άτομα αναζητούν και μαθαίνουν για το αστικό περιβάλλον τους, και στις διαδικασίες λήψης των αποφάσεων τους. Εξαιτίας της υπερβολικής έμφασης που δόθηκε στην ατομική συμπεριφορά παρά στην συμπεριφορά της ομάδας, καθώς και λόγω άλλων αδυναμιών όπως η υπεραπλουστευμένη άποψη της σχέσης μεταξύ νόησης και συμπεριφοράς και τη γενικότερη έλλειψη εφαρμογής, η προσέγγιση αυτή δέχτηκε την επίθεση πληθώρας ρευμάτων.

Η συστημική προσέγγιση χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά στην αστική μοντελοποίηση στην δεκαετία του 1960. Βασίστηκε στις έννοιες της γενικής θεωρίας συστημάτων. Η συστημική προσέγγιση παρουσίασε στους ερευνητές ένα τρόπο κατασκευής μοντέλων πέρα από τις απλές σχέσεις αίτιο – αποτέλεσμα ή ερέθισμα – απάντηση. Γι αυτό τον λόγο τα μοντέλα αυτά είναι ευρείας αποδοχής ιδίως για την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των αστικών συστημάτων και την πρόβλεψη μελλοντικής αστικής ανάπτυξης.

Ωστόσο, προκειμένου τα μοντέλα αυτά να γίνουν λειτουργικά, σε ορισμένες περιπτώσεις έχουν επικεντρωθεί σε μικρά κομμάτια του συστήματος που μοντελοποιούν και όχι στο σύστημα ως σύνολο. Κάποιες φορές χρησιμοποίησαν απλουστευμένη μαθηματική φόρμουλα για να αναπαραστήσουν τις πολύπλοκες σχέσεις ή συνδέσεις που υπήρχαν μεταξύ των στοιχείων του συστήματος.

Οι περιορισμοί που θέτονται μέσω της συστημικής προσέγγισης και βασίζονται στην γενική θεωρία συστημάτων μαρτυρούν ότι η πολυπλοκότητα της πραγματικότητας πρέπει να μοντελοποιηθεί με νέους τρόπους. Κατά τις τρεις τελευταίες δεκαετίες, μελέτες μη γραμμικών διαδικασιών και ανοικτών συστημάτων οδήγησαν στην ανάδειξη νέων κατανοήσεων για τα πολύπλοκα συστημάτων και για την εξέλιξή τους.



Με βάση τις παραπάνω κατανοήσεις, οι πόλεις θεωρούνται ως πολύπλοκα και ανοικτά συστήματα που έχουν την ικανότητα της αυτό – οργάνωσης. Οι έννοιες της αυτό – οργάνωσης, του χάους, και οι θεωρίες πολυπλοκότητας οδήγησαν σε καρποφόρες μελέτες για την αστική ανάπτυξη.

## **1.2. Σύγχρονες πρακτικές μοντελοποίησης αστικού περιβάλλοντος**

Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1980, οι εξελίξεις των μη γραμμικών συστημάτων, των μορφοκλασμάτων ή μορφοκλασματικών συνόλων (fractals), και η θεωρία του χάους οδήγησαν σε νέους τρόπους θεώρησης των πόλεων και της ανάπτυξής τους, οι οποίοι με την σειρά τους οδήγησαν σε σημαντική πρόοδο της αστικής μοντελοποίησης τόσο θεωρητικά όσο και πρακτικά.

Επίσης, η εμφάνιση νέων πηγών ψηφιακών δεδομένων καθώς και οι τεχνικές των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών, προμήθευσαν τους αστικούς αναλυτές με νέες εμπλουτισμένες πηγές δεδομένων παράλληλα με νέες πλατφόρμες και τεχνικές για την διαχείριση των δεδομένων αυτών, για την ανάλυση και την αστικοποίηση. Επιπλέον, η εφαρμογή της θεωρίας των ασαφών συνόλων και της ασαφούς λογικής στην αστική μοντελοποίηση, ανέδειξαν νέους τρόπους για ρεαλιστικότερη μοντελοποίηση.

## **1.3. Οι πόλεις ως συστήματα αυτό- οργάνωσης**

Παρόλο που η ανάλυση των συστημάτων με βάση την Γενική Θεωρία Συστημάτων παρείχε μια προσέγγιση εξέτασης των πόλεων μέσα από πολύπλοκους τρόπους, είναι ουσιαστικά στατική και περιορισμένης ικανότητας στο να αντιμετωπίσει δυναμικά φαινόμενα ανάπτυξης.

Με βάση την θεωρία των ανοικτών συστημάτων, η διαδικασία της αστικής ανάπτυξης μπορεί να ιδωθεί μέσα από νέες οπτικές. Μια πόλη μπορεί να θεωρηθεί ως ένα ανοιχτό και πολύπλοκο σύστημα αυτό – οργάνωσης που δεν βρίσκεται κατά καμία έννοια σε ισορροπία, και υπάρχει σε μια συνεχή ανταλλαγή αγαθών και ενέργειας με άλλες πόλεις και την ενδοχώρα της. Η αστική ανάπτυξη είναι συνεπώς μια δυναμική χωρική διαδικασία, παρουσιάζοντας ορισμένα θεμελιώδη χαρακτηριστικά ενός συστήματος αυτό

- οργάνωσης. Το όριο μιας αστικής περιοχής επεκτείνεται διαρκώς προς την παρακείμενη μη αστική γη. Η προηγούμενη αστική μορφή έχει αντίκτυπο στην παρούσα αστική μορφή, και με την σειρά της θα επηρεάσει τα μελλοντικά αστικά πρότυπα.

Αυτά τα μοντέλα περιλαμβάνουν τη συσσωμάτωση περιορισμένης από τη διάχυση (Diffusion-limited aggregation (DLA)), τη γεω – προσομοίωση βασισμένη σε αυτόματα, και τα δραστοστρεφή μοντέλα (agent-based models). Το μοντέλο συσσωμάτωσης περιορισμένης από τη διάχυση είναι ένα από τα πιο σημαντικά της ανάπτυξης του μορφοκλασματικού συνόλου (fractal). Βασίζεται στις αρχές γεωμετρίας του μορφοκλασματικού συνόλου, που απεικονίζουν την ακανόνιστη δομή ενός συστήματος που έχει τον ίδιο βαθμό παρατυπίας σε όλες τις κλίμακες. Αυτό το χαρακτηριστικό είναι η λεγόμενη αυτο-ομοιότητα (self-similarity) σε κάποιες δομές του μορφοκλασματικού συνόλου, η οποία εμφανίζεται σε διαφορετικά επίπεδα μεγέθυνσης. Ο Batty ανέπτυξε ένα μοντέλο DLA για να μοντελοποιήσει την δυναμική αστική ανάπτυξη, το οποίο εφαρμόστηκε και δοκιμάστηκε τόσο σε μικρές όσο και σε μεσαίου μεγέθους πόλεις (M. Batty & P. Longley 1994).

Επίσης, κάτω από το παράδειγμα του αυτό - οργανωμένου συστήματος, αναπτύχθηκαν αστικά μοντέλα τα οποία βασίζονται στην τεχνική των αυτομάτων, με τα κυψελοειδή αυτόματα να είναι τα πιο απλά και πιο δημοφιλή. Ένα αυτόματο είναι μια οντότητα που έχει τα δικά της χωρικά και μη χωρικά χαρακτηριστικά, αλλά επίσης έχει και τον μηχανισμό επεξεργασίας των πληροφοριών με βάση τα δικά της χαρακτηριστικά, κανόνες και εξωτερικές καταχωρήσεις.

Τα κυψελοειδή αυτόματα είναι ένας ειδικός τύπος αυτομάτων που είναι μεμονωμένα αυτόματα, διατεταγμένα σε ένα τακτικό ψηφιδωτό χώρο, για παράδειγμα σε ένα κανονικό πλέγμα. Οι πληροφορίες επεξεργάζονται και διαδίδονται μεταξύ των κελιών (ή αυτομάτων), οι οποίες εξαπλώνονται μέσω των γειτονικών αυτομάτων. Στα τέλη της δεκαετίας του 1980 η τεχνική αυτή άρχισε να χρησιμοποιείται για την διερεύνηση της συμπεριφοράς ενός συστήματος αυτό – οργάνωσης και για την μοντελοποίηση της διαδικασίας της αστικής ανάπτυξης.

Ένας άλλος τύπος αυτομάτων, τα πολύ-πρακτορικά, πολύ-δραστροστεφή συστήματα (multiple agent systems (MAS)), χρησιμοποιούνται επίσης στην αστική μοντελοποίηση. Τα πολύ-δραστροστεφή συστήματα έχουν σχεδιαστεί ως μια συλλογή αλληλεπιδρώντων αυτόνομων πρακτόρων (agents), που ο καθένας έχει τις δικές του ικανότητες και στόχους, αλλά όλοι μαζί έχουν σχέση με ένα κοινό περιβάλλον. Αυτός ο τύπος μοντέλου λειτουργεί πάνω στις ίδιες αρχές όπως και ένα μοντέλο κυψελοειδή αυτομάτων, στο οποίο κάθε πράκτορας θεωρείται ως επιμέρους αυτόνομος πράκτορας – αυτόματο (Torrens 2003).

## 1.4. Κυψελοειδή Αυτόματα

Ένα Κυψελοειδές Αυτόματο (ΚΑ) είναι ένα διακριτό δυναμικό σύστημα στο οποίο ο χώρος είναι χωρισμένος σε κελιά/κυψέλες, και ο χρόνος κυλάει σε διακριτά βήματα. Κάθε κελί του συστήματος μπορεί να βρίσκεται σε μία κατάσταση από ένα καθορισμένο αριθμό καταστάσεων. Η κατάσταση του κάθε κελιού ενημερώνεται σύμφωνα με τοπικούς κανόνες. Δηλαδή η κατάσταση του κάθε κελιού σε μια δεδομένη στιγμή εξαρτάται από την κατάσταση που φέρει το ίδιο και από τις καταστάσεις που φέρουν τα γειτονικά του κελιά στο προηγούμενο χρονικό βήμα (Liu 2009).

Στη δεκαετία του 1940, οι John von Neumann (δημιουργός της θεωρίας των παιγνίων και πρωτοπόρος στη θεωρία συνόλων και την κβαντική μηχανική), σε συνεργασία με τον διάσημο μαθηματικό Stanislaw Ulam (ο οποίος εργάστηκε για την προσομοίωση Monte Carlo και το πρόγραμμα Manhattan ατομικής βόμβας) ανέπτυξαν τα κυψελοειδή αυτόματα ως ένα πλαίσιο για τη διερεύνηση των λογικών θεμελίων της ζωής (Candau 2002).

Η πρώτη σημαντική εφαρμογή κυψελοειδή αυτομάτων ήταν το «Παιχνίδι της ζωής» (“Game of Life”) του Conway. Η «ζωή» κατασκευάστηκε ως ένα δισδιάστατο πλέγμα με δύο εν δυνάμει καταστάσεις για κάθε κελί, και με μια γειτονιά οκτώ κελιών. Οι δύο εν δυνάμει καταστάσεις που μπορεί να λάβει το κάθε κελί είναι νεκρό ή ζωντανό. Η γειτονιά των οκτώ κελιών περιλαμβάνει κελιά με κατεύθυνση ανατολικά, νότια, δυτικά, βόρεια, βορειο – ανατολικά, βορειο – δυτικά, νοτιο- δυτικά, και νοτιο- ανατολικά. Αυτός ο τύπος γειτονίας ονομάζεται γειτονιά Moore (Y Liu 2009).

Στο παιχνίδι της ζωής του Conway, ένα κελί μπορεί να επιβιώσει, να πεθάνει ή να δώσει ζωή σε διαδοχικές γενιές σύμφωνα με τους παρακάτω κανόνες:

- Επιβίωση: ένα ζωντανό κελί με δυο ή τρεις ζωντανούς γείτονες επιβιώνει στην επόμενη γενιά.

- Θάνατος: ένα ζωντανό κελί με λιγότερους από δύο και περισσότερους από τρεις ζωντανούς γείτονες πεθαίνει είτε από απομόνωση ή λόγω υπερπληθυσμού
- Γέννηση: ένα νεκρό κελί με ακριβώς τρεις ζωντανούς γείτονες ζωντανεύει στην επόμενη γενεά.

Χρησιμοποιώντας αυτούς τους απλούς κανόνες, το μοντέλο έχει την δυνατότητα να δημιουργήσει πολύπλοκες δομές καθώς διαφορετικά κελιά πεθαίνουν, επιβιώνουν, ή δίνουν ζωή σε διαδοχικές γενιές.

Ο Stephen Wolfram έχει δημοσιεύσει μια σειρά άρθρων, όπου σε αυτά παρουσιάζεται η συστηματική διερεύνηση του απλούστερου μονοδιάστατου κυψελοειδή αυτομάτου, το οποίο ο ίδιος ονόμασε ως στοιχειώδες κυψελοειδές αυτόματο. Κάθε κελί σε ένα στοιχειώδες ΚΑ μπορεί να έχει μόνο δύο δυνατές τιμές ή καταστάσεις 0 ή 1, και οι κανόνες μετάβασης εξαρτώνται μόνο από τις τιμές των κοντινότερων γειτόνων του. Η απρόσμενη πολυπλοκότητα της συμπεριφοράς αυτών των απλών κανόνων οδήγησαν τον Wolfram να υποπτευθεί πως η πολυπλοκότητα στην φύση μπορεί να οφείλεται σε παρόμοιους μηχανισμούς (Liu 2009), και έτσι έθεσε τις βάσεις για την θεωρία των κυψελοειδή αυτομάτων ορίζοντας τα ως διακριτά δυναμικά συστήματα στα οποία οι τοπικές αλληλεπιδράσεις μεταξύ των συστατικών μερών των συστημάτων δημιουργούν καθολικές αλλαγές στο χώρο και στο χρόνο (Santé et al. 2010).

Τα ΚΑ έχουν εφαρμοστεί κυρίως στις φυσικές και τις επιστήμες του περιβάλλοντος, όπως στην φυσική, την χημεία την βιολογία και υπάρχει επίσης ένας ολοένα αυξανόμενος αριθμός εφαρμογών σε πόλεις και σε χωρικές οικολογικές μελέτες (Liu 2009).

### ***1.4.1. Τοπικοί ορισμοί***

Ένα ΚΑ  $d$ -διαστάσεων αποτελείται από ένα πεπερασμένο  $d$  διαστάσεων πλέγμα κελιών/κυττάρων  $d = 1, 2, 3$  (μονοδιάστατων, δισδιάστατων και τρισδιάστατων πλεγμάτων). Κάθε κύτταρο μπορεί να πάρει

μια τιμή από ένα πεπερασμένο σύνολο τιμών, συνήθως από μια μικρή συλλογή ακεραίων. Η τιμή κάθε κελιού σε χρονικό βήμα  $t$  είναι συνάρτηση των τιμών μιας μικρής τοπικής γειτονιάς κυττάρων κατά τη χρονική στιγμή  $t - 1$ . Τα κύτταρα ενημερώνουν την κατάστασή τους ταυτόχρονα, σύμφωνα με ένα δεδομένο τοπικό κανόνα (Sipper & Tomassini 1998).

Τυπικά, ένα κυψελοειδή αυτόματο  $A$  εκφράζεται ως:

$$A = (S, G, d, f), \text{ όπου}$$

$S$  είναι ένα πεπερασμένο σύνολο καταστάσεων,  $G$  είναι η κυτταρική γειτονιά,  $d \in \mathbb{Z}^+$  είναι η διάσταση που έχει το  $A$ , και  $f$  είναι ο κανόνας αλληλεπίδρασης των τοπικών κυψελών, που αναφέρεται επίσης ως συνάρτηση μετάβασης. Είναι ένας πανομοιότυπος κανόνας που εμπεριέχεται σε κάθε κελί και ουσιαστικά είναι μια μηχανή πεπερασμένων καταστάσεων, που συνήθως καθορίζονται υπό τη μορφή ενός πίνακα κανόνων.

Δίνοντας τη θέση σε ένα κελί  $i$ ,  $i \in \mathbb{Z}^d$ , σε ένα συμμετρικό  $d$  διαστάσεων ομοιόμορφο πλέγμα (δηλαδή,  $i$  είναι ένα ακέραιος αριθμός διανύσματος σε ένα  $d$ -διάστατο χώρο), η γειτονιά του  $G$  ορίζεται από:

$$G_i = \{i, i+r_1, i+r_2, \dots, i+r_n\}, \text{ όπου}$$

$n$  είναι μια σταθερή παράμετρος που καθορίζει το μέγεθος γειτονιάς, και  $r_j$  είναι ένα σταθερό διάνυσμα στο  $d$ -διάστατο χώρο

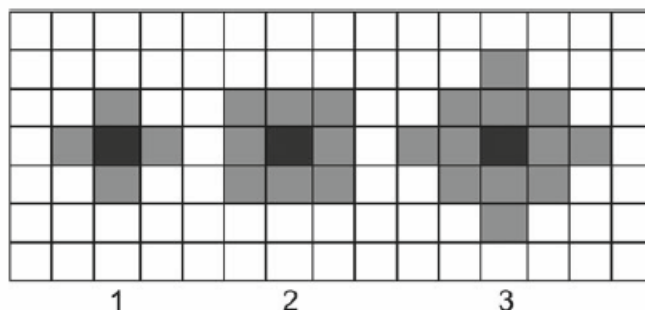
Ο τοπικός κανόνας μετάβασης  $f$

$$f: S^n \rightarrow S$$

καθορίζει την κατάσταση  $s_i \in S$  ενός κελιού  $i$  σε μια άλλη κατάσταση μέσα από το σύνολο καταστάσεων  $S$ , ως συνάρτηση των καταστάσεων στις οποίες βρίσκονται οι κυψέλες στην γειτονιά  $G_i$ . Στα ΚΑ που είναι ομοιόμορφα ο  $f$  είναι η ίδιος για όλες τις κυψέλες, ενώ στα μη-ομοιόμορφα ο  $f$  μπορεί να διαφέρει μεταξύ διαφορετικών κυψελών, δηλαδή, ο  $f$  να εξαρτάται από  $i, f_i$ .

Η διάσταση του αυτόματου καθορίζει το χώρο των πιθανών κανόνων μετάβασης, καθώς επίσης και τη μορφή της γειτονιάς. Η πιο χαρακτηριστική μορφή δισδιάστατων ΚΑ είναι ένα τετράγωνο πλέγμα κελιών. Στο χώρο

αυτό, η τοπικότητα συνήθως ορίζεται ως δύο εναλλακτικές γειτονιές: von Neumann και Moore γειτονιές (Εικ. 1.1.). (Ilтанen 2012).



**Εικόνα 1.1.** Τυπικές γειτονιές σε ένα ΚΑ 2 διαστάσεων: (1.) γειτονιά von Neumann με 1 γείτονα, (2.) γειτονιά Moore με 1 γείτονα, (3.) γειτονιά von Neumann με 2 γείτονες

Παρακάτω διακρίνουμε πέντε βασικά στοιχεία των ΚΑ για την καλύτερη κατανόηση της λειτουργίας τους.

### **1.4.2. Βασικά Στοιχεία**

**α. Το κελί**, το οποίο είναι η βασική χωρική μονάδα σε ένα κυψελοειδή χώρο. Τα κελιά σε ένα ΚΑ είναι τοποθετημένα μέσα σε ένα πλέγμα. Ένα δισδιάστατο πλέγμα κελιών είναι η πιο κοινή μορφή ΚΑ που χρησιμοποιείται στην μοντελοποίηση αστικής ανάπτυξης και αλλαγής χρήσεων γης. Ωστόσο και άλλες διατάξεις κελιών όπως τα μονοδιάστατα ΚΑ, έχουν αναπτυχθεί για να αναπαραστήσουν γραμμικά αντικείμενα, όπως τα αστικά μοντέλα κυκλοφοριακής συμφόρησης. Ο κυψελοειδής χώρος μπορεί επίσης να ψηφιοποιηθεί με άλλες διατάξεις, όπως η διάταξη κηρήθρας, ή ακόμη και σε τρεις διαστάσεις. Για παράδειγμα, η τρίτη διάσταση ενός αστικού κυψελοειδούς αυτομάτου μπορεί να αντιπροσωπεύει το ύψος των κτιρίων σε ένα αστικό δομημένο περιβάλλον. Παρόλα αυτά, αυτές οι διατάξεις των κελιών έχουν χρησιμοποιηθεί λιγότερο στην αστική μοντελοποίηση ίσως λόγω των δυσκολιών στον σχεδιασμό και την κατασκευή του μοντέλου, ή δεν έχουν ακόμα αναπτυχθεί στην πράξη.



**β. Η κατάσταση,** που στην ουσία ορίζει τα χαρακτηριστικά του συστήματος. Κάθε κελί μπορεί να πάρει μόνο μια κατάσταση μέσα από ένα σύνολο καταστάσεων, οποιαδήποτε στιγμή του χρόνου. Η κατάσταση μπορεί να είναι ένας αριθμός που αντικατοπτρίζει μια ιδιότητα. Στην αστική μοντελοποίηση με ΚΑ, η κατάσταση ενός κελιού μπορεί να εκπροσωπεί τους τύπους χρήσης γης ή εδαφοκάλυψης, ή κατηγορίες χρήσης γης, ή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκπροσωπεί άλλα χαρακτηριστικά του αστικού χώρου, όπως κοινωνικοοικονομικά χαρακτηριστικά.

**γ. Η γειτνίαση,** που είναι ένα σύνολο κελιών με τα οποία αλληλεπιδρά το κελί που βρίσκεται υπό εξέταση. Σε ένα δυσδιάστατο χώρο, υπάρχουν δύο βασικοί τύποι γειτνίασης: η von Neumann (τέσσερα κελιά), που περιλαμβάνει τους γείτονες του υπό εξέταση κελιού που βρίσκονται βόρεια, ανατολικά, νότια και δυτικά του, και η γειτνίαση Moore (οκτώ κελιά), η οποία περιλαμβάνει κελιά όπως καθορίζονται από την προηγούμενη μορφή γειτνίασης και επιπροσθέτως τα κελιά που βρίσκονται στις διευθύνσεις βορειοανατολικά, βορειοδυτικά, νοτιοανατολικά, νοτιοδυτικά (Εικ.1). Στην αστική μοντελοποίηση έχουν χρησιμοποιηθεί και άλλες μορφές γειτνίασης, όπως η γειτονιά που προκύπτει από ένα κύκλο με συγκεκριμένη απόσταση (ακτίνα) από το υπό εξέταση κελί.

**δ. Ο κανόνας μετάβασης,** ο οποίος καθορίζει τον τρόπο με τον οποίο η κατάσταση ενός κελιού αλλάζει, ως συνάρτηση της παρούσας κατάστασης του και των καταστάσεων στις οποίες βρίσκονται τα γειτονικά κελιά του. Αυτό είναι το βασικό συστατικό των κυψελοειδών αυτομάτων καθώς αυτοί οι κανόνες αντιπροσωπεύουν την διαδικασία του συστήματος που μοντελοποιείται, και γι αυτό το λόγο είναι ουσιαστικοί παράγοντες για μια επιτυχημένη μοντελοποίηση (White 1998). Σε ένα αυστηρό κυψελοειδές αυτόματο, οι κανόνες αυτοί είναι ενιαίοι και εφαρμόζονται συγχρονισμένα σε όλα τα κελιά του συστήματος. Ωστόσο, στην βιβλιογραφία έχουν παρατηρηθεί, ορισμένες τροποποιήσεις για τον καθορισμό των μεταβατικών κανόνων.

**ε. Ο χρόνος,** που καθορίζει την χρονική διάσταση μέσα στην οποία λειτουργεί το κυψελοειδές αυτόματο. Σύμφωνα με τον ορισμό των ΚΑ,

οι καταστάσεις των κελιών ενημερώνονται ταυτόχρονα σε όλες τις επαναλήψεις κατά την πάροδο του χρόνου..

## 1.5. Τα Κυψελοειδή Αυτόματα στην Αστική Μοντελοποίηση

Η επίσημη σύνδεση μεταξύ κυψελοειδών αυτομάτων και γεωγραφικών φαινομένων έγινε από τον Tobler με το έργο του Κυψελοειδή Γεωγραφία (*Cellular Geography*) το 1979, με το οποίο αναδείχτηκε η σιωπηρή χωρική φύση των κανόνων μετάβασης των Κυψελοειδή Αυτομάτων με αποτέλεσμα να θεωρούνται μοντέλα κατεξοχήν γεωγραφικά (Couclelis 1985).

Στη δεκαετία του 1980, εμφανίστηκαν οι πρώτες θεωρητικές προσεγγίσεις για μοντέλα που βασίζονται σε ΚΑ για την προσομοίωση της αστικής επέκτασης. Μία από τις κεντρικές δημοσιεύσεις γράφτηκε από την Helen Couclelis (1985) όπου ανέφερε ότι τα ΚΑ σε συνδυασμό με την πρόοδο στις συστατικές θεωρίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην μελέτη των αστικών συστημάτων. Συνειδητοποίησε τις δυνατότητες των αναδυόμενων χαρακτηριστικών της καθολικής δομής που προκύπτει από το δυναμισμό των τοπικών γεγονότων και παρουσίασε ένα πλαίσιο για την κυψελοειδή μοντελοποίηση της χρήσης γης.

Πολυάριθμες μεθοδολογίες προσομοίωσης με βάση τα ΚΑ για την αστική δυναμική έχουν δημιουργηθεί κατά τη διάρκεια των τελευταίων δεκαετιών. Τις τελευταίες τρεις δεκαετίες, έχουν υλοποιηθεί πολλά αστικά μοντέλα ΚΑ που αποδείχθηκαν χρήσιμα για την προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης στις μεγάλες πόλεις (García et al. 2012). Ο τεράστιος αριθμός και η δημοτικότητα των αστικών μοντέλων προσομοίωσης που βασίζονται σε ΚΑ είναι απόδειξη αυτής της χρησιμότητας.

