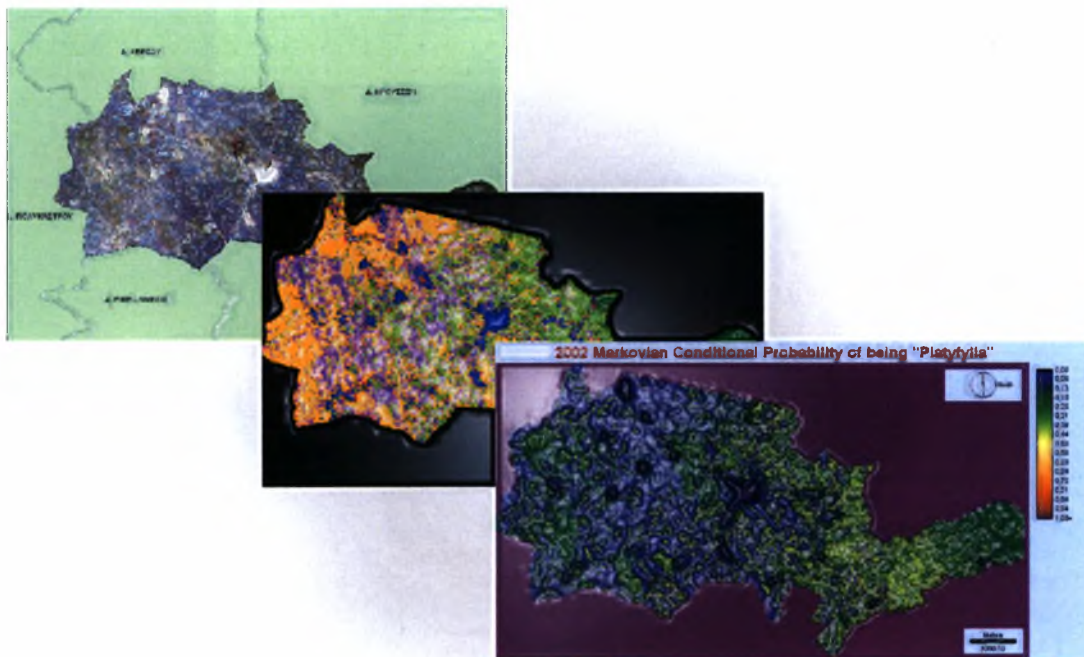


ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ  
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

*ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΚΑΛΤΥΡΩΝ ΓΗΣ ΣΤΟ ΔΗΜΟ  
ΚΙΑΚΙΣ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΑΛΤΣΙΔΩΝ MARKOV*



ΦΟΙΤΗΤΗΣ:

**ΒΑΣΣΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ:

**ΠΕΡΑΚΗΣ Κ.**

ΒΟΛΟΣ, ΟΚΤΩΒΡΙΟΣ 2006



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ & ΚΕΝΤΡΟ ΠΛΗΡΟΦΟΡΗΣΗΣ  
ΕΙΔΙΚΗ ΣΥΛΛΟΓΗ «ΓΚΡΙΖΑ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ»**

Αριθ. Εισ.: 5026/1

Ημερ. Εισ.: 16-10-2006

Δωρεά: Συγγραφέα

Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΧΠΠΑ

2006

ΒΑΣ

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η μοντελοποίηση των αλλαγών χρήσεων / καλύψεων γης, ειδικά εάν γίνεται κατά χωρικά συγκεκριμένο, ολοκληρωμένο και πολυδιάστατο τρόπο, είναι μια σημαντική τεχνική για την προβολή εναλλακτικών σεναρίων στο μέλλον και την κατανόηση του προτύπου των αλλαγών. Τα μοντέλα αλυσίδων Markov είναι εύκολα στην εφαρμογή τους και χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα εργασία για τη μελέτη των διαχρονικών αλλαγών στο Δήμο Κιλκίς. Χρησιμοποιώντας τρεις δορυφορικές εικόνες LANDSAT διαφορετικών ετών, έγινε εφαρμογή του μοντέλου τα αποτελέσματα του οποίου παρατέθηκαν σε πίνακες και πιθανοτικούς χάρτες. Οι αρχικές ενδείξεις για αναμενόμενες αλλαγές στις καλύψεις εδάφους μελλοντικά, επιβεβαιώθηκαν και συσχετίστηκαν μεταξύ τους ώστε να γίνει κατανοητό το πρότυπο των αλλαγών.

**Λέξεις Κλειδιά:** μοντέλα αλλαγών χρήσεων / καλύψεων γης, αλυσίδες Markov, LANDSAT.

## ABSTRACT

Land use / cover change modelling, especially if done in a spatially explicit, integrated and multi-scale way, is an important technique for the projection of alternative scenarios in the future and the comprehension of the form of changes. Markov chain models are easily applicable and were used in the present work for the study of diachronic changes in the Municipality of Kilkis. The model was applied using three LANDSAT satellite images of different years, the results of which were mentioned in tables and probability maps. The initial clues on expected changes in land covers in the future were confirmed and interrelated so that the model of changes becomes comprehensible.

**Key Words:** land use / cover change models, Markov chains, LANDSAT.

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Η επιτυχής ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας υπήρξε η δυσκολότερη δοκιμασία για τη λήψη του διπλώματος των Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης. Για την διεκπεραίωση της οφείλω να ευχαριστήσω ορισμένους ανθρώπους για τις συμβουλές, τη βοήθεια και τη στήριξη τους στην προσπάθεια αυτή.

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας κ. Περάκη Κωνσταντίνο για την επιλογή του θέματος, τη βοήθεια στη συλλογή στοιχείων και τις καταλυτικές συμβουλές και υποδείξεις του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας.

Εν συνεχεία θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Φαρασλή Ιωάννη για τις απίστευτες τεχνικές συμβουλές και τη βοήθεια του στα δύσκολα σημεία της διπλωματικής που ουσιαστικά ξεμπλόκαρε οποιοδήποτε πρόβλημα παρουσιαζόταν στις διαδικασίες των προγραμμάτων.

Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω όλους τους φίλους που έκανα στα πέντε αυτά χρόνια των σπουδών και ιδιαίτερα τους Κοτιλέα, Λέντζο, Γιάννη, Καραχάλιο, καθώς και τη Ντόντη Κατερίνα, για όλες τις αξέχαστες στιγμές που μου χάρισαν. Ένα ευχαριστώ και στους φίλους μου στο Κιλκίς που ήταν πάντοτε δίπλα μου όποτε τους χρειαζόμουν.

Τέλος δεν θα μπορούσα να παραλείψω την οικογένειά μου που την ευχαριστώ θερμά για την ηθική και οικονομική στήριξη όλα αυτά τα χρόνια και τη παροχή όλων των εφοδίων ώστε να μπορέσω να επιτύχω τους μέχρι στιγμής στόχους μου.

<u>ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ</u>	σελ.
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ</b> .....	i
<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ</b> .....	i
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ</b> .....	v
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ</b> .....	vi
<b>ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ</b> .....	viii
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΣΚΟΠΟΣ-ΣΤΟΧΟΣ</b> .....	1
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ</b> .....	4
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – Ο ΔΗΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ</b> .....	11
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ .....	11
3.2 ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ - ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ .....	13
3.3. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ: ΔΙΑΣΠΟΡΑ, ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΜΕΝΟΙ ΥΠΟΔΟΧΕΙΣ.....	16
3.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΟ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΜΕΛΕΤΗΣ.....	18
3.4.1 ΚΙΛΚΙΣ 1986-1987 .....	18
3.4.2 ΚΙΛΚΙΣ 2001 .....	21
3.5. ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ - ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ....	25
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ / ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΕΛΑΦΟΥΣ</b> .....	28
4.1. ΟΡΙΣΜΟΙ.....	28
4.1.1. ΕΛΑΦΟΣ.....	28
4.1.2. ΚΑΛΥΨΗ ΕΛΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΛΑΦΟΥΣ .....	28
4.1.3. ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΛΥΨΗΣ / ΧΡΗΣΗΣ ΕΛΑΦΟΥΣ.....	29
4.2. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....	30
4.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....	33
4.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ .....	36
4.4.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (STATISTICAL AND ECONOMETRIC MODELS) .....	36
4.4.2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ (SPATIAL INTERACTION MODELS) .....	37
4.4.3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ (OPTIMIZATION MODELS) .....	38

4.4.4. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (INTEGRATED MODELS) .....	40
4.5. ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΛΥΣΙΔΩΝ MARKOV (MARKOV CHAIN MODELS) .....	42
4.5.1. ΗΜΙ-MARKOBIANA ΜΟΝΤΕΛΑ (SEMI-MARKOV MODELS) .....	48
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΙ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ</b> .....	49
5.1. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ KANNABΟΥ ΚΑΙ PIXEL .....	49
5.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ .....	51
5.2.1. ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (VECTOR) .....	51
5.2.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕ ΜΟΡΦΗ KANNABΟΥ (RASTER) .....	52
5.3. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ .....	53
5.3.1. ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ (ΚΑΝΑΛΙΩΝ) .....	53
5.3.2. ΓΕΩΔΑΙΤΗΣΗ - ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ .....	53
5.4. ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ LANDSAT .....	57
5.5. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ .....	60
5.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ .....	60
5.5.2. ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ .....	61
5.5.3. ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ (SUPERVISED CLASSIFICATION) .....	62
5.6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ Δ. ΚΙΛΚΙΣ .....	63
5.6.1. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ 1986 .....	67
5.6.2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ 1987 .....	71
5.7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑΣ (MAXIMUM LIKELIHOOD CLASSIFICATION) .....	77
5.7.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ 1986 .....	79
5.7.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ 1987 .....	80
5.7.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ 2001 .....	81
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ MARKOV</b> .....	82
6.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MARKOV ΣΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ .....	82
6.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ MARKOV ΣΤΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ .....	86
6.2.1. ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΕΤΟΣ 2002 .....	90
6.2.2. ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΕΤΟΣ 2005 .....	101
6.2.3. ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΕΤΟΣ 2016 .....	110
<b>ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ</b> .....	118

<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</b> .....	122
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ</b> .....	128

### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 5.1. Διασπορά σημείων επίγειου ελέγχου.....	55
Εικόνα 5.2. Αντιπαράθεση δορυφορικής εικόνας 1986 πριν και μετά την εφαρμογή της γεωμετρικής διόρθωσης.....	56
Εικόνα 5.3. Προσαρμογή περιοχής μελέτης.....	65
Εικόνα 5.4. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αστικής γης 1986.....	67
Εικόνα 5.5. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αρδευόμενης καλλιέργειας 1986.....	68
Εικόνα 5.6. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας ξερικής καλλιέργειας 1986.....	68
Εικόνα 5.7. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας βοσκοτόπων 1986.....	69
Εικόνα 5.8. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους πλατύφυλλων 1986.....	70
Εικόνα 5.9. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους δρυός 1986.....	70
Εικόνα 5.10. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αστικής γης 1987.....	71
Εικόνα 5.11. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αρδευόμενη καλλιέργεια 1987.....	72
Εικόνα 5.12. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας ξηρική καλλιέργεια 1987.....	72
Εικόνα 5.13. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας βοσκοτόπων 1987.....	73
Εικόνα 5.14. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους πλατύφυλλων 1987.....	73
Εικόνα 5.15. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους δρυός 1987.....	74

Εικόνα 5.16. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αστικής γης 2001.....	74
Εικόνα 5.17. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αρδευόμενης καλλιέργειας 2001.....	75
Εικόνα 5.18. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας ξερικής καλλιέργειας 2001.....	75
Εικόνα 5.19. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας βοσκοτόπων 2001.....	76
Εικόνα 5.20. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους πλατύφυλλων 2001.....	76
Εικόνα 5.21. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους δρυός 2001.....	77
Εικόνα 5.22. Ταξινομημένη εικόνα δήμου Κιλκίς 1986 .....	79
Εικόνα 5.23. Ταξινομημένη εικόνα δήμου Κιλκίς 1987.....	80
Εικόνα 5.24. Ταξινομημένη εικόνα δήμου Κιλκίς 2001.....	81
Διάγραμμα 7.1. Διαχρονική εξέλιξη καλύψεων γης στο Δήμο Κιλκίς.....	120

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Αναθεωρήσεις όρων και εννοιών που αφορούν τις διαχρονικές αλλαγές.....	4
Πίνακας 2.2. Land Cover changes 1990 – 2000 (in hectares).....	7
Πίνακας 3.1. Πληθυσμός αστικών κέντρων και μεταβολή 1981-01.....	12
Πίνακας 3.2. Μικτή πυκνότητα του Δήμου Κιλκίς, του Νομού Κιλκίς και της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας.....	13
Πίνακας 3.3. Κατανομή έκτασης του Δήμου Κιλκίς και του Νομού Κιλκίς κατά βασικές κατηγορίες χρήσεων (χιλιάδες στρέμματα).....	14
Πίνακας 3.4. Πληθυσμός Δήμου Κιλκίς 1991.....	19
Πίνακας 3.5. Βασική έρευνα διάρθρωσης γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων (απογραφή γεωργίας-κτηνοτροφίας έτους 1991).....	20
Πίνακας 3.6. Αριθμός και όγκος νέων οικοδομών και αριθμός νέων κατοικιών, 1994-99.....	22
Πίνακας 3.7. Μέσος αριθμός νέων κατοικιών 1994-99.....	22



Πίνακας 3.8. Πληθυσμός Δήμου Κιλκίς 2001.....	23
Πίνακας 3.9. Βασική έρευνα διάρθρωσης γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων (απογραφή γεωργίας-κτηνοτροφίας έτους 1999/2000).....	24
Πίνακας 5.1. Χαρακτηριστικά δορυφορικών εικόνων p184r32.....	52
Πίνακας 5.4. Η σειρά δορυφόρων LANDSAT.....	57
Πίνακας 5.5. Χαρακτηριστικά MSS και TM LANDSAT 4,5.....	59
Πίνακας 5.6. Φασματικά κανάλια ETM (LANDSAT 7) και εφαρμογές τους.....	59
Πίνακας 5.7. Πίνακας ταξινομημένων pixel ανά κατηγορία (1986).....	79
Πίνακας 5.8. Πίνακας ταξινομημένων pixel ανά κατηγορία (1987).....	80
Πίνακας 5.9. Πίνακας ταξινομημένων pixel ανά κατηγορία (2001).....	81
Πίνακας 6.1. Περιοχές μετάβασης pixel (Transition areas) 86-87 με προβολή στο έτος 2001.....	89
Πίνακας 6.2. Πιθανότητες μετάβασης (Transition probabilities) 86-87 με προβολή στο έτος 2001.....	89
Πίνακας 6.3. Περιοχές μετάβασης pixel (Transition areas) 86-01 με προβολή στο έτος 2002.....	90
Πίνακας 6.4. Πιθανότητες μετάβασης (Transition probabilities) 86-01 με προβολή στο έτος 2002.....	90
Πίνακας 6.5. Εκτάσεις ξερικών καλλιεργειών έτους 2002.....	94
Πίνακας 6.6. Μεταβολές pixel ανά κατηγορία 2001-2002.....	94
Πίνακας 6.7. Περιοχές μετάβασης pixel (Transition areas) 86-01 με προβολή στο έτος 2005.....	101
Πίνακας 6.8. Πιθανότητες μετάβασης (Transition probabilities) 86-01 με προβολή στο έτος 2005.....	101
Πίνακας 6.9. Εκτάσεις ξερικών καλλιεργειών έτους 2005.....	103
Πίνακας 6.10. Μεταβολές pixel ανά κατηγορία 2001-2005.....	103
Πίνακας 6.11. Περιοχές μετάβασης pixel (Transition areas) 86-01 με προβολή στο έτος 2016.....	110
Πίνακας 6.12. Πιθανότητες μετάβασης (Transition probabilities) 86-01 με προβολή στο έτος 2016.....	110
Πίνακας 6.13. Μεταβολές pixel ανά κατηγορία 2001-2016.....	111

**ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΧΑΡΤΩΝ**

Χάρτης 6.1. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αστικής γης» για το έτος 2002.....	95
Χάρτης 6.2. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αρδευόμενων καλλιεργειών» για το έτος 2002 (επεξεργασμένη εικόνα).....	96
Χάρτης 6.3. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «ξερικών καλλιεργειών» για το έτος 2002.....	97
Χάρτης 6.4. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «βοσκοτόπων» για το έτος 2002.....	98
Χάρτης 6.5. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους πλατύφυλλων» για το έτος 2002.....	99
Χάρτης 6.6. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους δρυός» για το έτος 2002.....	100
Χάρτης 6.7. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αστικής γης» για το έτος 2005.....	104
Χάρτης 6.8. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αρδευόμενων καλλιεργειών» για το έτος 2005 (επεξεργασμένη εικόνα).....	105
Χάρτης 6.9. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «ξερικών καλλιεργειών» για το έτος 2005.....	106
Χάρτης 6.10. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «βοσκοτόπων» για το έτος 2005.....	107
Χάρτης 6.11. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους πλατύφυλλων» για το έτος 2005.....	108
Χάρτης 6.12. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους δρυός» για το έτος 2005...	109
Χάρτης 6.13. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αστικής γης» για το έτος 2016.....	112
Χάρτης 6.14. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αρδευόμενων καλλιεργειών» για το έτος 2016 (επεξεργασμένη εικόνα).....	113
Χάρτης 6.15. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «ξερικών καλλιεργειών» για το έτος 2016.....	114
Χάρτης 6.16. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «βοσκοτόπων» για το έτος 2016.....	115
Χάρτης 6.17. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους πλατύφυλλων» για το έτος 2016.....	116
Χάρτης 6.18. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους δρυός» για το έτος 2016...	117

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1<sup>ο</sup>: ΣΚΟΠΟΣ-ΣΤΟΧΟΣ

Η επιλογή του θέματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας έγινε με σκοπό την έρευνα που θα συνδύαζε δυο πολύ σύγχρονα εργαλεία όπως αυτά της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Τα εργαλεία αυτά αποτελούν το παρόν και το μέλλον στη μελέτη της γήινης επιφάνειας και μπορούν να χρησιμοποιηθούν από πληθώρα επιστημονικών τομέων για τη χάραξη πολιτικών και τη λήψη μέτρων αντιμετώπισης προβλημάτων.