Η αστική ανάπτυξη προσομοιάζει με την συμπεριφορά ενός ΚΑ με διάφορους τρόπους. Τα ΚΑ περιλαμβάνουν εγγενή χωρικότητα και ως εκ τούτου προσφέρουν ένα εξαιρετικό εργαλείο για προσομοίωση της δυναμικής του αστικού χώρου (Pitane 2012). Ο χώρος μιας αστικής περιοχής μπορεί να θεωρηθεί ως ο συνδυασμός ενός αριθμού κελιών, όπου κάθε κελί μπορεί να προσλάβει ένα συγκεκριμένο σύνολο πιθανών καταστάσεων οι οποίες εκπροσωπούν το βαθμό της αστικής ανάπτυξης.

Ας εξετάσουμε μια φανταστική πόλη που είναι κατασκευασμένη σε ένα κυψελοειδή χώρο. Η πόλη αποτελείται από ένα δισδιάστατο τακτικό πλέγμα  $n \times n$  κελιών, ή τμημάτων γης. Κάθε τμήμα (κελί) μπορεί να έχει μία από δυο πιθανές καταστάσεις: αστικό ή μη αστικό. Η γειτνίαση αντιπροσωπεύει την περιοχή που επηρεάζει την ανάπτυξη του υπό εξέταση τμήματος γης. Οι κανόνες μετάβασης καθορίζουν πώς ένα τμήμα γης μεταβαίνει από την μια κατάσταση στην άλλη, και έτσι υπονοείται και η διαδικασία ανάπτυξης τοπικά. Αυτοί οι κανόνες μετάβασης συνήθως εκφράζονται ως ένα σύνολο δηλώσεων τύπου «EAN-TOTE» (“IF-THEN”), που είναι εγγενώς απλές. Παρόλα αυτά αυτοί οι απλοί κανόνες μπορεί να δημιουργήσουν πολύπλοκα πρότυπα ανάπτυξης (Liu 2009). Τα κυψελοειδή αυτόματα έχουν την ικανότητά να αναπαράγουν πολύπλοκες χωρικές και χρονικές δυναμικές σε καθολικό επίπεδο χρησιμοποιώντας τοπικούς και απλούς κανόνες (García et al. 2012).

Οι κανόνες αυτοί λειτουργούν στη γειτονιά των κελιών ενός πλέγματος που αντιπροσωπεύει το χώρο στον οποίο οι διαδικασίες προσομοίωσης λαμβάνουν χώρα. Οι κανόνες μετάβασης εφαρμόζονται κατά διακριτά χρονικά βήματα και καθορίζουν την κατάσταση του κάθε κελίου του πλέγματος σε κάθε επανάληψη του μοντέλου με βάση την κατάσταση των γειτονικών του κελιών (García et al. 2012).

Η δυνατότητα των ΚΑ να προσομοιώνουν την αστική ανάπτυξη βασίζεται στην υπόθεση ότι η αστική ανάπτυξη του παρελθόντος επηρεάζει τα μελλοντικά μοτίβα μέσω των τοπικών αλληλεπιδράσεων μεταξύ των χρήσεων γης (Santé et al. 2010).

Εκτός αυτού, πολλοί συγγραφείς έχουν δείξει ότι η μη γραμμικότητα της επαναληπτικής διαδικασίας των ΚΑ οδηγεί σε τακτικές δομές φράκταλ (τακτικά χωρικά μοτίβα που παράγουν παρόμοια σχήματα/γεωμετρίες σε διαφορετικές κλίμακες). Τέτοιες δομές φράκταλ, που προέρχονται από σύνθετα φαινόμενα, είναι χαρακτηριστικές της αστικής ανάπτυξης (Batty & Longley 1994; Longley & Mesev 2000).

Το ενδιαφέρον λοιπόν για την χρήση μοντέλων που βασίζονται σε ΚΑ στις αστικές προσομοιώσεις μπορούν να εξηγηθούν από την άποψη της απλότητας, της ευελιξίας, της διαίσθησης των ΚΑ. (Santé et al. 2010).

### ***1.5.1. Απλότητα στην Διαμόρφωση του Μοντέλου***

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα των ΚΑ είναι η ικανότητά τους να αναπαραγάγουν αναδυόμενες σύνθετες δυναμικές όπως εκείνες που βρίσκονται στις πόλεις, με βάση απλούς κανόνες (White & Engelen 1993). Τα αστικά μοντέλα με βάση τα ΚΑ έχουν την ικανότητά να αναπαραγάγουν πολύπλοκες χωρικές και χρονικές δυναμικές σε καθολικό επίπεδο χρησιμοποιώντας τοπικούς και απλούς κανόνες.

Ένα μοντέλο κυψελοειδή αυτομάτων μπορεί να κατασκευαστεί σε ένα απλό δυσδιάστατο πίνακα κελιών με μία από δύο δυνατές καταστάσεις, αστικό, ή μη αστικό. Η μετάβαση από την μια κατάσταση στην άλλη βασίζεται σε μια σειρά από απλούς κανόνες, οι οποίοι μπορούν να οριστούν μέσα στο μοντέλο ως ένα σύνολο απλών δηλώσεων «EAN – TOTE». Παρόλα αυτά, μια τέτοια απλή σχεδίαση ενός ΚΑ μπορεί να οδηγήσει σε ιδιαίτερα σύνθετα χωρικά πρότυπα καθώς το σύστημα εξελίσσεται στον χρόνο, εξαιτίας της φύσης των ΚΑ τα οποία χαρακτηρίζονται από την αυτό οργάνωση και αυτό αναπαραγωγή (Liu 2009).

Η απλότητα και η διαισθητική φύση των ΚΑ όχι μόνο απλοποιεί την διαδικασία της κατασκευής του μοντέλου αλλά επίσης διευκολύνει τους χρήστες να κατανοήσουν την εξέλιξη του συστήματος και να ερμηνεύσουν τα αποτελέσματα του μοντέλου.

Τα ΚΑ είναι ιδιαίτερος κατάλληλα στο να μοντελοποιούν σύνθετα δυναμικά συστήματα τα οποία συνθέτονται από ένα μεγάλο αριθμό μεμονωμένων στοιχείων. Εφαρμόζοντας διαφορετικούς κανόνες μετάβασης, ένα μοντέλο ΚΑ επιχειρεί να διερευνήσει πως το αστικό σύστημα έχει εξελιχθεί και πώς αυτό το σύστημα αλλάζει κάτω από συγκεκριμένους κανόνες ή δυνάμεις. Για τον λόγο αυτό παρέχει ένα περιβάλλον για την υποστήριξη πειραμάτων του τύπου «τι; εάν...».

Πρέπει να σημειωθεί, ότι στην βιβλιογραφία υπάρχουν μια σειρά εφαρμογών, οι οποίες αποκαλύπτουν ότι το κεντρικό σημείο των μοντέλων ΚΑ είναι οι κανόνες οι οποίοι οδηγούν στην εξέλιξη του συστήματος και ο πειραματισμός σχετικά με το πώς αυτοί οι κανόνες επηρεάζουν την συμπεριφορά του συστήματος. Το χωρικό πρότυπο ή η δομή του συστήματος παρουσιάζεται ως το αποτέλεσμα της δυναμικής χωρικής αναπτυξιακής διαδικασίας.

### ***1.5.2. Φυσική Συγγένεια με τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών***

Κατά την μοντελοποίηση γεωγραφικών φαινομένων και διαδικασιών, τα περισσότερα μοντέλα κυψελοειδών αυτομάτων κατασκευάζονται με βάση μια τακτική χωρική ψηφίδωση. Η φυσική συγγένεια με τα δεδομένα μορφής κανάβου (εικόνας) - raster των ΓΣΠ είναι ένα προφανές πλεονέκτημα (Itanen 2012).

Στα τέλη του 1980 άρχισαν να γίνονται προσπάθειες να ενσωματωθούν οι τεχνικές των ΓΣΠ στην αστική μοντελοποίηση με σκοπό την βελτίωση των ικανοτήτων ανάλυσης των ΓΣΠ. Κατά την διάρκεια της δεκαετίας του 1990, τόσο οι χρήστες ΓΣΠ όσο και οι σχεδιαστές αστικών μοντέλων έδειξαν μεγάλο ενδιαφέρον για την ενσωμάτωση των δύο τεχνικών. Τα ΓΣΠ είχαν πολλά να προσφέρουν στην αστική μοντελοποίηση όσον αφορά την διαχείριση των δεδομένων και την οπτικοποίηση.

Υπάρχουν πολλές στρατηγικές όσον αφορά στην σύνδεση των μοντέλων με τα ΓΣΠ, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε γενική κλίμακα ως στρατηγική χαλαρής ή δυνατής σύνδεσης. Η στρατηγική χαλαρής σύνδεσης συνήθως αναφέρεται στην εισαγωγή ή εξαγωγή κοινών δεδομένων που χρησιμοποιούνται τόσο στο μοντέλο όσο και στα ΓΣΠ. Από την άλλη πλευρά, η δυνατή σύνδεση αναφέρεται στην προσθήκη της λειτουργικότητας του ενός συστήματος στο άλλο, είτε την ενσωμάτωση ενός μοντέλου στα ΓΣΠ ή το αντίστροφο (Batty & Xie 1994).

Ακόμα και αν χρησιμοποιήσει κανείς μια προσέγγιση χαλαρής σύνδεσης στην ενσωμάτωση των ΓΣΠ με ένα μοντέλο κυψελοειδή αυτομάτων, τα ΓΣΠ μπορούν να προμηθεύσουν χωρικά δεδομένα που αποτελούν την αρχική διαμόρφωση σε ένα μοντέλο ΚΑ, και τα αποτελέσματα της προσομοίωσης μπορούν να επιστραφούν σε ένα ΓΣΠ για περαιτέρω επεξεργασία, οπτικοποίηση και αποθήκευση.

Ωστόσο, η ενσωμάτωση των ΓΣΠ με τα μοντέλα κυψελοειδή αυτομάτων έχει να κάνει με πολλά περισσότερα πέρα από την απλή ανταλλαγή δεδομένων, την αποθήκευση και την οπτικοποίηση.

Ο Wagner (1997) εξέτασε τα πλεονεκτήματα της ενσωμάτωσης των δύο αυτών συστημάτων. Παρουσίασε τις δυνατότητες δημιουργίας ενός περιορισμένου μοντέλου κυψελοειδή αυτομάτων μέσα σε ένα ΓΣΠ ή την εφαρμογή της λειτουργίας της ανάλυσης των ΓΣΠ σε ένα σύστημα ΚΑ.

Με τη βοήθεια μιας μηχανής κυψελοειδή αυτομάτων (cellular automata machine (CAM)), ο Wagner ανέπτυξε ένα πρωτότυπο για να λάβει την λειτουργικότητα τόσο των ΓΣΠ όσο και της μηχανής ΚΑ. Οι Takeyama & Couclelis (1997) ανέπτυξαν μια μέθοδο για να ενσωματώσουν ΚΑ και τα ΓΣΠ μέσω μιας γεω – άλγεβρας (μια μαθηματική γενίκευση της χαρτογραφικής άλγεβρας που είναι σε θέση να εκφράσει σε ένα κοινό πλαίσιο μια ποικιλία δυναμικών χωρικών μοντέλων και τον χειρισμό χωρικών δεδομένων).

Οι Batty, Xie, και Sun (1999) επίσης έχουν αναπτύξει ένα πρόγραμμα λογισμικού για την υλοποίηση ενός μοντέλου κυτταρικών αυτομάτων με βάση τα ΓΣΠ για την προσομοίωση της αστικής δυναμικής (M Batty et al. 1999). Τα παραδείγματα αυτά προτείνουν τρόπους μιας ισχυρής σύζευξης των δύο τεχνολογιών, οι οποίες είναι ακόμη υπό έρευνα.

## 1.6. Πρακτικές που χρησιμοποιούνται

Ένα ΚΑ αποτελείται από ένα διακριτό χώρο κελιών/κυττάρων, στο οποίο η κατάσταση χαρακτηρίζει κάθε κελί. Η κατάσταση του κάθε κελιού εξαρτάται από την προηγούμενη του κατάσταση και την κατάσταση των γειτονικών του κελιών, σύμφωνα με ένα σύνολο κανόνων μετάβασης. Οι «παρασκηνιακές συμβάσεις» των ΚΑ περιορίζουν την ικανότητά τους να προσομοιώσουν ρεαλιστικά πολύπλοκα γεωγραφικά φαινόμενα (Couclelis 1985). Για το λόγο αυτό, η προσαρμογή των ΚΑ στις αστικές προσομοιώσεις απαιτεί να λαμβάνει κανείς υπόψη τις ιδιαιτερότητες αυτού του φαινομένου, που συνήθως συνεπάγεται μια χαλάρωση της αρχικής δομής του ΚΑ, προκειμένου να εισαγάγει μεγαλύτερη πολυπλοκότητα στα μοντέλα (Couclelis 1997).

Στην αστική μοντελοποίηση, η έννοια των ΚΑ νοείται κυρίως σε αρκετά ευρεία έννοια, και η πλειονότητα των εφαρμογών δεν ακολουθούν όλες τις προϋποθέσεις του αυστηρού ΚΑ. Μερικά από τα συστατικά που καθορίζονται αυστηρά από τα ΚΑ μπορούν να εγκαταλειφθούν, σύμφωνα με τις απαιτήσεις του φαινομένου που εξετάζεται.

Τα περισσότερα σύγχρονα αστικά μοντέλα χαλαρώνουν μερικά από τα χαρακτηριστικά των τυπικών ΚΑ για να ανταμώσουν τις απαιτήσεις της μοντελοποίησης ενός συγκεκριμένου προβλήματος. Οι Benenson και Torrens (2004) όρισαν τις τροποποιήσεις αυτές ως εξής:

- Οι γειτονίες μπορεί να ποικίλλουν σε μέγεθος και σχήμα.
- Οι καταστάσεις των κελιών μπορεί να είναι ορισμένες με διάφορους τρόπους: ονομαστικές, τακτικές, συνεχείς, ασαφείς ή πολυ-παραμετροποιημένες.
- Οι κανόνες μετάβασης μπορούν να είναι ντετερμινιστικοί, στοχαστικοί, ασαφείς, να δίνονται από εξισώσεις ή άλλες δηλώσεις.
- Παράγοντες πέραν της γειτονιάς μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον έλεγχο της ανάπτυξης του μοντέλου (Ilтанen 2012)



Από το 1990 όταν οι White και Engelen πρώτοι ανέπτυξαν και εφάρμοσαν ένα περιορισμένο μοντέλο ΚΑ για να προσομοιώσουν τις δυναμικές της αλλαγής των χρήσεων γης έχουν αναπτυχθεί διάφορα μοντέλα για την προσομοίωση της αστικής ανάπτυξης και της αλλαγής των χρήσεων/κάλυψης γης σε αστικές χρήσεις.

Οι Santé et al.(2010), αναλύουν 33 αστικά μοντέλα ΚΑ που έχουν εφαρμοστεί σε πραγματικές πόλεις, επισημαίνοντας τις διαφορές μεταξύ τους και προτείνουν μια κατηγοριοποίησή τους (Santé et al. 2010).

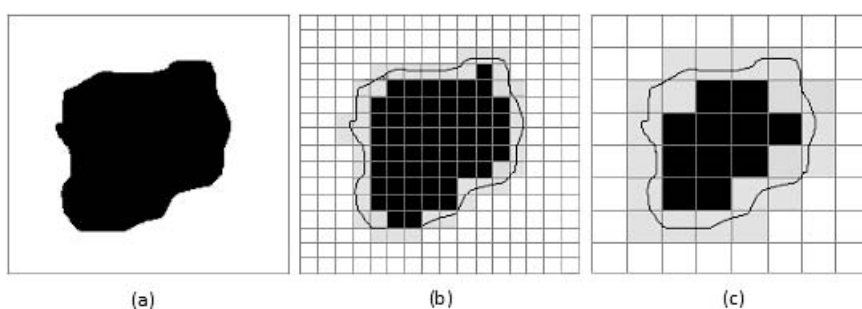
Παρακάτω θα γίνει μια κατηγοριοποίηση των κυριότερων αστικών μοντέλων που έχουν εντοπιστεί στην βιβλιογραφία, εστιάζοντας στον τρόπο που ορίζουν ή τροποποιούν τα πέντε βασικά στοιχεία ενός τυπικού ΚΑ, δηλαδή την χωρική ψηφιοθέτηση των κελιών, τις καταστάσεις των κελιών, την γειτνίαση, και τους κανόνες μετάβασης,.

### 1.6.1. Κυψελοειδής Χώρος

Σύμφωνα με τους αυστηρούς κανόνες ενός ΚΑ, ο κυψελοειδής χώρος δημιουργείται με την τακτική ψηφιοθέτηση κελιών σε μια σειρά. Η χωρική ανάλυση των κελιών κυμαίνεται από μικρά έως πολύ μεγάλα μεγέθη κελιών. Πολύ πρόσφατα, η έρευνα έχει δείξει ότι μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και μη κανονικές χωρικές μονάδες για την μοντελοποίηση της αστικής ανάπτυξης, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει στην καλύτερη κατανόηση του αστικού συστήματος και της ανάπτυξής του.

#### 1.6.1.1. .Ορθο- κανονικά κελιά μικρής ή μεγάλης ανάλυσης

Τα μοντέλα χωρικών φαινομένων, επηρεάζονται από την γενίκευση των δεδομένων (aggregate data). Αυτό συνήθως θεωρείται ως πρόβλημα της μεταβαλλόμενης χωρικής μονάδας ή απλά πρόβλημα αλλαγής κλίμακας (modifiable area unit problem (MAUP)). Καθώς τα μοντέλα κυψελοειδών αυτομάτων βασίζονται στον κατακερματισμό του χώρου σε τακτικά (ή μη τακτικά) κελιά, ένα θεμελιώδες ερώτημα είναι εάν η κλίμακα των εικονοστοιχείων (χωρική ανάλυση) μεταβάλλει τα αποτελέσματα της μοντελοποίησης.



**Εικόνα 1.2. Το πρόβλημα αλλαγής κλίμακας που επηρεάζει την αστική μοντελοποίηση** (τα μαύρα κελιά αντιπροσωπεύουν τις αστικές χρήσεις, τα γκρι το σύνορο μεταξύ αστικού και μη αστικού περιβάλλοντος, τα άσπρα μη αστικές χρήσεις) (a) η αστική περιοχή; (b) η ευρύτερη περιοχή τμηματοποιημένη σε κελιά μικρής κλίμακας, (c) η ευρύτερη περιοχή τμηματοποιημένη σε κελιά μεγάλης κλίμακας, Η κλίμακα του κελιού έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία διαφορετικών χωρικών προτύπων του αστικού, περαστικού και μη αστικού χώρου.

Στις πρώτες εφαρμογές κυψελοειδή αυτομάτων στην αστική μοντελοποίηση, η ανάλυση των κελιών φαίνεται να ήταν ένα ζήτημα που δεν απασχόλησε αυτές τις εφαρμογές. Η ανάλυση των κελιών βασιζόταν είτε στην διαθεσιμότητα των δεδομένων, ή στην ευελιξία για προγραμματισμό. Γι αυτό τον λόγο η ανάλυση των κελιών διαφέρει σημαντικά από την μια εφαρμογή στην άλλη (Liu 2009).

Ο Wu (1996) χρησιμοποίησε χωρική ανάλυση 28.5 μ λόγω της χρήσης δορυφορικών εικόνων Landsat για να προσομοιώσει την αλλαγή της αστικής χρήσης γης στην πόλη Guanzhou της Κίνας. Εφάρμοσε επίσης μια χωρική ανάλυση 200 μ για να δημιουργήσει ένα μοντέλο ΚΑ με κανόνες μετάβασης που προήλθαν από ένα μοντέλο πολυκριτηριακής ανάλυσης για να προσομοιώσει την αστική ανάπτυξη εντός της ίδιας περιοχής στην Κίνα. Ωστόσο, ο λόγος χρήσης μιας γενικευμένης ανάλυσης ήταν για να εξοικονομηθεί χρόνος υπολογισμού. Δεν υπήρξε καμία αιτιολόγηση για την επιλογή των διαφορετικών κλιμάκων, ούτε τα αποτελέσματα που προέκυψαν από τα μοντέλα συγκρίθηκαν και συζητήθηκαν.

Ένα άλλο μοντέλο ΚΑ που αναπτύχθηκε από τον Clarke και τους συνεργάτες του, χρησιμοποίησε ένα βασικό πλέγμα κελιών 300 μ για να προσομοιώσει την αστική επέκταση στην περιοχή San Francisco Bay. Εντούτοις, εφαρμόζοντας το μοντέλο στην περιοχή της Ουάσιγκτον/Βαλτιμόρης, οι βαθμονομήσεις έγιναν σε διαφορετικές κλίμακες κελιών 210 μ, 420 μ, 840 μ, και 1680 μ. Τα αποτελέσματά τους δείχνουν ότι παρόλο που δεν είναι όλοι οι κανόνες ή οι παράγοντες ευαίσθητοι στην αλλαγή της κλίμακας, η κλίμακα των κελιών ασκεί επίδραση στα αποτελέσματα της προσομοίωσης, ειδικά σε σχέση με ορισμένους παράγοντες, όπως το οδικό δίκτυο και την τοπογραφική κλίση. Πρότειναν μια ιεραρχική προσέγγιση στη βαθμολόγηση του μοντέλου με την χρησιμοποίηση αρχικά γενικευμένων δεδομένων για να ερευνηθεί η ευαισθησία κάθε παραμέτρου στην αλλαγή της κλίμακας και κατόπιν χρήση μεγαλύτερης κλίμακας μόλις βρεθούν οι καλύτερες σειρές δεδομένων (Clarke & Gaydos 1998).

Ο Samat (2006), υποστήριξε αυτή την διαπίστωση και επιπλέον αναγνώρισε πως ένα μοντέλο ΚΑ παράγει ρεαλιστικά την μορφή ενός

αστικού περιβάλλοντος μόνο μέχρι ένα ορισμένο εύρος χωρικής ανάλυσης. Επισημάνει ότι η επιλογή της κλίμακας του κελιού, είναι αυτή που εξασφαλίζει ότι το παραγόμενο προϊόν διατηρεί τη συνολική ακρίβεια του μοντέλου και την μορφολογία των αστικών περιοχών.

Επιπλέον, οι Dietzel & Clarke (2004) μελέτησαν πώς η αλλαγή της χωρικής ανάλυσης επηρεάζει τη ρύθμιση των παραμέτρων και τα αποτελέσματα του μοντέλου. Τα αποτελέσματά τους έδειξαν, ότι εάν το μοντέλο βαθμονομηθεί με δεδομένα καλύτερης χωρικής ανάλυσης, θα παραγάγει ένα διαφορετικό σύνολο παραμέτρων, κάτι το οποίο μπορεί να οδηγήσει σε διαφορετικά εξαχθέντα από το μοντέλο αποτελέσματα.

Άλλοι ερευνητές όπως οι Kocabas & Dragicevic (2006), μελέτησαν τη συνδυασμένη επίδραση της χωρικής κλίμακας των κελιών και του μεγέθους γειτνίασης, στην απόδοση και το αποτέλεσμα του μοντέλου.

#### ***1.6.1.2. Χρησιμοποίηση ακανόνιστων χωρικών μονάδων***

Σε ένα τυπικό ΚΑ ο χώρος αντιπροσωπεύεται από κελιά/κυψέλες που δημιουργούν ένα συμμετρικό πλέγμα/ψηφιδωτό που συνήθως αποτελείται από τετράγωνα κελιά και θεωρεί ότι ο χώρος είναι ομοιογενής, δηλαδή, όλα τα κύτταρα είναι πανομοιότυπα και χαρακτηρίζονται αποκλειστικά από την κατάστασή τους. Ωστόσο, οι αλλαγές των χρήσεων γης εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από άλλες ιδιότητες της γης, όπως οι τοπογραφικές κλίσεις, το υψόμετρο κ.α. (Santé et al. 2010).

Για τον λόγο αυτό ερευνητές πρότειναν επίσης τη χρήση των ανώμαλων/ακανόνιστων χωρικών μονάδων στην αστική μοντελοποίηση. Ωστόσο, στην βιβλιογραφία έχουν βρεθεί μόνο μερικά παραδείγματα που να έχουν εφαρμόσει πραγματικά ακανόνιστες χωρικές μονάδες. Αυτό οφείλεται σε μεγάλο βαθμό σε δυσκολίες που αφορούν στον καθορισμό της ανώμαλης γειτνίασης και στη απαίτηση για μεγάλη υπολογιστική ισχύ.

Ένα από αυτά τα παραδείγματα είναι από τους Shi και Pang (2000) οι οποίοι παρουσιάζουν ένα μοντέλο κυψελοειδή αυτομάτων που βασίστηκε στην μέθοδο Voronoi, για την προσομοίωση των δυναμικών

αλληλεπιδράσεων μεταξύ των χωρικών αντικειμένων. Το χωρικό μοντέλο Voronoi σχεδιάστηκε για να αντιπροσωπεύσει τα χωρικά αντικείμενα ως διανυσματικά αντικείμενα. Το μοντέλο θεωρήθηκε ικανό να προσομοιώνει τις επιδράσεις μεταξύ σημείου, γραμμής και πολυγώνων με ακανόνιστα σχήματα και μεγέθη σε ένα δυναμικό σύστημα. Επίσης μπορεί να λειτουργήσει σε οποιαδήποτε μορφή χωρικής μονάδας, όπως σε τετράγωνα ή τριγωνικά εικονοστοιχεία, ή σε πραγματικά αντικείμενα όπως η θέση ενός πυροσβεστικού σταθμού, μιας οδού, ή αγροτεμαχίων (W. Shi & Pang 2000).

Επίσης ένα μοντέλο ΚΑ που χρησιμοποιεί μια ακανόνιστη/ανώμαλη χωρική δομή υψηλής χωρικής και χρονικής ανάλυσης, είναι το μοντέλο iCity, που χρησιμοποιεί δεδομένα χρήσεων γης υψηλής ανάλυσης με χωρικές ενότητες που συνθέτουν ακανόνιστου μεγέθους και σχήματος κτηματολογικά τεμάχια σε διανυσματική μορφή. Το μοντέλο οδήγησε σε μια καλύτερη διαμόρφωση των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης στα πραγματικά όρια των χρήσεων γης. Ωστόσο, το μοντέλο είχε μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ, με αποτέλεσμα μεγάλο χρόνο επεξεργασίας ακόμα και για μια μικρή περιοχή (Stevens et al. 2007).

#### ***1.6.1.3. Συνεχείς καταστάσεις κελιών***

Τα περισσότερα μοντέλα προσομοιώνουν τις μεταβάσεις των κελιών από μη αστικές σε αστικές χρήσεις γης, αλλά και ορισμένα μοντέλα επεκτείνουν αυτές τις μεταβάσεις σε πολλαπλές χρήσεις γης (Santé et al. 2010). Για παράδειγμα, οι White και Engelen όρισαν μια ιεραρχία πέντε καταστάσεων χρήσεων γης, που κυμαίνεται από κενή χρήση (η χαμηλότερη κατάσταση), κατοικία, βιομηχανία, έως το εμπόριο (η υψηλότερη κατάσταση). Ένα κελί μπορεί να αναπτυχθεί μόνο από την χαμηλότερη σε μια υψηλότερη κατάσταση (White & Engelen 2000; White et al. 1997). Οι Barredo et al. (2004) εντοπίζουν δύο ειδών λειτουργίες: ενεργών (αστικές χρήσεις) και παθητικών καταστάσεων (Barredo et al. 2004).

Γενικά, στα αστικά ΚΑ η κατάσταση μη αστικό ή αστικό μπορεί να οριστεί με όρους:

1. δυαδικών τιμών (αστικό, μη-αστικό)
2. ποιοτικών τιμών που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές χρήσεις γης, ποσοτικών μεταβλητών , όπως η πληθυσμιακή πυκνότητα (Li et al. 2003) ή ο βαθμός αστικοποίησης (Yeh & Li 2002).

### **1.6.2. Ορισμός της Γειτονιάς**

Σύμφωνα με τους βασικούς κανόνες των κυψελοειδή αυτομάτων, η κατάσταση ενός κελιού καθορίζεται από την κατάσταση στην οποία βρίσκεται το ίδιο και από την κατάσταση στην οποία βρίσκονται τα κελιά της γειτονιάς του σε προηγούμενο βήμα του χρόνου. Η γειτνίαση ορίζεται από τα κελιά που είναι άμεσα παρακείμενα στο υπό εξέταση κελί , όπως είναι ο τύπος γειτνίασης von Neumann Neighbourhood και Moore Neighbourhood.

Πολύ λίγα μοντέλα χρησιμοποιούν την τοπική γειτονιά των αστηρών ΚΑ. Η γειτονιά Moore είναι η πιο συχνή γειτονιά, και ο χώρος της γειτονιάς επεκτείνεται σε ακτίνα 2-9 κελιών, προκειμένου να ληφθούν υπόψη τα αποτελέσματά της απόστασης (Santé et al. 2010).

Κάθε αλλαγή κατάστασης πρέπει να είναι τοπική. Γι αυτό το λόγο μόνο τα κελιά που γειτνιάζουν με το κεντρικό κελί ασκούν επίδραση στην μετατροπή της κατάστασης του κεντρικού κελιού. Στα αστικά συστήματα, αυτή η γειτονιά πρέπει να επεκταθεί προκειμένου να εξεταστεί η επίδραση των γειτονικών κυψελών που βρίσκονται σε μια ορισμένη απόσταση. Όταν η γειτονιά επεκταθεί, εισάγεται στο μοντέλο η επίδραση φθοράς λόγω απόστασης, τέτοια ώστε η επίδραση ενός γειτονικού κελιού να μειώνεται με την αύξηση της απόστασης του από το κεντρικό κελί. Σε χώρους που αποτελούνται από μη τακτικές μονάδες, η γειτονιά μπορεί να ορίζεται ως οι παρακείμενες μονάδες, ως οι μονάδες εντός ορισμένης απόστασης ή χρησιμοποιώντας το χωρικό μοντέλο Voronoi (Shi & Pang 2000).

Για παράδειγμα, οι White και Engelen (1993) όρισαν ένα αρκετά μεγάλο μέγεθος γειτονιάς, περιλαμβάνοντας 113 κελιά που βρίσκονταν σε ένα κύκλο ακτίνας 6 κελιών. Όσο μεγαλύτερη ήταν η απόσταση από το κεντρικό υπό εξέταση κελί, τόσο μικρότερη επίδραση είχαν τα γειτονικά

κελιά στο κεντρικό. Ο Wu (1996) χρησιμοποίησε μια ορθογώνια γειτνίαση  $5 \times 5$  κελιών, με την οποία περιέλαβε 120 κελιά που περιέβαλλαν το κεντρικό κελί, για την προσομοίωση της αλλαγής των χρήσεων γης σε μια γρήγορα αναπτυσσόμενη περιοχή στην Κίνα με την χρήση ενός γλωσσικού μοντέλου ΚΑ.

Στο μοντέλο που αναπτύχθηκε από τους Shi και Pang (2000), τα γειτονικά αντικείμενα ορίζονται ως εκείνα που έχουν κοινά Νομοποιήσιμα σύνορα εντός ορισμένης απόστασης με το υπό εξέταση χωρικό αντικείμενο. Στο κυψελοειδές μοντέλο αυτομάτων iCity που αναπτύχθηκε από τους Stevens και Dragicevic (2007), προτάθηκαν και εφαρμόστηκαν τρεις παράτυπες κυψελοειδείς γειτονιές.

Όπως επισημαίνεται από την Liu (2009) παρόλο που είναι κοινώς αποδεκτό ότι η επιρροή μπορεί να προέλθει από κελιά σε απόσταση, τα προβλήματα του από ποιά απόσταση τα κελιά αυτά είναι σε θέση να επηρεάζουν το κεντρικό κελί και πόσο σημαντική είναι αυτή η επιρροή στην μετάβαση μεταξύ καταστάσεων παραμένει άγνωστο, και απαιτεί περαιτέρω έρευνα.

### ***1.6.3. Κανόνες Μετάβασης***

Το βασικό χαρακτηριστικό ενός μοντέλου κυψελοειδών αυτομάτων είναι οι κανόνες μετάβασης από την μια κατάσταση στην άλλη, που αντιπροσωπεύουν και την λογική της διαδικασίας που μοντελοποιείται, και συνεπώς καθορίζουν και τις χωρικές δυναμικές του συστήματος (White & Engelen 2000). Ο θεμελιώδης ρόλος των κανόνων μετάβασης είναι να λειτουργούν ως οι αλγόριθμοι που οδηγούν στην αλλαγή των κελιών από την μια κατάσταση στην άλλη με την πάροδο του χρόνου.

Οι κανόνες μετάβασης ενός τυπικού ΚΑ εξετάζουν μόνο την τρέχουσα κατάσταση του κελιού και των γειτόνων του. Ωστόσο, μια ποικιλία παραγόντων μπορεί να επηρεάσει τις αστικές διαδικασίες, όπως η καταλληλότητα για τη χρήση της γης, η προσβασιμότητα, οι κοινωνικοοικονομικές συνθήκες, ή ο αστικός σχεδιασμός. Κατά συνέπεια, τα

αστικά ΚΑ δεν είναι κλειστά συστήματα, αφού μπορούν να λαμβάνουν υπόψη εξωγενείς παράγοντες. Οι κανόνες μετάβασης των αστικών ΚΑ μπορούν να σχεδιαστούν με πολλούς τρόπους και να αντικατοπτρίζουν διάφορες αστικές θεωρίες (Santé et al. 2010).

Από την άλλη πλευρά, οι κανόνες μετάβασης σε ένα τυπικό ΚΑ είναι στατικοί. Ωστόσο, οι διαδικασίες που διέπουν την αλλαγή των χρήσεων γης μπορεί να μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου και του χώρου. Ως εκ τούτου, είναι ίσως αναγκαίο να προσαρμοστούν οι κανόνες μετάβασης στα ειδικά χαρακτηριστικά της κάθε περιοχής και περιόδου (Santé et al. 2010). Το πιο εμφανές παράδειγμα κανόνων μετάβασης που μεταβάλλονται με την πάροδο του χρόνου είναι η αυτο-τροποποίηση των κανόνων του μοντέλου SLEUTH (Clarke et al. 1997).

Έχουν αναπτυχθεί διάφορες προσεγγίσεις όσον αφορά στον καθορισμό των κανόνων μετάβασης βασισμένες στην κατανόηση ενός αστικού συστήματος και της εξέλιξής του κάτω από διαφορετικές οπτικές γωνίες, με αποτέλεσμα να έχουν διαμορφωθεί διάφοροι τύποι αστικών μοντέλων ΚΑ. Αυτές οι προσεγγίσεις κυμαίνονται από πολύ απλές ως πολύ περίπλοκες. Παρακάτω γίνεται μια ομαδοποίηση των κανόνων μετάβασης σε διαφορετικούς τύπους με την ταυτόχρονη αναφορά σε μοντέλα που έχουν βρεθεί στην βιβλιογραφία και θεωρείται ότι αντιπροσωπεύουν τον κάθε τύπο κανόνων μετάβασης:

#### ***1.6.3.1. Αυστηροί κανόνες μετάβασης***

Η κατάσταση ενός κελιού είναι συνάρτηση της τρέχουσας κατάστασης του και της κατάστασης των γειτόνων του, η οποία μπορεί να υλοποιηθεί μέσω απλών κανόνων, που βασίζονται αποκλειστικά στον αριθμό των γειτονικών κύτταρων της κάθε χρήσης γης. Για παράδειγμα, στο μοντέλο συνάθροισης με περιορισμένη διάχυση που αναπτύχθηκε από Batty και τους συνεργάτες του, ο κανόνας είναι απλός: ένα κενό κελί θα μετατραπεί σε ένα κατειλημμένο εάν είναι μέσα στη γειτονιά ενός κατειλημμένου κελιού (Batty et al. 1989).



### ***1.6.3.2. Κανόνες μετάβασης που βασίζονται στην δυνατότητα μετάβασης ή πιθανότητα***

Η βασική κινητήρια δύναμη της αστικής εξέλιξης είναι η δυνατότητα μετάβασης, δηλαδή η πιθανότητα που έχει κάθε κελί να αλλάζει σε μια συγκεκριμένη χρήση γης, η οποία είναι συνάρτηση της τρέχουσας χρήσης γης του κελιού και των γειτόνων του, αλλά και άλλων παραγόντων που περιορίζουν την αλλαγή της χρήσης γης. Τα μοντέλα αυτής της κατηγορίας αναφέρονται στην βιβλιογραφία και ως περιοριζόμενα μοντέλα.

#### *1.6.3.2.1. Περιοριζόμενα κυψελοειδή αυτόματα*

Το πιο αντιπροσωπευτικό παράδειγμα μοντέλου αυτής της κατηγορίας είναι σύμφωνα με την βιβλιογραφία, το μοντέλο των White και Engelen, οι οποίοι πρώτοι ανέπτυξαν και εφάρμοσαν ένα μοντέλο περιορισμένων κυψελοειδών αυτομάτων για την προσομοίωση των δυναμικών της αλλαγής των χρήσεων γης (White & Engelen 1993). Σε αντίθεση με τα τυποποιημένα ΚΑ, όπου η ανάπτυξη των κελιών σε κάθε κατάσταση καθορίζεται ενδογενώς από τους κανόνες μετάβασης, το μοντέλο τους έλαβε υπόψη τους περιορισμούς άλλων παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων του εδάφους, τις επιπτώσεις των γειτονικών δραστηριοτήτων που αφορούν στην χρήση του εδάφους, και το συνολικό ύψος της ζήτησης για κάθε κατηγορία γης.

Το μοντέλο τους αποτελείται από δύο μέρη: ένα μοντέλο μακροκλίμακας και ένα μοντέλο μικροκλίμακας. Το μοντέλο μακροκλίμακας λαμβάνει υπόψη του παράγοντες όπως ο πληθυσμός και η κοινωνικο-οικονομική κατάσταση. Αυτό το μοντέλο παράγει περιορισμούς σύμφωνα με το ποσό χρησιμοποιούμενης γης για κάθε χρήση.

Στην μικροκλίμακα, εκτιμήθηκε ένα σύνολο δυνατοτήτων μετάβασης που αντιπροσωπεύουν την εγγενή καταλληλότητα ενός κελιού για αλλαγή από την τρέχουσα κατάσταση σε άλλες χρήσεις γης. Οι δυνατότητες μετάβασης υπολογίστηκαν σε συνάρτηση με διάφορους παράγοντες, όπως της προσβασιμότητας του κελιού στο οδικό δίκτυο, της εγγενούς καταλληλότητας του εδάφους, του καθεστώτος ζωνών, καθώς και του αντίκτυπου της γειτονιάς του κελιού για μια συγκεκριμένη χρήση γης.

Όλα τα κελιά ταξινομούνται ανάλογα με τις περισσότερες δυνατότητες τους για μετάβαση, και η κατάσταση του κάθε κελιού αλλάζει στην κατάσταση για την οποία έχει την υψηλότερη δυνατότητα. Ωστόσο, ο αριθμός των κελιών σε κάθε κατάσταση καθορίζεται ή περιορίζεται από το μοντέλο μακροκλίμακας. Γι αυτό και ονομάζεται περιοριζόμενο μοντέλο ΚΑ. Η μετάβαση των κελιών αρχίζει με το υψηλότερα ταξινομημένο κελί και προχωρά προς τα κάτω.

Το μοντέλο περιοριζόμενων κυψελοειδών αυτομάτων ενσωματώνει τα κυψελοειδή αυτόματα με άλλα κοινωνικοοικονομικά και περιβαλλοντικά μοντέλα, και μπορεί να λειτουργεί σε μικρο-και σε μακρο γεωγραφικές κλίμακες. Το μοντέλο περιοριζόμενων κυψελοειδών αυτομάτων έχει εξελιχθεί και έχει εφαρμοστεί για την προσομοίωση της αλλαγής χρήσεων γης σε πολλές πόλεις από την πρώτη σύλληψη του το 1993 (White & Engelen 1997; White et al. 1997; White & Engelen 2000).

#### *1.6.3.2.2. Στοχαστικό Μοντέλο Κυψελοειδών Αυτομάτων*

Τα μοντέλα που αναπτύχθηκαν από τους Wu (1998, 2002), Wu και Martin (2002) καθόρισαν την πιθανότητα της «αστικοποίησης» ενός κελιού ως συνάρτηση μιας σειράς παραγόντων (Wu 1998; Wu & Martin 2002; Wu 2002). Ο Wu (2002), όρισε την αρχική πιθανότητα μετάβασης από τα παρατηρηθέντα διαδοχικά δεδομένα χρήσεων γης. Η αρχική πιθανότητα ενημερώθηκε δυναμικά μέσω τοπικών κανόνων που βασίστηκαν στη δύναμη ανάπτυξης της γειτονιάς. Τέτοιες σύνθετες λειτουργίες συνήθως βασίζονται σε στατιστικές ή αστικές θεωρίες. Με την εφαρμογή του μοντέλου για την προσομοίωση της διαδικασίας μετατροπής της χρήσης γης από αγροτική σε αστική στην πόλη Guangzhou της Κίνας, το μοντέλο παράγαγε ρεαλιστικά αποτελέσματα προσομοίωσης.

Τα μοντέλα αυτά κάνουν χρήση της στοχαστικής προσέγγισης και στην βιβλιογραφία τα μοντέλα αυτής της προσέγγισης αναφέρονται και ως στοχαστικά μοντέλα ΚΑ. Η πιθανότητα μετάβασης συνήθως υπολογίζεται ως το άθροισμα ή αποτέλεσμα μιας σειράς παραγόντων, μεταξύ των οποίων κυρίαρχη είναι η επίδραση της γειτονιάς. Επιπλέον, συνήθως χρησιμοποιείται μια στοχαστική παράμετρος για να μοντελοποιηθεί η αβεβαιότητα που

συνδέεται με τις αστικές διαδικασίες. Τα μοντέλα αυτά μπορούν να περιλαμβάνουν μια σειρά από περιορισμούς που λαμβάνουν την τιμή 0 αν το κελί δεν μπορεί να αλλάξει σε αστικό και 1 στην αντίθετη περίπτωση.

Όταν η δυνατότητα μετάβασης υπολογίζεται ως ένα σταθμισμένο άθροισμα, διαφορετικές τεχνικές μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των βαρών, όπως λογιστική παλινδρόμηση ή η πολυκριτηριακή αξιολόγηση (Santé et al. 2010).

Ομοίως, οι Almeida και λοιποί (2003) σχεδίασαν ένα πλαίσιο χρησιμοποιώντας πιθανολογικές μεθόδους που βασίζονται στη θεωρία του Bayes και τη σχετική προσέγγιση «βαρών των στοιχείων» (“weights of evidence”) για την προσομοίωση της αστικής αλλαγής (Almeida et al. 2003). Η πιθανότητα μετάβασης βασίζεται στα βάρη των στοιχείων ως προς διάφορους παράγοντες. Το μοντέλο εφαρμόστηκε σε μια μεσαίου μεγέθους πόλη στη Βραζιλία για να συνδυάσει διάφορους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες και παράγοντες υποδομών και να προβλέψει την πιθανότητα των αλλαγών μεταξύ των τύπων χρήσεων γης.

Επίσης, οι Li και Yeh (2002), χρησιμοποιούν Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών (PCA) για τον καθορισμό των συντελεστών του κανόνα μετάβασης (Li & Yeh 2002). Οι He και λοιποί (2008), χρησιμοποιούν ένα δυναμικό μοντέλο για να υπολογίσουν τη δυνατότητα αστικής επέκτασης, λαμβάνοντας υπόψη την επίδραση της χωρικής κατανομής του κεφαλαίου και του πληθυσμού (C He et al. 2006).

#### ***1.6.3.3. Κανόνες μετάβασης που βασίζονται στο σχήμα των αστικών χρήσεων***

Πρόκειται για κανόνες που λαμβάνουν υπόψη τους το σχήμα και την μορφή των αστικών χρήσεων προκειμένου να αναγνωρίσουν το χωρικό πρότυπο που δημιουργεί η αστική επέκταση σε μια περιοχή. Ένα παράδειγμα τέτοιου μοντέλου, είναι το SLEUTH, το οποίο λαμβάνει υπόψη του τέσσερις τύπους ανάπτυξης: αυτόματη/αυθόρμητη, ανάπτυξη που πραγματοποιείται λόγω της διάδοσης ενός νέου κέντρου/πυρήνα, οργανική ή ανάπτυξη των άκρων και ανάπτυξη που επηρεάζεται από το οδικό δίκτυο (spontaneous, diffusive, organic and road-influenced).

Το DINAMICA (Soares-filho et al. 2002), είναι ένα μοντέλο ΚΑ που αρχικά δημιουργήθηκε για την προσομοίωση της διαδικασίας αποψίλωσης των δασών και αργότερα εφαρμόστηκε σε αστικές διαδικασίες από τους (Almeida et al. 2003; Almeida et al. 2008). Επίσης θα μπορούσε να ανήκει σε αυτή την κατηγορία μοντέλων. Στο μοντέλο αυτό, μεταξύ των κελιών με τις μεγαλύτερες πιθανότητες, επιλέγονται μερικά κελιά με βάση δυο συναρτήσεις, οι οποίες στοχεύουν να προσομοιώσουν χωρικά την αστική ανάπτυξη. Την συνάρτηση επέκτασης, η οποία εξαπλώνει τις υπάρχουσες χωρικές συγκεντρώσεις και μια δεύτερη συνάρτηση που δημιουργεί νέα χωρικά σύνολα.

#### *1.6.3.3.1. Το μοντέλο SLEUTH*

Το μοντέλο αυτό αναπτύχθηκε για να προσομοιώσει την αστική ανάπτυξη στην περιοχή San Francisco Bay από τον Keith Clarke και τους συνεργάτες του (Clarke et al. 1997; Clarke & Gaydos 1998). Οι τέσσερις μορφές ανάπτυξης που ορίζει το μοντέλο περιγράφονται όπως : Η αυθόρμητη ανάπτυξη η οποία ελέγχει την πιθανότητα εμφάνισης μιας νέας αστικής εγκατάστασης στο χώρο χωρίς άμεση σχέση με τις προϋπάρχουσες υποδομές, η ανάπτυξη ενός νέου κέντρου/πυρήνα ελέγχει την πιθανότητα μια νέα αστική εγκατάσταση που έχει προέλθει έπειτα από αυθόρμητη ανάπτυξη να γίνει ένας νέος πυρήνας για συνεχή ανάπτυξη. Η ανάπτυξη των άκρων μοντελοποιεί την ανάπτυξη στα περίχωρα, γύρο από τα όρια μιας πόλης καθώς και της αστικής πληρώσεως μιας υπάρχουσας αστικής χρήσης, αναπαριστώντας την τάση των πόλεων να εξαπλώνονται. Τέλος, η επηρεαζόμενη από το οδικό δίκτυο αστική ανάπτυξη, ενθαρρύνει τα αστικοποιημένα κελιά να αναπτυχθούν κατά μήκος του οδικού δικτύου, και προσομοιώνει την τάση μιας νέας επέκτασης που ακολουθεί το οδικό δίκτυο.

Όλοι οι παραπάνω κανόνες ανάπτυξης ελέγχονται από πέντε συντελεστές ανάπτυξης που εφαρμόζονται διαδοχικά σε κάθε κύκλο ανάπτυξης: διάδοση, γένεση, εξάπλωση, βαρύτητα του οδικού δικτύου και αντίσταση στις τοπογραφικές κλίσεις.

Οι πρώτοι τέσσερις συντελεστές περιγράφουν την πίεση που υφίσταται το αστικό σύστημα από την αλλαγή των χρήσεων σε αστικές. Ενώ,

οι τοπογραφικές κλίσεις ασκούν περιορισμό στην αστική επέκταση. Επιπλέον περιορισμός στην αστική εξάπλωση ασκείται από την χρήση δεδομένων που εξαιρούν περιοχές. Και οι πέντε συντελεστές ανάπτυξης βαθμονομούνται για να ρυθμίσουν τον ρυθμό ανάπτυξης έτσι ώστε να μην ξεπεράσει κάποια όρια (υπερβολικά υψηλός ή χαμηλός). Η συνολική τάση αστικοποίησης είναι το άθροισμα των τεσσάρων μορφών ανάπτυξης.

Το μοντέλο εφαρμόζεται σε δυο φάσεις : στην βαθμονόμηση όπου το μοντέλο εκπαιδεύεται στο να αναπαράγει τις ιστορικές τάσεις και τα πρότυπα ανάπτυξης και στην φάση πρόβλεψης μέσω της προσομοίωσης των ιστορικών τάσεων στο μέλλον. Το μοντέλο μπορεί να προσομοιώσει την αλλαγή των χρήσεων γης από μη αστικές σε αστικές αλλά μπορεί επίσης να μοντελοποιήσει και τις άλλες αλλαγές χρήσεων γης.

Από την πρώτη του εφαρμογή το 1997, το μοντέλο αυτό έχει εφαρμοστεί σε μια σειρά από περιοχές των Ηνωμένων πολιτειών αλλά και ολόκληρου του κόσμου.

#### ***1.6.3.4. Μοντέλα κυψελοειδή Αυτομάτων που βασίζονται σε Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα Artificial Neural Network (ANN)***

Πρόκειται για μοντέλα στα οποία η ρύθμιση των κανόνων μετάβασης γίνεται με μεθόδους που βασίζονται στην τεχνητή νοημοσύνη (artificial intelligence methods). Σε γενικές γραμμές πρόκειται για αλγόριθμους εκμάθησης που στοχεύουν να αναγνωρίσουν πολύπλοκα συστήματα με βάση άλλα δεδομένα.

Από τους Li και Yeh (2002, 2001) αναπτύχθηκε και εξετάστηκε μία προσέγγιση που βασίζεται σε ANN (Artificial Neural Network) για την παραγωγή και βαθμονόμηση των τιμών των παραμέτρων.

Τα Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα είναι ένα μαθηματικό μοντέλο που βασίζεται σε βιολογικά νευρωνικά δίκτυα. Αποτελείται από μια ομάδα διασυνδεδεμένων τεχνητών νευρώνων, και επεξεργάζεται τις πληροφορίες χρησιμοποιώντας μια προσέγγιση υπολογισμού διασυνδέτη (connectionist). Το νευρωνικό δίκτυο περιλαμβάνει τρεις τύπους επιθεμάτων: δεδομένων

εισόδου, δεδομένων εξόδου, και μερικά κρυμμένα επιθέματα μεταξύ των επιθεμάτων εισαγωγής και παραγωγής.

Παρόμοια με τον ανθρώπινο εγκέφαλο, το μοντέλο ANN μπορεί να εκπαιδευτεί από δείγμα δεδομένων για να μαθαίνει, να σκέφτεται, και να αντιδρά σε ερεθίσματα. Κατά τη διάρκεια αυτής της διαδικασίας κατάρτισης, οι αρχικές τιμές των παραμέτρων του μοντέλου τροποποιούνται επανειλημμένα, έως ότου το μοντέλο να μπορεί να παραγάγει αποδεκτά αποτελέσματα που ταιριάζουν με τις στοχευόμενες τιμές εξόδου. Χρησιμοποιώντας Τεχνητά Νευρωνικά Δίκτυα, οι Li και Yeh (2002, 2001) τυποποίησαν ένα μοντέλο που ενσωματώνεται στις συναρτήσεις μετάβασης των κυψελοειδών αυτομάτων. Σχεδιάστηκε ένα νευρωνικό δίκτυο τριών επιθεμάτων με πολλαπλούς νευρώνες εξόδου για να υπολογίσει τις πιθανότητες αλλαγής σε πολλαπλές χρήσεις γης.

Μέσω ενός συνόλου διαδικασιών εκπαίδευσης, το νευρωνικό δίκτυο ήταν σε θέση να παραγάγει μια σειρά από τιμές παραμέτρων αυτόματα, οι οποίες εισήχθησαν στο μοντέλο κυψελοειδών αυτομάτων για την προσομοίωση της προόδου της πολλαπλής αλλαγής χρήσεων γης. Η μελέτη τους δείχνει ότι το μοντέλο με βάση το νευρωνικό δίκτυο ήταν σε θέση να παράγει αποτελέσματα με μεγαλύτερη ακρίβεια από ό, τι το μοντέλο χωρίς την χρήση νευρωνικού δικτύου (Li & Yeh 2002; Li & Yeh 2001).