Πέρα από την επιλογή του ευρύτερου πλαισίου της εργασίας, η επιλογή της περιοχής για την οποία θα πραγματοποιούνταν μια τέτοιου είδους μελέτη αποτέλεσε κύριο στοιχείο. Αρχικά η επιλογή της περιοχής μελέτης έγινε λόγω υποκειμενικών κριτηρίων και κυρίως της καταγωγής του μελετητή. Ωστόσο, αν η περιοχή δεν παρουσίαζε ιδιαίτερο ενδιαφέρον δεν θα αποτελούσε αυτοσκοπό το να κάνει κανείς μια μελέτη για τον τόπο του.

Ο δήμος Κιλκίς είναι ένας δήμος με αγροτικό χαρακτήρα και εμφανίζει έντονη συσσώρευση πληθυσμού στην πόλη του Κιλκίς. Η στήριξη της οικονομίας στον πρωτογενή τομέα οδήγησε στην εντατικοποίηση των καλλιεργειών προκειμένου να εξασφαλιστεί το απαραίτητο εισόδημα του πληθυσμού. Στην συνέχεια η Κοινή Αγροτική Πολιτική (ΚΑΠ), με τα μέτρα της για επιδότηση συγκεκριμένων τύπων καλλιεργειών οδήγησε στην επικράτηση των σιτηρών ως κύρια καλλιέργεια και η συνεχόμενη εφαρμογή τους ενέτεινε την εντατικοποίηση.

Επιπρόσθετα, η ραγδαία αύξηση του πληθυσμού του δήμου κατά την τελευταία δεκαετία οδήγησε στην ανάπτυξη της οικοδομικής δραστηριότητας προκειμένου να στεγαστεί ο ολοένα αυξανόμενος πληθυσμός. Η κατασκευή των απαραίτητων συμπληρωματικών υποδομών για την εξυπηρέτηση των κατοίκων έρχεται να προστεθεί στην πίεση των αλλαγών κάλυψης εδάφους που παρατηρούνται. Ιδίως στην πόλη του Κιλκίς και από προσωπική εμπειρία του γράφοντος, η επέκταση του πολεοδομικού ιστού τα τελευταία χρόνια ήταν κάτι παραπάνω από έντονη. Τέλος, τα μέτρα ανάπτυξης που εφαρμόστηκαν από την περιφέρεια κεντρικής Μακεδονίας και το νομό Κιλκίς καθώς και η γεινίαση με την Θεσσαλονίκη, οδήγησαν στη

δημιουργία της ΒΙΠΕ Κιλκίς αλλά και την χωροθέτηση διάσπαρτων βιομηχανιών στον χώρο. Η ΒΙΠΕ πλέον καταλαμβάνει αρκετά μεγάλη έκταση ενώ είναι παράγοντας προσέλκυσης νέων μονάδων καθώς και εργατικού δυναμικού γεγονός που ενισχύει τις αλλαγές στην κάλυψη εδάφους που αφορά το δομημένο χώρο.

Από τα παραπάνω γίνεται σαφές ότι από την εφαρμογή του μοντέλου Markov αναμένουμε αύξηση των κατηγοριών της αστικής γης και των ξερικών καλλιεργειών όπου υπάγονται τα σιτηρά. Στόχος δηλαδή είναι η απόδειξη των ενδείξεων αυτών και η μελέτη της τάσης των υπολοίπων κατηγοριών που εμφανίζουν διαχρονικά ώστε να δούμε μια μελλοντική εικόνα του δήμου. Προφανώς από την υπόθεση της αύξησης των δυο κατηγοριών κάποιες άλλες κατηγορίες πρέπει αντίστοιχα να μειωθούν. Το πόσο έντονες θα είναι οι αυξομειώσεις αυτές και πως θα επέλθει ισορροπία στο σύστημα είναι ο τελικός σκοπός της εργασίας. Για το λόγο αυτό πραγματοποιούνται διαδοχικές προβολές στο μέλλον και μελετώνται τα αποτελέσματα ώστε τελικά να γίνει κατανοητό το πρότυπο των αλλαγών. Το πρότυπο θα παρουσιαστεί με τη μορφή διαγραμμάτων όπου θα εμφανίζονται οι διαχρονικές μεταβολές των καλύψεων ανά έτη και κυρίως με πιθανοτικούς χάρτες καθώς το μοντέλο δεν δίνει ακριβές αποτέλεσμα αλλά πιθανότητες.

Για την επίτευξη του στόχου της εργασίας, τα βασικά στάδια που αναφέρει ο Μηλιαρέσης (2003) είναι σε γενικές γραμμές αυτά που εφαρμόστηκαν. Μερικά από αυτά παρακάμφθηκαν και άλλα προστέθηκαν όμως η γενική φιλοσοφία της διαδικασίας παρέμεινε η ίδια η οποία συνοψίζεται στα παρακάτω βήματα:

- i. Την επιλογή των δορυφορικών εικόνων. Στην φωτοερμηνεία χρήσεων-καλύψεων γης έχουν χρησιμοποιηθεί όχι μόνο σύγχρονες πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες αλλά και φωτογραφίες που έχουν ληφθεί από τους κατασκοπευτικούς δορυφόρους πρώτης γενιάς και το διαστημικό λεωφορείο. Επιπλέον έχουν χρησιμοποιηθεί εικόνες (ραντάρ) από ενεργητικά καταγραφικά συστήματα ή συνδυασμός εικόνων που έχουν ληφθεί από ενεργητικά και παθητικά συστήματα.
- ii. Την ραδιομετρική - γεωμετρική διόρθωση των εικόνων και την παραγωγή ορθοφωτοχάρτη με την ολοκλήρωση θεματικών (ονοματολογία οικισμών, κ.α.) ή και γεωμετρικών δεδομένων (π.χ. διοικητικά όρια) από χάρτες.

- iii. Την επιλογή βασικών κατηγοριών χρήσεων-καλύψεων γης) (ανάλογα με το θεματικό πεδίο και την περιοχή εφαρμογής) που θα ερμηνευτούν είτε ποιοτικά είτε ποσοτικά από την δορυφορική φωτογραφία όπως: αστική γη, δασική γη, γεωργική, υδάτινες επιφάνειες κ.α.
- iv. Την επιλογή τους συστήματος ταξινόμησης χρήσεων γης της κλίμακας και της ελάχιστης εδαφικής μονάδας (ελάχιστη έκταση).
- v. Την επιλογή της μεθοδολογίας ψηφιακής επεξεργασίας εικόνων (ταξινόμηση, λόγοι, κ.α.) εάν αποφασιστεί ο ποσοτικός προσδιορισμός των χρήσεων-καλύψεων γης.
- vi. Την επιλογή των καναλιών της (πολυφασματικής) εικόνας που θα χρησιμοποιηθούν στην ποιοτική φωτοερμηνεία.
  - Για παράδειγμα εάν χρησιμοποιηθεί εικόνα του θεματικού χαρτογράφου μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια χρωματική σύνθεση με αντιστοιχία των καναλιών 3,2,1 στο κόκκινο, πράσινο, μπλε έτσι ώστε να προκύψει μια έγχρωμη απεικόνιση φυσικού χρώματος στην οθόνη του ηλεκτρονικού υπολογιστή.
  - Στην περίπτωση που πρέπει να εκτιμηθούν οι αλλαγές στις χρήσεις / καλύψεις γης σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα πρέπει να εντοπισθούν τα δεδομένα (χάρτες, φωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες) που θα καταγράφουν την κατάσταση στην αρχή του διαστήματος.
- vii. Μια μεθοδολογία δημιουργίας ψηφιακής εικόνας με ταξινομήσεις (cluster) από τα επιμέρους επίπεδα φωτοερμηνείας με βάση την επικρατούσα κάλυψη / χρήση γης σε ένα εικονοστοιχείο και τον καθορισμό των σχέσεων (αλγόριθμο) της άλγεβρας εικόνων που θα προσδιορίζει την επικρατούσα χρήση γης.
- viii. Προσδιορισμό της ακρίβειας της ταξινόμησης που προέκυψε με σύγκριση με χάρτες και δεδομένα επιγείου ελέγχου.

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2<sup>ο</sup>: ΕΙΣΑΓΩΓΗ**

Ο ρυθμός, το μέγεθος και η χωρική έκταση των ανθρωπογενών αλλαγών στην επιφάνεια του εδάφους είναι πρωτόγνωρες. Για να γίνουν ουσιαστικά\_αντιληπτές οι πρόσφατες αλλαγές και να παραχθούν σενάρια για τις μελλοντικές τροποποιήσεις του γήινου συστήματος, η επιστημονική κοινότητα χρειάζεται ποσοτικά, χωρικά δεδομένα και στοιχεία όσον αφορά τον τρόπο με τον οποίο οι καλύψεις εδάφους έχουν αλλάξει από την ανθρώπινη χρήση κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών.

Κατά τη διάρκεια των τελευταίων ετών, η κατανόηση των προτύπων που διέπουν και των λόγων που προκαλούν την αλλαγή χρήσης του εδάφους έχει διαφοροποιηθεί κατά σημαντικό τρόπο (βλ. πίνακα 2.1) (Lambin και Geist, 2001).

Πίνακας 2.1. Αναθεωρήσεις όρων και εννοιών που αφορούν τις διαχρονικές αλλαγές

Πριν	Σήμερα
Μετατροπές κάλυψης εδάφους	Τροποποιήσεις κάλυψης εδάφους γενικά πιο επικρατούσες στο πρόσφατο παρελθόν
Συνήθως των τροπικών δασών	Από όλους τους τύπους κάλυψης, συμπεριλαμβανομένων βοσκοτόπων, ανοικτών δασών, περί-αστικών περιοχών, υδροβιοτόπων
Τοπία υποτιθέμενα ανεπηρέαστα πριν	Τοπία που αλλάζουν από τους ανθρώπους για χιλετίες
Μόνιμες αλλαγές	Σύνθετες και αντιστρέψιμες τροχιές αλλαγής, καλύψεις εδάφους σε μια σταθερή κατάσταση ροής
Χωρικά ομοιογενής	Υψηλή χωρική ετερογένεια, η κατάτμηση τοπίων είναι σημαντική
Λόγω της αύξησης πληθυσμού	Επίσης λόγω των αντιδράσεων των ανθρώπων στις αλλαγές οικονομικών ευκαιριών και πολιτικών, με βιοφυσικά και κοινωνικοοικονομικά γεγονότα ώθησης.
Συνήθως τοπικά	Με επιρροές από μακρινά αστικά κέντρα, που ενισχύονται ή μειώνονται από την παγκοσμιοποίηση, με ισχυρή τοπική-παγκόσμια αλληλεπίδραση
Συνήθως επέκταση της γεωργίας	Η εντατικοποίηση και η διαφοροποίηση χρήσης εδάφους είναι κοινές αντιδράσεις στις πιέσεις και τις ευκαιρίες,

Ο αντίκτυπος εξαρτάται από το μέγεθος της βιοφυσικής αλλαγής	Ο αντίκτυπος εξαρτάται συνήθως από την ευπάθεια των ανθρώπων και των περιοχών
Παντού	Χωρική συγκέντρωση σε συγκεκριμένα σημεία (hot spots) της αλλαγής.

Οι αλλαγές κάλυψης εδάφους δεν είναι απλές διαδικασίες. Υπάρχουν σύνθετα ταυτόχρονα πρότυπα αλλαγών κάλυψης εδάφους, που κυμαίνονται από τροποποιήσεις στην υπάρχουσα κάλυψη του εδάφους μέχρι μετατροπές. Υπάρχει μια λειτουργική πολυπλοκότητα στο εσωτερικό των τύπων των αλλαγών κάλυψης γης και μια δομική πολυπλοκότητα μεταξύ τους τόσο από την άποψη των χωρικών ρυθμίσεων όσο και των χρονικών προτύπων της αλλαγής. Η αλλαγή κάλυψης εδάφους πρέπει να μετρηθεί ως προς την πολυπλοκότητά της προκειμένου να γίνει κατανοητή πλήρως. Η αλλαγή κάλυψης εδάφους για καιρό έχει αντιμετωπισθεί ως συνεχής, αλλά στην πραγματικότητα είναι μια διακριτή διαδικασία, με περιόδους έντονης αλλαγής. Προκαλείται συχνά από ένα ακραίο βιοφυσικό γεγονός (π.χ. πλημμύρα, πυρκαγιά), το οποίο μπορεί να αρχίσει μια σειρά αλλαγών κατά μήκος του συστήματος.

Είναι σημαντικό να ορισθεί μια διαφοροποίηση μεταξύ της κάλυψης εδάφους και της χρήσης εδάφους όταν μελετώνται τα πρότυπα των αλλαγών. Οι απλές ταξινομήσεις κάλυψης εδάφους δεν είναι ικανοποιητικές για την ανάλυση των χώρο-χρονικών αλλαγών. Η λειτουργία της χρήσης του εδάφους ενός τύπου κάλυψης εδάφους (π.χ. ένα δάσος) πρέπει να είναι γνωστή για να γίνουν αντιληπτές οι αλλαγές στην κάλυψη εδάφους. Πράγματι, τα δάση θα εξελιχθούν διαφορετικά ανάλογα με τη λειτουργία χρήσης του εδάφους τους. Υπάρχει μια υψηλή χωρική ετερογένεια στα πρότυπα της αλλαγής χρήσης του εδάφους σε τοπικό επίπεδο. Οι διαδικασίες εντατικοποίησης και επέκτασης μπορούν να συμβούν ταυτόχρονα σε μια περιοχή. Επομένως, δεν μπορεί απλά να γενικευτούν περιφερειακές αναφορές αλλαγών κάλυψης εδάφους βασισμένες σε μια τοπική περιπτώσιολογική μελέτη (case study). Άντ' αυτού, χρειάζεται ένα δίκτυο περιπτώσιολογικών μελετών που αντιπροσωπεύει τη χωρική ετερογένεια της περιοχής και μιας πολύ-επίπεδης προσέγγισης που επιτρέπει μια σύνδεση μεταξύ των περιφερειακής και τοπικής κλίμακας δυναμικών.

Για καιρό η προσοχή ήταν στραμμένη στη παγκόσμια πτυχή της αλλαγής κάλυψης εδάφους επειδή χρειάζονταν δεδομένα για εισαγωγή που αφορούσαν την ανάλυση του κύκλου του άνθρακα και τη παγκόσμια μοντελοποίηση των αλλαγών. Σήμερα ωστόσο, οι τοπικές και περιφερειακές πτυχές των αλλαγών της χρήσης / κάλυψης του εδάφους προκαλούν επίσης ενδιαφέρον για μελέτη. Τα στοιχεία που αφορούν τις αλλαγές της κάλυψης του εδάφους πρέπει να είναι κατάλληλα για τους τοπικούς ιθύνοντες και αυτά τα στοιχεία πρέπει να συνδεθούν με τα επίγεια στοιχεία όσον αφορά τις ανθρώπινες δραστηριότητες.

Η ανάπτυξη της τηλεπισκόπισης και της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, κατόρθωσε να παρέχει μια σημαντική πηγή δεδομένων για την χαρτογράφηση των χρήσεων και καλύψεων γης και την περιβαλλοντική επίβλεψη. Παλαιότερα η χαρτογράφηση των εδαφών γινόταν με την βοήθεια της αεροφωτογραφίας, μια διαδικασία δύσκολη και χρονοβόρα λόγω της μικρής έκτασης εδάφους που μπορούσε να καταγραφεί. Όμως, η τεχνολογική πρόοδος των δορυφόρων και των καταγραφικών τους συστημάτων για την επιφάνεια του εδάφους απλοποίησε τα πράγματα. Πλέον οι δορυφόροι καταγράφουν εικόνες της γήινης επιφάνειας μεγάλης έκτασης και υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας. Με τον χρόνο περιοδικότητας των λήψεων να κυμαίνεται σε μερικές ημέρες, τα δεδομένα αναβαθμίζονται συνεχώς και ο έλεγχος μιας περιοχής είναι πλήρης και συνεχής. Ωστόσο, η απλή παρατήρηση των δορυφορικών εικόνων δεν μπορεί να παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα για ενδεχόμενες αλλαγές στην κάλυψη του εδάφους. Χρειάζεται ένα εργαλείο χωρικής ανάλυσης που να μπορεί να επεξεργαστεί τα δεδομένα και να παράγει και να αναλύει τα αποτελέσματα. Το εργαλείο αυτό είναι τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - GIS.

Η ανάπτυξη των GIS (Geographic Information Systems) τα τελευταία 25 χρόνια έχει ανοίξει νέους ορίζοντες στη διαχείριση και το χειρισμό των χωρικών συνόλων δεδομένων. Εντούτοις, ο τομέας των GIS για πάρα πολύ καιρό είχε αγνοήσει την πιθανή συμβολή που θα μπορούσε να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση πρόσφατων ερευνών των θεωρητικών και ποσοτικών γεωγράφων με τις ανερχόμενες τεχνολογικές εξελίξεις στα λειτουργικά και στα λογισμικά συστήματα. Ενώ οι εξελίξεις στράφηκαν κυρίως προς την αποθήκευση, την ανάκτηση και την οπτικοποίηση των χωρικών πληροφοριών, η πρόοδος της ενσωμάτωσης της χωρικής



στατιστικής ανάλυσης και μοντελοποίησης στα GIS ήταν μικρή. Σιγά-σιγά η χωρική ανάλυση έγινε ο κύριος στόχος των προγραμμάτων και μπόρεσαν να αναπτυχθούν διάφορα μοντέλα χωρικών συσχετίσεων. Στην προκείμενη περίπτωση των διαχρονικών αλλαγών στις καλύψεις εδάφους, διάφορες μέθοδοι και αλγόριθμοι αναπτύχθηκαν όπως η διαφοροποίηση του δείκτη βλάστησης, σύγκριση επιβλεπόμενων αλλά και μη επιβλεπόμενων ταξινομήσεων κ.α.

Η χρήση των μοντέλων διαχρονικών αλλαγών καλύψεων εδάφους στην Ελλάδα δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένη. Οι μελέτες που έχουν πραγματοποιηθεί είναι λίγες και αφορούν κυρίως την επιστήμη της γεωλογίας και της δασολογίας ενώ έχουν γίνει κυρίως σε προβληματικές περιοχές για να αναλύσουν την έκταση των ζημιών και όχι για να κάνουν μελλοντική πρόβλεψη. Ωστόσο, η ΕΕΑ (European Environment Agency) σε συνεργασία με την Ευρωπαϊκή Επιτροπή έχει πραγματοποιήσει εκτεταμένες μελέτες τόσο για την Ευρώπη, όσο και ανά κράτος ξεχωριστά.

Η μελέτη που έγινε για ολόκληρη την Ελλάδα αφορά τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στις καλύψεις γης με βάση το Corine, από το 1990 στο 2000. Η διαδικασία περιλάμβανε την σύγκριση των δεδομένων του 1990 με αυτά του 2000 και την παρουσίαση των αλλαγών τόσο ποσοτικά όσο και χωρικά. Παρακάτω φαίνονται οι ποσοτικές αλλαγές στον πίνακα 2.2 και στην εικόνα 2.1 του παραρτήματος η χωρική τους κατανομή.

Πίνακας 2.2. Land Cover changes 1990 – 2000 (in hectares)

	<b>Artificial surfaces</b>	<b>Agricultural areas</b>	<b>Forest and semi natural areas</b>	<b>Wetlands</b>	<b>Water bodies</b>
<b>Artificial surfaces</b>	254.116	107	375		135
<b>Agricultural areas</b>	23.964	5.275.347	395	13	817
<b>Forest and semi natural areas</b>	11.271	9.745	7.437.478	25	2.402
<b>Wetlands</b>	121	406		62.857	515
<b>Water bodies</b>	462	1.682	1.737	1.087	123.940

Πηγή: Ε.Ε.Α. και ίδια επεξεργασία

## Παράγοντες των αλλαγών χρήσης του εδάφους

Η ανάπτυξη των μοντέλων που μελετούν την αλλαγή χρήσης / κάλυψης του εδάφους, για να παράγουν μελλοντικές προβολές, απαιτεί πρώτα μια καλή κατανόηση των σημαντικότερων ανθρώπινων αιτιών των αλλαγών κάλυψης εδάφους στα διάφορα γεωγραφικά και ιστορικά πλαίσια. Απαιτεί επίσης μια κατανόηση για το πώς οι αλλαγές στο κλίμα και την παγκόσμια βιογεωχημεία έχουν επιπτώσεις και στη χρήση εδάφους και στην κάλυψη εδάφους, και αντίστροφα, για να ενοποιηθούν συστήματα ανατροφοδότησης πληροφοριών. Τέτοια κατανόηση αποκομίζεται μέσω μιας συλλογής περιπτώσιολογικών μελετών των δυναμικών της χρήσης του εδάφους, οι οποίες δίνουν έμφαση στο πώς οι άνθρωποι παίρνουν αποφάσεις για την χρήση του εδάφους. Η σύνδεση των πληροφοριών του επιπέδου των νοικοκυριών με δεδομένα τηλεπισκόπισης σιγά-σιγά γίνεται ένα σημαντικό εργαλείο για να αυξηθεί η κατανόηση των δυναμικών της χρήσης του εδάφους.

Οι διαθέσιμες περιπτώσιολογικές μελέτες τονίζουν, παραδείγματος χάριν, ότι υπάρχει μια σύνθετη σχέση μεταξύ του πληθυσμού και της αλλαγής χρήσης / κάλυψης του εδάφους. Αφ' ενός, τα στοιχεία περιπτώσιολογικής μελέτης υποστηρίζουν το συμπέρασμα ότι, στο χρονικό διάστημα μερικών δεκαετιών, οι απλές απαντήσεις που βρίσκονται στην αύξηση πληθυσμών, την φτώχεια, και τις υποδομές σπάνια παρέχουν μια επαρκή κατανόηση της αλλαγής χρήσης / κάλυψης εδάφους. Αντιθέτως, οι μεμονωμένες και κοινωνικές αντιδράσεις προκύπτουν από τους μεταβαλλόμενους οικονομικούς όρους, διαμέσου κρατικών παραγόντων. Οι ευκαιρίες και οι περιορισμοί για τις νέες χρήσεις εδάφους δημιουργούνται από αγορές και πολιτικές, που επηρεάζονται όλο και περισσότερο από παγκόσμιους παράγοντες.

Ακραία βιοφυσικά γεγονότα προκαλούν πολλές φορές περαιτέρω αλλαγές. Η σύγκρουση των ανθρώπινων παρεμβάσεων με τις φυσικές διεργασίες του περιβάλλοντος, οδηγεί σε συγκεκριμένους τρόπους αλλαγής χρήσης του εδάφους. Αφ' ετέρου, η εμβάθυνση από μελέτες σε πιο μακροχρόνια χρονική κλιμάκωση δείχνουν ότι και οι αυξήσεις και οι μειώσεις ενός δεδομένου πληθυσμού είχαν πάντα και ασκούν ακόμα τεράστιες επιδράσεις επάνω στις αλλαγές χρήσης / κάλυψης εδάφους. Επομένως, μια ανάλυση πληθυσμών σε περισσότερα επίπεδα απαιτείται, με εξέταση

συγκεκριμένων δημογραφικών μεταβλητών και χαρακτηριστικών γνωρισμάτων κύκλων ζωής.

Η μαζική-εσωτερική μετανάστευση σε δασικές, χαμηλής πληθυσμιακής πυκνότητας περιοχές, είναι ο κύριος δημογραφικός παράγοντας πίσω από τις διαδικασίες επέκτασης, που οδηγούν στην αρχική ή συνοριακή μετατροπή της δασικής κάλυψης. Η οδηγούμενη από την ανεπάρκεια γης γεωργική εντατικοποίηση, εμφανίζεται στις οικονομίες που δεν είναι ακόμα πλήρως ενσωματωμένες στην αγορά και συνδέεται συνήθως με την αύξηση του πληθυσμού και της πυκνότητάς του (είτε προκαλούμενης από φυσική αύξηση, μετανάστευση, «εισβολή» μη γεωργικών χρήσεων εδάφους είτε θεσμικών παραγόντων όπως το καθεστώς διάρκειας μίσθωσης του εδάφους). Η εντατικοποίηση μιας χρήσης εδάφους είναι μια κοινή αντίδραση όχι μόνο στις πιέσεις αλλά και στις ευκαιρίες.

Οι αστικές χρήσεις εδάφους υποκινούνται από την μετανάστευση και τις δημογραφικές αλλαγές, με τις ενδό-αστικές και περί-αστικές επεκτάσεις να έχουν μάλλον ευδιάκριτα υποκινούμενα πρότυπα. Η δημογραφική αλλαγή δεν υπονοεί απαραίτητα την αλλαγή από υψηλά σε χαμηλά ποσοστά γονιμότητας και θνησιμότητας (δημογραφική μετάβαση), αλλά συνδέεται μάλλον με την κατάτμηση των εκτεταμένων οικογενειών σε επιμέρους μικρότερες οικογένειες (ή νοικοκυριά). Αυτό έχει άμεσες επιπτώσεις στις αλλαγές χρήσης εδάφους. Τέτοια χαρακτηριστικά γνωρίσματα κύκλων ζωής έχουν επιπτώσεις στα αγροτικά καθώς επίσης και στα αστικά περιβάλλοντα. Εν συντομία, η μετανάστευση στις διάφορες μορφές της, είναι ένας πολύ δυναμικός παράγοντας που αναγνωρίζεται όλο και περισσότερο ως η σημαντικότερη μεταξύ των τριών βασικών δημογραφικών μεταβλητών (γονιμότητα, θνησιμότητα, μετανάστευση).

Για να εξηγήσουμε (και να μοντελοποιήσουμε) τις αλλαγές χρήσης του εδάφους, πρέπει να καταλάβουμε τους θεσμούς (πολιτικούς, νομικούς, οικονομικούς και παραδοσιακούς) και τις αλληλεπιδράσεις τους με τη λήψη αποφάσεων. Οι θεσμοί πρέπει να ληφθούν υπόψη σε διάφορες κλίμακες, δηλαδή να προσδιοριστούν τα τοπικά φίλτρα και να καταλάβουμε τις αλληλεπιδράσεις τους με τους εθνικούς και διεθνείς θεσμούς. Είναι ακόμα άγνωστο εάν η σύγκρουση των δημόσιων εναντίον των ιδιωτικών οργανισμών έχει οποιαδήποτε προβλέψιμη επίδραση στην αλλαγή

χρήσης / κάλυψης του εδάφους. Ενώ πολλές αλλαγές χρήσης του εδάφους οφείλονται σε λάθος καθορισμένη και αδύναμη επιβολή θεσμών, δεν πρέπει να υποτεθεί ότι οι τοπικοί οργανισμοί είναι πάντα ανεπαρκείς όσον αφορά στη χάραξη πολιτικών και την λήψη αποφάσεων.

Με τις όλο και περισσότερο αλληλοεξαρτώμενες δυνάμεις της αγοράς, η επίδραση των θεσμικών παραγόντων επεκτείνεται σε διεθνές επίπεδο. Εντούτοις, η επίδραση της παγκοσμιοποίησης στην αλλαγή χρήσης / κάλυψης του εδάφους δεν είναι εύκολα αναγνωρίσιμη. Η υποβάθμιση του εδάφους είναι πιο χαρακτηριστική όταν οι μακρο-πολιτικές υπονομεύουν τις τοπικές πολιτικές (προσαρμογής). Υπάρχει συχνά ένας κακός συνδυασμός μεταξύ των περιβαλλοντικών σημάτων που φθάνουν στους τοπικούς πληθυσμούς και στα μεγάλα ιδρύματα.

Το σύνολο των κατευθυντήριων δυνάμεων της αλλαγής χρήσης εδάφους ποικίλλει στο χρόνο και στο χώρο. Οι βιοφυσικοί παράγοντες μπορεί να είναι όσο σημαντικοί είναι και οι ανθρώπινοι παράγοντες. Γεγονότα πρόκλησης αλλαγής, είτε αυτά είναι βιοφυσικά (μια ξηρασία ή ένας τυφώνας) ή κοινωνικοοικονομικά (έναν πόλεμος ή μια οικονομική κρίση) διαδραματίζουν το ίδιο σημαντικό ρόλο στην καθοδήγηση των αλλαγών χρήσης εδάφους. Τελικά, το θέμα είναι αν μπορούμε να λάβουμε μια γενικευμένη κατανόηση σχετικά με τις κατευθυντήριες δυνάμεις της αλλαγής χρήσης του εδάφους. Από την αύξηση των εμπειρικών αποτελεσμάτων που συνδυάζονται με συστηματικές συγκρίσεις περιπτώσιολογικών μελετών και περιγραφικά πρότυπα, αρχίζουν να προκύπτουν σημαντικές γενικεύσεις στις κατευθυντήριες δυνάμεις της αλλαγής χρήσης του εδάφους. Αυτό στη συνέχεια θα οδηγήσει σε βελτιωμένη μοντελοποίηση των αλλαγών κάλυψης του εδάφους.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3<sup>ο</sup>: ΓΕΝΙΚΗ ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΗΣ ΠΕΡΙΟΧΗΣ ΜΕΛΕΤΗΣ – Ο ΔΗΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ

### 3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ

Ο Δήμος Κιλκίς καταλαμβάνει σημαντικό μέρος του κεντρικού και ανατολικού τμήματος του Νομού Κιλκίς και συνορεύει προς βορρά με τον Δήμο Χέρσου, προς τα ανατολικά και βορειοανατολικά με τον Δήμο Τερπύλλου, προς τα δυτικά με τον Δήμο Πολυκάστρου και προς τα νότια με τους Δήμους Καμπάνη και Μικρόκαμπου, καθώς και με τον νομό Θεσσαλονίκης. Ο Δήμος Κιλκίς, όπως διαμορφώθηκε με βάση τη διοικητική διάρθρωση του Σχεδίου Καποδίστρια (Ν. 2539/97 "Περί συγκρότησης της πρωτοβάθμιας Τοπικής Αυτοδιοίκησης"), αποτελείται από τον πρώην Δήμο Κιλκίς, τις πρώην Κοινότητες Βαπτιστού, Κρηστώνης Λειψυδρίου, Μεγάλης Βρύσης Μελανθίου, Μεσιανού, Σταυροχωρίου και Χωρυγίου και τον συνοικισμό Καστανέων, που πλέον αποτελούν τα αντίστοιχα Δημοτικά Διαμερίσματα του Δήμου. Έδρα του Δήμου είναι η πόλη του Κιλκίς το διοικητικό κέντρο του ομώνυμου νομού και ένα από τα εννέα αστικά κέντρα της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας.

Ο Δήμος εκτείνεται σε μέση απόσταση 45 km οδικώς από τη Θεσσαλονίκη και 560 km από την Αθήνα, ενώ συνδέεται και σιδηροδρομικά με τη Θεσσαλονίκη και τις Σέρρες. Η συνολική έκταση του ανέρχεται σε 322,8 km<sup>2</sup>. Πρόκειται για μια πεδινή περιοχή, όπως εξάλλου και το μεγαλύτερο τμήμα του νομού Κιλκίς με εξαίρεση ένα μικρό ημιορεινό τμήμα στο νότιο-ανατολικό άκρο.

Από φυσικό-γεωγραφική άποψη το ανατολικό πεδινό τμήμα της περιοχής εντάσσεται στη λεκάνη του Αξιού, η οποία οριοθετείται από τον ορεινό όγκο του Πάϊκου και μια λοφώδη περιοχή με κέντρο την πόλη του Κιλκίς. Σύμφωνα με το Χωροταξικό Σχέδιο της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, η περιοχή εντάσσεται στις μεταβατικές ζώνες των κατόντη απολήξεων των ορεινών και ημιορεινών σχηματισμών στις οποίες κατατάσσονται τέσσερις ζώνες: Πιερίας, Κιλκίς, Χαλκιδικής και Μυγδονίας.

Η εγγύτητα με το Πολεοδομικό Συγκρότημα Θεσσαλονίκης (ΠΣΘ) δημιουργεί σημαντικές σχέσεις αλληλεξάρτησης μεταξύ του Νομού Κιλκίς συνολικά και της μητροπολιτικής περιοχής επηρεάζοντας σε σημαντικό βαθμό τα ανθρωπογεωγραφικά χαρακτηριστικά της υπό μελέτη περιοχής. Συνεπώς, το χωρικό πλαίσιο που περιβάλλει τον Δήμο Κιλκίς είναι, βεβαίως, ο Νομός Κιλκίς και η Περιφέρεια Κεντρικής Μακεδονίας, ενώ σημαντικό ρόλο στα ιδιαίτερα χωροταξικά χαρακτηριστικά της περιοχής παίζει η Μητροπολιτική Περιοχή Θεσσαλονίκης (Αναπτυξιακή Κιλκίς Α.Ε., 1998).