Ωστόσο, ένα θεμελιώδες ζήτημα στη χρήση της προσέγγισης νευρικών δικτύων είναι ότι είναι ουσιαστικά ένα μοντέλο τύπου μαύρο κουτί. Αυτό που συμβαίνει μέσα στο μαύρο κουτί είναι άγνωστο για τους μοντελιστές και τους χρήστες. Επομένως, το μοντέλο δεν παρέχει ρητή γνώση στην κατανόηση της διαδικασίας της αλλαγής χρήσεων γης (Li & Yeh 2002).

#### ***1.6.3.5. Ασαφώς περιοριζόμενα μοντέλα Κυψελοειδών Αυτομάτων***

Στα μοντέλα αυτής της κατηγορίας, οι κανόνες μετάβασης βασίζονται στην ασαφή λογική, περιλαμβάνοντας με αυτό τον τρόπο την αβεβαιότητα που χαρακτηρίζει την ανθρώπινη συμπεριφορά τόσο στην προσομοίωση όσο

και στον ορισμό των κανόνων μετάβασης μέσω μιας φυσικής γλώσσας (Santé et al. 2010).

Η θεωρία των ασαφών συνόλων αναπτύχθηκε για να διαχειριστεί προβλήματα που δεν έχουν απόλυτα όρια και καταστάσεις. Η ασαφής λογική, χρησιμοποιείται για να περιγράψει τις ασαφείς σχέσεις σε ένα ασαφές σύστημα. Οι εφαρμογές με βάση αυτή την θεωρία, βρίσκουν εφαρμογή σε πολλά πεδία της γεωγραφίας.

Δεδομένου ότι η αστική ανάπτυξη είναι το αποτέλεσμα τόσο των φυσικών περιορισμών όσο και της ανθρώπινης συμπεριφοράς, που και τα δύο χαρακτηρίζονται από αβεβαιότητα και ασάφεια, οι εφαρμογές της θεωρίας ασαφούς συνόλων και ασαφούς λογικής φαίνονται ελκυστικές για τον καθορισμό των κανόνων που ελέγχουν την αστική ανάπτυξη. Μια σειρά μελετών σχετικά με την εφαρμογή ασαφών συνόλων και ασαφούς λογικής σε αστικά μοντέλα μπορεί να εντοπιστεί στη βιβλιογραφία (Al-Ahmadi et al. 2009; Al-kheder et al. 2008; Mandelas et al. 2007; Dragicevic 2004; Liu & Phinn 2003; Wu 1998), μετά από την πρωτοποριακή προσπάθεια του Wu.

Ο Wu (1996) ανέπτυξε μια προσέγγιση προσομοίωσης με την χρήση ενός γλωσσολογικού κυψελοειδή αυτομάτου για να προσομοιώσει τη διαδικασία της αλλαγής γης σε μια ταχέως αναπτυσσόμενη αστική περιοχή στην Κίνα. Εφάρμοσε γλωσσολογική μοντελοποίηση, με την ιδέα να συνδέσει τις σκέψεις που οδηγούν τους ανθρώπους στις λήψεις αποφάσεων στην διαδικασία της προσομοίωσης. Για παράδειγμα, η αλλαγή ενός τμήματος αγροτικής γης σε αστική χρήση είναι πιο πιθανή έπειτα από την εφαρμογή μιας προ-συνθήκης σε σχέση με την ποιότητα της δυνατότητας πρόσβασης. Ο κανόνας αυτός μπορεί να τροποποιηθεί εύκολα με γλωσσική αντιστάθμιση, όπως πολύ καλή ή όχι τόσο καλή.

Η εφαρμογή του μοντέλου στην πόλη Guangzhou της Κίνας, δείχνει ότι το μοντέλο μπορεί να παρέχει κατατοπιστικά σενάρια για τη λήψη αποφάσεων. Ωστόσο, καθώς το μοντέλο έχει ρυθμιστεί σε τοπική κλίμακα, δηλαδή, στην κλίμακα των κελιών και της γειτονιάς τους, δεν λαμβάνει υπόψη τον αντίκτυπο των παραγόντων μακροκλίμακας, όπως οι χρήσεις γης και η διαθεσιμότητα του εδάφους για αστική ανάπτυξη.

#### **1.6.3.6. Κανόνες μετάβασης που προέρχονται από άλλα μοντέλα**

Πολλοί συγγραφείς έχουν προτείνει την ενσωμάτωση των ΚΑ με άλλες τεχνικές προσομοίωσης ώστε να βελτιωθεί η εφαρμογή τους σε διαδικασίες του πραγματικού κόσμου. Τέτοιες τεχνικές συνήθως χρησιμοποιούνται για τον υπολογισμό περιορισμών ανάπτυξης, για τον καθορισμό των κανόνων μετάβασης ή για τη βαθμονόμηση του μοντέλου (Santé et al. 2010).

Τα μαθηματικά μοντέλα που χρησιμοποιούνται περιλαμβάνουν τη Μέθοδο της Αναλυτικής Ιεράρχησης – AHP (analytical hierarchy process) (Wu 1998), την ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης (Sui & Zeng 2001), ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) (Li & Yeh 2002) και άλλες.

Για παράδειγμα, στις εργασίες των Wu και Wu και Webster (1998), αναπτύχθηκε ένα μοντέλο που ονομάζεται SimLand, το οποίο ενσωματώνει ΓΣΠ, κυψελοειδή αυτόματα, όπως και AHP ως τρία αλληλένδετα συστατικά. Η μέθοδος AHP χρησιμοποιήθηκε για να εξαγάγει τους κανόνες μετάβασης που αφορούν στην συμπεριφορά. Χρησιμοποιεί συγκρίσεις ανά ζεύγη για να «συλλάβει» την προτίμηση αυτών που λαμβάνουν αποφάσεις.

Μια μέθοδος πολλαπλής παλινδρόμησης αναπτύχθηκε από τους Sui και Zeng (2002), για να υπολογίσει τα βάρη που θα χρησιμοποιούνται στο μοντέλο ΚΑ. Οι παράμετροι που χρησιμοποιήθηκαν στη μέθοδο πολλαπλής παλινδρόμησης υπολογίστηκαν σε τρία διαδοχικά βήματα. Το πρώτο βήμα ήταν με υπέρθεση όλων των χρονικών δεδομένων 1992 - 1996, έτσι ώστε να εντοπιστούν και να εξαχθούν τα κελιά που έχουν αλλάξει κατάσταση κατά τη διάρκεια του συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος.

Το δεύτερο βήμα ήταν να χρησιμοποιηθεί ένα κινούμενο παράθυρο 10 × 10 κελιών ώστε να επιλεχθούν τα κελιά που μετατράπηκαν σε αστική γη. Το ποσοστό των κελιών σε κάθε κινούμενο παράθυρο λήφθηκε ως οι πιθανότητες μετάβασης για τα κελιά σε αυτό το παράθυρο. Το τελευταίο βήμα ήταν να μετρηθεί μια μέση τιμή παραγόντων, όπως το υψόμετρο για τα κελιά εντός του παράθυρου. Το μοντέλο αυτό εφαρμόστηκε για την



προσομοίωση των δυναμικών της δομής του τοπίου σε μια ταχέως αναπτυσσόμενη αστική περιοχή στη νοτιοανατολική Κίνα (Sui & Zeng 2001).

## 1.7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Έπειτα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας σχετικά με μοντέλα που έχουν αναπτυχθεί για την μοντελοποίηση αστικών περιοχών μπορούν να επισημανθούν τα εξής:

1. Οι πιο σημαντικές διαφορές μεταξύ των αστικών μοντέλων που χρησιμοποιούν ΚΑ βασίζονται σε διαφορές στους κανόνες μετάβασης, καθώς αυτοί συνήθως ορίζουν την λογική διαχείρισης του φαινόμενο που θέλουν να αναλύσουν. Δεν υπάρχει μια τυποποιημένη μέθοδος για τον καθορισμό των κανόνων μετάβασης, και αυτό επιτρέπει τους μοντελιστές να σχεδιάσουν το πιο κατάλληλο μοντέλο για κάθε περίπτωση.

Έτσι, οι κανόνες μετάβασης παραγοντοποιούνται ανάλογα με τον σκοπό για τον οποίο το κάθε μοντέλο έχει δημιουργηθεί. Όμως, η τροποποίηση των κλασικών παραμέτρων των ΚΑ μπορεί να οδηγήσει στην απώλεια των βασικών χαρακτηριστικών της απλότητας και της τοπικότητας τους. Μπορεί να οδηγήσει ακόμα και σε μοντέλα στα οποία η τεχνολογία ΚΑ δεν είναι πλέον ο πυρήνας του μοντέλου. Τα περισσότερα μοντέλα δείχνουν κάποια «χαλαρότητα» στην χρήση των κανόνων των τυπικών ΚΑ. Ωστόσο, ορισμένα μοντέλα παρουσιάζουν πιο σημαντικές τροποποιήσεις.

Για παράδειγμα, στο νευρωνικό δίκτυο που πρότειναν οι Li και Yeh (2001), το συστατικό ΚΑ είναι παρόν αποκλειστικά στις μεταβλητές εισόδου του δικτύου που σχετίζονται με την απόσταση από ένα κελί κάθε χρήσης γης. Στο μοντέλο αυτό, ακόμη και η εφαρμογή της μόνης έννοιας που είναι απαραίτητη για τον ορισμό ενός μοντέλου ως ΚΑ, δηλαδή, η έννοια της γειννίας, είναι αρκετά ασαφής. Οι Almeida et al. (2003) όρισαν το μοντέλο τους ως μοντέλο κυψέλο-χωρου παρά ένα μοντέλο ΚΑ, επειδή τα στοιχεία ΚΑ ήταν αρκετά κρυμμένα.

2. Τα περισσότερα μοντέλα έχουν αναπτυχθεί για μια συγκεκριμένη περιοχή, και γι αυτό τον λόγο είναι προσανατολισμένα στο να εξηγήσουν την συμπεριφορά της συγκεκριμένης περιοχής όσον αφορά στις αλλαγές των χρήσεων γης σε αστικές, λόγω συγκεκριμένων τοπικών παραγόντων

Παραδείγματα της προσαρμοστικότητας των αστικών μοντέλων ΚΑ στα τοπικά χαρακτηριστικά πολύ διαφορετικών περιοχών μπορούν να βρεθούν μόνο από τα πιο διαδεδομένα μοντέλα, μεταξύ των οποίων είναι το SLEUTH το οποίο έχει εφαρμοστεί για διάφορες περιοχές του πλανήτη, και η οικογένεια των μοντέλων, που σχεδιάστηκαν από τους White και Engelen.

3. Τα περισσότερα μοντέλα αναπτύχθηκαν για να μοντελοποιήσουν πόλεις οι οποίες παρουσιάζουν έντονη ή ραγδαία αστική επέκταση. Κατά συνέπεια δεν μπορούν να εφαρμοστούν για την ερμηνεία των προτύπων αστικοποίησης σε λιγότερο αναπτυσσόμενες περιοχές.

4. Η διαδικασία της αστικοποίησης είναι αποτέλεσμα μιας σειράς παραγόντων. Παρόλα αυτά, οι περισσότερες εργασίες αντιμετωπίζουν την αστική εξάπλωση σαν μια δυαδική διαδικασία αστικό, μη αστικό. Στην πραγματικότητα πρόκειται για μια ασαφή διαδικασία και χωρικά και χρονικά. Χωρικά δεν υπάρχουν σαφή όρια μεταξύ μιας αστικής και μη αστικής περιοχής. Χρονικά, η αστικοποίηση είναι μια συνεχής διαδικασία.

5. Τα περισσότερα μοντέλα δεν έχουν ρυθμιστεί χρονικά. Τα μοντέλα αυτά εφαρμόζονται ρυθμίζοντας μια ημερομηνία έναρξης και στη συνέχεια πραγματοποιείται η εκτέλεση του μοντέλου για έναν αριθμό επαναλήψεων μέχρι τα αποτελέσματα της προσομοίωσης να "ταιριάζουν" με το σύνολο των δεδομένων βαθμονόμησης. Κατά συνέπεια, μοντελοποιούν μόνο τη χωρική διαδικασία της αστικής ανάπτυξης. Εάν μια περιοχή άλλαξε κατάσταση από μη αστική σε αστική μέσα σε μια συγκεκριμένη χρονική περίοδο, η αστικοποίηση αυτή ήταν στην ουσία μια συνεχής διαδικασία κατά την περίοδο αυτή. Για τον λόγο αυτό είναι δύσκολο και ταυτόχρονα μη ακριβές να οριστεί η ακριβής χρονική στιγμή στην οποία πραγματοποιήθηκε η αλλαγή της κατάστασης.

6. Τα περισσότερα μοντέλα δεν περιλαμβάνουν την αξιολόγηση των αποτελεσμάτων της μοντελοποίησης. Δεν επαληθεύουν αν η περιοχή που μοντελοποιείται αναπαριστάνει όσο το δυνατό ρεαλιστικότερα την πραγματικότητα, ή σε ποιο ποσοστό το επιτυγχάνει. Επίσης, δεν ελέγχεται η

7. Οι περισσότερες εργασίες επικεντρώνονται περισσότερο στην διαδικασία σχεδίασης ενός αστικού μοντέλου και στην δομή του. Το θεωρητικό υπόβαθρο είναι ένα κομμάτι που είναι αδύναμο στις περισσότερες προσπάθειες μοντελοποίησης αστικών περιοχών.

## **1.8. Διαδικασία ταξινόμησης τηλεπισκοπικών δεδομένων για την αποτύπωση του αστικού περιβάλλοντος**

Τα βασικά βήματα μιας ταξινόμησης περιλαμβάνουν την επιλογή των κατάλληλων για το συγκεκριμένο στόχο της ταξινόμησης τηλεπισκοπικών δεδομένων, την προεπεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων, την εξαγωγή ή μείωση χαρακτηριστικών των δορυφορικών δεδομένων, την επιλογή των κατάλληλων προσεγγίσεων για την συγκεκριμένη ταξινόμηση, την εφαρμογή μεθόδων μετά την ταξινόμηση και τέλος την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης. Ο προορισμός του παραγόμενου αποτελέσματος της ταξινόμησης μέσα στο γενικότερο πλαίσιο της έρευνας, με άλλα λόγια ο σκοπός της συγκεκριμένης έρευνας ταυτόχρονα με την γεωγραφική κλίμακα μέσα στην οποία εντάσσεται το φαινόμενο που επιθυμείται να αναλυθεί, αποτελούν τους καθοριστικούς παράγοντες των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης.

### ***1.8.1. Επιλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων για την αποτύπωση του αστικού περιβάλλοντος***

Η επιλογή των κατάλληλων δορυφορικών δεδομένων σε μια ανάλυση βασίζεται κατά κύριο λόγο στις ανάγκες της έρευνας, στην φύση του προβλήματος που πρόκειται να αναλυθεί, στην κλίμακα και στα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά της περιοχής μελέτης, στην διαθεσιμότητα τηλεπισκοπικών δεδομένων, καθώς και στην εμπειρία του χρήστη στην χρήση της επιλεγμένης δορυφορικής εικόνας. Η κλίμακα, η χωρική ανάλυση της εικόνας, και οι ανάγκες του χρήστη είναι οι πιο σημαντικοί παράγοντες που επηρεάζουν την επιλογή των τηλεσκοπικών δεδομένων (Lu & Weng 2007).

Η χωρική ανάλυση ενός εικονοστοιχείου ή με άλλα λόγια η αντιστοιχία του μεγέθους ενός εικονοστοιχείου με το πραγματικό μέγεθος του στην γήινη επιφάνεια, είναι το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό στοιχείο μιας δορυφορικής εικόνας, όσον αφορά στην αποτύπωση των αστικών χρήσεων.

Από τη μία μεριά, όσο μεγαλύτερη είναι η χωρική ανάλυση, τόσο καλύτερη μπορεί να είναι και η ερμηνευτική δυνατότητα του ερευνητή. Από την άλλη πλευρά, μια πολύ υψηλή ανάλυση οδηγεί σε μια μεγάλη ποικιλία αντικειμένων που θα μπορούσε να καταλήξει σε προβλήματα όταν εφαρμόζεται ένας αυτοματοποιημένος αλγόριθμος ταξινόμησης (Moeller 2000).

Στις περισσότερες αστικές μελέτες αλλαγής χρήσεων γης, χρησιμοποιούνται δεδομένα του δορυφόρου Landsat, λόγω της μοναδικότητας τους ως ένα σύνολο δεδομένων μακράς περιόδου με μια μεσαία χωρική ανάλυση και σχετικά συνεπή φασματική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (Weber et al. 2005; Yang et al. 2003). Στην πραγματικότητα η σειρά Landsat είναι η μόνη σειρά τηλεπισκοπικών αισθητήρων που σαρώνουν εικόνες κλίμακας που είναι χρήσιμη για την αστική παρακολούθηση (Moeller 2000).

Καθώς οι δορυφόροι Landsat έχουν ξεκινήσει τις επίγειες σαρώσεις από το 1972 με την πρώτο πολυφασματικό σαρωτή (MSS), δεδομένα του δορυφόρου LandsatMSS έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα στη ανάλυση των αστικών χρήσεων (Royer et al. 1988; Pathan et al. 1993). Από το 1982, ο Θεματικός χαρτογράφος Landsat TM με βελτιωμένα ραδιομετρικά και φασματικά χαρακτηριστικά επιτρέπει την χαρτογράφηση της κάλυψης / χρήσης γης με μεγαλύτερη λεπτομέρεια.

Έτσι, η γενιά των δορυφόρων Landsat έχει την δυνατότητα να μας προμηθεύει με ιστορικά δεδομένα, καθώς διαθέτει καταγεγραμμένες εικόνες της γης εδώ και 40 χρόνια. Τα δεδομένα αυτά έχουν ιδιαίτερη αξία καθώς προσφέρονται σε ένα μεγάλο χρονικό εύρος, κάτι το οποίο είναι ιδιαίτερα χρήσιμο για την ανίχνευση των ιστορικών αλλαγών των χρήσεων γης.

#### ***1.8.1.1. Ενσωμάτωση στοιχείων από διαφορετικούς αισθητήρες***

Ωστόσο, άλλοι ερευνητές υποστηρίζουν ότι η χωρική ανάλυση που προσφέρεται από τις δορυφορικές εικόνες Landsat, περιορίζει τις δυνατότητες ανίχνευσης των αλλαγών του αστικού περιβάλλοντος. Κυρίως βασίζονται

στην ιδιομορφία που παρουσιάζει το αστικό περιβάλλον, λόγω των μικτών χρήσεων που παρουσιάζει. Είναι δύσκολο να λάβεις λεπτομερείς πληροφορίες των χρήσεων γης και των αλλαγών τους μέσα σε μια αστική περιοχή χρησιμοποιώντας μόνο τα δεδομένα Landsat (Deng et al. 2009). Ένας συνδυασμός δεδομένων από πολλαπλούς αισθητήρες είναι συνήθως ευεργετικός για την έρευνα (Lefsky & Cohen 2003).

Έτσι, αναζητούνται δεδομένα υψηλότερης χωρικής ανάλυσης, καθώς και αποτελεσματικότεροι μέθοδοι επεξεργασίας τους. Η εφαρμογή δεδομένων πολλαπλών αισθητήρων, μέσω της ενσωμάτωσης διαφορετικών χαρακτηριστικών μεμονωμένων αισθητήρων, μπορεί να παρέχει αυξημένες δυνατότητες ερμηνείας και πιο αξιόπιστα αποτελέσματα καθώς και ανίχνευση των αλλαγών των χρήσεων γης με μεγαλύτερη ακρίβεια (Haack & Bechdol 1999).

#### ***1.8.1.2. Χρήση εικόνων πολλαπλών χρονοσειρών***

Η χρονική ή διαχρονική διακριτική ικανότητα είναι ένας άλλος σημαντικός παράγοντας ειδικά όταν μελετάμε αστικές περιοχές. Καθώς εξαρτάται από τη συχνότητα επανάληψης μιας λήψης πάνω από την ίδια περιοχή της γης, μια ιδανική λύση θα ήταν ένα σύστημα αισθητήρων μόνιμης καταγραφής ολόκληρης της γης και παροχή αυτών των δεδομένων σε πραγματικό χρόνο (Moeller 2000). Η χρήση δορυφορικών εικόνων διαφορετικών εποχών έχει αποδειχτεί χρήσιμη από πολλούς ερευνητές (Oetter et al. 2001; Yuan et al. 2005; Guerschman et al. 2003).

Για παράδειγμα, για την αποτύπωση του αστικού περιβάλλοντος μιας περιοχής θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν εικόνες της άνοιξης έτσι ώστε να μπορέσουμε να έχουμε καλύτερη αντιπροσώπευση της φυσικής βλάστησης (καθώς αυτή την εποχή θα έχει αναπτυχθεί πλήρως), και ταυτόχρονα θα διαχωρίζεται από τις καλλιεργήσιμες εκτάσεις, καθώς αυτές θα αποκρίνονται ως γυμνό έδαφος (τότε φυτεύονται οι ετήσιες καλλιέργειες). Ωστόσο, οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις ούσες στην κατηγορία γυμνού εδάφους θα εμπλέκονται με την κατηγορία αστικών χρήσεων (περιοχές με μεγάλα

ποσά ασφάλτου και αδιαπερατών επιφανειών που παρουσιάζουν παρόμοια φασματική τιμή με το γυμνό έδαφος). Εάν διάλεγε κανείς εικόνες του καλοκαιριού για να αποφύγει την παραπάνω σύγχυση, τα δάση και ορισμένες καλλιέργειες θα ήταν φασματικά παρόμοια.

Την συνδυασμένη χρήση εικόνων στα τέλη του καλοκαιριού με εκείνες της άνοιξης, χρησιμοποίησαν οι Yuan et al. (2005), προτείνοντας μια μεθοδολογία για την χαρτογράφηση και τον έλεγχο των αλλαγών χρήσης γης με την χρήση δεδομένων του δορυφόρου Landsat Mapper (TM) για την μητροπολιτική περιοχή Twin Cities της Μινεσότας. Όπως οι συγγραφείς επισημαίνουν, σε σύγκριση με τις εικόνες μεμονωμένων ημερομηνιών, τόσο ο μέσος όρος όσο και η ελάχιστη διαχωριστικότητα των κατηγοριών αυξήθηκαν από το συνδυασμό εικόνων άνοιξης και καλοκαιριού (Yuan et al. 2005)

### ***1.8.2. Ορισμός αστικού περιβάλλοντος και επιλογή εκπαιδευτικών πεδίων***

Η επιλογή των εκπαιδευτικών πεδίων θα πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας υπόψη την χωρική ανάλυση των τηλεπισκοπικών δεδομένων που χρησιμοποιούνται, την διαθεσιμότητα σε δεδομένα αναφοράς και την πολυπλοκότητα των τοπίων στην περιοχή μελέτης (Lu & Weng 2007).

Όταν το τοπίο της περιοχής μελέτης είναι πολύπλοκο και ανομοιογενές, το να επιλέξει κανείς επαρκή δείγματα γίνεται εξαιρετικά δύσκολο. Το πρόβλημα αυτό περιπλέκεται ακόμη περισσότερο, όταν χρησιμοποιούνται δεδομένα χαμηλής ή μεσαίας χωρικής ανάλυσης, γιατί είναι πολύ πιθανό να εμφανιστεί ένας μεγάλος αριθμός μεικτών εικονοστοιχείων.

Σε γενικές γραμμές, η θεματική τάξη αποτελεί ένα ομοιογενές χωρικά σύνολο από εικονοστοιχεία των οποίων οι φασματικές αποκρίσεις διαφέρουν ελάχιστα. Δεν είναι απαραίτητο ότι διαφέρει πάντα μόνο η φασματική τους υπογραφή, αλλά μπορεί να διαφέρουν και λόγο εξωγενών παραγόντων (σκίαση από τον ήλιο, επίδραση τοπογραφίας).



Εντός της θεματικής τάξης ή στα όριά της μπορεί να περιλαμβάνονται εικονοστοιχεία που ανήκουν σε άλλη θεματική τάξη. Αιτία μίξης όσον αφορά το αστικό περιβάλλον είναι οι παραπλήσιες ή ίδιες φασματικές υπογραφές των αστικών χρήσεων. Επιπλέον πολλές φορές συνυπάρχουν θεματικές τάξεις εντός ενός εικονοστοιχείου λόγω της χωρικής διακριτικής ικανότητας του δορυφόρου, καθώς στην ουσία καταγράφεται μια μέση τιμή φασματικής απόκρισης που δεν επιτρέπει τον φασματικό διαχωρισμό.

Η λήψη εκπαιδευτικών πεδίων που να αντιπροσωπεύουν τις αστικές θεματικές τάξεις απαιτεί τον προηγούμενο σαφή ορισμό του τι θεωρείται ως αστική περιοχή σε σχέση με τις άλλες χρήσεις γης. Σε γενικές γραμμές, μία αστική περιοχή χαρακτηρίζεται από δομημένο έδαφος, συμπεριλαμβανομένης της κεντρικής πόλης και των άμεσων προαστίων της με καθορισμένο πληθυσμό που κατέχει μια συγκεκριμένη κοινωνικο-οικονομική σχέση με τα περίχωρα. Χωρικά, η οριοθέτηση μεταξύ αστικών και αγροτικών περιοχών στις παρυφές των πόλεων μπορεί να μην είναι διακριτή (Herold et al. 2003).

Το αστικό λοιπόν περιβάλλον περιλαμβάνει όλες τις αστικές χρήσεις και ως «αστικά» εικονοστοιχεία θεωρούνται συνήθως δομημένες και χωρίς βλάστηση επιφάνειες (εικονοστοιχεία) που προκύπτουν από την ανθρώπινη δραστηριότητα. Τα αστικά βέβαια περιβάλλοντα δεν αποκλείουν την ύπαρξη και άλλων χρήσεων εντός της περιοχής τους.

### ***1.8.3. Επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ταξινόμησης***

Πολλοί παράγοντες, όπως η χωρική ανάλυση των τηλεπισκοπικών δεδομένων, οι διαφορετικές πηγές δεδομένων, καθώς και η διαθεσιμότητα του λογισμικού ταξινόμησης πρέπει να ληφθούν υπόψη κατά επιλογή μιας μεθόδου ταξινόμησης. Κάθε μια μέθοδος ταξινόμησης έχει τα δικά της πλεονεκτήματά. Το ζήτημα του ποια προσέγγιση ταξινόμησης είναι κατάλληλη για μια συγκεκριμένη μελέτη δεν είναι εύκολο να απαντηθεί. Διαφορετικά αποτελέσματα ταξινόμησης μπορούν να επιτευχθούν ανάλογα με τον ταξινομητή που επιλέγεται (Lu & Weng 2007).

Έπειτα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας ως προς την χρήση μεθόδων ταξινόμησης για την βελτίωση της ακρίβειας της ταξινόμησης σε αστικές περιοχές επισημαίνεται ότι χρησιμοποιούνται μια πληθώρα προσεγγίσεων που κατά κύριο λόγο περιλαμβάνουν:

(1) τη χρήση των νευρωνικών δικτύων (Berberoglu et al. 2000; Paola & Schowengerdt 1995; Taylor & Civco 2007)

(2) την ασαφή ταξινόμηση ( Ji & Jensen 1996; Bastin 1997; Fisher & Pathirana 1990; Foody 2000 ) και

(3) την ανάλυση της υψής της εικόνας (Gong & Howarth 1990; Stuckens et al. 2000; Berberoglu et al. 2000)

Παρακάτω, θα γίνει μια προσπάθεια κατηγοριοποίησης των προσεγγίσεων που αναφέρονται στην βιβλιογραφία σχετικά με την ταξινόμηση τηλεπισκοπικών δεδομένων και την χρήση τους για την ακριβέστερη αναπαράσταση του αστικού περιβάλλοντος.

## **1.9. Προτεινόμενες μεθοδολογίες ταξινόμησης αστικού περιβάλλοντος**

Οι μέθοδοι που προτείνονται από την βιβλιογραφία για την ορθότερη αντιπροσώπευση του αστικού περιβάλλοντος, επιλέχτηκε να κατηγοριοποιηθούν ως εξής:

1. Τεχνικές προ-ταξινόμησης (pre-classification)
2. Διάφορες προσεγγίσεις ταξινόμησης και
3. Τεχνικές μετά-ταξινόμησης (post- classification)

## **1.10. Τεχνικές προ-ταξινόμησης (pre-classification)**

Οι τεχνικές αυτές αναφέρονται επίσης και ως τεχνικές μείωσης των χαρακτηριστικών της εικόνας (feature reduction techniques), ή τεχνικές για την εξαγωγή και επιλογή χαρακτηριστικών γνωρισμάτων με σκοπό τον καλύτερο διαχωρισμό των τάξεων. Στην ουσία εφαρμόζονται διάφορες

τεχνικές για την βελτίωση της εικόνας στον πολυφασματικό χώρο, καθώς η πολυφασματική φύση των δεδομένων τηλεπισκόπισης μας επιτρέπει να κάνουμε διάφορους μετασχηματισμούς και να δημιουργούμε νέες εικόνες ή νέα κανάλια σε μια εικόνα. Αντικειμενικός σκοπός, είναι η εύρεση της κατάλληλης πληροφορίας που θα βοηθήσει στη διάκριση των κλάσεων.

Πολλές είναι οι πιθανές μεταβλητές που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ταξινόμηση της εικόνας, όπως οι φασματικές υπογραφές, ο δείκτης βλάστησης, εικόνες που έχουν μετασχηματιστεί, πληροφορίες υψής ή συνάφειας, πολυχρονικές εικόνες, εικόνες πολλαπλών αισθητήρων, και βοηθητικά δεδομένα (Lu & Weng 2007).

Επίσης, πολλές προσεγγίσεις, έχουν χρησιμοποιηθεί για την εξαγωγή συγκεκριμένων πληροφοριών για μια συγκεκριμένη κάλυψη γης. όπως η ανάλυση κύριων συνιστωσών, προκειμένου να μειωθεί ο πλεονασμός πληροφορίας που είναι συνυφασμένος με τα τηλεπισκοπικά δεδομένα.

Για την αποτύπωση της αστικής γης έχουν προταθεί οι παρακάτω μετασχηματισμοί:

- 1) φίλτρα για την ενίσχυση των εικόνων (όπως του αριθμητικού μέσου, του διαμέσου, ενίσχυσης ακμών),
- 2) αριθμητικές πράξεις (αφαίρεση και διαίρεση), σε μία ή πολλαπλές φασματικές ζώνες, με αντικειμενικό σκοπό την διάκριση ή και ενίσχυση των αστικών χρήσεων,
- 3) ο δείκτης βλάστησης

Η χρήση του Δείκτη Βλάστησης -Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) έχει προσελκύσει το ενδιαφέρον των ερευνητών στην προσπάθειά τους να καταγράψουν τις αστικές χρήσεις. Πιο συγκεκριμένες μεθοδολογίες για την χρήση του NDVI στην αποτύπωση της αστικής γης αναφέρονται από τους (Howarth & Boasson 1983; Masek et al. 2000; Taylor et al. 2003).

- 4) ο μετασχηματισμός κύριων συνιστωσών (principal components), άμεσα, σε πολλαπλές ημερομηνίες δορυφορικών εικόνων για τη δημιουργία χαρτών των αλλαγών, ή για την μετατροπή των καναλιών της πολυφασματικής εικόνας.

Ο μετασχηματισμός αυτός δημιουργεί ένα νέο σύνολο ασυσχέτιστων μεταξύ τους καναλιών που είναι όμως γραμμικά συνδυασμένα μεταξύ τους για την διευκόλυνση της φωτοερμηνείας της εικόνας πριν την ταξινόμηση. Είναι μια πολύ γνωστή μέθοδος από την κατηγορία μείωσης χαρακτηριστικών που μετασχηματίζει τα αρχικά δεδομένα σε λιγότερα, τα οποία είναι μεταξύ τους ασυσχέτιστα αλλά περιέχουν ένα μεγάλο ποσοστό της διακύμανσης των αρχικών. Χρησιμοποιείται συχνά στη χαρτογράφηση χρήσης/κάλυψης γης, για να αποδώσει καλύτερα τους δυνατούς διαχωρισμούς των κλάσεων (Gong & Howarth 1990; Herold et al. 2002).

Επίσης χρησιμοποιούνται συχνά αλγόριθμοι απόκλισης για την αξιολόγηση του διαχωρισμού μεταξύ των κατηγοριών έτσι ώστε να βελτιωθούν τα δείγματα εκπαίδευσης για κάθε κατηγορία (Lu & Weng 2007).

## 1.11. Προσεγγίσεις Ταξινόμησης

Η πιο γνωστή και ευρέως χρησιμοποιημένη μέθοδος ταξινόμησης χρήσεων γης με τηλεπισκοπικά δεδομένα είναι η **μέθοδος της πολυφασματικής ταξινόμησης**. Η ταξινόμηση αυτή γίνεται με βάση την ψηφιακή υπογραφή κάθε εικονοστοιχείου, δηλαδή οι κατηγορίες χρήσεων γης αντιστοιχίζονται με εύρη ψηφιακών τιμών. Προσφέρονται δύο μέθοδοι ταξινόμησης:

### 1. Μη επιβλεπόμενη (unsupervised classification)

Γίνεται αυτόματη εξαγωγή των κύριων φασματικών τάξεων και εκ των υστέρων αναγνώριση τους σε πραγματικές τάξεις αντικειμένων. Αρχικά κατηγοριοποιούνται οι κυριότερες φασματικές υπογραφές μιας δορυφορικής εικόνας και κατόπιν ερμηνεύονται σε κατηγορίες χρήσεων γης. Στην βιβλιογραφία αναφέρεται και ως αυτοματοποιημένη μέθοδος ταξινόμησης.

Προτιμάται για μεγάλες περιοχές μελέτης, εξαρτάται κυρίως από τη φωτεινότητα και τα φασματικά στοιχεία της εικόνας, με ταυτόχρονα περιορισμένη χρήση του χωρικού της περιεχομένου. Κατά συνέπεια, οι ταξινομητές που προτείνει η εν λόγω μέθοδος λειτουργούν γενικά καλά σε

φασματικά ομοιογενείς περιοχές, όπως τα δάση, αλλά όχι σε πολύ ετερογενείς περιοχές, όπως τα αστικά τοπία (Yang & Lo 2002).

## 2. Επιβλεπόμενη (supervised classification).

Η κατηγοριοποίηση της εικόνας σε τάξεις εφαρμόζεται βάση των στατιστικών χαρακτηριστικών των τάξεων οι οποίες ορίζονται από προεπιλεγμένες περιοχές εκπαίδευσης. Ο χρήστης «εκπαιδεύει» τον ταξινομητή για τον διαχωρισμό των κλάσεων θέτοντας αυτός τα χαρακτηριστικά της κάθε μιας. Προηγείται φωτοερμηνεία των κύριων θεματικών τάξεων, και έπειτα επιλογή των περιοχών εκπαίδευσης για την στατιστική προσέγγιση της φασματικής υπογραφής κάθε τάξης και τέλος εφαρμογή ενός αλγόριθμου διαχωρισμού των τάξεων. Η αποτελεσματικότητα συναρτάται με την επιλογή τόσο των εκπαιδευτικών πεδίων όσο και του αλγόριθμου ταξινόμησης.

Οι αλγόριθμοι αυτοί στην βιβλιογραφία κατηγοριοποιούνται επίσης και ως **ταξινόμησης ανά-εικονοστοιχείο** ή αλλιώς **σημειακοί ταξινομητές**. Οι ταξινομητές αυτοί συνήθως δημιουργούν μια υπογραφή από το συνδυασμό των φασματικών υπογραφών όλων των εικονοστοιχείων που περιλαμβάνονται σε μια ομάδα εκπαιδευτικών πεδίων που αναφέρονται σε ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό. Η προκύπτουσα υπογραφή περιέχει τις συνεισφορές όλων των υλικών που περιέχονται στα εικονοστοιχεία εκπαίδευσης, αλλά αγνοεί τις επιπτώσεις των μικτών εικονοστοιχείων. Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης ανά εικονοστοιχείο μπορεί επίσης να είναι παραμετρικοί ή μη παραμετρικοί.

Οι παραμετρικοί ταξινομητές υποθέτουν ότι υπάρχει ένα σύνολο δεδομένων κανονικής κατανομής, και ότι οι στατιστικές παράμετροι (π.χ. διανυσματικός μέσος και πίνακας συνδιασποράς) που παράγονται από τα εκπαιδευτικά πεδία είναι αντιπροσωπευτικές. Ωστόσο, η υπόθεση της κανονικής φασματικής κατανομής συχνά παραβιάζεται, ειδικά σε σύνθετα τοπία. Ο ταξινομητής μέγιστης πιθανοφάνειας ίσως να είναι ο πιο συχνά χρησιμοποιούμενος παραμετρικός ταξινομητής στην πράξη, λόγω της ευρωστίας και της εύκολης πρόσβασης του σε σχεδόν οποιοδήποτε λογισμικό επεξεργασίας εικόνας (Lu & Weng 2007).

Οι μη παραμετρικοί ταξινομητές δεν χρησιμοποιούν στατικές παραμέτρους για τον διαχωρισμό της εικόνας σε κατηγορίες και κατά συνέπεια δεν υπάρχει και η υπόθεση της κανονικής κατανομής των φασματικών τιμών των εκπαιδευτικών πεδίων που αναφέρονται σε ομοειδή κατηγορία χρήσης γης. Για τον λόγο αυτό και οι ταξινομητές αυτοί είναι κατάλληλοι για ταξινόμηση με την συνδυασμένη χρήση μη φασματικών δεδομένων, και οι πιο συχνά χρησιμοποιούμενες προσεγγίσεις μη παραμετρικής ταξινόμησης είναι τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks), τα δέντρα αποφάσεων ή δενδρικό διάγραμμα αποφάσεων (decision trees) και τα έμπειρα συστήματα (expert systems).

#### ***1.11.1.1. Προσεγγίσεις ταξινόμησης για την επίλυση της φασματικής σύγχυσης***

Η φασματική σύγχυση αναφέρεται στο γεγονός ότι αρκετές χρήσεις γης έχουν παρόμοια φασματική απόκριση, η οποία εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από τα χαρακτηριστικά του αισθητήρα απεικόνισης (χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση). Για μια εικόνα με ευρεία ζώνη φάσματος, η φασματική σύγχυση είναι αναπόφευκτη. Καθώς μειώνεται η χωρική ανάλυση της εικόνας (δηλαδή μεγαλύτερο μέγεθος εικονοστοιχείου), ο αριθμός των μικτών εικονοστοιχείων αυξάνεται, και έτσι η φασματική σύγχυση τείνει να είναι πιο σοβαρή. Η φασματική σύγχυση τείνει να είναι πιο αισθητή σε ένα αστικό παρά σε ένα αγροτικό τοπίο. Η φασματική σύγχυση είναι η κύρια αιτία της ανακρίβειας μιας ταξινόμησης που βασίζεται στα φασματικά χαρακτηριστικά μιας εικόνας (Yang & Lo 2002).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η ταξινόμηση ανά-εικονοστοιχείο ενδέχεται να δημιουργήσει το αποτέλεσμα «αλατοπίπερο». Μπορεί δηλαδή να οδηγήσει σε διάσπαρτες στην εικόνα και μεταξύ των τάξεων διακριτές περιοχές μικρού μεγέθους. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το ελάχιστο μέγεθος αυτών των περιοχών μπορεί να είναι και το μέγεθος ενός εικονοστοιχείου. Ένας λόγος της δημιουργίας αυτού του φαινομένου είναι ότι στις περισσότερες από αυτές

τις προσεγγίσεις ταξινόμησης κάθε εικονοστοιχείο κατατάσσεται σε μια κατηγορία και ταυτόχρονα οι κατηγορίες κάλυψης γης αλληλοαποκλείονται.

Λόγω της ετερογένειας των τοπίων και τον περιορισμό στην χωρική ανάλυση των τηλεσκοπικών εικόνων, τα μικτά εικονοστοιχεία είναι κοινά σε δεδομένα μεσαίας και μικρής χωρικής ανάλυσης. Μια ασαφής εκπροσώπηση, κατά την οποία κάθε περιοχή να αποτελείται από πολλαπλές και μερικές συμμετοχές όλων των υποψηφίων κατηγοριών, είναι απαραίτητη (Lu & Weng 2007).

Τα τελευταία χρόνια, έχουν ευρέως εφαρμοστεί πολλές σύγχρονες προσεγγίσεις ταξινόμησης, για την αντιμετώπιση της φασματικής σύγχυσης. Παρακάτω γίνεται μια αναφορά στις προσεγγίσεις εκείνες που έχουν προσελκύσει το ενδιαφέρον των περισσότερων μελετών που προσανατολίζονται στην ακριβέστερη αντιπροσώπευση (μέσω της ταξινόμησης τηλεπισκοπικών δεδομένων) του αστικού περιβάλλοντος.

#### ***1.11.1.2. Προσεγγίσεις ήπιας ταξινόμησης (ανά υπό-εικονοστοιχείο)***

Έχουν χρησιμοποιηθεί διάφορες προσεγγίσεις για την δημιουργία ενός πιο ήπιου ταξινομητή με βάση την θεωρία των ασαφών συνόλων. Οι πιο συνήθεις προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί για να ξεπεραστεί το πρόβλημα των μικτών εικονοστοιχείων είναι η τεχνική ασαφούς συνόλου (fuzzy-set technique) και η ανάλυση φασματικής ανάμειξης (spectral mixture analysis (SMA)).

Στις περισσότερες μελέτες για την αποτύπωση του αστικού περιβάλλοντος οι πιο συχνά εφαρμοζόμενες τεχνικές είναι αυτές της κατηγορίας των ασαφών ταξινομητών. Οι ασαφείς ταξινομητές αναφέρονται συνήθως ως ελαστικοί ταξινομητές με μεταβλητούς βαθμούς συμμετοχής στις κλάσεις, σε αντιδιαστολή με τους κλασικούς ταξινομητές οι οποίοι παρέχουν βαθμούς συμμετοχής σε μία μόνο κλάση. Η ασαφής ταξινόμηση λειτουργεί με την χρήση της συμμετοχικότητας, όπου η τιμή ενός εικονοστοιχείου καθορίζεται από το κατά πόσο κοντά είναι σε μια κλάση απ' ό,τι σε άλλη. Μια

ασαφής κατηγοριοποίηση δεν έχει σαφή όρια, και κάθε εικονοστοιχείο μπορεί να ανήκει σε πολλές κλάσεις (Jensen et al. 2007).

Ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται στην ασαφή ταξινόμηση έχει ως στόχο την αναγνώριση της μερικής συμμετοχής των εικονοστοιχείων σε μια κατηγορία, την αναγνώριση δηλαδή εικονοστοιχείων που παρουσιάζουν μικτή χρήση και ως αποτέλεσμα να δημιουργηθούν, πιο ακριβείς στατιστικές παράμετροι και να επιτευχτεί μια υψηλότερης ακρίβειας ταξινόμηση (Wang 1990).

### ***1.11.1.3. Προσεγγίσεις ταξινόμησης ανά-τομέα***

Οι ταξινομητές ανά τομέα (per-field) έχουν σχεδιαστεί για να αντιμετωπίσουν την περιβαλλοντική ετερογένεια των γήινων τοπίων. Στις μεθόδους αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται τμήματα γης (τομείς) ως μεμονωμένες μονάδες αποτρέποντας έτσι την εμφάνιση μεμονωμένων εικονοστοιχείων σε κάποιες κατηγορίες γης. Έχει αποδειχτεί πως είναι αποτελεσματικοί στην βελτίωση της ακρίβειας των ταξινομήσεων (Arlin & Atkinson 2001; Lloyd et al. 2004).

Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την προσέγγιση ταξινόμησης, χρησιμοποιούνται διανυσματικά δεδομένα για να διαχωρίσουν την εικόνα σε τομείς, και πάνω σε αυτούς πραγματοποιείται η ταξινόμηση. Με τον τρόπο αυτό, μειώνονται οι κατηγορίες των τάξεων σε επιμέρους τομείς, μειώνοντας έτσι τις διακυμάνσεις μεταξύ των τάξεων. Ωστόσο, διάφορα προβλήματα ανακύπτουν όσον αφορά το μέγεθος και το σχήμα των τμημάτων γης που δημιουργούνται, τον ορισμό των ορίων τους, τον αριθμό των τάξεων που δημιουργούνται, καθώς και την συσχέτιση των κανονικοποιημένων μορφών πλέγματος που είναι οι δορυφορικές εικόνες με διανυσματικά δεδομένα.

Μια άλλη εναλλακτική προσέγγιση είναι αυτή της αντικειμενοστραφούς ταξινόμησης, κατά την οποία τα εικονοστοιχεία ενοποιούνται σε αντικείμενα και πάνω σε αυτά γίνεται πλέον η ταξινόμηση. Η μετατροπή των εικονοστοιχείων σε αντικείμενα πραγματοποιείται με την τμηματοποίηση της εικόνας. Η εμφάνιση συγκεκριμένων κατηγοριών



χρήσεων γης εξαρτάται από την κλίμακα ενώ το μέγεθος του αντικειμένου επηρεάζει το αποτέλεσμα της ταξινόμησης. Η προσέγγιση αυτή ενδείκνυται για δεδομένα υψηλής χωρικής ανάλυσης.

Βέβαια, η μέθοδος αυτή μπορεί να εφαρμοστεί και ως μια προ επεξεργασία των δεδομένων και μπορεί να εφαρμοστεί και για την αντιμετώπιση δεδομένων που αφορούν μια μεγάλη περιοχή μελέτης.

Οι Stuckens et al στην εργασία που αφορά στην ανάπτυξη μιας μεθοδολογίας ενσωμάτωσης πληροφοριών συνάφειας σε μια ταξινόμηση ανά εικονοστοιχείο στην μητροπολιτική περιοχή της Minneapolis-St. Paul με έκταση περίπου 8,650 km<sup>2</sup>, εφαρμόζουν τμηματοποίηση της περιοχής αυτής ανάλογα με την φυσιογραφία της περιοχής. Ο κύριος σκοπός αυτού του βήματος προεπεξεργασίας ήταν να υποδιαιρευθεί η μεγάλη περιοχή μελέτης σε φυσιογραφικά ομοιογενείς ζώνες για να αποφευχθεί η σύγχυση μεταξύ υπογραφών των πεδίων εκπαίδευσης σε ολόκληρη την περιοχή, και έτσι να βελτιώσει την τελική ακρίβεια της ταξινόμησης (Stuckens et al. 2000).

#### ***1.11.1.4. Προσεγγίσεις ταξινομητών συνάφειας***

Το πρόβλημα της σύγχυσης μεταξύ των τάξεων, έχει προσπαθήσει να αντιμετωπίσει και μια άλλη σειρά ταξινομητών, οι ταξινομητές συνάφειας. Η ταξινόμηση συνάφειας αξιοποιεί χωρική πληροφορία που υπάρχει μεταξύ γειτονικών εικονοστοιχείων για να βελτιώσει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης (Stuckens et al. 2000; Magnussen et al. 2004).

Οι οπτικοί δορυφορικοί αισθητήρες του θεματικού Landsat Mapper (TM) και του γαλλικού συστήματος SPOT προσφέρουν προϊόντα μεσαίας ανάλυσης στα οποία το μέγεθος εικονοστοιχείου είναι μικρότερο από τη γενική έκταση των αντικειμένων του τοπίου. Όλες οι εικόνες παρουσιάζουν ως εκ τούτου έναν υψηλό βαθμό χωρικής αυτοσυσχέτισης. Με άλλα λόγια, η γνώση ότι ένα εικονοστοιχείο ανήκει σε μια ορισμένη κατηγορία αυξάνει την πιθανότητα ότι τα γειτονικά του εικονοστοιχεία ανήκουν στην ίδια κατηγορία. Ενώ οι παραδοσιακοί ταξινομητές (ανά εικονοστοιχείο) αυτό το αγνοούν, ειδικά οι ταξινομητές συνάφειας προσπαθούν να ενσωματώσουν

αυτές τις πρόσθετες πληροφορίες στη ρουτίνα της ταξινόμησης (Stuckens et al. 2000).

Είναι προφανές ότι όσο υψηλότερος είναι ο βαθμός της χωρικής αυτοσυσχέτισης, τόσο καλύτερα τα αποτελέσματα των ταξινομητών συνάφειας σε σύγκριση με τους σημειακούς ταξινομητές ανά εικονοστοιχείο. Όλοι οι ταξινομητές ανά εικονοστοιχείο προσπαθούν να κατατάξουν κάθε εικονοστοιχείο στη πλησιέστερη φασματικά κατηγορία. Η σχέση μεταξύ της φασματικής απόκρισης και της κατηγορίας πληροφοριών είναι συχνά πολλές-προς-μία. Σε περίπτωση που το φαινόμενο αυτό συμβαίνει για απομονωμένα εικονοστοιχεία ή μικρότερες ομάδες εικονοστοιχείων, οι πληροφορίες συνάφειας μπορούν να βοηθήσουν στην παραγωγή της σωστής κατηγορίας (Stuckens et al. 2000).

Ωστόσο, κάποιος πρέπει να γνωρίζει τις ελλοχεύουσες διαδικασίες κατά την ερμηνεία εικόνων που γενικεύονται μέσω της συνάφειας. Ένας ταξινομητής συνάφειας μπορεί να περιλαμβάνει τεχνικές εξομάλυνσης, τυχαία πεδία Markov, χωρική στατιστική, ασαφή λογική, τμηματοποίηση ή νευρωνικά δίκτυα.

Οι πληροφορίες χωρικής συνάφειας μπορεί να ενσωματώνονται στην εικόνα ως επιπρόσθετα κανάλια και μετά να εκτελείται μια μέθοδος πολυφασματικής ταξινόμησης. Επίσης μπορεί να εφαρμοστεί μια εξομάλυνση των τάξεων με βάση την χωρική συνάφεια μετά την πολυφασματική ταξινόμηση.

Υπάρχουν δύο γενικές προσεγγίσεις, με τις οποίες η έκφραση συνάφειας μπορεί να υπολογιστεί. Η μία χρησιμοποιεί ένα κινούμενο παράθυρο και η άλλη βασίζεται στην τμηματοποίηση της εικόνας. Στην πρώτη περίπτωση, κάθε εικονοστοιχείο αντιστοιχεί στην κατηγορία με την υψηλότερη πιθανότητα, όπως στην περίπτωση σημειακού ταξινομητή μέγιστης πιθανοφάνειας ωστόσο, με την πιθανότητα να ορίζεται ως μέτρο όχι μόνο της φασματικής ομοιότητας, αλλά και της συνάφειας (Kartikyan et al. 1994; Jhung & Swain 1996).

Οι λειτουργίες κατάτμησης, από την άλλη πλευρά, διαιρούν την εικόνα σε παρακείμενες μάζες/συστάδες (clumps) εικονοστοιχείων που

ονομάζονται "τμήματα" ή "περιοχές". Αυτή η διαίρεση βασίζεται σε μέτρα φασματικής ομοιότητας ή ανομοιότητας. Όλα τα εικονοστοιχεία ενός τμήματος ή περιοχής τότε θεωρείται ότι ανήκουν στην ίδια κατηγορία πληροφοριών.

#### ***1.11.1.5. Προσεγγίσεις ταξινόμησης βασισμένες στη γνώση***

Πρόκειται για μεθόδους ταξινόμησης που χρησιμοποιούν συμπληρωματικά δεδομένα. Τα συμπληρωματικά δεδομένα μπορεί να περιλαμβάνουν άλλες δορυφορικές εικόνες, ψηφιακά μοντέλα εδάφους, θεματικούς χάρτες, πληροφορίες από μετρήσεις πεδίου, πληροφορίες προσωπικής εμπειρίας κ.λπ.