Σε ό,τι αφορά τις τάσεις πληθυσμιακής μεταβολής της πόλης του Κιλκίς και των επιμέρους αστικών κέντρων, αυτές παρουσιάζουν σημαντική διακύμανση συναρτημένη τόσο με τις τάσεις της τοπικής οικονομίας του ευρύτερου (αγροτικού στις περισσότερες περιπτώσεις) χώρου που ελέγχουν, όσο και με το είδος των διασυνδέσεων με τη Μητροπολιτική Περιοχή Θεσσαλονίκης (βλ. πίνακα 3.1). Το βέβαιο είναι ότι γενικώς τα αστικά κέντρα που είναι πλησιέστερα στο Π.Σ. Θεσσαλονίκης φαίνεται να εμφανίζουν δυναμικότερη πληθυσμιακή αύξηση. Την τελευταία δεκαετία, τη δυναμικότερη πληθυσμιακή αύξηση -εξαιρουμένων των αστικών κέντρων που εντάσσονται στην ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης- εμφανίζει το Κιλκίς με μέσο ετήσιο ρυθμό μεταβολής (ΜΕΡΜ) τέσσερις φορές μεγαλύτερο από το μέσο της Περιφέρειας και ακολουθούν η Κατερίνη, η Βέροια και τα Γιαννιτσά, ωστόσο με αρκετά χαμηλότερο ΜΕΡΜ σε σύγκριση με το Κιλκίς.

Πίνακας 3.1. Πληθυσμός αστικών κέντρων και μεταβολή 1981-01

	Πληθυσμός			Μεταβολή πληθυσμού (%)		ΜΕΡΜ %	
	1981	1991	2001	1981-91	1991-01	1981-01	1991-01
Ε. Π. Θεσσαλονίκης	809.748	877.239	981.933	8,33	-11,93	0,80	1,13
Π.Σ. Θεσσαλονίκης	706.180	749.048	800.764	6,07	6,90	0,59	0,67
Σέρρες	45.213	49.380	54.266	9,22	9,89	0,89	0,95
Π.Σ. Κατερίνης	39.895	43.613	50.510	9,32	15,81	0,90	1,48
Βέροια	37.087	37.858	42.794	2,08	13,04	0,21	1,23
Γιαννιτσά	21.082	22.504	26.296	6,75	16,85	0,65	1,57
Νάουσα	19.383	19.794	19.870	2,12	0,38	0,21	0,04

Έδεσσα	16.054	17.128	18.253	6,69	6,57	0,65	0,64
<b>Κιλκίς</b>	<b>11.148</b>	<b>12.139</b>	<b>17.430</b>	<b>8,89</b>	<b>43,59</b>	<b>0,86</b>	<b>3,68</b>
Αλεξάνδρεια	10.543	12.109	13.229	14,85	9,25	1,39	0,89
Σύνολο Αστικών κέντρων	1.010.153	1.091.764	1.224.581	8,08	12,17	0,78	1,15
Σύνολο Αστικών κέντρων (εκτός ΕΠΘ)	200.405	214.525	242.648	7,05	13,11	0,68	1,24
Κεντρική Μακεδονία*	1.601.420	1.710.513	1.872.370	6,81	9,46	0,66	0,91

\*Στο σύνολο της ΠΚΜ δεν έχει συμπεριληφθεί το Άγιο Όρος

Πηγή: ΕΣΥΕ, Απογραφές Πληθυσμού 1981, 1991, 2001

### 3.2 ΧΩΡΟΤΑΞΙΚΗ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ - ΧΡΗΣΕΙΣ ΓΗΣ

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, ο Δήμος Κιλκίς καταλαμβάνει το κεντρικό και εν μέρει το ανατολικό τμήμα του Νομού Κιλκίς. Η συνολική έκταση του Δήμου ανέρχεται σε 322.800 στρέμματα και αντιπροσωπεύει το 12,8% της συνολικής έκτασης του Νομού Κιλκίς. Πρόκειται για μία περιοχή πεδινή κατά το μεγαλύτερο μέρος της. Με βάση την απογραφή του 2001, ο πληθυσμός του Δήμου ανέρχεται σε 24.812 κατοίκους, που αντιπροσωπεύει το 27,9% του πληθυσμού του Νομού και το 1,3% της Περιφέρειας. Η μικτή πυκνότητα του Δήμου Κιλκίς είναι χαμηλότερη της αντίστοιχης της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας, ωστόσο η μικτή πυκνότητα μόνον του Δ. Δ. Κιλκίς (όπου εντάσσεται η πόλη του Κιλκίς) είναι κατά πολύ υψηλότερη (Πίνακας 3.2) (Γιαννάκου κ.α., 2004).

Πίνακας 3.2. Μικτή πυκνότητα του Δήμου Κιλκίς, του Νομού Κιλκίς και της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας

Περιοχή	Πληθυσμός 2001	Έκταση (τ. χλμ.) 1991	Πυκνότητα (BRUTTO) (άτ./ χλμ. <sup>2</sup> )
Δ. Δ. Κιλκίς	18.587	87,5	212,4
Λοιπά Δ. Δ. Δήμου Κιλκίς	6.225	235,3	26,5
Δήμος Κιλκίς	24.812	322,8	76,9

Νομός Κιλκίς	89.056	2.518,9	35,4
Κεντρική Μακεδονία	1.872.370	19.146,1	97,8

Πηγή: ΕΣΥΕ, Απογραφή πληθυσμού 2001 & ΕΣΥΕ, Κατανομή της Εκτάσεως της Ελλάδας κατά βασικές κατηγορίες χρήσεως, Απογραφή 1991.

Περίπου τα 2/3 (62,4%) της έκτασης του Δήμου καταλαμβάνει η γεωργική γη, και λίγο περισσότερο του 1/4 (28,7%) καλύπτεται από βοσκότοπους. Τα αντίστοιχα ποσοστά για το Νομό είναι 45,7% και 28,3%. Τα δάση καλύπτουν μόλις το 1,6% της έκτασης του Δήμου, ποσοστό που ανέρχεται στο 17,09% για το σύνολο του Νομού (Πίνακας 3.3).

Πίνακας 3.3. Κατανομή έκτασης του Δήμου Κιλκίς και του Νομού Κιλκίς κατά βασικές κατηγορίες χρήσεων (χιλιάδες στρέμματα)

Περιοχή	Σύνολο εκτάσεων	Καλλιεργούμενες εκτάσεις και αγροαπαύσεις	Βοσκότοποι		Δάση	Εκτάσεις καλυπτόμενες από νερά	Εκτάσεις οικισμών (κτίρια, δρόμοι, κλπ.)	Άλλες εκτάσεις
			Δημοτικοί ή Κοινοτικοί	Ιδιωτικοί και άλλοι				
Δήμος Κιλκίς	322,8	201,4	87,9	4,7	5,3	9,7	12,5	1,3
%		62,39	27,23	1,46	1,64	3,01	3,87	0,40
Νομός Κιλκίς	2.518,9	1.150,7	556,9	156,3	430,5	112,7	70,7	41,1
%		45,68	22,11	6,21	17,09	4,47	2,81	1,63
Δήμος Κιλκίς / Νομός Κιλκίς (%)	12,82	17,5	15,77	3,01	1,23	8,61	17,68	3,16

Πηγή: ΕΣΥΕ, Κατανομή της Εκτάσεως της Ελλάδας κατά βασικές κατηγορίες χρήσεως, Απογραφή 1991.

Ο Δήμος Κιλκίς έχει στο μεγαλύτερο τμήμα του ήπιο ανάγλυφο, που συντίθεται από πεδινές και ελαφρά λοφώδεις εκτάσεις. Το φυσικό ανάγλυφο γίνεται εντονότερο σταδιακά, καθώς κατευθυνόμαστε προς την ανατολική απόληξη του Δήμου. Ιδιαίτερα μετά τον Γαλλικό ποταμό το τοπίο αλλάζει ριζικά, τόσο όσον αφορά την τοπογραφία, όσο και την αναλογία των χρήσεων γης.



Κυρίαρχη χρήση στο σύνολο του Δήμου είναι η γεωργία κάτι που πιστοποιείται άλλωστε από τα στοιχεία της ΕΣΥΕ (βλ. Πίνακα3.3). Η χρήση αυτή εντοπίζεται κατά κύριο λόγο στο κεντρικό και στο δυτικό κομμάτι του Δήμου. Σημαντικό μέρος των εκτάσεων αυτών είναι αρδευόμενες, ιδιαίτερα στην ανατολική περιοχή του Δήμου και κατά μήκος του ρου του Γαλλικού ποταμού. Οι βοσκότοποι καταλαμβάνουν επίσης σημαντική έκταση και παρουσιάζουν μεγαλύτερη ομοιομορφία στη χωρική κατανομή τους. Οι δασικές ή θαμνώδεις εκτάσεις καλύπτουν επίσης σημαντικό τμήμα της συνολικής έκτασης του Δήμου και εντοπίζονται στο ανατολικό ημιορεινό τμήμα του. Η αναντιστοιχία που προκύπτει σε σχέση με τα στοιχεία της ΕΣΥΕ, όσον αφορά συγκεκριμένα τις δασικές εκτάσεις, όπου εμφανίζονται να καλύπτουν συγκριτικά μικρό μέρος του Δήμου, οφείλεται σε διαφορετικές ερμηνευτικές παραδοχές της έννοιας του δάσους. Οι οικισμοί, συμπεριλαμβανομένης της πόλης του Κιλκίς, εμφανίζονται επίσης χωρικά ισοκατανεμημένοι με εξαίρεση το ανατολικό άκρο του Δήμου, όπου το ανάγλυφο είναι εντονότερο. Σημαντική επίσης έκταση καλύπτει και η ΒΙΠΕ, στο βόρειο άκρο του Δήμου. Την υπόλοιπη έκταση του Δήμου καταλαμβάνει το οδικό δίκτυο, εθνικό, επαρχιακό και κοινοτικό, χρήσεις εξυπηρέτησης των οικισμών, όπως γήπεδα ποδοσφαίρου, κοιμητήρια κ.ά. και οικονομικές - παραγωγικές δραστηριότητες, που έχουν αναπτυχθεί στον εξωαστικό χώρο.

Ιδιαίτερα όσον αφορά στις τελευταίες, αξίζει να σημειωθεί ότι δεν παρουσιάζεται κάποια σημαντική διάχυση τους, συνέπεια προφανώς του αγροτικού χαρακτήρα της περιοχής και της ύπαρξης του χωρικού υποδοχέα της ΒΙΠΕ, τουλάχιστον για τις δραστηριότητες του δευτερογενούς τομέα. Οι οικονομικές - παραγωγικές δραστηριότητες που έχουν εγκατασταθεί στον εξωαστικό χώρο του Δήμου εντοπίζονται κυρίως περιμετρικά της πόλης του Κιλκίς και του Σταυροχωρίου, κατά μήκος των σημαντικότερων οδικών αξόνων που τους περιβάλλουν, χωρίς ωστόσο μεγάλη ένταση και χωρίς να δημιουργούνται ιδιαίτερα προβλήματα συγκρούσεων των χρήσεων γης.

Διάσπαρτες κτηνοτροφικές μονάδες εντοπίζονται σε σημαντικό αριθμό οικισμών του Δήμου, σε μικρή απόσταση από τα όρια σχεδίου και με διαφορετική ένταση κατά περίπτωση. Σημαντική συγκέντρωση παρατηρείται βόρεια και βορειοδυτικά του Παλαιού Γυναικοκάστρου, ενώ στους οικισμούς Λειψύδριο, Μεσιανό, Χωρύγι,

Βαπτιστής, Κολχίδα, Κάτω Ποταμιά, Ακροποταμιά και βόρεια της πόλης του Κιλκίς εντοπίζονται 2-3 κτηνοτροφικές μονάδες.

Εντός των ορίων του Δήμου, υπάρχουν επίσης σημαντικές στρατιωτικές εγκαταστάσεις: βορειοδυτικά και νότια της πόλης του Κιλκίς, στα δυτικά της Αργυρούπολης και εκατέρωθεν της οδού προς Κιλκίς.

Το οδικό δίκτυο είναι επαρκώς αναπτυγμένο, καλύπτοντας το σύνολο του Δήμου. Η διάταξη του είναι ακτινωτή με κέντρο την πόλη του Κιλκίς. Περιλαμβάνει σημαντικούς οδικούς άξονες, με σημαντικότερο τη Νέα Εθνική Οδό "Θεσσαλονίκη - Νέα Σάντα -Κιλκίς - Δροσάτο - Ροδόπολη" (βλ. παρακάτω), λόγω της κομβικής θέσης που καταλαμβάνει ο Δήμος στο Νομό και την Περιφέρεια και επιπλέον της ύπαρξης της πόλης του Κιλκίς (Γιαννάκου κ.α., 2004).

Η μεγαλύτερη οικιστική συγκέντρωση, αυτή της πόλης του Κιλκίς, διαδραματίζει, πρωτεύοντα ρόλο στην οικονομία της περιοχής και κατ' επέκταση στο μοντέλο οικιστικής ιεράρχησης και οικιστικής ανάπτυξης του Δήμου. Οι υπόλοιποι οικισμοί διαρθρώνονται περιμετρικά της πόλης του Κιλκίς και ιδιαίτερα όσον αφορά το κεντρικό και το δυτικό τμήμα του Δήμου παρουσιάζουν μια ομοιόμορφη κατανομή στο χώρο. Αντιθέτως, η μορφολογία του εδάφους και το ιδιαίτερο σχήμα στο ανατολικό τμήμα του Δήμου, συνεπάγονται μια λιγότερο ισορροπημένη χωρική κατανομή των οικισμών, χωρίς ωστόσο να αλλοιώνεται η συνολική εικόνα (Αναπτυξιακή Κιλκίς Α.Ε., 1998).

### 3.3. ΠΑΡΑΓΩΓΙΚΕΣ ΔΡΑΣΤΗΡΙΟΤΗΤΕΣ: ΔΙΑΣΠΟΡΑ, ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΚΑΙ ΘΕΣΜΟΘΕΤΗΜΕΝΟΙ ΥΠΟΔΟΧΕΙΣ.

Τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του Δήμου Κιλκίς και οι κανονικότητες που παρουσιάζει, ιδιαίτερα στο κεντρικό και στο ανατολικό τμήμα του, όπως η ήπια μορφολογία του εδάφους, οι ίσες μεταφορικές δυνατότητες προς όλες τις κατευθύνσεις, η ομοιογενής χωρική κατανομή ισοδύναμων πληθυσμιακά οικισμών

και η έλλειψη εκτός σχεδίου κατοικίας, ευνοούν την ορθολογική χωρική κατανομή των δραστηριοτήτων.

Στο σύστημα αυτό, αλλά και στο σύνολο του οικιστικού δικτύου του Νομού Κιλκίς, η πόλη του Κιλκίς κατέχει, προφανώς, την κυρίαρχη θέση, καθώς προσφέρει τη μεγαλύτερη ποικιλία αγαθών και υπηρεσιών. Εκτός των ορίων του σχεδίου πόλης και συγκεκριμένα κατά μήκος των Επαρχιακών Οδών 9 (Κιλκίς- Μεταλλικό- Μεγ. Βρύση- Βαφειοχώρι- Πολύκαστρο- Αξιούπολη) και 1 (Κιλκίς- Ευκαρπία- Ροδόπολη) και της παρακαμπτηρίου του Κιλκίς έχουν αναπτυχθεί παραγωγικές δραστηριότητες που έχουν ανάγκη από χώρο, όπως η μεταποίηση, η αποθήκευση και διανομή εμπορευμάτων, εκθεσιακοί χώροι κ.ά.

Όσον αφορά στους υπόλοιπους οικισμούς δεν παρατηρείται ιδιαίτερη ευρύτητα στην παραγωγική τους βάση. Ωστόσο, σε όσους παραδοσιακά είχαν και εξακολουθούν να έχουν αγροτική βάση, καταγράφηκε η ύπαρξη σημαντικών κτηνοτροφικών μονάδων στην περίμετρο τους. Οι σημαντικότερες μονάδες εντοπίζονται στους μεγαλύτερους αγροτικούς οικισμούς, όπως το Χωρύγι και το Παλαιό Γυναικόκαστρο, ενώ στους μικρότερους υπάρχουν μικρά βουστάσια και μαντριά.