Τέτοια συστήματα ταξινόμησης είναι τα έμπειρα συστήματα και τα νευρωνικά δίκτυα. Ο συνδυασμός όλης αυτής της πληροφορίας μέσα από μια τροποποιημένη διαδοχή εξειδικευμένων αλγορίθμων, καθίστα δυνατή τη δημιουργία λεπτομερών κλάσεων, χωρίς να μειώνεται η ακρίβεια. Μειονέκτημα όμως τόσο των έμπειρων συστημάτων όσο και των νευρωνικών δικτύων, είναι το γεγονός ότι προαπαιτούν την ύπαρξη συμπληρωματικών δεδομένων, καθώς και ότι είναι δύσκολα στην ανάπτυξή τους λόγω της πληθώρας των παραμέτρων που λαμβάνουν υπόψη τους.

Όσον αφορά στις αστικές περιοχές, η ενσωμάτωση στα τηλεπισκοπικά δεδομένα βοηθητικών πηγών, όπως είναι οι πληθυσμιακοί χάρτες, η πληθυσμιακή πυκνότητα, το οδικό δίκτυο έχει επίσης απασχολήσει τους ερευνητές. Ο πληθυσμός, η κατοικία, η πυκνότητα του οδικού δικτύου συσχετίζονται με την κατανομή των αστικών χρήσεων στον χώρο, και μπορεί να είναι πολύ χρήσιμες πληροφορίες για τις διακρίσεις μεταξύ εμπορικών / βιομηχανικών εκτάσεων και υψηλής έντασης κατοικημένων εδαφών, μεταξύ πάρκων αναψυχής και βοσκότοπων / καλλιεργειών. Η αποτελεσματική χρησιμοποίηση αυτών των σχέσεων σε μια διαδικασία ταξινόμησης έχει αποδειχθεί χρήσιμη στην βελτίωση της ακρίβειας ταξινόμησης. Αυτή η προσέγγιση έχει γίνει πλέον όλο και πιο ελκυστική λόγω της ικανότητάς της προσαρμογής πολλαπλών πηγών δεδομένων (Lu & Weng 2007). Ένα κρίσιμο

όμως βήμα είναι να αναπτυχθούν κανόνες που να μπορούν χρησιμοποιηθούν σε ένα έμπειρο σύστημα ή σε μια προσέγγιση ταξινόμησης βασισμένη στη γνώση.

Για παράδειγμα, ο καθορισμός των αστικών περιοχών με την χρήση απογραφικών δεδομένων, ενέχει τον κίνδυνο ότι πάρα πολλές φορές η αστική επέκταση δεν συμβαδίζει χωρικά με τα διοικητικά όρια μιας περιοχής. Τα τηλεπισκοπικά δεδομένα από την άλλη πλευρά είναι σε θέση να μας δώσουν πολύτιμες πληροφορίες για την χωρική έκταση των αστικών περιοχών. Ωστόσο, παρόλο που η θεώρηση (και έκταση) του τι είναι αστικό διαφέρουν μεταξύ απογραφικών και τηλεπισκοπικών δεδομένων, δεν αλληλοαναιρούνται (Martinuzzi et al. 2007).

## 1.12. Τεχνικές μετά-ταξινόμησης (post- classification)

### 1.12.1. Εφαρμογή φίλτρων

Χρησιμοποιούνται μια σειρά φίλτρων για την εξομάλυνση της εικόνας και την απόδοση της κυρίαρχης τάξης. Όταν μέσα σε μια κυρίαρχη τάξη εμφανίζονται μικρότερες χωρικές συγκεντρώσεις, μπορεί να μην είναι σφάλματα αλλά να αναπαριστούν την γήινη πραγματικότητα (αστικό πράσινο). Εκτελείται μία σειρά από ενέργειες προκειμένου να εξαχθεί όσο το δυνατόν καλύτερα η κατηγορία των αστικών χρήσεων. Στην ουσία περιλαμβάνονται αριθμητικές πράξεις με παράθυρα εικόνων, όπου οι τιμές των εικονοστοιχείων προέρχονται από έναν συνδυασμό των γειτονικών τιμών. Οι περισσότερες τεχνικές υλοποιούνται με τον καθορισμό ενός παραθύρου  $W$  με συντελεστές βάρους και διαστάσεων  $n \times n$  το οποίο μετακινείται σε όλη την εικόνα για κάθε γραμμή και στήλη της. Στην ουσία πρόκειται για τεχνικές επαναταξινόμησης συνάφειας.

- **φίλτρα πλειοψηφίας - majority filter - Focal majority filter**

Ένα φίλτρο πλειοψηφίας εφαρμόζεται συχνά για τη μείωση των «θορύβων», ή φαινόμενο «αλατοπίπερο» στους χάρτες ταξινόμησης. Κάθε εικονοστοιχείο κωδικοποιείται εκ νέου στην κατηγορία που αποτελεί

πλειοψηφία στη γειτονιά του, η οποία καθορίζεται από το φίλτρο. Εφαρμόζεται ένα παράθυρο εικόνας και παράγεται ένα ιστόγραμμα των τιμών των κλάσεων γύρω από το υπό εξέταση εικονοστοιχείο, και η τιμή με την υψηλότερη συχνότητα επιστρέφεται ως η νέα κεντρική τιμή. Στην ουσία υπολογίζεται η συχνότητα της τάξης εντός του πίνακα, και αντικαθιστάται η τιμή του κεντρικού εικονοστοιχείου με την τιμή της τάξης που εμφανίζει την μεγαλύτερη συχνότητα.

Η λειτουργία αυτή δεν μειώνει μόνο το φαινόμενο «αλατοπίπερο», τυπικό στους ταξινομητές ανά εικονοστοιχείο (σημειακοί ταξινομητές), αλλά επίσης οδηγεί σε μεγαλύτερες ομάδες ταξινόμησης, που μπορεί να τηρούν περισσότερο την ανθρώπινη αντίληψη για την κάλυψη της γης (Stuckens et al. 2000).

- ***φίλτρα αντικειμένων***

Αφορούν στην εφαρμογή ενός αλγόριθμου εύρεσης συνδεδεμένων μερών ο οποίος αναγνωρίζει συσσωρεύσεις εικονοστοιχείων, και στην συνέχεια εφαρμόζει κριτήρια μεγέθους και μορφής.

### ***1.12.2. Χρησιμοποίηση βοηθητικών δεδομένων***

Στις αστικές περιοχές, οι περιοχές κατοικίας ή η πληθυσμιακή πυκνότητα σχετίζονται με την κατανομή των παρατηρούμενων προτύπων αστικής χρήσης, και τα δεδομένα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διορθώσουν τη σύγχυση μεταξύ ταξινομημένων τάξεων, όπως μεταξύ εμπορικής και κατοικημένης περιοχής υψηλής έντασης ή μεταξύ πρασίνου αναψυχής και συγκομιδών (Lu & Weng 2007).

Μολονότι οι εμπορικές και υψηλής έντασης κατοικημένες περιοχές έχουν παρόμοιες φασματικές υπογραφές, η πληθυσμιακή πυκνότητα τους είναι πολύ διαφορετική. Ομοίως, το αστικό πράσινο συναντάται σε κατοικημένες περιοχές, αλλά βοσκοτόποι και καλλιέργειες βρίσκονται μακριά από κατοικημένες περιοχές, με αραιή δόμηση και χαμηλή πυκνότητα

πληθυσμού. Έτσι, με βάση τέτοιου είδους σχέσεων μπορεί να αναπτυχθεί έμπειρη γνώση για τον διαχωρισμό μεταξύ των τάξεων.

### **1.13. Μια περίληψη των προσεγγίσεων ταξινόμησης**

Η ανασκόπηση της σχετικής με την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων βιβλιογραφία, μας αναδεικνύει την πληθώρα των προσεγγίσεων που έχουν αναπτυχθεί για την ορθότερη αντιπροσώπευση της γήινης επιφάνειας με την απόδοση της σε κατηγορίες κάλυψης γης. Παρόλα αυτά, δεν υπάρχει ένα πρωτόκολλο επιστημονικά τεκμηριωμένο για το ποιές τεχνικές της τηλεπισκόπησης και ποια μέθοδο ταξινόμησης είναι καταλληλότερες να ακολουθήσει κανείς προκειμένου να επιτύχει την ακριβή αποτύπωση του αστικού περιβάλλοντος μέσω της χρήσης τηλεπισκοπικών δεδομένων.

Το μεγαλύτερο πρόβλημα των ταξινομήσεων που αφορούν στα αστικά περιβάλλοντα έγκειται στην σύγχυση των αστικών χρήσεων τόσο μεταξύ των υποκατηγοριών που υπάρχουν σε αυτές, όσο και στην εμφάνιση εικονοστοιχείων μικτών χρήσεων. Η ταξινόμηση ανά εικονοστοιχείο είναι αυτή που χρησιμοποιείται περισσότερο για την αποτύπωση των αστικών χρήσεων, παρόλο που έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι ταξινόμησης ανά υπό-εικονοστοιχείο και ανά-τομέα.

Οι αλγόριθμοι υπό-εικονοστοιχείων μπορούν να συμβάλουν στην αντιμετώπιση του προβλήματος των μικτών εικονοστοιχείων, και να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια ταξινόμησης σε δεδομένα μέσης χωρικής ανάλυσης όπως οι εικόνες Landsat.

Με την χρήση δεδομένων υψηλής χωρικής ανάλυσης, το φαινόμενο εμφάνισης μικτών χρήσεων εντός του εικονοστοιχείου μπορεί να μειώνεται, όμως από την άλλη πλευρά παρατηρείται φασματική διακύμανση των εικονοστοιχείων εντός μιας κατηγορίας, γεγονός που οδηγεί σε μείωση της ακρίβειας της ταξινόμησης.

Πρακτικά, η χωρική ανάλυση της εικόνας, η χρήση βοηθητικών δεδομένων, το σύστημα ταξινόμησης, το διαθέσιμο λογισμικό και η εμπειρία

του χρήστη μπορεί όλα να επηρεάσουν την απόφαση επιλογής του ταξινομητή (Lu & Weng 2007).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**



## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ**

### **2.1. Περιοχή Μελέτης**

#### *Φυσικογεωγραφικά Στοιχεία*

Η Νάξος ή Αξιά είναι το μεγαλύτερο νησί των Κυκλάδων με έκταση 429τ.χλμ. Η ορεινή περιοχή καταλαμβάνει τα 246 τ. χλμ. και η ημιορεινή τα 41 τ. χλμ. και η υψηλότερη Κορυφή (Ζεϋς) ανέρχεται στα 999 μ.. Παρατηρούμε λοιπόν ότι πάνω από το μισό της επιφάνειας του νησιού είναι ορεινό. Κατά συνέπεια αναμένεται και η κατανομή των χρήσεων γης να εξαρτάται από αυτό το γεγονός. Έτσι οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις παρατηρούνται κυρίως στα πεδινά τμήματα του νησιού που στην πλειοψηφία τους βρίσκονται στα δυτικά του νησιού, ενώ το υπόλοιπο της έκτασης να καλύπτεται από δασικές και θαμνώδης εκτάσεις καθώς και διάσπαρτους, μη οργανωμένους βοσκότοπους.

#### *Αθρωπογεωγραφικά στοιχεία*

Το νησί της Νάξου σύμφωνα με την αυτοδιοικητική διάρθρωση της χώρας ανήκει στην Περιφέρεια Νοτίου Αιγαίου, στο Νομό Κυκλάδων, και σύμφωνα με το πρόγραμμα Καλλικράτης στον Δήμο Νάξου & Μικρών Κυκλάδων.

Ο Καλλικρατικός Δήμος Νάξου & Μικρών Κυκλάδων περιλαμβάνει την συνένωση των προηγούμενων Καποδιστριακών δήμων Νάξου και Δρυμαλίας και των κοινοτήτων Δονούσης, Ηρακλείας, Κουφονησίων και Σχοινούσης για τη δημιουργία του νέου δήμου με έδρα τη Νάξο. Η έκταση του νέου Δήμου είναι 495.76 τ.χλμ και ο πληθυσμός του 19074 κάτοικοι σύμφωνα με την απογραφή της ΕΣΥΕ του 2001και στους 19.440 κατοίκους σύμφωνα με τα προσωρινά απογραφικά στοιχεία του 2011.

Στην ουσία ο νέος δήμος απαρτίζεται από το νησί της Νάξου (συνένωση δήμου Νάξου και Δρυμαλίας) και τα νησιά των Μικρών Κυκλάδων Δονούσα, Κουφονήσια, Κέρος, Σχοινούσα και Ηρακλειά. Ο πληθυσμός του νησιού της Νάξου ανέρχεται στους 18.188 κατοίκους και η πληθυσμιακή του πυκνότητα στα 42 άτομα /τ.χλμ (απογραφής 2001).

## ***Χαρακτήρας αστικών χρήσεων***

### Πολεοδομικός σχεδιασμός –Παραδοσιακοί οικισμοί

Έχουν εγκριθεί το Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο (ΓΠΣ) για την Χώρα της Νάξου (ΦΕΚ 207/18-3-86) καθώς και οι Ζώνες Οικιστικού Ελέγχου στην περιοχή Δήμου Νάξου. Από το Γ.Π.Σ προσδιορίζεται η οικιστική περιοχή της χώρας ενώ οι ζώνες οικιστικού ελέγχου χωρίζουν την περιοχή της Χώρας σε ζώνες και προσδιορίζουν τις χρήσεις αυτών.

Επίσης το ένα τρίτο περίπου των οικισμών του νησιού έχουν χαρακτηριστεί με Προεδρικά Διατάγματα ως παραδοσιακοί οικισμοί και έχουν οριστεί συγκεκριμένοι όροι δόμησης. Οι οικισμοί αυτοί αφορούν στο 40% περίπου του συνολικού πληθυσμού του νησιού και οι περισσότεροι από αυτούς είναι ορεινοί. Μια δεύτερη ομάδα θεσμοθετημένων πολεοδομικών ρυθμίσεων αφορά τον καθορισμό ορίων οικισμών μέχρι 2.000 κατοίκους.

### Τουρισμός και αστική εξάπλωση

Σύμφωνα με μια έρευνα για την αιφόρο ανάπτυξη στην Νάξο από το Δίκτυο Αειφόρων Νήσων Αιγαίου ΔΑΦΝΗ, μπορούν να επισημανθούν οι εξής τάσεις όσον αφορά τον τουρισμό:

- από το έτος 1980 εμφανίζεται εκρηκτική αύξηση της τουριστικής προσέλευσης στο νησί, γεγονός που επιβεβαιώνεται και από την ανάπτυξη των ξενοδοχειακών μονάδων που αρχίζει εκείνη την περίοδο. Σε αντίθεση με τα προηγούμενα έτη από το 1970 – 1980 όπου η τουριστική κίνηση στο νησί ήταν πάρα πολύ μικρή.

- Η τουριστική ανάπτυξη δεν είναι ισόρροπη παρουσιάζει υψηλό ποσοστό συγκέντρωσης στη Χώρα της Νάξου (το 60% περίπου των συνολικών κλινών) και στην παραλιακή ζώνη βορειοδυτικά του νησιού ενώ στο υπόλοιπο νησί είναι μικρή έως μη υπάρχουσα.
- Παράλληλα, τα τελευταία χρόνια στα πλαίσια επιδότησης του αγροτουρισμού που αφορά κυρίως τα ορεινά χωριά έχουν αναπτυχθεί μικρές ξενοδοχειακές μονάδες .

#### Επιπτώσεις του τουρισμού στην αλλαγή των χρήσεων γης

Επίσης επισημαίνονται οι εξής περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την συγκεκριμένη έρευνα:

- άναρχη δόμηση με κατασκευή τουριστικών και λοιπών εγκαταστάσεων σε περιοχές που δεν είχαν προετοιμασθεί από άποψη βασικών υποδομών και παράνομη ανέγερση κτισμάτων, αλλοίωσαν το φυσικό περιβάλλον, την Νησιώτικη Αρχιτεκτονική
- συγκέντρωση των εγκαταστάσεων στο ΒΔ και Δυτικό τμήμα του Νησιού που συντέλεσε γενικότερα στην άνιση γεωγραφική ανάπτυξη. Η επέκταση της τουριστικής γης χωρίς χωροταξική μελέτη περιόρισε τον χώρο των αγροτικών εγκαταστάσεων.

## 2.2. Αντικειμενικός Σκοπός Διατριβής

Η ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με τις μελέτες αλλαγής χρήσεων γης με την χρήση της τηλεπισκόπησης αποκαλύπτει ότι η πλειοψηφία των μελετών αλλαγής των χρήσεων σε αστικό και περιαστικό περιβάλλον με την χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων, τείνουν να επικεντρώνονται περισσότερο σε τεχνικά ζητήματα, όπως την επεξεργασία των δεδομένων και την ακριβέστερη ταξινόμηση σε χρήσεις γης σύμφωνα με την ανθρώπινη παρατήρηση του περιβάλλοντος, αντί για τη χρήση των εξαγόμενων δεδομένων για την χωροχρονική ανάλυση των αλλαγών.

Από την άλλη πλευρά, η ανασκόπηση της υπάρχουσας βιβλιογραφίας σχετικά με την εύρεση παραδειγμάτων αστικών μοντέλων που εφαρμόστηκαν για συγκεκριμένες περιοχές, αποκαλύπτει ένα κρίσιμο σημείο των μοντελοποιήσεων, που δεν λαμβάνεται και τόσο υπόψη. Αφορά στα εισαγόμενα στο μοντέλο δεδομένα. Κρίνεται σκόπιμο να επισημανθεί, η σημασία τόσο της ακρίβειας των δεδομένων που χρησιμοποιούνται όσο και της διαχείρισης τους, σε σχέση με το παραγόμενο από το μοντέλο αποτέλεσμα. Όσο ακριβέστερα και μη αλλοιωμένα είναι τα δεδομένα που εισάγονται σε ένα μοντέλο για την εκτίμηση της αλλαγής των χρήσεων γης σε αστικές χρήσεις, τόσο ακριβέστερη θα είναι και η αναπαράσταση του πραγματικού χώρου (ρεαλιστικότερο μοντέλο) και τόσο ακριβέστερες προβλέψεις μπορούν να γίνουν από το μοντέλο μας.

Από αυτή την άποψη λοιπόν, η διατριβή αυτή θα εστιάσει σε μια πιο ολοκληρωμένη κατανόηση των τοπικών προτύπων της αστικής εξάπλωσης με την ανάλυση των δεδομένων μέσω αποδεδειγμένων και λειτουργικών γεωχωρικών μεθόδων, όπως η χρήση σύγχρονων τηλεπισκοπικών μεθόδων και η μοντελοποίηση με την χρήση κυψελοειδή αυτομάτων. Θεωρείται ότι ο συνδυασμός των κατάλληλων χωρικών μεθόδων για την εκτίμηση και πρόβλεψη των αλλαγών των χρήσεων γης σε αστικό περιβάλλον, αποτελεί μια ενδιαφέρουσα πρόκληση προκειμένου να συσχετιστούν αποτελεσματικά

οι τάσεις της αλλαγής των χρήσεων με τους κοινωνικοοικονομικούς κινητήριους παράγοντες.

Από την άλλη πλευρά, σε πολλές από τις προηγούμενες μελέτες, οι αναλύσεις της αλλαγής της εδαφοκάλυψης σε αστικό περιβάλλον διεξήχθησαν είτε σε μεγάλες μητροπολιτικές πόλεις, σε επίπεδο δηλαδή πόλης ή εντός των ορίων ενός φυσικού τοπίου, όπως αυτό μιας λεκάνης απορροής ή ενός οικοτόπου. Βλέπουμε λοιπόν, ότι τα τελευταία χρόνια μεγάλο μέρος της έρευνας για την αστική επέκταση έχει πραγματοποιηθεί σε μητροπολιτικές και ανεπτυγμένες περιοχές, ενώ ελάχιστα έχουν γίνει για μεσαίου μεγέθους πόλεις. Επίσης, τα περισσότερα μοντέλα αστικής ανάπτυξης δεν έχουν εφαρμοστεί σε ευρύτερες περιοχές. Συνήθως εφαρμόζονται στα όρια μεγάλων πόλεων. Τα περισσότερα παραδείγματα που βρέθηκαν στη βιβλιογραφία καταγίνονται με περιοχές που υφίστανται υψηλούς ρυθμούς ανάπτυξης.

Η εφαρμογή ενός μοντέλου σε τέτοια κλίμακα όπως το νησί της Νάξου ως ενός ενιαίου διοικητικά συνόλου, θα είναι δυνατόν να περιγράψει ορθότερα τις κατευθυντήριες δυνάμεις που οδηγούν στο συγκεκριμένο παρατηρούμενο χωρικό πρότυπο αστικής οργάνωσης. Αυτό το είδος της αστικής ανάπτυξης είναι αρκετά διαφορετικό από εκείνα που συνήθως προσομοιώνονται από τα αστικά μοντέλα ΚΑ.

Το νησί της Νάξου, θα ειδοωθεί ως ένα κλειστό σύστημα όπου στο εσωτερικό του αλληλεπιδρά με όλες εκείνες τις μεταβλητές που κατευθύνουν τις αστικές συγκεντρώσεις σε συγκεκριμένα σημεία του χώρου. Ταυτόχρονα αλληλεπιδρά και με άλλους παράγοντες εκτός του συστήματος του, που επηρεάζουν σθεναρά το αστικό του προφίλ (π.χ. ο τουρισμός). Μέσα από ένα τέτοιο πλαίσιο λοιπόν, η παρούσα πρόταση παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον, για την αποκάλυψη εκείνων των διεργασιών που οδηγούν ένα ευρύτερο σύστημα να παρουσιάζει μια συγκεκριμένη αστική οργάνωση. Η μικροκλίμακα μιας πόλης περιορίζει την ανάλυση στην αποκάλυψη εκείνων των μεταβλητών που οδηγούν στην επέκταση μιας πόλης ή στην πυκνότητα του εσωτερικού της. Η μακροκλίμακα μιας ευρύτερης χωρικής ενότητας και μάλιστα με τα χαρακτηριστικά που παρουσιάζει το νησί (κλειστό σύστημα)

με μεγάλη και άνιση τουριστική ανάπτυξη και ιδιαίτερη μορφολογία, αποκτά ιδιαίτερο ενδιαφέρον από την άποψη της χάραξης πολιτικής.

Τα κύρια ερωτήματα τα οποία ένα τέτοιο σύστημα θα βοηθήσει να απαντηθούν είναι: πού είναι οι γεωγραφικές περιοχές ανάπτυξης, τι είδους ανάπτυξη μπορεί να παρατηρηθεί και, ποιά είναι τα αρχικά σημεία (χωρικά, χρονικά, κπονωνικοοικονομικά) που πυροδότησαν την ανάπτυξη;

Η κατανόηση του πώς οι άνθρωποι χρησιμοποιούν και τροποποιούν την γη είναι πολύ πιο περίπλοκο από το απλώς να χαρτογραφήσει κανείς με ακρίβεια την αστική κάλυψη μιας περιοχής. Αυτό που είναι βασικότερο είναι να μπορεί να αναλύσει και τις αλλαγές και την έκταση των αστικών χρήσεων, να χαρακτηρίσει το είδος της εξάπλωσης, να αναλύσει πώς η αστική εξάπλωση διανέμεται σε ένα τοπίο, και πώς συνδέεται η παρατηρούμενη αλλαγή με τους υπόλοιπους κοινωνικοοικονομικούς παράγοντες. Η συνδυασμένη χρήση της τηλεπισκόπησης, της χωρικής ανάλυσης και των ΚΑ αποτελούν μια πρόταση μελέτης της αστικής ανάπτυξης στο νησί της Νάξου με βάση την ανθρωπογενή επίδραση.

### ***2.2.1. Απώτεροι Στόχοι***

Σύμφωνα με την παραπάνω συλλογιστική, οι απώτεροι στόχοι αυτής της διατριβής θα είναι:

- Η ανίχνευση και σύγκριση της διακύμανσης των τάσεων αλλαγής των χρήσεων γης σε αστικό περιβάλλον, από την κλίμακα ολόκληρου του νησιού της Νάξου, έως της πρωτεύουσας του νησιού, των τουριστικών κέντρων και των οικισμών.
- Ο προσδιορισμός των χωρικών προτύπων εξάπλωσης των δομημένων εκτάσεων ως επέκταση των αστικών πυρήνων του νησιού καθώς και της δημιουργίας νέων αστικών πυρήνων και τις σχετικές επιπτώσεις στο τοπίο.
- Αυτή η μελέτη όχι μόνο να παράξει επιχειρησιακές πληροφορίες για τους σκοπούς ενός σχεδιασμού (χάρτες, επιθέματα Σ.Γ.Π. της



## 2.3. Μεθοδολογικό Πλαίσιο

Έχοντας κατά νου τις παραπάνω παρατηρήσεις, και με βάση την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας οδηγούμαστε στον σχεδιασμό μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας για την ακριβή εκτίμηση και πρόβλεψη των αλλαγών των χρήσεων γης στο νησί της Νάξου με την χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων και των κυψελοειδών αυτόματων.

Προκειμένου να αναπτυχθεί μια μεθοδολογία χαρτογράφησης και παρακολούθησης των αλλαγών χρήσεων γης στο νησί της Νάξου τα βήματα εργασίας θα περιλαμβάνουν:

- 1) Την συλλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων μεγάλης ακρίβειας και ικανοποιητικού χρονικού εύρους για την βελτιστοποίηση της περιγραφής των τάσεων αλλαγής των χρήσεων σε αστικό περιβάλλον κατά τα παρελθόντα έτη.
- 2) Την διαμόρφωση μετρήσεων που να συμπεριλαμβάνουν χωρικά και κοινωνικοοικονομικά δεδομένα για την αποτελεσματικότερη ανάλυση της αλλαγής των χρήσεων γης σε αστικές.
- 3) Την επιλογή, παραμετροποίηση ή σχεδιασμό ενός μοντέλου κυψελοειδών αυτομάτων για την μοντελοποίηση και πρόβλεψη του αστικού προτύπου της περιοχής μελέτης.
- 4) Την εκπαίδευση του μοντέλου μέσω παραμετροποίησης για την ορθότερη αντιπροσώπευση των δεδομένων εισόδου
- 5) Την επικύρωση του μοντέλου
- 6) Την ανάλυση των προτύπων αστικής επέκτασης και τη σύνδεσή τους με τους σημαντικότερους παράγοντες που πιστεύεται ότι επηρεάζουν την αλλαγή των χρήσεων γης για την δημιουργία σεναρίων ανάπτυξης, (π.χ. περιορισμοί που πρέπει να τεθούν, ενθάρρυνση της αστικής ανάπτυξης κ.ο.κ. ).

Παρακάτω γίνεται μια αναλυτικότερη αναφορά σχετικά με κάθε βήμα εργασίας:



### ***Βήμα 1<sup>ο</sup> Συλλογή τηλεπισκοπικών δεδομένων***

Όσον αφορά στην χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων για την αποτύπωση του αστικού περιβάλλοντος, καθώς αυτό χαρακτηρίζεται γενικά από πολύ ετερογενή επιφάνειες με σημαντικές μεταξύ των εικονοστοιχείων και εντός των εικονοστοιχείων αλλαγές, οι δυνατότητες ανίχνευσης των αλλαγών περιορίζονται εγγενώς από τη χωρική ανάλυση των ψηφιακών εικόνων σε μια αστική περιοχή. Από την άλλη πλευρά, ο σχεδιασμός γενικά βασίζεται στην ποιότητα των υπαρχόντων πληροφοριών, έτσι ώστε κάθε αναλαμβανόμενη δράση να είναι λογική (Hatzopoulos 2012).

Για τους παραπάνω λόγους, προτείνεται η αποτύπωση του δομημένου περιβάλλοντος σε κάθε οικισμό της Νάξου ξεχωριστά με δεδομένα μεγάλης ακρίβειας (1-2 μέτρα) με φωτοερμηνεία και απευθείας ψηφιοποίηση της πληροφορίας πάνω στην εικόνα, ώστε να επιτευχθεί η χρήση τόσο του φασματικού όσο και του χωρικού περιεχομένου της εικόνας. Εξάλλου, όπως ο Χατζόπουλος (2012) επισημαίνει, «ο πιο αξιόπιστος τρόπος απόσπασης πληροφορίας από εικόνες είναι η φωτοερμηνεία».

Πιο συγκεκριμένα, μπορούμε να προσομοιώσουμε την δυναμική του κάθε οικισμού της Νάξου χωριστά, ενώ για την δυναμική της κάλυψης/χρήσης γης σε μη δομημένο περιβάλλον να εφαρμοστεί ένα μοντέλο ΚΑ σε ολόκληρο το νησί. Για κάλυψη γης μη αστικών περιοχών θα χρησιμοποιηθούν εικόνες Landsat και ταξινόμηση.

Όσο αφορά στη χρονοσειρά των δεδομένων, θα πρέπει να επισημανθεί η επίδραση του χρονικού ορίζοντα στην αβεβαιότητα, τόσο για την τάση του αστικού προφίλ της περιοχής κατά τα παρελθόντα έτη, όσο και για το μέλλον. Αυτό έχει να κάνει με την γνώση μας για το παρελθόν και το μέλλον. Μπορούμε να είμαστε πιο σίγουροι μόνο για το παρόν. Όσο πιο μακριά από το παρόν τόσο μεγαλύτερη είναι η αβεβαιότητα, τόσο για το παρελθόν όσο και για το μέλλον.

Εάν κάνουμε την παραδοχή πως η αστική εξάπλωση έχει μια γραμμική σχέση με το παρελθόν, δηλαδή ότι η τάση του παρελθόντος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αναπαράγουμε την τάση του μέλλοντος, τότε όσο πιο πίσω πάμε στον χρόνο τόσο θα μειώνονται και οι αβεβαιότητες σε σχέση

με παρελθούσες καταστάσεις. Μια ακριβής βαθμονόμηση των δυναμικών που επηρέασαν το παρελθόν ενός συστήματος θα παρέχει περισσότερη γνώση σε σχέση με την παρούσα κατάσταση του. Επίσης, όταν ένα μοντέλο «εκπαιδευτεί» με ιστορικά δεδομένα που πάνε πιο πίσω στον χρόνο, μπορεί να μειωθεί και η αβεβαιότητα που συνδέεται και με την μελλοντική κατάσταση. Έτσι εάν εισαγάγουμε στο μοντέλο δεδομένα που αναφέρονται σε μακρινά παρελθόντα έτη, θα είμαστε σε θέση να αποτυπώσουμε και μεγαλύτερο εύρος της συμπεριφοράς της αστικής δυναμικής της περιοχής μελέτης και με αυτό τον τρόπο να προμηθεύσουμε το μοντέλο μας με πληροφορίες του παρελθόντος για προβλέψεις που μπορούν να κυμανθούν σε μεγαλύτερο εύρος του μέλλοντος.

Πρέπει ωστόσο να επισημανθεί πως εάν μια απότομη αλλαγή εμφανιστεί μέσα σε ένα σύντομο χρονικό διάστημα, τότε η γραμμικότητα μεταξύ παρελθόντος και παρόντος δεν θα υφίσταται και δεν θα μπορεί να περιγράψει με ακρίβεια η τάση της αστικοποίησης. Για το λόγο αυτό σκοπός της βαθμονόμησης θα πρέπει να είναι, να αναγνωρίσει και να αναπαράξει ιδιότητες του πολυδιάστατου χώρου που αναπαριστούν την πορεία μιας αστικής επέκτασης μέσα στον χρόνο με την μεγαλύτερη ακρίβεια. Εάν υπάρχουν μη γραμμικότητες στην πορεία αυτή, οι χρονοσειρές των δεδομένων ελέγχου είναι κρίσιμες για την ακρίβεια του μοντέλου.

Έχοντας κατά νου, ότι ο τουρισμός στην Νάξο γνώρισε μια εκρηκτική αύξηση από το 1980 και μετά, αλλά και ότι το διάστημα 1955 -1970 υπήρξε μια μαζική μετανάστευση των κατοίκων του νησιού προς την Αθήνα, κρίνεται απαραίτητη η χρονοσειρά των δεδομένων μας να μπορέσει να μοντελοποιήσει αυτές τις ενδεχομένως σοβαρές επιδράσεις στο παρατηρούμενο πρότυπο των αστικών χρήσεων στο νησί.

Η έρευνά για την διαθεσιμότητα δεδομένων, έχει καταλήξει στα εξής: Το Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης & ΓΣΠ, διαθέτει για χρήση τα παρακάτω, τηλεπισκοπικά δεδομένα υψηλής ανάλυσης:

- **1983:** μωσαϊκό της Νάξου με 52 σκαναρισμένους χάρτες 1:5000, οι οποίοι προήλθαν από αεροφωτογραφίες
- **1987:** εικόνες του δορυφόρου STOT (10 μ ανάλυση)

- **2009:** δορυφορική εικόνα του δορυφόρου GeoEye-1 ( 0.5 μέτρα ανάλυση. Οι εικόνες αυτές είναι υψηλής ανάλυσης και χρησιμοποιούνται για τοπογράφηση και για ποιοτική αναγνώριση χαρακτηριστικών (Χατζόπουλος 2012).

Προκειμένου να δημιουργηθεί μια χρονοσειρά ανά δέκα περίπου έτη, είμαστε σε επικοινωνία και αναμένουμε απαντήσεις για την διαθεσιμότητα αεροφωτογραφιών από:

- τον ΟΚΧΕ ίσως τη δεκαετία του 1990
- τη ΓΥΣ για χρονικό εύρος πριν του 1980 (1950 – 1970)

Επιπλέον θα γίνει αναζήτηση για εξεύρεση ίσως δορυφορικής εικόνας IKONOS με χρονική αναφορά στα τέλη της δεκαετίας του 90 – 2000.

### ***Βήμα 2<sup>ο</sup> Συλλογή δεδομένων ΓΣΠ .και δεδομένων από άλλες πηγές***

Δεδομένου του ότι η αστική εξάπλωση σχετίζεται άμεσα με την μορφολογία του εδάφους αλλά και με την προσβασιμότητα του ανθρώπου στις διάφορες περιοχές, θα χρησιμοποιηθεί το ψηφιακό μοντέλο εδάφους καθώς και το οδικό δίκτυο της περιοχής.

Από την άλλη πλευρά, το νησιωτικό περιβάλλον και ιδιαίτερα οι περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές των νησιών χαρακτηρίζονται από μια σειρά χαρακτηριστικών όπως έχουν επισημάνει οι Hatzopoulos και Efthimiatiou, που καλύπτουν τόσο το φυσικό περιβάλλον όσο και το ανθρώπινο (μικρό μέγεθος πληθυσμού, εποχιακές διακυμάνσεις και γήρανση του πληθυσμού) και την οικονομική ανάπτυξη (μικρή οικονομία, αδυναμία δημοσίων υποδομών και περιορισμένος αριθμός ιδιωτικών επενδύσεων, αδυναμία της διοικητικής ικανότητας τόσο στο δημόσιο όσο και στον ιδιωτικό τομέα, απόσταση και εξάρτηση από τις διεθνείς αγορές, υψηλό κόστος μεταφοράς, πίεση από τον τουρισμό, κ.α.) (Hatzopoulos & Efthimiatiou 2010).

Προκειμένου λοιπόν να εκτιμηθούν οι παράγοντες που χαρακτηρίζουν την αστική εξάπλωση της περιοχής μελέτης, θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν απογραφικά δεδομένα όπως:

- Πληθυσμιακά δεδομένα (Αστικός μη αστικός πληθυσμός). Η αύξηση του μη αστικού πληθυσμού είναι ένας παράγοντας που οδηγεί σε αστική επέκταση.
- Το ακαθάριστο εγχώριο προϊόν,
- Η αναλογία του πρωτογενή, δευτερογενή και τριτογενή τομέα στο ακαθάριστο εγχώριο προϊόν
- Η Αγροτική παραγωγή, καθώς μια αύξηση της γεωργικής παραγωγής μπορεί να συγκρατήσει την αστική επέκταση.
- Στοιχεία που αφορούν στον τουρισμό. Ο τουρισμός αποτελεί έναν βασικό παράγοντα για την ζήτηση σε αστικές χρήσεις

Πέρα όμως από όλα τα παραπάνω δεδομένα που αποδεδειγμένα αποτελούν παράγοντες της αλλαγής των χρήσεων γης σε αστικές, πρέπει να τονιστεί ότι ναί μεν ο πρωταρχικός σκοπός είναι αρχικά να αξιολογηθεί η καταλληλότητα μιας περιοχής για την εγκατάσταση αστικών χρήσεων και εν συνεχεία η σύνδεση τους με όλες τις παραπάνω κοινωνικοοικονομικές μεταβλητές, όμως δεν μπορούμε και πάλι να ανιχνεύσουμε πλήρως την πιθανότητα της αστικής αλλαγής σε σχέση με την συμπεριφορά του ατόμου.

Λαμβάνοντας έναυσμα από την «Ευρωπαϊκή Σύμβαση του Τοπίου», η οποία υιοθετήθηκε στις 20-10-2000 στην Φλωρεντία και την οποία έχει υπογράψει και η Ελλάδα αλλά δεν έχει ακόμη κυρώσει το Σχέδιο Νόμου (ΦΕΚ Α30/25-2-2010), μια πρόταση που μπορεί να γίνει είναι η χρήση δεδομένων του τοπίου της περιοχής μελέτης. Το «Τοπίο» σύμφωνα με την παραπάνω σύμβαση *«σημαίνει μία περιοχή, όπως γίνεται αντιληπτή από ανθρώπους, του οποίου ο χαρακτήρας είναι το αποτέλεσμα της δράσης και αλληλεπίδρασης των φυσικών και/ ή ανθρώπινων παραγόντων»*.

Η σημασία του τοπίου είναι ότι αυτό διαμορφώνει την εικόνα που δίνει μια περιοχή προς τα έξω, δηλαδή αν είναι οργανωμένη ή, αντίθετα άναρχη και παραμελημένη. Στην δεύτερη περίπτωση όπως είναι φυσικό, οι επενδυτές και οι τουρίστες πάντα αποφεύγουν τέτοια μέρη.

Με την χαρτογράφηση ενοτήτων τοπίου και την τυπολόγηση τους σε ένα σύστημα ταξινόμησης το οποίο να αντιστοιχεί στον εγγενή φυσικό, οικολογικό, πολιτιστικό και αισθητικό χαρακτήρα της κάθε περιοχής στο νησί

της Νάξου, θα μπορέσει να γίνει μια πιο ευαίσθητη εκπροσώπηση του περιβάλλοντος της περιοχής.

#### ***Βήμα 4<sup>ο</sup> Επιλογή ενός μοντέλου κυψελοειδών αυτομάτων***

Η αναζήτηση ενός μοντέλου που να είναι κατάλληλο για την προσομοίωση των αστικών χρήσεων στην περιοχή μελέτης, θα βασιστεί από τις εξής δυνατότητες :

- Η ικανότητα να προβάλλει την αστική εξάπλωση στο μέλλον βάση των παρατηρούμενων τάσεων , καθώς απώτερος στόχος της συγκεκριμένης διατριβής θα είναι η διαμόρφωση σεναρίων για την χάραξη σχεδίων ανάπτυξης.

- Η ύπαρξη μιας εκτενούς βιβλιογραφίας που να τεκμηριώνει τόσο τη θεωρία όσο και την εφαρμογή του μοντέλου,

- Η ευελιξία, η ικανότητα του δηλαδή να προσαρμόζεται σε διαφορετικές πραγματικές αστικές καταστάσεις η οποία εξαρτάται από την ευελιξία των κανόνων μετάβασης, το πρότυπο χρήσεων γης και την προσαρμοστικότητα της γειτονιάς (Santé et al. 2010).

Όσον αφορά τους κανόνες μετάβασης, τα πιο ευέλικτα μοντέλα είναι τα μοντέλα που προτείνουν ένα γενικό σύστημα εντός του οποίου μπορούν να οριστούν πολλαπλά συγκεκριμένα πρότυπα. Τα λιγότερο ευέλικτα μοντέλα είναι τα μοντέλα που χρησιμοποιούν νευρωνικά δίκτυα, ή εξόρυξης γνώσης (από δεδομένα), στα οποία ο ορισμός των κανόνων και της βαθμονόμησης είναι ταυτόχρονος. Όσον αφορά τις χρήσεις γης, η προσομοίωση της εξέλιξης πολλαπλών χρήσεων γης είναι μια πολύ πιο σύνθετη διαδικασία από ό, τι η προσομοίωση μόνο της αστικής ανάπτυξης. Ωστόσο, οι Dietzel και Clarke (2006) έδειξαν ότι τα μοντέλα που περιλαμβάνουν μόνο αστικά / μη- αστικά δεδομένα υπεραπλουστεύουν τη δυναμική του συστήματος, λόγω της ισχυρής σχέσης μεταξύ της πιθανότητας αστικοποίησης και του είδους της χρήσης γης που θα μετατραπεί σε αστική. Ωστόσο, σύμφωνα με την εργασία των Santé και λοιποί, μόνο τα 13 από τα 33 μοντέλα που εξετάσανε λαμβάνουν υπόψη πολλαπλές χρήσεις γης (Santé et al. 2010). Όσον αφορά

στη γειτονιά, μόνο λίγα μοντέλα παρέχουν τη δυνατότητα εφαρμογής διαφορετικών τύπων της γειτονιάς.

- Η επεξηγηματική δύναμη

Υπάρχουν περιγραφικά και επεξηγηματικά μοντέλα. Τα περιγραφικά μοντέλα μας λένε τι συμβαίνει, αλλά όχι γιατί. Ωστόσο, ο περιορισμός αυτός δεν επηρεάζει την ικανότητα του μοντέλου να προβλέψει την αστική ανάπτυξη ή να απαντήσει ερωτήσεις τύπου «τι εάν».

- Η Διαθεσιμότητα λογισμικού

Τα περισσότερα από τα μοντέλα χρησιμοποιούν τις δυνατότητες διαχείρισης γεωγραφικής πληροφορίας των GIS, και ο προγραμματισμός των μοντέλων γίνεται χρησιμοποιώντας γενικές γλώσσες προγραμματισμού ή μακρο-γλώσσες. Μερικοί συγγραφείς έχουν αναπτύξει ανεξάρτητες εφαρμογές λογισμικού, όπως AUGH (Besussi et al., 1998), ή iCity (Stevens και Dragicevic, 2007). Μεταξύ των λίγων διαθέσιμων εφαρμογών είναι το SLEUTH (<http://www.ncgia.ucsb.edu/projects/gig/>) και το DINAMICA (<http://www.csr.ufmg.br/dinamica/>).

### ***Βήμα 5<sup>ο</sup> Εκπαίδευση του μοντέλου***

Η «εκπαίδευση» ενός μοντέλου ΚΑ αναφέρεται στην βαθμονόμηση, που επιτρέπει στο μοντέλο να «μάθει» την τοπική του σύνθεση με την πάροδο των χρόνων. Ο στόχος της βαθμονόμησης είναι να επιτύχει τις τιμές των παραμέτρων των κανόνων μετάβασης που επιτρέπουν την πιο ακριβή αναπαραγωγή της εξέλιξης των χρήσεων γης του παρελθόντος. Υπάρχουν δύο παραδοσιακές μέθοδοι για τη βαθμονόμηση: μέθοδοι που βασίζονται στη δοκιμή και το λάθος και μέθοδοι που βασίζονται σε στατιστικές τεχνικές. Οι πρώτες δεν απαιτούν αυστηρή μαθηματική διατύπωση και περιλαμβάνουν την εκτίμηση των αποτελεσμάτων που επιτυγχάνονται από εναλλακτικούς συνδυασμούς τιμών των παραμέτρων (Ward et al. 2000), τη διαδοχική πολυσταδιακή βελτιστοποίηση έπειτα από αυτοματοποιημένη εξερεύνηση των συνδυασμών των παραμέτρων (Silva & Clarke 2002), τη χειροκίνητη ρύθμιση των παραμέτρων μέσω διαδραστικών γραφημάτων (Barredo et al. 2004) ή την προσαρμοστική Μόντε Κάρλο προσέγγιση (He et al. 2008) κ.α..

Η πιο συχνή είναι η στατιστική μέθοδος της λογιστικής παλινδρόμησης, η οποία παρέχει τα βάρη των εμπλεκόμενων μεταβλητών.

Τα τελευταία χρόνια, μια σειρά από συγγραφείς έχουν μελετήσει την εφαρμογή πιο αποτελεσματικών εύχρηστων μεθόδων, όπως των γενετικών αλγορίθμων . Οι Almeida et al. (2008) για παράδειγμα χρησιμοποίησαν ένα νευρωνικό δίκτυο για τη βαθμονόμηση του DINAMICA.

### ***Βήμα 6ο Επικύρωση του μοντέλου***

Η πιο απλή μέθοδος συνίσταται στην οπτική εκτίμηση των μοντελοποιημένων και πραγματικών χαρτών, και συνήθως συνοδεύεται από ποσοτικές μεθόδους που αξιολογούν τη συνολική ακρίβεια. Για το σκοπό αυτό, οι πιο συχνές μετρήσεις είναι (i) Ο λόγος των κελιών της προσομοίωσης με τον πραγματικό αριθμό των κελιών (ή ομαδοποιήσεων) για μια συγκεκριμένη χρήση γης, (ii) η συνολική ακρίβεια, δηλαδή το ποσοστό των σωστά ταξινομημένων εικονοστοιχείων, (iii) η ανάλυση παλινδρόμησης μεταξύ των αποτελεσμάτων της προσομοίωσης και των πραγματικών δεδομένων, και (iv) ο πίνακας σύγχυσης και ο δείκτης kappa .

Επίσης υπάρχουν τεχνικές σύγκρισης με βάση το χωρικό πρότυπο: (i) προφίλ της ανάπτυξης ως συνάρτηση της φυσικής απόστασης, (ii) μια μεγάλη ποικιλία χωρικών μετρήσεων, μεταξύ των οποίων η συχνότερη είναι ο Moran I και οι δείκτες σχήματος, ο αριθμός ή η πυκνότητα των άκρων, ο μέσος πλησιέστερος γείτονας, οι δείκτες Lee-Sallee, κ.α.

Επιπλέον, ένα μοντέλο ΚΑ μπορεί να επικυρωθεί από τη σύγκριση του παραγόμενου μοντέλου με την παραγωγή ενός άλλου μοντέλου ή ενός μηδενικού μοντέλου. Σε γενικές γραμμές, η μέθοδος που χρησιμοποιείται για επικύρωση εξαρτάται από τους στόχους της προσομοίωσης. Στην πραγματικότητα, σε μοντέλα που στόχος είναι η αναζήτηση των βέλτιστων λύσεων, η επικύρωση συνίσταται στην αξιολόγηση της ποιότητας των παραγομένων σεναρίων (Santé et al. 2010).

Προτεινόμενη μέθοδος αποτίμησης της ακρίβειας του μοντέλου που θα δημιουργηθεί

Μια αξιολόγηση των αποτελεσμάτων του μοντέλου θα μπορούσε να υποστηριχτεί με την δημιουργία διαφορετικών προσομοιώσεων στον χρόνο:

- Πρώτη εφαρμογή:

Έστω ότι θα χρησιμοποιηθούν ιστορικά δεδομένα για τα έτη (1983,1990,2000,2009) ως δεδομένα ελέγχου, ανά 10 χρόνια περίπου και για διάρκεια περίπου 30 χρόνων, για την μοντελοποίηση της αστικής επέκτασης στο νησί της Νάξου.

- Δεύτερη εφαρμογή:

Μικρότερη χρονική διάρκεια και πιο κοντά στο παρόν (2000,2009).Συνολική διάρκεια μόνο 10 χρόνων.

Η αποτίμηση του σφάλματος του μοντέλου θα γίνει και για τις δυο αυτές χρονικές περιόδους, κατά τις οποίες προσομοιώνονται διαφορετικά ενδεχομένως πρότυπα αστικής επέκτασης αλλά και είναι και διαφορετική η επίδραση του χρονικού ορίζοντα στην αβεβαιότητα. Θα γίνει η μηδενική υπόθεση ότι η χρονική διάρκεια δεν θα έχει καμία επιρροή στα αποτελέσματα του μοντέλου. Δηλαδή το μοντέλο θα προσομοιώνει με περίπου το ίδιο ποσοστό σφάλματος. Με τον τρόπο αυτό μπορεί να αποτιμηθεί αν η ακρίβεια του μοντέλου είναι η ίδια για διαφορετικά χρονικά εύρη και δεδομένα.

Έτσι θα πρέπει να ελεγχθούν οι προσομοιωμένες αλλαγές σε σχέση με την πραγματική αλλαγή, των δεδομένων ελέγχου του μοντέλου. Για να δεχτούμε ως έγκυρη την προσομοίωση του μοντέλου, θα πρέπει να μας δίνει ένα περιθώριο σφάλματος μικρότερο από το ποσοστό της παρατηρούμενης πραγματικής αλλαγής. Αν η πραγματική λοιπόν αλλαγή παρουσιάζει ένα ποσοστό για παράδειγμα 30%, και το μοντέλο μας προσομοιώνει αυτή την αλλαγή με βεβαιότητα 65%, τότε το ποσοστό των παρατηρούμενων αλλαγών εμπίπτουν στο όριο σφάλματος του μοντέλου και κατά συνέπεια δεν θεωρείται έγκυρο.

Επιπλέον, η πρόβλεψη του μέλλοντος σε ένα εύρος 30 ετών (2040), θα γίνει αποδεκτή μόνο αν μας δίνει ένα ποσοστό αλλαγής μέσα στα όρια της αλλαγής της προσομοίωσης των παρελθόντων ετών (1980-2010).



### ***Βήμα 7ο Δημιουργία σεναρίων αστικής ανάπτυξης***

Οι προσομοιώσεις δεν αντιπροσωπεύουν απαραίτητα τη συμπεριφορά των πραγματικών αστικών συστημάτων, απλώς μπορούν να αποκαλύψουν ορισμένους βασικούς μηχανισμούς που αποτελούν μέρος της συνολικής δυναμικής. Τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία στο πλαίσιο του πολεοδομικού σχεδιασμού για την παραγωγή τυχαίων πορειών ανάπτυξης, χωρίς την χάραξη πολιτικής και έτσι να συμβάλουν στη δημιουργία σεναρίων για την βάση λήψης αποφάσεων. Με την αξιοποίηση των μοντέλων προσομοίωσης, μπορούν να περιγραφούν οριακές συνθήκες για την επίτευξη επιλέξιμων μορφών ανάπτυξης.

Λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για συνεχή οικονομική και κοινωνική ανάπτυξη των αστικών περιοχών και των κοινοτήτων της υπαίθρου, θα μπορούσαν να προταθούν σεναρία στρατηγικών για την εξισορρόπηση της ανάπτυξης και την επίτευξη συνοχής σε όλες τις περιοχές στο νησί της Νάξου.

Η διαμόρφωση των σεναρίων μπορεί να γίνει σύμφωνα με τις ιδιαιτερότητες και δυνατότητες που παρουσιάζει κάθε περιοχή χωριστά, και με τη σωστή διαχείριση και ανάδειξη των στοιχείων αυτών. Η ανάδειξη μπορεί να αφορά στον τοπικό χαρακτήρα και τις ιδιαιτερότητες της κάθε περιοχής, στην ιστορία, στην οικονομία και στην κοινωνία της, στην φυσική και πολιτιστική κληρονομιά και στο τοπίο της, δηλαδή τον τοπικό της πλούτο.