Η μεγαλύτερη παραγωγική μονάδα του Δήμου και μία από τις δύο μεγαλύτερες του Νομού, είναι η Βιομηχανική Περιοχή (ΒΙΠΕ) Κιλκίς, πλησίον του οικισμού του Σταυροχωρίου, στην οποία παρατηρείται σημαντική συγκέντρωση δραστηριοτήτων του δευτερογενούς τομέα. Η σημερινή έκταση της ΒΙΠΕ ανέρχεται σε 900 στρ.(στοιχεία 2001), ενώ σε στάδιο ολοκλήρωσης είναι οι εργασίες επέκτασης της. Εντός της σημερινής έκτασης είναι εγκατεστημένες 32 επιχειρήσεις, ενώ δεν υπάρχουν αδιάθετα οικόπεδα. Αρκετές μονάδες του τομέα αυτού είναι χωροθετημένες εκτός της ΒΙΠΕ και κυρίως κατά μήκος-της Ν. Εθνικής Οδού «Θεσσαλονίκης - Ν. Σάντας - Κιλκίς - Δροσάτου - Ροδόπολης».

Άλλες παραγωγικές δραστηριότητες δεν εντοπίζονται στον εξωστικό χώρο πλην την εκτός σχεδίου περιοχής της πόλης του Κιλκίς (Γιαννάκου κ.α., 2004).

### 3.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΓΙΑ ΤΙΣ ΔΥΟ ΠΕΡΙΟΔΟΥΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Τα στοιχεία που βρέθηκαν και που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μελέτη και την πιθανή επαλήθευση των διαχρονικών αλλαγών στις καλύψεις εδάφους, αφορούν σε πληθυσμιακά στοιχεία και στοιχεία καλλιεργειών. Επίσης κάποια στοιχεία για την εξέλιξη της δόμησης νέων κατοικιών εντάσσονται στα στοιχεία του 2001. Ο πληθυσμός είναι ένας δείκτης που μπορεί να επαληθεύσει ένα ενδεχόμενο αποτέλεσμα αλλαγών στην κάλυψη εδάφους που αφορά στην αστική γη (οικισμοί, δρόμοι και γενικά οτιδήποτε τεχνητό στην επιφάνεια του εδάφους). Αν μετά την διαδικασία που θα εφαρμοστεί στην συνέχεια, προκύψει μια αύξηση στην κάλυψη εδάφους της αστικής γης, αυτό μπορεί ίσως να δικαιολογηθεί από την αύξηση του πληθυσμού. Είναι λογικό ότι καθώς αυξάνεται ο πληθυσμός της περιοχής, αυξάνονται και οι ανάγκες για στέγαση και δημόσια έργα πράγμα που σημαίνει κατασκευή περισσότερων τεχνητών στοιχείων (σπίτια, δρόμοι) που εντάσσονται στην αστική γη και δικαιολογούν την αύξηση της .

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, ο δήμος Κιλκίς καλύπτεται στην μεγαλύτερη έκταση του από εκτάσεις καλλιεργειών και βοσκοτόπων. Τα στοιχεία της ΕΣΥΕ για τις εκτάσεις των κατηγοριών των καλλιεργειών για τις δυο χρονικές περιόδους που μελετώνται (1986-87, 2001), μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων. Μια σημαντική αλλαγή στην έκταση μιας κατηγορίας καλλιέργειας που φαίνεται στα στοιχεία του πίνακα, μπορεί να συσχετιστεί με τα αποτελέσματα που θα εξαχθούν από την εφαρμογή της διαδικασίας. Παρακάτω παρατίθενται οι αντίστοιχοι πίνακες για τα έτη 1991 μιας και δεν υπήρχαν αλλά απογραφικά στοιχεία πλησιέστερα στην χρονική περίοδο 1986-1987 και του 2001.

#### *3.4.1 ΚΙΛΚΙΣ 1986-1987*

Τα στοιχεία του πληθυσμού του δήμου παρά το γεγονός ότι αφορούν το έτος 1991, δηλαδή 5 χρόνια αργότερα από την υπό εξέταση περίοδο, κρίνονται αντιπροσωπευτικά αφού η μεταβολή του πληθυσμού κατά την δεκαετία 81-91 είναι

μικρή όπως φαίνεται και στον πίνακα 3.4. Το ποσοστό 3,46% αντιστοιχεί σε αύξηση 647 κατοίκων.

Στα στοιχεία των καλλιεργειών, ο πίνακας περιλαμβάνει μόνο τις ιδιωτικές εκτάσεις γι' αυτό και η τελευταία στήλη περιλαμβάνει συνολικές εκτάσεις μόλις 113 στρεμμάτων συμπεριλαμβανομένων των βοσκοτόπων και των αγραναπαύσεων (βλ πίνακα 3.5). Όπως φαίνεται, η αγροτική πολιτική των αγραναπαύσεων των εδαφών δεν ήταν πολύ διαδεδομένη την περίοδο αυτή αν αναλογιστούμε το γεγονός ότι το 2001 οι εκτάσεις αυτές καλύπτουν 442,5 στρέμματα.

Πίνακας 3.4. Πληθυσμός Δήμου Κιλκίς 1991

Δημοτικά Διαμερίσματα	Πληθυσμός 1991	Μεταβολή 81-91 (%)
Δ. Δ. Κιλκίς	13.540	3,62
Δ. Δ. Κρηστώνης	980	49,62
Δ. Δ. Λειψυδρίου	513	- 30,30
Δ. Δ. Βαπτιστού	589	0,86
Δ. Δ. Μεγάλης Βρύσης	497	6,20
Δ. Δ. Μεσιανού	1.028	- 2,84
Δ. Δ. Σταυροχωρίου	523	- 1,13
Δ. Δ. Χωρυγίου	878	7,20
Δ. Δ. Καστανέων	617	3,01
Δ. Δ. Μελανθίου	193	- 1,53
Σύνολο Δ. Κιλκίς	19.358	3,46

Πηγή: ΕΣΥΕ και ίδια επεξεργασία

Πίνακας 3.5. Βασική έρευνα διάρθρωσης γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων (απογραφή γεωργίας-κτηνοτροφίας έτους 1991)

ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ

ΣΥΝΟΛΟ ΕΛΛΑΔΟΣ ΜΕΓ.ΓΕΩΓΡ.ΠΕΡΙΟΧΕΣ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ			
	ΕΤΗΣΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑΦΙΔΑΜΠΕΛΑ	ΛΟΙΠΕΣ ΕΚΤΑΣΕΙΣ (ΛΙΒΑΔΙΑ, ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ, ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΕΙΣ, ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΚΟΙ ΛΑΧΑΝΟΚΗΠΟΙ)
ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΕΣ				
ΝΟΜΟΙ				
ΔΗΜΟΙ/ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ				
ΔΗΜΟΤΙΚΑ /ΚΟΙΝΟΤΙΚΑ ΔΙΑΜΕΡΣΜΑΤΑ				
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΜΕΡΣΜΑΤΑ				
ΝΟΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ	961719	18551	2044	1797
ΔΗΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ	175699	361,5	24	113
Δ. Δ. Κιλκίς	40452	143	24	18
Δ. Δ. Βαλτιστού	11365	0	0	0
Δ. Δ. Καστανέων	19609	35	0	12
Δ. Δ. Κρηστώνης	15080	52	0	0
Δ. Δ. Λειψυδρίου	14227	21	0	19
Δ. Δ. Μεγάλης Βρύσης	22406	17	0	43
Δ. Δ. Μελανθίου	4370	0	0	0
Δ. Δ. Μεσιανού	20988	83	0	0
Δ. Δ. Σταυροχωρίου	7852	4,5	0	21
Δ. Δ. Χωρυγίου	19350	6	0	0

Πηγή: ΕΣΥΕ και ίδια επεξεργασία

### 3.4.2 ΚΙΑΚΙΣ 2001

Για το έτος 2001 τα στοιχεία που υπάρχουν είναι σαφώς περισσότερα, πληρέστερα και ακριβή από παλαιότερα. Πέρα από τον πληθυσμό και τις καλλιέργειες, τα στοιχεία που είναι διαθέσιμα για την οικοδομική δραστηριότητα των τελευταίων ετών είναι σημαντικά για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων. Αν από τα στοιχεία παρατηρείται αύξηση των κατοικιών, κάτι ανάλογο πρέπει να περιμένουμε και από τα αποτελέσματα του μοντέλου Markov.

Τα στοιχεία που συλλέχτηκαν αφορούν μόνον στη νόμιμη δραστηριότητα και αναφέρονται στο διάστημα 1994-99, με βάση τη Στατιστική της Οικοδομικής Δραστηριότητας της ΕΣΥΕ. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα στοιχεία της ΕΣΥΕ δίνονται με βάση τους ΟΤΑ προ του σχεδίου Καποδίστρια και όχι τους οικισμούς. Για τον λόγο αυτό γίνεται αναγωγή στα νέα Δημοτικά Διαμερίσματα ως η πλησιέστερη μονάδα προς το επίπεδο του οικισμού.

Κατά την εξαετία 1994-99 (Πίνακας 3.6) στον Δήμο Κιλκίς ανεγέρθηκαν συνολικά 586 νέες οικοδομές, η συντριπτική πλειονότητα των οποίων (460 νέες οικοδομές, δηλαδή ποσοστό πάνω από 78%) ανεγέρθηκαν στο Δημοτικό Διαμέρισμα Κιλκίς. Οι υπόλοιπες οικοδομές κατανέμονται στα λοιπά Δημοτικά Διαμερίσματα του Δήμου χωρίς αξιοσημείωτες εντάσεις κατασκευής σε κάποιο συγκεκριμένο Δ. Δ. Οι νέες οικοδομές που ανεγέρθηκαν στον Δήμο συνολικά αντιπροσωπεύουν το 33,1% των νέων οικοδομών του Νομού Κιλκίς και το 1,7% της Περιφέρειας Κεντρικής Μακεδονίας. Σε ό,τι αφορά τον όγκο των νέων οικοδομών φαίνεται ότι, στην εξεταζόμενη περίοδο, τόσο στο Νομό Κιλκίς όσο και στο ομώνυμο Δ. Δ., κτίστηκαν οικοδομές μεγαλύτερου όγκου σε σύγκριση τόσο με την Περιφέρεια όσο και με τη Χώρα. Την ίδια εικόνα παρουσιάζουν και τα λοιπά Δ. Δ. στο σύνολο τους, εμφανίζοντας μάλιστα ιδιαίτερα μεγάλο όγκο ανά οικοδομή. Το μέγεθος αυτό ενδεχομένως εξηγείται εν μέρει από την κατασκευή πολλών αποθηκών στις αγροτικές περιοχές του Δήμου.

Πίνακας 3.6. Αριθμός και όγκος νέων οικοδομών και αριθμός νέων κατοικιών, 1994-99

Περιοχή	Νέες οικοδομές	Όγκος (κυβ. μ.)	Όγκος/οικοδομή (κυβ. μ.)	Αριθμός κατοικιών
ΔΗΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ	586	2.001.472	3.415	2.174
Δ. Δ. Κιλκίς	460	1.251.985	2.722	2.097
Λοιπά Δ. Δ.	119	741.303	6.229	75
ΝΟΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ	1.768	3.795.531	2.147	3.613

Πηγή: ΕΣΥΕ, Στατιστική της Οικοδομικής Δραστηριότητας ετών 1994-99

Όσον αφορά στη δόμηση κατοικιών, στην εξεταζόμενη περίοδο ανεγέρθηκαν στον Δήμο Κιλκίς 2.174 κατοικίες, ποσοστό 60,2% του Νομού και 2,32% της Περιφέρειας. Αν λάβουμε υπόψη ότι, βάσει της απογραφής του 1991, το ποσοστό του πληθυσμού του Δήμου Κιλκίς στο σύνολο της Περιφέρειας ήταν αντίστοιχα 1,13%, συμπεραίνουμε ότι η παραγωγή κατοικιών στον Δήμο Κιλκίς είναι ιδιαίτερα σημαντική σε σύγκριση με το σύνολο της Περιφέρειας.

Στον παρακάτω Πίνακα φαίνεται η μέση ετήσια παραγωγή κατοικιών για την περίοδο 1994-99. Ο μέσος αριθμός νέων κατοικιών στη διάρκεια αυτής της περιόδου στον Δήμο Κιλκίς ανέρχεται σε 362, από τις οποίες η συντριπτική πλειονότητα (350) κατασκευάστηκαν στο Δ. Δ. Κιλκίς. Στα λοιπά Δ. Δ. ο μέσος αριθμός νέων κατοικιών είναι μάλλον ασήμαντος.

Πίνακας 3.7. Μέσος αριθμός νέων κατοικιών 1994-99

Περιοχή	Μέσος αριθμός νέων κατοικιών
ΔΗΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ	362
Δ. Δ. Κιλκίς	350
Λοιπά Δ. Δ.	12
ΝΟΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ	602

Πηγή: ΕΣΥΕ, Στατιστική της Οικοδομικής Δραστηριότητας ετών 1994-99



Από τα παραπάνω στοιχεία και την αύξηση του πληθυσμού του δήμου (πίνακας 3.8) την τελευταία δεκαετία, μπορούμε να συμπεράνουμε μια αύξηση της αστικής γης σε βάρος άλλων καλύψεων. Ωστόσο το γεγονός ότι ανεγέρθηκαν 586 νέες οικοδομές, δεν σημαίνει ότι πριν τα οικόπεδα δεν ήταν δομημένα, το αντίθετο μάλλον, πιο πιθανό είναι να δόθηκαν κάποια παλιά σπίτια αντιπαροχή και έτσι να μην έχουμε αλλαγή στη χρήση της αστικής γης. Βέβαια λόγω και της επέκτασης του σχεδίου πόλεως του Κιλκίς, περιμένουμε μια σημαντική αύξηση της κάλυψης της αστικής γης περιμετρικά της πόλης.

Πίνακας 3.8. Πληθυσμός Δήμου Κιλκίς 2001

Δημοτικά Διαμερίσματα	Πληθυσμός 2001	Μεταβολή 91-01 (%)
Δ. Δ. Κιλκίς	18.958	40,01
Δ. Δ. Κρηστώνης	1.138	16,12
Δ. Δ. Λειψυδρίου	556	8,38
Δ. Δ. Βαπτιστού	504	- 14,43
Δ. Δ. Μεγάλης Βρύσης	520	4,63
Δ. Δ. Μεσιανού	906	- 11,87
Δ. Δ. Σταυροχωρίου	481	- 8,03
Δ. Δ. Χωρυγίου	919	4,67
Δ. Δ. Καστανέων	595	- 3,57
Δ. Δ. Μελανθίου	235	21,76
Σύνολο Δ. Κιλκίς	24.812	28,17

Πηγή: ΕΣΥΕ και ίδια επεξεργασία

Από τα στοιχεία του πίνακα 3.9 φαίνεται ότι οι ετήσιες καλλιέργειες (κυρίως σιτηρά) καταλαμβάνουν συντριπτικό ποσοστό των συνολικών καλλιεργειών. Αυτό δικαιολογείται εν μέρη από την ποιότητα των εδαφών που ευνοεί ξερικές καλλιέργειες αλλά και από τις επιδοτήσεις της Κ.Α.Π. (Κοινή Αγροτική Πολιτική) στην παραγωγή σιτηρών. Επίσης εξαιτίας της ύπαρξης κτηνοτροφικών μονάδων στην ευρύτερη περιοχή του δήμου Κιλκίς παρατηρείται σημαντική έκταση βοσκοτόπων και λιβαδιών που ανήκουν στο δημόσιο.

Πίνακας 3.9. Βασική έρευνα διάρθρωσης γεωργικών και κτηνοτροφικών εκμεταλλεύσεων (απογραφή γεωργίας-κτηνοτροφίας έτους 1999/2000)

ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ ΣΕ ΣΤΡΕΜΜΑΤΑ

ΣΥΝΟΛΟ ΕΛΛΑΔΟΣ ΜΕΓ.ΓΕΩΓΡ.ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΕΣ ΝΟΜΟΙ	ΕΚΤΑΣΕΙΣ ΚΑΤΑ ΕΙΔΟΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΑΣ						
	ΕΤΗΣΙΕΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΔΕΝΔΡΩΔΕΙΣ ΚΑΛΛΙΕΡΓΕΙΕΣ	ΑΜΠΕΛΙΑ ΚΑΙ ΣΤΑΦΙΔΑΜΠΕΛΑ	ΜΟΝΙΜΑ ΛΙΒΑΔΙΑ ΚΑΙ ΒΟΣΚΟΤΟΠΟΙ	ΑΓΡΑΝΑΠΑΥΣΕΙΣ	ΟΙΚΟΓΕΝΕΙΑΚΟΙ ΛΑΧΑΝΟΚΗΠΟΙ	ΦΥΤΩΡΙΑ ΚΑΡΠΟΦΟΡΩΝ ΔΕΝΔΡΩΝ, ΑΛΛΕΣ ΠΟΛΥΕΤΕΙΣ
ΔΗΜΟΙ/ΚΟΙΝΟΤΗΤΕΣ							
ΔΗΜΟΤΙΚΑ /ΚΟΙΝΟΤΙΚΑ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΑ							
ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΑ ΔΙΑΜΕΡΙΣΜΑΤΑ							
ΝΟΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ	984271,6	13453,5	3169,5	53096,1	5450,8	987,7	116,6
ΔΗΜΟΣ ΚΙΛΚΙΣ	175603,8	265,2	11,9	8542,7	442,5	63,2	12
Δ. Δ. Κιλκίς	51157,1	190,3	2,4	0	272	17,6	12
Δ. Δ. Βαλτιστού	13488,4	0	2	0	0	4,1	0
Δ. Δ. Καστανέων	17578,3	0	7,5	0	94	2,9	0
Δ. Δ. Κρηστώνης	14206,6	21,4	0	176	0	12,9	0
Δ. Δ. Λειψοδρίου	12706	0	0	0	0	7,2	0
Δ. Δ. Μεγάλης Βρύσης	11406,2	30	0	0	0	0,9	0
Δ. Δ. Μελανθίου	3836	0	0	0	27,5	1,2	0
Δ. Δ. Μεσιανού	24705,4	15	0	0	0	16,2	0
Δ. Δ. Σταυροχωρίου	6715,2	4,5	0	0	49	0,2	0
Δ. Δ. Χωρυγίου	19804,6	4	0	8366,7	0	0	0

Πηγή: ΕΣΥΕ και ίδια επεξεργασία

### 3.5. ΠΟΛΙΤΙΣΤΙΚΟ - ΙΣΤΟΡΙΚΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Όλη η περιοχή του Δήμου Κιλκίς φαίνεται ότι υπήρξε κοιτίδα ανθρώπινης δραστηριότητας από τους αρχαίους αλλά και τους προϊστορικούς χρόνους. Ευρήματα προϊστορικών οικισμών έχουν εντοπιστεί κοντά στο Μεταλλικό, ενώ επίσης στην ίδια περιοχή σε ύψωμα χίλια μέτρα νότια - νοτιοανατολικά του χωριού είναι ακόμα ορατές ρωμαϊκές/ βυζαντινές οχυρώσεις. Ένας άλλος αρχαίος οικισμός εντοπίστηκε ανατολικά του οικισμού Κολχίδα, δίπλα στο ναό της Ζωοδόχου Πηγής, ο οποίος κατά τους Ρωμαϊκούς χρόνους υπήρξε Ρωμαϊκός σταθμός με το όνομα Κόλλικουμ.

Η περιοχή του Δήμου Κιλκίς είναι τμήμα της αρχαίας Κρηστωνίας ή Γραστωνίας και της αρχαίας Μυγδονίας. Η Κρηστωνία φαίνεται ότι καταστράφηκε στις αρχές του 5<sup>ου</sup> αιώνα π.Χ. και η τοποθεσία της πιθανολογείται είτε κάπου κοντά στον Λαχανά είτε κοντά στο χωριό Παλατιανό, δηλαδή σε χώρο ελέγχου των βορείων διαβάσεων της Κεντρικής προς την Ανατολική Μακεδονία δεδομένου ότι η μοναδική βόρεια δίοδος που ενώνει την πεδιάδα του Αξιού με την Στρυμωνική πεδιάδα είναι αυτή που διέρχεται ανάμεσα από τα βουνά Κερκίνη και Δύσωρο. Η Μυγδονία βρισκόταν δυτικό και νότια της Κρηστωνίας και εκτεινόταν νότια στο Θερμαϊκό κόλπο και στο βόρειο μέρος της Χαλκιδικής μέχρι τις λίμνες Λαγκαδά και Βόλβη, ενώ στο βορρά έφθανε μέχρι το ύψος της Δοϊράνης όπου συνόρευε με την Μακεδονική Παιονία.

Η περιοχή φαίνεται να κατακτήθηκε από τους Μακεδόνες πριν από την εποχή του Μεγάλου Αλεξάνδρου (498-454 π.Χ.), ίσως επί εποχής Αμύντα Α' (540-498 π.Χ.) και πριν την υποταγή στους Πέρσες. Στους κατοπινούς ελληνοιστικούς χρόνους, η περιοχή ανήκε στο Ελληνοιστικό βασίλειο της Μακεδονίας το οποίο μετά από τις επιδρομές των Γαλατών υποτάχθηκε τελικά στους Ρωμαίους το 148 π.Χ. Με την εμφάνιση των Γότθων το 253 μ.Χ. πολλές πόλεις τόσο της Μυγδονίας όσο και της Κρηστωνίας λεηλατήθηκαν, ενώ το καταστροφικό έργο των επιδρομών συνεχίστηκε και κατά την Βυζαντινή περίοδο. Τον 6<sup>ο</sup> και 7<sup>ο</sup> αιώνα μ.Χ., με την εγκατάσταση των Σλάβων και Αβαρόσλαβων στα Βαλκάνια ξεκίνησε ένας μακραίωνος ανταγωνισμός που κορυφώθηκε ιδιαίτερα με τους Βούλγαρους.

Κατά την περίοδο της Φραγκοκρατίας η δυναστεία των Παλαιολόγων προσέφερε σημαντικό έργο και ανάπτυξη στην ευρύτερη περιοχή του Νομού Κιλκίς. Κάστρα και οχυρωματικά έργα της εποχής υπάρχουν ακόμη σε διάφορες περιοχές. Χαρακτηριστικά κάστρα της περιόδου που βρίσκονται στα όρια του Δήμου Κιλκίς είναι το Γυναικόκαστρο και το κάστρο Σεβαστού.

Το Γυναικόκαστρο δημιουργήθηκε επί της εποχής του Ανδρόνικου Γ του Παλαιολόγου (1328-1341) για να προστατεύσει την περιοχή από τους Σέρβους, Βούλγαρους και Τατάρους, γύρω από το οποίο στην πεδιάδα του Αξιού δημιουργήθηκαν οικισμοί με πληθυσμούς από μετακίνηση κατοίκων από άλλες περιοχές. Αναμφισβήτητα το Γυναικόκαστρο και οι γύρω από αυτό οικισμοί υπήρξαν σημαντικό εμπορικό και διοικητικό κέντρο, γι' αυτό άλλωστε και η περιοχή ονομάστηκε καζάς (υποδιοίκηση) Αβέτ Χισάρ. Σήμερα έχουν απομείνει ορισμένα τειχίσματα ενδεικτικά του κατασκευαστικού του έργου (υλικά, τεχνική κλπ.). Να σημειωθεί ότι από το ύψωμα του κάστρου ελέγχεται πλήρως η κοιλάδα του Αξιού, κύρια καθοδική οδός των βαρβάρων, αλλά και η πεδιάδα μεταξύ των ποταμών Αξιού και Γαλλικού.

Από το κάστρο του Σεβαστού υπάρχουν επίσης μόνο ερείπια - ίχνη τειχίσματος σε φυσικό ύψωμα που βρίσκεται δύο χιλιόμετρα νότια του χωριού Σεβαστό. Λέγεται ότι λιθαριές και μαρμάρινες ανάγλυφες πλάκες του κάστρου χρησιμοποιήθηκαν για κατασκευή κατοικιών και στάβλων από τους ερχόμενους πρόσφυγες - κατοίκους του χωριού Σεβαστού το 1922. Σήμερα, η μοναδική ένδειξη για την άλλοτε ύπαρξη του κάστρου είναι το ισοπεδωμένο τείχισμα γύρω από το ύψωμα, που οι χωρικοί το αποκαλούν μοναστήρι.

Κατά τη διάρκεια του αγώνα του 1821 η περιοχή του Κιλκίς συμπεριλήφθηκε στα 42 χωριά και πόλεις της Κεντρικής Μακεδονίας που κατέστρεψαν οι Τούρκοι. Την περίοδο αυτή πιθανολογείται μερική καταστροφή του μοναστηριού που βρισκόταν στο λόφο του Αγίου Γεωργίου. Η επισκευαστική του περίοδος πιθανολογείται στα τέλη της τέταρτης δεκαετίας του 19<sup>ου</sup> αιώνα, από όπου προέρχεται η σημερινή εκκλησία του Αϊ Γιώργη και διασώζεται μέχρι σήμερα, νεώτερο κτίσμα βέβαια, που όμως δεν αποκλείεται να κτίστηκε πάνω σε παλιό (Σορτικός κ.α., 1983).

Η σημερινή πόλη του Κιλκίς στη δεκαετία του 1880 ήταν μια κωμόπολη που αριθμούσε 380 χριστιανικές και μουσουλμανικές οικογένειες. Στα τελευταία χρόνια του 19<sup>ου</sup> αιώνα το Κιλκίς παρουσίασε ραγδαία ανάπτυξη για να φθάσει στις αρχές του 20<sup>ου</sup> αιώνα ο πληθυσμός τους 8.000 κατοίκους αποτελούμενους από Οθωμανούς, Ουνίτες, Σέρβους, Σχηματικούς, Ελληνορθόδοξους και Προτεστάντες.

Άλλοι οικισμοί που υπήρχαν στην περιοχή μελέτης την περίοδο μέχρι τις αρχές του 19<sup>ου</sup> αιώνα ήταν το Κρίτσοβο (σήμερα ανύπαρκτο), το Γκιρμπασέλ (Καστανιές) και η τοποθεσία Θεριστές όπου έμεναν κατά τους θερινούς μήνες Κιλκισιώτες θεριστές το Κουρού Τσεσμέ.

Η πόλη του Κιλκίς καταλήφθηκε από Βούλγαρους στις 26 Οκτωβρίου 1912. Η απελευθέρωση της πόλης ολοκληρώθηκε την 21<sup>η</sup> Ιουνίου 1913. Οι πρώτοι πρόσφυγες (1.500 περίπου) εγκαταστάθηκαν στην ερειπωμένη πόλη του Κιλκίς από την Στρωμνίτσα, αρχίζοντας άμεσα να την οικοδομούν. Το 1926, 304 οικογένειες Στενημαχιτών από την Ανατολική Ρωμυλία εγκαταστάθηκαν στην πόλη του Κιλκίς.

Την περίοδο 1950-60 έντονο ήταν το φαινόμενο της μετανάστευσης, τόσο προς τη Θεσσαλονίκη όσο και προς τις χώρες του εξωτερικού, από όλο τον νομό Κιλκίς και από την περιοχή του Δήμου Κιλκίς. Η σύγχρονη ανοδική περίοδος ξεκινά από τις αρχές της δεκαετίας του 1980 με την εξέλιξη και τα χαρακτηριστικά που οδήγησε την πόλη στην σημερινή της μορφή (Γιαννάκου κ.α., 2004).

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4<sup>ο</sup>: ΤΑ ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΛΛΑΓΩΝ ΧΡΗΣΕΩΝ / ΚΑΛΥΨΕΩΝ ΕΔΑΦΟΥΣ**

### 4.1. ΟΡΙΣΜΟΙ

#### *4.1.1. ΕΔΑΦΟΣ*

«Το έδαφος είναι μια περιοχή απεικόνισης της γήινης χερσαίας επιφάνειας, που καλύπτει όλες τις ιδιότητες του αμέσως επάνω ή κάτω τμήματος της βιόσφαιρας, συμπεριλαμβανομένων και εκείνων του μικροκλίματος της, τις εδαφολογικές μορφές, την υδρολογία της επιφάνειας (συμπεριλαμβανομένων των ρηχών λιμνών, των ποταμών, των ελών, και των βαλτών), τα επιφανειακά ιζηματώδη στρώματα, τα σχετικά αποθέματα υπόγειων νερών, τους φυτικούς και ζωικούς πληθυσμούς, το ανθρώπινο υπόδειγμα στέγασης και τα φυσικά αποτελέσματα της προηγούμενης και παρούσας ανθρώπινης δραστηριότητας (αποθήκευση νερού ή κατασκευές αποξηράνσεων, δρόμοι, κτίρια, κ.λ.π.)» (F.A.O., 1995).

#### *4.1.2. ΚΑΛΥΨΗ ΕΔΑΦΟΥΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ*

Οι όροι χρήση εδάφους και κάλυψη εδάφους δεν είναι συνώνυμοι και η βιβλιογραφία επιστράτη την προσοχή στις διαφορές τους έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται κατάλληλα στις μελέτες της αλλαγής χρήσης εδάφους και της αλλαγής κάλυψης εδάφους.

Η κάλυψη εδάφους είναι η βιοφυσική κατάσταση της γήινης επιφάνειας και της άμεσης υπό-επιφάνειας. Με άλλα λόγια, η κάλυψη εδάφους περιγράφει τη φυσική κατάσταση της επιφάνειας του εδάφους: όπως οι περιοχές καλλιέργειας, τα βουνά, ή τα δάση. Ο όρος κάλυψη εδάφους, αναφέρθηκε αρχικά στον τύπο βλάστησης που κάλυπτε την επιφάνεια του εδάφους, αλλά διευρύνθηκε στη συνέχεια για να συμπεριλάβει τις ανθρωπογενείς κατασκευές, όπως τα κτίρια ή τα πεζοδρόμια και άλλες πτυχές του φυσικού περιβάλλοντος, όπως η βιοποικιλότητα και τα υπόγεια νερά. (Meyer και Turner, 1996).

Ο Meyer (1996) δηλώνει ότι η «χρήση εδάφους είναι ο τρόπος με τον οποίο, και ο σκοπός για τον οποίο, οι άνθρωποι χρησιμοποιούν το έδαφος και τους πόρους του. Εν συντομία, η χρήση εδάφους δείχνει την ανθρώπινη απασχόληση επί του εδάφους» (Meyer και Turner 1996). Τέλος, ο Οργανισμός Γεωργίας και Τροφίμων (Food and

Agriculture Organization) (1995) δηλώνει ότι η «χρήση εδάφους αφορά τη λειτουργία ή το σκοπό για τους οποίους το έδαφος χρησιμοποιείται από τον τοπικό ανθρώπινο πληθυσμό και μπορεί να οριστεί ως οι ανθρώπινες δραστηριότητες που συσχετίζονται άμεσα με το έδαφος, χρησιμοποιώντας τους πόρους του ή επιδρώντας σε αυτούς» (F.A.O., 1995).

#### 4.1.3. ΑΛΛΑΓΗ ΚΑΛΥΨΗΣ / ΧΡΗΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ

Στην ανάλυση της αλλαγής χρήσης εδάφους και της αλλαγής κάλυψης εδάφους, είναι πρώτα απαραίτητο να γίνει αντιληπτή η έννοια της αλλαγής. Σε πολύ στοιχειώδες επίπεδο, η αλλαγή χρήσης εδάφους και η αλλαγή κάλυψης εδάφους, σημαίνουν (ποσοτικές) αλλαγές σε τοπική έκταση (αυξήσεις ή μειώσεις) ενός δεδομένου τύπου χρήσης εδάφους ή κάλυψης εδάφους, αντίστοιχα. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, ακόμα και σε αυτό το επίπεδο, η ανίχνευση και η μέτρηση της αλλαγής εξαρτώνται από τη χωρική κλίμακα. Όσο πιο υψηλό το χωρικό επίπεδο λεπτομέρειας, τόσο μεγαλύτερες είναι οι αλλαγές στην τοπική έκταση της χρήσης εδάφους και της κάλυψης εδάφους που μπορούν να ανιχνευθούν και να καταγραφούν.

Εντούτοις και στην περίπτωση της κάλυψης εδάφους καθώς επίσης και της αλλαγής εδάφους, η έννοια και η σύλληψη της αλλαγής είναι πολύ ευρύτερες. Στην περίπτωση της αλλαγής κάλυψης εδάφους, η σχετική βιβλιογραφία διακρίνει δύο τύπους αλλαγών: τη **μετατροπή** και τη **τροποποίηση**. Η **μετατροπή** κάλυψης εδάφους περιλαμβάνει μια αλλαγή από έναν τύπο κάλυψης σε άλλο. Η **τροποποίηση** κάλυψης εδάφους περιλαμβάνει αλλαγές της δομής ή της λειτουργίας χωρίς σημαντικές αλλαγές από έναν τύπο σε άλλο. Θα μπορούσε να συμπεριλάβει αλλαγές στην παραγωγικότητα, τη βιομάζα, ή τον φαινότυπο των φυτών.

Οι αλλαγές κάλυψης εδάφους είναι τα αποτελέσματα των φυσικών διαδικασιών όπως οι κλιματολογικές μεταβολές, οι ηφαιστειακές εκρήξεις, οι αλλαγές στα κανάλια ποταμών ή στη στάθμη της θάλασσας, κ.λ.π.. Εντούτοις, οι περισσότερες από τις αλλαγές κάλυψης εδάφους του παρόντος και πρόσφατου παρελθόντος οφείλονται σε ανθρώπινες ενέργειες, δηλαδή στις χρήσεις του εδάφους για παραγωγή ή στέγαση. Πιο συγκεκριμένα, ο Meyer και ο Turner αναφέρουν ότι η χρήση εδάφους (σκόπιμη και ακούσια) αλλάζει την κάλυψη εδάφους με τρεις τρόπους: μετατρέποντας την κάλυψη εδάφους ή μεταβάλλοντάς την σε μια ποιοτικά

διαφορετική κατάσταση, τροποποιώντας την ή μεταβάλλοντας ποσοτικά την κατάστασή της χωρίς πλήρη μετατροπή και τέλος, διατηρώντας την στην κατάσταση της ενάντια στα φυσικά αίτια της αλλαγής (Meyer και Turner 1996).