Σε σχέση με την φυσική κληρονομιά, το περιβάλλον και το τοπίο, θα μπορούσαν να προταθούν : κατασκευή μονοπατιών της φύσης, εκδρομικών χώρων, σημεία θέασης κα. Ενδιαφέρον παρουσιάζει, μια πρόταση που έχει γίνει προς αυτή την κατεύθυνση από τον Γουγούλα (2010), για την ανάπτυξη ποδηλατικού τουρισμού στην ορεινή Νάξο, με στόχο την τουριστική ανάδειξή της και κατ' επέκταση την οικονομική ανάπτυξη και την αποφυγή του οικονομικού μαρασμού που εμφανίζεται στην ορεινή Νάξο τα τελευταία χρόνια (Γουγούλας 2010). Στην εργασία αυτή προτάθηκαν 4 ποδηλατόδρομοι σε υψόμετρο από 640 – 740 μέτρα, και παρακείμενα σε οικισμούς τις ορεινής Νάξου. Αποτελεί, μια πολύ ενδιαφέρουσα πρόταση, με την οποία θα

μπορούσε να εφαρμοστεί ένα σενάριο μελλοντικών αλλαγών στην εν λόγω περιοχή, έπειτα από την δημιουργία των ποδηλατοδρόμων.

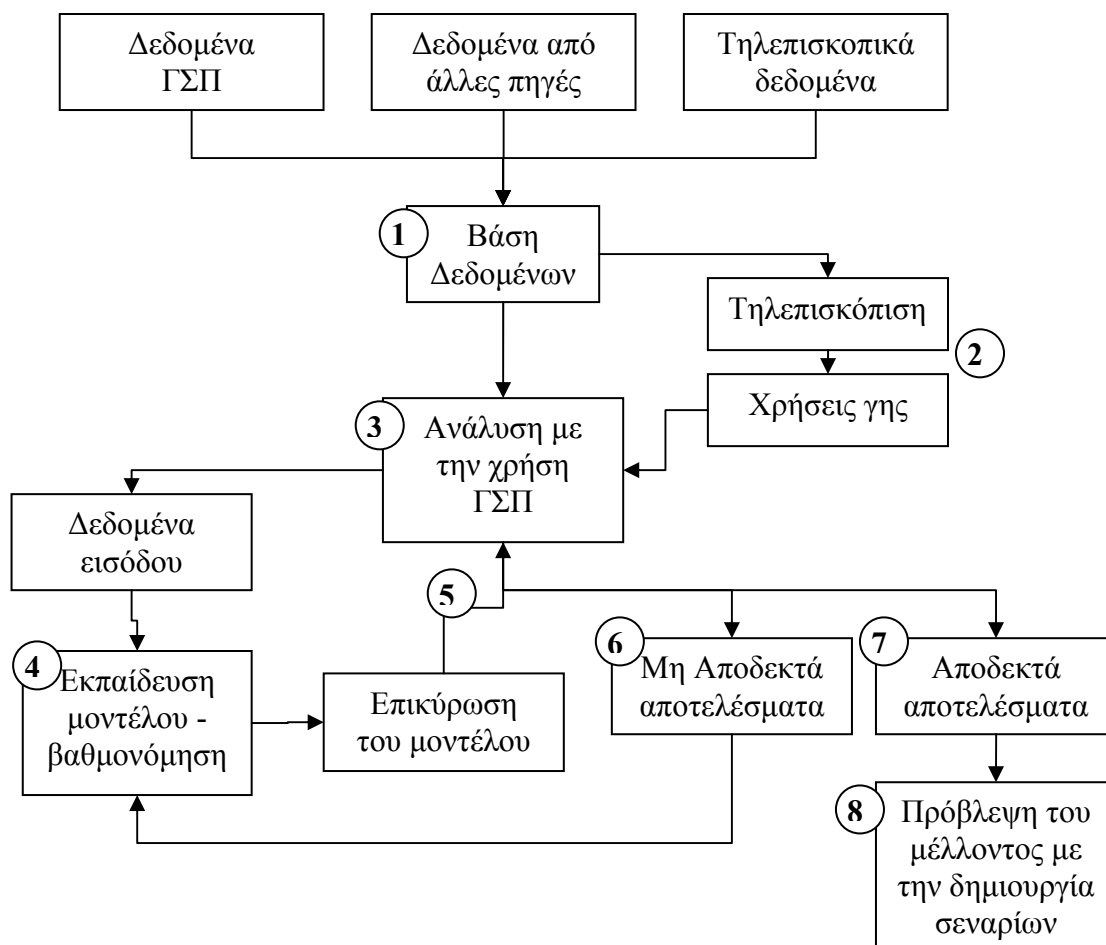
Ο «Σχεδιασμός τοπίου» που αποτελεί μία από τις βασικές αρχές της Ευρωπαϊκής Σύμβασης για το Τοπίο, σημαίνει έντονη και διορατική παρέμβαση, με στόχο τη βελτίωση υφιστάμενων τοπίων ή τη δημιουργία νέων, σύμφωνα με τους οραματισμούς και της ανάγκες της κάθε περιοχής. Δίδεται δηλαδή το πλαίσιο για την εκτέλεση των αναγκαίων έργων, ιδιωτικών και δημόσιων, με τον καλύτερο δυνατό τρόπο και για το συμφέρον της τοπικής κοινωνίας. Με βάση αυτό το πλαίσιο, και με την δυνατότητα που προσφέρουν τα μοντέλα ΚΑ μπορούν να εφαρμοστούν μια σειρά εναλλακτικών σεναρίων με σκοπό την χάραξη πολιτικών για την ορθότερη αξιοποίηση των επιμέρους τοπίων του νησιού.

Ένα τέτοιο παράδειγμα αποτελεί η εργασία των Hatzopoulos και λοιποί όπου χρησιμοποιούνται τεχνολογίες αλγόριθμων και τηλεπισκόπησης / GIS για την ανάπτυξη ενός μοντέλου συγκριτικής χρονικής προσέγγισης για τα τοπία του κύριου αστικού χώρου που εντοπίζονται στην παράκτια ζώνη του νομού Κορίνθου, για την ανάπτυξη μιας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας, για τον συντονισμό των δημόσιων πολιτικών για την προστασία του παράκτιου αστικού τοπίου της περιοχής (Hatzopoulos et al. 2010).

Η εργασία επικεντρώνεται ακριβώς στο άρθρο 6 της Ευρωπαϊκής Σύμβασης για το Τοπίο που αφορά στο σχεδιασμό του τοπίου, και εφαρμόζει μια μεθοδολογία που περιλαμβάνει την ανάπτυξη δύο μοντέλων για την αλλαγή του τοπίου, και τη σύγκρισή τους σε σχέση με την ικανότητά τους να μειώσουν την ευπάθεια των κινδύνων πλημμύρας του Κορινθιακού τοπίου.

## 2.4. Περιγραφή Μεθοδολογίας

Η μεθοδολογία που προτείνεται για την εκπόνηση της προτεινόμενης διατριβής παρουσιάζεται στο παρακάτω διάγραμμα (Διάγραμμα 2.1.) το οποίο διαμορφώνει το υπόβαθρο πάνω στο οποίο θα βασιστεί το πρακτικό μέρος της έρευνας.



Διάγραμμα 2.1. Διάγραμμα Ροής Εργασιών

### 1. Δημιουργία της βάσης δεδομένων

Περιλαμβάνει την συλλογή όλων των δεδομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω. Δεδομένα ΓΣΠ, δεδομένα από άλλες πηγές και δορυφορικά δεδομένα.

## **2. Χρήση της τηλεπισκόπησης**

### **2.1. Αποτύπωση των αστικών χρήσεων γης**

2.1.1. Φωτοερμηνεία και απευθείας ψηφιοποίηση της πληροφορίας πάνω στην εικόνα. Η φωτοερμηνεία λαμβάνει υπόψη:

2.1.1.1 την επιρροή της αμαύρωσης της εικόνας (τόνος) από την τραχύτητα της επιφάνειας. Καθώς ο σχηματισμός της εικόνας (αεροφωτογραφίας) γίνεται με βάση την ηλιακή ακτινοβολία, οι περιοχές διαφοροποιούνται μεταξύ τους ανάλογα με την τραχύτητα, την υφή, τον προσανατολισμό και την κλίση που έχουν σε σχέση με τον ήλιο.

2.1.1.2 Ιδιότητες του αντικειμένου μαζί με τον περίγυρό του. Έτσι, η φωτοερμηνεία επηρεάζεται από:

- το σχήμα: η αναγνώριση του αντικειμένου υποβοηθείται από το σχήμα του και τον περίγυρό του,
- το μέγεθος - πρότυπο, όπου πρόσθετες πληροφορίες και γνώσεις λαμβάνονται υπόψη ,
- τη σκιά, καθώς η σκιά μπορεί να αποκαλύψει το είδος και την θέση ενός αντικειμένου,
- το συσχετισμό με τον περίγυρο: ορισμένα αντικείμενα αναγνωρίζονται πιο εύκολα λόγω του συσχετισμού τους με άλλα (Χατζόπουλος 2012)

### **2.2. Αποτύπωση των χρήσεων γης σε όλο το νησί**

2.2.1. Εφαρμογή των κατάλληλων τεχνικών προ – ταξινόμησης

2.2.2. Δημιουργία του σχήματος της ταξινόμησης. Επιλογή του συστήματος ταξινόμησης π.χ. Corine Land Cover

2.2.3. Λήψη των πεδίων εκπαίδευσης για την διαδικασία της ταξινόμησης. Επιλογή περιοχών που να αντιστοιχούν στους συγκεκριμένους τύπους εδαφικής κάλυψης του σχήματος της ταξινόμησης, έπειτα από φωτοερμηνεία των εικόνων.

2.2.4. Εφαρμογή μετά από πειραματισμό της βέλτιστης μεθόδου ταξινόμησης, π.χ. ασαφούς επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

2.2.5. Εφαρμογή των κατάλληλων τεχνικών μετά – ταξινόμησης

2.2.6. Έλεγχος της ακρίβειας της ταξινόμησης

### **3. Προετοιμασία με την χρήση των ΓΣΠ των Δεδομένων Εισόδου στο μοντέλο ΚΑ**

Περιλαμβάνει όλες εκείνες τις επεξεργασίες που χρειάζεται να γίνουν προκειμένου να μεταφραστούν κάποιες από τις μεταβλητές που θα χρησιμοποιηθούν στο μοντέλο σε χωρικές πλέον πληροφορίες, τεχνικές επεξεργασίας εικόνας, την μετατροπή των δεδομένων σε μορφή κανάβου, κτλ. (π.χ. δημιουργία επιθέματος που αναφορά στην κατηγοριοποίηση των τοπίων του νησιού ,δημιουργία τοπογραφικών κλίσεων από το ψηφιακό μοντέλο εδάφους κ.α.)

Η υπόλοιπη ροή εργασιών, θα έχει την εξής αλληλουχία:

Σημείο **(4) Εκπαίδευση του μοντέλου** → σημείο **(5) Επικύρωση αποτελεσμάτων** → εισαγωγή των προσομοιωμένων αποτελεσμάτων σε ένα ΓΣΠ για τον έλεγχο της ακρίβειας → Εάν τα **αποτελέσματα δεν είναι αποδεκτά** σημείο **(6)**, τότε ο κύκλος εργασιών επιστρέφει → σημείο **(4)**. Εάν τα **αποτελέσματα είναι αποδεκτά** σημείο **(7)**, τότε προχωράμε → σημείο **(8) Πρόβλεψη και δημιουργία σεναρίων ανάπτυξης**

## BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Al-Ahmadi, K. et al., 2009. Calibration of a fuzzy cellular automata model of urban dynamics in Saudi Arabia. *Ecological Complexity*, 6(2), pp.80-101.
- Al-kheder, S., Wang, J. & Shan, J., 2008. Fuzzy inference guided cellular automata urban growth modelling using multi temporal satellite images. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(11-12), pp.1271-1293.
- Almeida, C. et al., 2003. Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation. *Urban Systems*, 27, pp.481-509.
- Almeida, C. et al., 2008. Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. *International Journal of Geographical Information Science*, 22(9), pp.943–963.
- Aplin, P. & Atkinson, P. M., 2001. Sub-pixel land cover mapping for per-field classification. *International Journal of Remote Sensing*, 22(14), pp.2853-2858.
- Barredo, I. et al., 2004. Modelling future urban scenarios in developing countries□: an application case study in Lagos , Nigeria. *Environment and Planning*, 32, pp.65-84.
- Bastin, L., 1997. Comparison of fuzzy c-means classification, linear mixture modelling and MLC probabilities as tools for unmixing coarse pixels. *International Journal of Remote Sensing*, 18(17), pp.3629–3648.
- Batty, M, Longley, P & Fotheringham, S., 1989. Urban growth and form: scaling, fractal geometry, and diffusion-limited aggregation. *Environment and Planning A*, 21(11), pp.1447-1472.
- Batty, M, Xie, Y & Sun, Z., 1999. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. *Computers Environment and Urban Systems*, 23(3), pp.205-233.
- Batty, M. & Longley, P., 1994. *Fractal cities*, Academic press London.
- Batty, Michael & Xie, Yichun, 1994. Research Article. Modelling inside GIS: Part 1. Model structures, exploratory spatial data analysis and aggregation. *International Journal of Geographical Information Systems*, 8(3), pp.291–307.

- Berberoglu, S. et al., 2000. The integration of spectral and textural information using neural networks for land cover mapping in the Mediterranean. *Computers & Geosciences*, 26(4), pp.385-396.
- Candau, J.T., 2002. *Temporal calibration sensitivity of the sleuth urban growth model*. University of California, Santa Barbara.
- Clarke, K. C., Hoppen, S. & Gaydos, L., 1997. A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), pp.247-261.
- Clarke, K. C. & Gaydos, L.J., 1998. Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(7), pp.699–714.
- Couclelis, H., 1985. Cellular worlds: a framework for modeling micro - macro dynamics. *Environment and Planning A*, 17(5), pp.585-596.
- Couclelis, H., 1997. From cellular automata to urban models: new principles for model development and implementation. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), pp.165-174
- Deng, J. et al., 2009. Urban Land Use Change Detection Using Multisensor Satellite Images1. *Pedosphere*, 19(1), pp.96-103.
- Dietzel, C. & Clarke, Keith C, 2004. Spatial Differences in Multi-Resolution Urban Automata Modeling. *Main*, 8(4), pp.479-492.
- Dragicevic, S., 2004. Coupling fuzzy sets theory and GIS-based cellular automata for land-use change modeling. In *Fuzzy Information, 2004. Processing NAFIPS'04. IEEE Annual Meeting of the. IEEE*, pp. 203–207.
- Fisher, P.F. & Pathirana, S., 1990. The evaluation of fuzzy membership of land cover classes in the suburban zone. *Remote Sensing of Environment*, 34(2), pp.121-132.
- Foody, G.M., 2000. Estimation of sub-pixel land cover composition in the presence of untrained classes. *Computers & Geosciences*, 26(4), pp.469-478.
- García, A.M. et al., 2012. A comparative analysis of cellular automata models for simulation of small urban areas in Galicia, NW Spain. *Computers, Environment and Urban Systems*.

- Gong, P. & Howarth, P.J., 1990. The use of structural information for improving land-cover classification accuracies at the rural-urban fringe. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 56(1), pp.67-73.
- Guerschman, J.P. et al., 2003. Land cover classification in the Argentine Pampas using multi-temporal Landsat TM data. *International Journal of Remote Sensing*, 24(17), pp.3381-3402.
- Haack, B. & Bechdol, M., 1999. Multisensor remote sensing data for land use/cover mapping. *Computers, Environment and Urban Systems*, 23(1), pp.53-69.
- Hatzopoulos, J.N., 2012. Image Server to Display High Resolution Satellite Images for Regional Planning in the Greek Island of Naxos. In *Proceedings of the annual conference of the ASPRS, March 19-23*. Sacramento, CA.
- Hatzopoulos, J.N. & Efthimiadou, C., 2010. Sustainable management of insular environment using GIS and remote sensing technologies. In *Proceedings of the annual conference of the ASPRS, April 26-30*. San Diego, CA.
- Hatzopoulos, J.N. et al., 2010. Coordination of public policies for flood protection using remote sensing and GIS technologies for coastal urban landscapes at water territories. In *Proceedings of the annual conference of the ASPRS, April 26-30*. San Diego, CA.
- He, C et al., 2006. Modeling urban expansion scenarios by coupling cellular automata model and system dynamic model in Beijing, China. *Applied Geography*, 26(3-4), pp.323-345.
- He, Chunyang et al., 2008. Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 86(1), pp.79-91.
- Herold, M., Goldstein, N.C. & Clarke, Keith C., 2003. The spatiotemporal form of urban growth: measurement, analysis and modeling. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), pp.286-302.
- Herold, M., Scepan, J. & Clarke, Keith C, 2002. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. *Environment and Planning A*, 34(8), pp.1443-1458.
- Howarth, P.J. & Boasson, E., 1983. Landsat digital enhancements for change detection in urban environments. *Remote Sensing of Environment*, 13(2), pp.149-160.



- Iltanen, S., 2012. Agent-Based Models of Geographical Systems A. J. Heppenstall et al., eds. *Media*, pp.69-84.
- Jensen, J.R. et al., 2007. Introductory Digital Image Processing□: A Remote Sensing Perspective , Third Edition. *Environmental and Engineering Geoscience*, 13(1), pp.895-896.
- Jhung, Y. & Swain, P.H., 1996. Bayesian contextual classification based on modified M-estimates and Markov random fields. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 34(1), pp.67-75.
- Ji, M. & Jensen, J.R., 1996. Fuzzy Training in Supervised Image Classification. *Annals of GIS*, 2(1-2), pp.1-11.
- Kartikeyan, B. et al., 1994. Contextual techniques for classification of high and low resolution remote sensing data. *Title REMOTE SENSING*, 15(5), pp.1037–1051.
- Kocabas, V. & Dragicevic, Suzana, 2006. Assessing cellular automata model behaviour using a sensitivity analysis approach. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(6), pp.921-953.
- Lefsky, M.A. & Cohen, W.B., 2003. Selection of Remotely Sensed Data. In M. A. Wulder & S. E. Franklin, eds. *Remote Sensing of Forest Environments*. Springer US, pp. 13-46.
- Li, L., Sato, Y. & Zhu, H., 2003. Simulating spatial urban expansion based on a physical process. *Landscape and Urban Planning*, 64(1-2), pp.67-76.
- Li, X & Yeh, A., 2001. Calibration of cellular automata by using neural networks for the simulation of complex urban systems. *Environment and Planning A*, 33(8), pp.1445-1462.
- Li, X & Yeh, A., 2002. Urban simulation using principal components analysis and cellular automata for land-use planning. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68(4), pp.341–352.
- Li, X. & Yeh, G.O., 2002. Integration of principal components analysis and cellular automata for spatial decisionmaking and urban simulation. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 45(6), pp.521–529.
- Liu, Y, 2009. *Modelling urban development with geographical information systems and cellular automata*, CRC Press.
- Liu, Yan & Phinn, Stuart R., 2003. Modelling urban development with cellular automata incorporating fuzzy-set approaches. *Computers, Environment and Urban Systems*, 27(6), pp.637-658.

- Lloyd, C D et al., 2004. A comparison of texture measures for the per-field classification of Mediterranean land cover. *International Journal of Remote Sensing*, (March 2012), pp.37-41.
- Longley, Paul & Mesev, V., 2000. On the measurement and generalisation of urban form. *Environment and Planning A*, 32(3), pp.473-488.
- Lu, D. & Weng, Q., 2007. A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), pp.823-870.
- Magnussen, S., Boudewyn, P. & Wulder, M., 2004. Contextual classification of Landsat TM images to forest inventory cover types. *International Journal of Remote Sensing*, 25(12), pp.2421-2440.
- Mandelas, E.A., Hatzichristos, T. & Prastacos, P., 2007. A Fuzzy Cellular Automata Based Shell for Modeling Urban Growth – A Pilot Application in Mesogia Area. *Science*, (2004), pp.1-9.
- Martinuzzi, S., Gould, W. & Ramosgonzalez, O., 2007. Land development, land use, and urban sprawl in Puerto Rico integrating remote sensing and population census data. *Landscape and Urban Planning*, 79(3-4), pp.288-297.
- Masek, J.G., Lindsay, F.E. & Goward, S.N., 2000. Dynamics of urban growth in the Washington DC metropolitan area , 1973 – 1996 , from Landsat observations. *Processing*, 21(18), pp.3473-3486.
- Moeller, M.S., 2000. REMOTE SENSING FOR THE MONITORING OF URBAN GROWTH PATTERNS. *Growth (Lakeland)*.
- Oetter, D.R. et al., 2001. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*, 76(2000).
- Paola, J.D. & Schowengerdt, R.A., 1995. A detailed comparison of backpropagation neural network and maximum-likelihood classifiers for urban land use classification. *Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on*, 33(4), pp.981-996.
- Pathan, S., Sastry, S. & Dhinwa, P., 1993. Urban growth trend analysis using GIS techniques — a case study of the Bombay metropolitan region. *Journal of Remote*, (March 2012), pp.37-41.
- Royer, A., Charbonneau, L. & Bonn, F., 1988. Urbanization and Landsat MSS albedo change in the Windsor-Quebec corridor since 1972. *REMOTE SENSING*, (March 2012), pp.37-41.

- 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. *Computers, Environment and Urban Systems*, 30(6), pp.905-920.
- Santé, I. et al., 2010. Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: A review and analysis. *Landscape and Urban Planning*, 96(2), pp.108-122.
- Shi, W. & Pang, M.Y.C., 2000. Development of Voronoi-based cellular automata-an integrated dynamic model for Geographical Information Systems. *International Journal of Geographical Information Science*, 14(5), pp.455-474.
- Silva, E.. & Clarke, K.C, 2002. Calibration of the SLEUTH urban growth model for Lisbon and Porto, Portugal. *Computers, Environment and Urban Systems*, 26(6), pp.525-552.
- Sipper, M. & Tomassini, M., 1998. An introduction to cellular automata. In *Bio-Inspired Computing Machines*. pp. 1-14.
- Soares-filho, B.S., Coutinho, G. & Pennachin, C.L., 2002. DINAMICA — a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. *Ecological Modelling*, 154, pp.217-235.
- Stevens, D., Dragicevic, S & Rothley, K., 2007. iCity: A GIS-CA modelling tool for urban planning and decision making. *Environmental Modelling & Software*, 22(6), pp.761-773.
- Stuckens, J., Coppin, P.R. & Bauer, M.E., 2000. Integrating Contextual Information with per-Pixel Classification for Improved Land Cover Classification. *Science*, 296(July 1999), pp.282-296.
- Sui, D.Z. & Zeng, H., 2001. Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging desakota regions: a case study in Shenzhen. *Landscape and urban planning*, 53(1-4), pp.37-52.
- Takeyama, M. & Couclelis, H., 1997. Map dynamics: integrating cellular automata and GIS through Geo-Algebra. *International Journal of Geographical Information Science*, 11(1), pp.73-91.
- Taylor, P. & Civco, D.L., 2007. Artificial neural networks for land-cover classification and mapping. *International Journal of Geographical Information Systems*, (March 2012), pp.37-41.

- Taylor, P. et al., 2003. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. *International Journal of Remote Sensing*, (March 2012), pp.37-41.
- Torrens, P.M., 2003. Automata-based models of urban systems. *Advanced Spatial Analysis: The CASA Book of GIS*, ESRI Press, Redlands, CA, pp.61–81
- Wagner, D.F., 1997. Cellular automata and geographic information systems. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), pp.219-234.
- Wang, F., 1990. Fuzzy Supervised Classification of Remote Sensing Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 1(1), pp.194-201.
- Ward, D.P., Murray, a. T. & Phinn, S.R., 2000. A stochastically constrained cellular model of urban growth. *Computers, Environment and Urban Systems*, 24(6), pp.539-558.
- Weber, C., Petropoulou, C. & Hirsch, J., 2005. Urban development in the Athens metropolitan area using remote sensing data with supervised analysis and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 26(4), pp.785-796.
- White, R., 1998. Cities and cellular automata. *Discrete Dynamics in Nature and Society*, 2(2), pp.111-125.
- White, R. & Engelen, G., 1993. Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environment and Planning A*, 25(8), pp.1175-1199.
- White, R. & Engelen, G., 1997. Cellular automata as the basis of integrated dynamic regional modelling. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 24(2), pp.235-246.
- White, R. & Engelen, G., 2000. High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems. *Computers, Environment and Urban Systems*, 24(5), pp.383-400.
- White, R., Engelen, G. & Uljee, I., 1997. The use of constrained cellular automata for high-resolution modelling of urban land-use dynamics. *Environment and Planning B Planning and Design*, 24(3), pp.323-343.
- 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(4), pp.293–308.

- Wu, F., 1996. A linguistic cellular automata simulation approach for sustainable land development in a fast growing region. *Computers, Environment and Urban Systems*, 20(6), pp.367-387.
- Wu, F., 2002. Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions. *International Journal of Geographical Information Science*, 16(8), pp.795–818.
- Wu, Fulong, 1998. SimLand: a prototype to simulate land conversion through the integrated GIS and CA with AHP-derived transition rules. *International Journal of Geographical Information Science*, 12(1), pp.63–82.
- Wu, Fulong & Martin, D., 2002. Urban expansion simulation of Southeast England using population surface modelling and cellular automata. *Environment and Planning A*, 34(10), pp.1855-1876.
- Yang, L. et al., 2003. Urban Land-Cover Change Detection through Sub-Pixel Imperviousness Mapping Using Remotely Sensed Data. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 69(9), pp.1003-1010.
- Yang, X. & Lo, C.P., 2002. Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*, (February 2012), pp.37-41.
- Yeh, A.G.-O. & Li, Xia, 2002. A cellular automata model to simulate development density for urban planning. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 29(3), pp.431-450.
- Yuan, F. et al., 2005. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 98(2-3), pp.317-328.
- Γουγούλας, Αθανάσιος, 2010. *Χωροταξικός Ανηφορικός Σχεδιασμός Ποδηλατοδρόμου σε Ορεινές Περιοχές Νησιών πάνω από 500 μ. υψόμετρα*. ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ.
- Χατζόπουλος, Ιωάννης Ν., 2012. *Γεωχωροπληροφορική Τοπογραφία*, Εκδόσεις Α. ΤΖΙΟΛΑ & ΥΙΟΙ Ο.Ε.