Σε παρόμοιο πνεύμα, η αλλαγή χρήσης εδάφους μπορεί να αφορά είτε (*α*) τη μετατροπή από έναν τύπο χρήσης σε άλλο δηλ. αλλαγές στη μίξη και την μορφή των χρήσεων εδάφους σε μια περιοχή ή (*β*) τη τροποποίηση ενός ορισμένου τύπου χρήσης εδάφους. Η τροποποίηση μιας συγκεκριμένης χρήσης εδάφους μπορεί να αφορά τις αλλαγές στην ένταση αυτής της χρήσης καθώς επίσης και στις αλλοιώσεις των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων της, όπως οι αλλαγές από χαμηλού εισοδήματος σε υψηλού εισοδήματος περιοχές κατοικίας (τα κτήρια παραμένουν φυσικά και ποσοτικά αμετάβλητα) και οι αλλαγές των προαστιακών δασών από τη φυσική τους κατάσταση σε χρήσεις αναψυχής (η περιοχή του εδάφους μένει αμετάβλητη). Στην περίπτωση της χρήσης εδάφους που αφορά τις καλλιέργειες, παρέχεται μια ποιοτική τυπολογία των αλλαγών χρήσης εδάφους: εντατικοποίηση, επέκταση, περιθωριοποίηση και εγκατάλειψη (Meyer και Turner 1996).

#### 4.2. ΣΚΟΠΟΣ ΚΑΙ ΧΡΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Το έδαφος είναι το πεδίο δράσης στο οποίο διεξάγεται όλη η ανθρώπινη δραστηριότητα και είναι η πηγή των υλικών που απαιτούνται για αυτήν την διεξαγωγή. Η ανθρώπινη χρήση των εδαφικών πόρων προκαλεί τη "χρήση εδάφους" που ποικίλλει με τους σκοπούς που εξυπηρετεί, είτε είναι η παραγωγή τροφίμων, η στέγαση, η αναψυχή, η εξαγωγή και επεξεργασία υλικών κ.ο.κ., καθώς επίσης και τα βίο-φυσικά χαρακτηριστικά του ίδιου του εδάφους. Ως εκ τούτου, η χρήση εδάφους διαμορφώνεται κάτω από την επιρροή δύο ευρέων συνόλων δυνάμεων, των ανθρώπινων αναγκών και των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων και διαδικασιών. Καμία από αυτές τις δυνάμεις δεν μένει ακίνητη, είναι σε μια σταθερή κατάσταση ροής και αέναης κίνησης.

Οι αλλαγές στις χρήσεις του εδάφους που εμφανίζονται σε διάφορα χωρικά επίπεδα και εντός διαφόρων χρονικών διαστημάτων είναι οι υλικές εκφράσεις, μεταξύ άλλων, της περιβαλλοντικής και ανθρώπινης δυναμικής και των αλληλεπιδράσεών τους που πραγματοποιούνται στο έδαφος. Αυτές οι αλλαγές ασκούν κατά περιόδους



ευεργετικά, κατά περιόδους καταστρεπτικά αποτελέσματα και επιδράσεις, τα οποία είναι οι κύριες αιτίες ανησυχίας καθώς προσκρούουν ποικιλοτρόπως στην ανθρώπινη ευημερία. Το επιστημονικό ενδιαφέρον για την αλλαγή χρήσης του εδάφους έχει μια μακροχρόνια ιστορία δεδομένου ότι δεν έχει υπάρξει καμία περίπτωση στην οποία οι άνθρωποι χρησιμοποίησαν το έδαφος και τους πόρους του χωρίς την πρόκληση οποιασδήποτε ζημιάς.

Η αλλαγή χρήσης εδάφους είναι το αποτέλεσμα ενός σύνθετου ιστού αλληλεπιδράσεων μεταξύ των βιοφυσικών και κοινωνικό-οικονομικών δυνάμεων στον χώρο και τον χρόνο. Η αντιμετώπιση αυτής της πολυπλοκότητας για πρακτικούς λόγους τουλάχιστον (όπως η χάραξη πολιτικής και η διαχείριση εδάφους για τη βιώσιμη χρήση του) είναι αδύνατη χωρίς κάποια απλοποίηση των σύνθετων σχέσεων σε εύχρηστες και κατανοητές διαστάσεις. Ως εκ τούτου, υπάρχει η ανάγκη για κάποιο μοντέλο γενικά και για κάποιο συμβολικό μοντέλο ειδικότερα, το οποίο θα εκφράσει λειτουργικά τις σχέσεις ενδιαφέροντος (Turner κ.ά., 1995).

Λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για μοντέλα αλλαγής χρήσης εδάφους, οι χρήσεις αυτών των μοντέλων δεν είναι δύσκολο να παραχθούν. Μια πρώτη, γενική χρήση είναι να παρασχεθεί «υποστήριξη αποφάσεων» στα διάφορα πλαίσια αποφάσεων και χάραξης πολιτικής. Πιο συγκεκριμένα, τα μοντέλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν τις χωρικές και χρονικές σχέσεις μεταξύ των παραγόντων των αλλαγών χρήσεων του εδάφους και των προκύπτοντων υποδειγμάτων τους. Συνοπτικά, οι αποσαφηνισμένες περιγραφές που στηρίζονται στην αυστηρή θεωρία είναι οι ακρογωνιαίοι λίθοι της κατανόησης και του καθορισμού του ακριβούς προβλήματος της αλλαγής χρήσης εδάφους που αντιμετωπίζουν οι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων.

Τα μοντέλα της αλλαγής χρήσης εδάφους μπορούν να χρησιμοποιηθούν επίσης ως μέσα ανάλυσης των παρατηρούμενων σχέσεων. Αυτό είναι μια αμφισβητήσιμη πτυχή της χρήσης των μοντέλων, καθώς εξαρτάται από αυτό που κάποιος εννοεί με την λέξη ανάλυση. Σε διάφορα λειτουργικά μοντέλα η ανάλυση περιορίζεται στη στατιστική ή μαθηματική εξήγηση που δεν είναι απαραίτητως ισοδύναμη με τη θεωρητική που προσπαθεί να εισέλθει στην αιτιότητα των σχέσεων που αναλύονται και μοντελοποιούνται. Μερικές θεωρίες και μοντέλα στην πραγματικότητα, έχουν

συλληφθεί ταυτόχρονα οπότε σ' αυτή την περίπτωση οι όροι "θεωρία" και "μοντέλο" χρησιμοποιούνται εναλλακτικά για να δείξουν ένα σύνολο θεωρητικών και λειτουργικών δηλώσεων της πραγματικότητας.

Πολύ συχνά, σε πρακτικές καταστάσεις, τα μοντέλα χρησιμοποιούνται για να προβλέψουν τις μελλοντικές διαμορφώσεις των προτύπων χρήσης εδάφους κάτω από τα διάφορα σενάρια της βιοφυσικής (π.χ. κλιματολογικά) και κοινωνικοοικονομικής αλλαγής. Οι εύλογες και επιτυχείς προβλέψεις εξαρτώνται, μεταξύ άλλων, από τις υποθέσεις, τις προδιαγραφές και το θεωρητικό υπόβαθρο των ίδιων των μοντέλων καθώς επίσης και από τα σενάρια αλλαγών από τα οποία δανείζονται τα επίπεδα (τιμές) των μεταβλητών που καθοδηγούν την πρόβλεψη. Σε εξαιρετικά σύνθετες καταστάσεις δύσκολων και απρόβλεπτων μελλοντικών καταστάσεων, η προσομοίωση είναι αυτή που χρησιμοποιείται συντηθέστερα οπότε σ' αυτή την περίπτωση η θεωρητική πληρότητα μπορεί να μην είναι κρίσιμης σπουδαιότητας (Turner κ.ά., 1995).

Τα μοντέλα της αλλαγής χρήσης εδάφους μπορούν να διαδραματίσουν έναν αποφασιστικό ρόλο στην αξιολόγηση των συνεπειών (impact assessment) των προηγούμενων ή των μελλοντικών δραστηριοτήτων στις περιβαλλοντικές ή / και κοινωνικοοικονομικές σφαίρες. Αυτή η λειτουργία έχει δύο όψεις. Αφ' ενός, μπορεί να αφορά την αξιολόγηση των ποιοτικών ή / και ποσοτικών αλλαγών της χρήσης εδάφους που προκαλούνται από αυτόνομες ή προγραμματισμένες αλλαγές σε έναν ή περισσότερους από τους καθοριστικούς παράγοντές του. Αφ' ετέρου, μπορεί να αφορά την αξιολόγηση των περιβαλλοντικών και κοινωνικοοικονομικών επιδράσεων των αλλαγών στη χρήση του εδάφους (όπως η υποβάθμιση του εδάφους, η ερήμωση, η προστασία τροφίμων, οι κίνδυνοι υγείας και ασφάλειας, η ανεργία, κ.λπ.).

Τα μοντέλα της αλλαγής χρήσης εδάφους ήταν και χρησιμοποιούνται αυτήν την περίοδο για να καθορίσουν τα βέλτιστα υποδείγματα της χρήσης εδάφους για τη βιώσιμη χρήση των εδαφικών πόρων και της ανάπτυξης γενικά. Σε αυτήν την περίπτωση, στηρίζονται συνήθως σε τεχνικές βελτιστοποίησης που χρησιμοποιούνται για να παραγάγουν μετασχηματισμούς χρήσης εδάφους που ικανοποιούν διευκρινισμένους στόχους καθώς επίσης και ποικίλους περιβαλλοντικούς και κοινωνικοοικονομικούς περιορισμούς. Ένας από αυτούς τους περιορισμούς είναι η

διαθεσιμότητα του εδάφους. Τα μοντέλα βελτιστοποίησης χρησιμοποιούνται συνήθως στα πλαίσια προγραμματισμού και διαχείρισης.

Η **αξιολόγηση** είναι μια τελευταία χρήση μοντελοποίησης που συνδέεται με τις προαναφερθείσες – την **πρόβλεψη**, την **αξιολόγηση των συνεπειών** και τον **καθορισμό υποδειγμάτων**. Μοντέλα αλλαγής χρήσης εδάφους για τους σκοπούς της αξιολόγησης αυτή καθ' εαυτή δεν υπάρχουν, δεδομένου ότι η αξιολόγηση είναι μια δραστηριότητα που μπορεί να εκτελεσθεί σε οποιοδήποτε σύνολο εναλλακτικών λύσεων που πρέπει να αξιολογηθούν βάσει συγκεκριμένων κριτηρίων. Επομένως, στην ιδιαίτερη περίπτωση ανάλυσης της αλλαγής χρήσης εδάφους, οι εναλλακτικές λύσεις χρήσης εδάφους που παράγονται από τα μοντέλα (είτε για τους σκοπούς της πρόβλεψης, της αξιολόγησης του αντίκτυπου, είτε του καθορισμού προτύπων) μπορούν να αξιολογηθούν χρησιμοποιώντας οποιοσδήποτε από τις διαθέσιμες τεχνικές αξιολόγησης (Turner κ.ά., 1995).

#### 4.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

Στο τμήμα αυτό θα γίνει μια κατανομή και κατηγοριοποίηση των μοντέλων που μελετούν τις αλλαγές χρήσης εδάφους. Αρχικά θα πρέπει να αναφερθούν ποια μοντέλα θα συμπεριληφθούν στην κατηγοριοποίηση αυτή και ποια θα αποκλειστούν.

Μια βασική και ευρεία διάκριση γίνεται μεταξύ εκείνων των μοντέλων που μεταχειρίζονται το έδαφος, την χρήση εδάφους και το πιο σημαντικό, την αλλαγή χρήσης εδάφους ρητά και άμεσα και εκείνων όπου η χρήση εδάφους και η αλλαγή της αντιμετωπίζονται με έναν λιγότερο άμεσο και ρητό τρόπο. Ορισμένα κριτήρια όσον αφορά σε αυτήν την διάκριση είναι απαραίτητα.

Τα μοντέλα που μεταχειρίζονται την αλλαγή εδάφους και χρήσης εδάφους ρητά, είναι βασικά εκείνα στα οποία το άμεσο αντικείμενο της δομής του μοντέλου είναι η αλλαγή της χρήσης εδάφους. Σε αυτά τα μοντέλα, το έδαφος (και η χρήση εδάφους) γίνεται αντιληπτό ως 'τομέας απεικόνισης της χερσαίας επιφάνειας της γης'. «Η χρήση του εδάφους χαρακτηρίζεται από: (α) όχι σημειακό αλλά πολυγωνικό χαρακτήρα, (β) τη σχετική ακινησία του (έναντι μιας συγκεκριμένης θέσης), (γ) τη

σχετική σταθερότητα της κάλυψής του χρονικά (διάρκεια), (δ) το σχετικά υψηλό κόστος της αλλαγής από έναν τύπο σε άλλο» (Aspinall, 1994). Ως εκ τούτου, τα μοντέλα σύμφωνα με τα οποία το έδαφος κατατέμνεται σε σημεία και όχι σε πολύγωνα στον χώρο, δεν θεωρούνται μοντέλα χρήσης εδάφους (και αλλαγής). Αυτό συμβαίνει με τα μοντέλα όπου η προσφορά (παραγωγή αγαθών ή / και υπηρεσιών) ή η ζήτηση (κατανάλωση αγαθών ή / και υπηρεσιών) έχει σημειακή αναπαράσταση. Αυτά τα μοντέλα αντιπροσωπεύουν γενικότερες διαδικασίες χωρικής αλλαγής που μπορεί απλώς να υπονοούν την αλλαγή χρήσης εδάφους.

«Η βιβλιογραφία περιέχει έναν σημαντικό αριθμό και μια ποικιλία μοντέλων αλλαγής χρήσης εδάφους όπου η χρήση εδάφους και η αλλαγή της αντιμετωπίζονται ρητά και είναι το άμεσο αντικείμενο της εργασίας της μοντελοποίησης. Οκτώ συσχετιζόμενες αρχές μεταβλητότητας, κατά μειωμένη σειρά προτεραιότητας, μπορούν να διακριθούν στα υπάρχοντα μοντέλα: ο σκοπός για τον οποίο το μοντέλο δημιουργείται, η θεωρία (ή η έλλειψή της) που αποτελεί την βάση του μοντέλου (που απεικονίζει, εν μέρει, τους τύπους των καθοριστικών παραγόντων της αλλαγής χρήσης εδάφους που λαμβάνονται υπόψη), η χωρική κλίμακα και το επίπεδο χωρικής συσσώρευσης που υιοθετούνται καθώς επίσης και του βαθμού "χωρικής σαφήνειας" του μοντέλου, οι τύποι χρήσεων εδάφους που θεωρούνται ως κύρια αντικείμενα της ανάλυσης, οι τύποι διαδικασιών αλλαγής χρήσης εδάφους που μελετώνται, η χρήση της χρονικής διάστασης (που στην περίπτωση της ανάλυσης της αλλαγής, γενικά, πρέπει να είναι έμφυτη σε οποιοδήποτε πρόγραμμα), και οι τεχνικές επίλυσης που χρησιμοποιούνται. Ως εκ τούτου, υπάρχουν:

- i. περιγραφικά μοντέλα, επεξηγηματικά μοντέλα, μοντέλα καθορισμού ενεργειών, μοντέλα πρόβλεψης και μοντέλα αξιολόγησης συνεπειών
- ii. μικροοικονομικά και μακροοικονομικά θεωρητικά μοντέλα, μοντέλα βαρύτητας ή χωρικών αλληλεπιδράσεων βασισμένα στη θεωρία, ολοκληρωμένα μοντέλα καθώς επίσης και α-θεωρητικά μοντέλα
- iii. τοπικά, περιφερειακά, διαπεριφερειακά, εθνικά και παγκοσμίου επιπέδου μοντέλα
- iv. γεω-αναφορικά (πλήρως χωρικά καθορισμένα) και μη γεω-αναφορικά (ημιτελώς χωρικά καθορισμένα) μοντέλα

- v. αστικά (κυρίως οικιστικά), γεωργικά (συγκομιδής) και δασικού τομέα μοντέλα
- vi. μοντέλα αποψίλωσης δασών, αστικοποίησης, κ.λπ.
- vii. στατικά, ημί-στατικά (ή ημί-δυναμικά) και δυναμικά μοντέλα
- viii. στατιστικά μοντέλα, προγραμματισμού, τύπου 'βαρύτητας, μοντέλα προσομοίωσης και ενσωμάτωσης.» (Briassoulis, 2000).

Σύμφωνα με τον Baker (1989) «η βιβλιογραφία μοντελοποίησης προτείνει διάφορα πρότυπα σχέδια ταξινόμησης. Ο Wilson (1974) προτείνει ένα σχέδιο ταξινόμησης βασισμένο στην κυρίαρχη τεχνική που χρησιμοποιείται στη δομή του μοντέλου. Ο Batty (1976) κάνει διάκριση μεταξύ θεμελιωδών και σχεδιαστικών κριτηρίων για την ταξινόμηση των μοντέλων. Ο Issaev (1982) ανέφερε τέσσερις πιθανές προσεγγίσεις στην ταξινόμηση μοντέλων: (α) κατασκευή ενός καταλόγου ιδιοτήτων που χαρακτηρίζει τις πτυχές των μοντέλων, (β) συγκεκριμενοποίηση ενός συνόλου κριτηρίων που χρησιμεύουν ως ένα γενικό πλαίσιο αξιολόγησης, (γ) κατάρτιση ενός ιδανικού μοντέλου ως πλαίσιο αναφοράς για την σύγκριση όλων των άλλων μοντέλων, και (δ) αλληλο-σύγκριση των μοντέλων βάσει των γενικών χαρακτηριστικών δόμησης αυτών. Ο Stahl (1986) προτείνει διάφορα θεμελιώδη κριτήρια για την ταξινόμηση των μοντέλων 'θέσης των επιχειρήσεων' συμπεριλαμβανομένων των ζητημάτων της θεωρίας και του σκοπού της μοντελοποίησης» (Baker, 1989).

Γενικά, γίνεται σαφές, ότι ένα σχέδιο ταξινόμησης των μοντέλων που μπορεί να απεικονίσει τη σημασία και των οκτώ αρχών μεταβλητότητας που αναφέρθηκαν προηγουμένως δεν υπάρχει. Το ίδιο θέμα μπορεί να μοντελοποιηθεί σε διάφορα επίπεδα χωρικής λεπτομέρειας υιοθετώντας τις αντίστοιχες θεωρίες (π.χ. μικροοικονομικής, μακροοικονομικής) καθώς επίσης και μέσα είτε σε ένα στατικό είτε σε ένα δυναμικό πλαίσιο. Επιπλέον, το ίδιο πρόβλημα που ένα μοντέλο εξετάζει μπορεί να προσεγγιστεί με τη βοήθεια περισσότερων από μιας τεχνικής μοντελοποίησης ή / και σχεδιασμού μοντέλων. Η συγκεκριμενοποίηση του μοντέλου για το ίδιο πρόβλημα που μελετάται μπορεί να κυμανθεί από πολύ απλή ως ιδιαίτερα περίπλοκη. Ως εκ τούτου, ίσως ο πιο ενδεδειγμένος τρόπος ταξινόμησης βασίζεται σε ένα συνολικό, σύνθετο κριτήριο, την παράδοση μοντελοποίησης (modelling tradition) στην οποία ένα μοντέλο ανήκει. Αυτό το κριτήριο καθορίζεται από το κυρίαρχο

χαρακτηριστικό γνώρισμα του σχεδιασμού του μοντέλου και των τεχνικών επίλυσης που είναι περισσότερο σχετικά για τη δομή του μοντέλου και μπορεί να κάνει διακρίσεις μεταξύ των διάφορων τύπων. Επιπλέον, ο σχεδιασμός του μοντέλου συνδέεται συνήθως με τους συγκεκριμένους σκοπούς που εξυπηρετούν τα μοντέλα, με τις θεωρίες στις οποίες βασίζεται και τους τύπους χρήσεων εδάφους που μοντελοποιούνται και τέλος, με τα χωρικά και χρονικά επίπεδα της ανάλυσης (Briassoulis, 2000).

Με βάση αυτό το κριτήριο, τέσσερις κύριες κατηγορίες μοντέλων διακρίνονται:

- i. στατιστικά και οικονομετρικά μοντέλα
- ii. μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης
- iii. μοντέλα βελτιστοποίησης, και
- iv. ολοκληρωμένα μοντέλα

Βεβαίως, υπάρχουν και εκείνα τα μοντέλα για τα οποία η ταξινόμηση δεν είναι απλή δεδομένου ότι απεικονίζουν ποικίλες παραδόσεις μοντελοποίησης. Η παράδοση μοντελοποίησης είναι ένα σύνθετο κριτήριο και είναι πιθανό διάφορα μοντέλα να μπορούν να ταξινομηθούν σε περισσότερες από μια κατηγορίες. Παράδειγμα αποτελούν τα μοντέλα αλυσίδων Markov που θα χρησιμοποιηθούν και στην παρούσα εργασία.

#### 4.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ

##### *4.4.1. ΣΤΑΤΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΟΙΚΟΝΟΜΕΤΡΙΚΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (STATISTICAL AND ECONOMETRIC MODELS)*

Η εφαρμογή στατιστικών τεχνικών για να παραχθούν μαθηματικές σχέσεις μεταξύ εξαρτημένων και ανεξάρτητων μεταβλητών είναι διαδεδομένη στη μοντελοποίηση κοινωνικοοικονομικών και άλλων συστημάτων ενδιαφέροντος. Η συνηθέστερη χρησιμοποιημένη στατιστική τεχνική είναι η ανάλυση πολλαπλής παλινδρόμησης (multiple regression analysis) και οι παραλλαγές της αν και η εφαρμογή άλλων πολύ-μεταβλητών τεχνικών δεν είναι ασυνήθιστες (όπως η παραγοντική ανάλυση, η κανονική ανάλυση, κ.λπ.). Η εφαρμογή των τεχνικών πολλαπλής παλινδρόμησης

στην ανάλυση προβλημάτων που περιλαμβάνουν οικονομική προσφορά και ζήτηση έχει δημιουργήσει αυτό που είναι γνωστό ως οικονομετρικά μοντέλα. Πιο συγκεκριμένα, αυτά είναι συστήματα εξισώσεων που εκφράζουν τις σχέσεις μεταξύ της προσφοράς ή / και της ζήτησης και των καθοριστικών παραγόντων τους καθώς επίσης και μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης αυτών καθ' εαυτών (για την οικονομική / αγοραστική ισορροπία). Ένας μεγάλος αριθμός εξειδικευμένων στατιστικών τεχνικών έχει αναπτυχθεί για τον υπολογισμό των συντελεστών τους, γνωστός ως οικονομετρική ανάλυση (Anselin, 1999).

#### *4.4.2. ΜΟΝΤΕΛΑ ΧΩΡΙΚΗΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ (SPATIAL INTERACTION MODELS)*

Η παράδοση της μοντελοποίησης χωρικής αλληλεπίδρασης πηγάζει από τις αρχικές προσπάθειες να μοντελοποιηθεί η αλληλεπίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων στον χώρο. Ως εκ τούτου, τα πρότυπα που περιλαμβάνονται σε αυτήν την ομάδα είναι τα ευρέως γνωστά μοντέλα τύπου βαρύτητας (gravity-type models) και οι πιο πρόσφατες εκδόσεις τους γνωστά γενικότερα ως μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης. Αυτά τα πρότυπα έχουν χρησιμοποιηθεί για να μοντελοποιήσουν ποικίλους τύπους αλληλεπιδράσεων που προκύπτουν από ένα πλήθος ανθρώπινων δραστηριοτήτων όπως η μετακίνηση στο τόπο εργασίας, τα ψώνια, η κυκλοφορία, και η κινητικότητα, γενικά.

Υπό μια γενική έννοια, η μελέτη της χωρικής αλληλεπίδρασης περιλαμβάνει τόσο τις οντότητες που αλληλεπιδρούν όσο και την μορφή αλληλεπίδρασής τους. Στην περίπτωση της ανάλυσης της χρήσης εδάφους ή της χωρικής δομής, οι αλληλεπιδρούσες οντότητες είναι άτομα που κατοικούν ή που συμμετέχουν σε κάποια δραστηριότητα (συνήθως εργασία ή ψώνια) σε ζώνες προέλευσης και προορισμού που χαρακτηρίζονται από τους αντίστοιχους τύπους χρήσεων εδάφους, π.χ. περιοχές κατοικίας, λιανικές περιοχές, περιοχές απασχόλησης. Αν και η αλληλεπίδραση προκύπτει από τις ενέργειες των ατόμων, δηλ. από τις ανθρώπινες δραστηριότητες, η περιγραφή αυτών των μοντέλων είναι συνήθως διατυπωμένη από την άποψη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ των διαφορετικών τύπων χρήσης εδάφους (π.χ. μεταξύ των περιοχών κατοικίας και απασχόλησης). Αυτές οι αλληλεπιδράσεις

λαμβάνουν διάφορες μορφές όπως μετακίνηση στον τόπο εργασίας, τα ταξίδια αγορών, οι ροές των αγαθών και πληροφοριών, κ.λπ.

Φυσικά και λογικά, η δύναμη της αλληλεπίδρασης μεταξύ των τύπων χρήσης εδάφους θα εξαρτηθεί από το μέγεθος και τη φύση της σχετικής δραστηριότητας ως εκ τούτου, οι αλλαγές στις δραστηριότητες (που απεικονίζονται επίσης στις αλλαγές στις αλληλεπιδράσεις τους) μπορούν να προκαλέσουν κάποια αλλαγή χρήσης εδάφους, είτε ποιοτική (το ποσό εδάφους που καταλαμβάνεται από μια δεδομένη χρήση παραμένει αμετάβλητο αλλά ο χαρακτήρας και η ένταση του αλλάζουν), είτε ποσοτική είτε και τα δύο. Το αντίθετο ισχύει επίσης. Οι αλλαγές της χρήσης εδάφους μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στις σχετικές δραστηριότητες καθώς επίσης και στις αλληλεπιδράσεις μεταξύ τους.

Τέλος, οι αλλαγές στην ευκολία της αλληλεπίδρασης μεταξύ δύο περιοχών, όπως εκείνες που επέρχονται από τις μεταβολές στη δυνατότητα πρόσβασης μετά από βελτιώσεις των δικτύων μεταφορών, μπορούν να προκαλέσουν αλλαγές στις αλληλεπιδρούσες δραστηριότητες και τις σχετικές χρήσεις εδάφους. Τα μοντέλα χωρικής αλληλεπίδρασης έχουν εφαρμοστεί στον τόπο κατοικίας, τη λιανική θέση, και τις αναλύσεις μεταφορών και έχουν χρησιμοποιηθεί επίσης ως τμήματα στα ενσωματωμένα μοντέλα χρήσης εδάφους των μεταφορών (Fotheringham και O'Kelly, 1989).

#### *4.4.3. ΜΟΝΤΕΛΑ ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗΣ (OPTIMIZATION MODELS)*

Η εφαρμογή μαθηματικών προγραμματισμού και τεχνικών βελτιστοποίησης στην αστική και περιφερειακή ανάλυση, που είχαν κίνητρο τις εξελίξεις μετά την δεκαετία του '50 στις τεχνικές επίλυσης και την τεχνολογία των υπολογιστών, συνεχίζει να προσελκύει σημαντικές ερευνητικές συνεισφορές καθώς επίσης και να προσφέρει σημαντική υποστήριξη αποφάσεων στις διάφορες περιπτώσεις, ειδικότερα στον σχεδιασμό. Όπως υποδηλώνει το όνομά τους, τα μοντέλα βελτιστοποίησης είναι αποκλειστικά προσανατολισμένα προς την παραγωγή λύσεων που βελτιστοποιούν ορισμένους στόχους που καθορίζονται από τους ενδιαφερόμενους που είναι υπεύθυνοι για τη λήψη αποφάσεων. Με άλλα λόγια, είναι κατάλληλα να παρέχουν



υποστήριξη σε καταστάσεις απόφασης όπου το ερώτημα είναι να επιλεγεί μια λύση σε ένα πρόβλημα απόφασης που ικανοποιεί έναν ή περισσότερους στόχους και λαμβάνει υπόψη του διάφορους περιορισμούς. Ως εκ τούτου, είναι μοντέλα καθορισμού ενεργειών αν και χρησιμοποιούνται επίσης ως εργαλεία αξιολόγησης.

Έχουν βρεθεί σημαντικές εφαρμογές στην ανάλυση της χρήσης εδάφους και ειδικότερα εφαρμογών σχεδιασμού χρήσης εδάφους και πρόσφατα εμφανίζονται να είναι χρήσιμα εργαλεία στην αναζήτηση λύσεων χρήσης εδάφους που συμβάλλουν στη βιώσιμη ανάπτυξη και τη χρήση του περιβαλλοντικού και ανθρώπινου δυναμικού. Τα παραδείγματα της χρήσης τους από τις δημόσιες και ιδιωτικές υπηρεσίες καλύπτουν ολόκληρο το φάσμα από την κλίμακα των αστικών περιοχών μέχρι την παγκόσμια κλίμακα. (Pack και Rothenberg, 1977)

Το κύριο κριτήριο για την ταξινόμηση αυτών των μοντέλων εμφανίζεται να είναι οι αλγόριθμοι προγραμματισμού / τεχνική βελτιστοποίησης που υιοθετούν. Μια εξαίρεση είναι η ομάδα μοντέλων μεγιστοποίησης χρησιμότητας που αντιμετωπίζονται ως χωριστή ομάδα δεδομένου ότι είναι βασισμένα και προέρχονται άμεσα από την οικονομική θεωρία. Τα πρότυπα σε αυτήν την τελευταία ομάδα μπορούν να ταξινομηθούν επίσης κάτω από τις ιδιαίτερες τεχνικές προγραμματισμού που χρησιμοποιούν. «Οι ακόλουθες κύριες κατηγορίες προτύπων βελτιστοποίησης παρουσιάζονται κατωτέρω:

- i. γραμμικά μοντέλα προγραμματισμού
- ii. δυναμικά μοντέλα προγραμματισμού
- iii. μοντέλα προγραμματισμού στόχου, ιεραρχικού προγραμματισμού, γραμμικής και τετραγωνικής ανάθεσης και μη γραμμικά πρότυπα προγραμματισμού
- iv. μοντέλα μεγιστοποίησης χρησιμότητας
- v. μοντέλα λήψης αποφάσεων πολλαπλών στόχων / πολλαπλών κριτηρίων (MODM/ MCDM).» (Ligmann-Zielinska, Church και Jankowski, 2004)

Αρκετά από αυτά τα μοντέλα χρησιμοποιούνται στα πλαίσια μεγαλύτερων μοντέλων ενσωμάτωσης. Δεδομένου του ότι συνέβη με τις προηγούμενες ομάδες μοντέλων, μερικά από τα μοντέλα βελτιστοποίησης είναι άμεσα μοντέλα χρήσης εδάφους (και αλλαγής) ενώ σε μερικά άλλα η χρήση εδάφους αντιμετωπίζεται με έναν πιο έμμεσο τρόπο.

#### 4.4.4. ΟΛΟΚΛΗΡΩΜΕΝΑ ΜΟΝΤΕΛΑ (INTEGRATED MODELS)

Τα ολοκληρωμένα μοντέλα της αλλαγής χρήσης εδάφους είναι διαφορετικά καθώς η ολοκλήρωση παίρνει διαφορετικές έννοιες στα διαφορετικά πλαίσια. Καλούνται επίσης μεγάλου εύρους ή γενικά μοντέλα αν και ο όρος «ολοκληρωμένα» κυριάρχησε στη βιβλιογραφία από τη δεκαετία του '80. Στη παρούσα εργασία, τα ολοκληρωμένα μοντέλα είναι εκείνα τα μοντέλα που εξετάζουν με κάποιο τρόπο τις αλληλεπιδράσεις, τις σχέσεις και τους δεσμούς μεταξύ δύο ή περισσότερων μερών ενός χωρικού συστήματος (όπως τομείς οικονομικής δραστηριότητας, περιοχές, της κοινωνίας και της οικονομίας, του περιβάλλοντος και της οικονομίας κ.ο.κ.) και τα συνδέουν με τη χρήση εδάφους και τις αλλαγές του.

Ένα κοινό χαρακτηριστικό των ολοκληρωμένων μοντέλων, είναι ότι είναι συνήθως μοντέλα μεγάλης κλίμακας. Στην πραγματικότητα, μια επιθεώρηση της βιβλιογραφίας στα μεγάλης κλίμακας μοντέλα αποκαλύπτει ότι, τις περισσότερες φορές, αυτά είναι ολοκληρωμένα μοντέλα. Το εύρος των χωρικών επιπέδων που καλύπτονται ξεκινά από το αστικό / μητροπολιτικό και φθάνει στο παγκόσμιο. Η χωρική κάλυψη των ολοκληρωμένων μοντέλων συσχετίζεται πολύ με το σκοπό τους, την εστίαση και άλλα δομικά και σχεδιαστικά χαρακτηριστικά. Όσον αφορά στην τελευταία πτυχή της δόμησης του μοντέλου, μια ευρεία διάκριση μπορεί να γίνει μεταξύ των "συμπαγών" ή "ενοποιημένων" και των "πολυμερών" ή "σύνθετων" τύπων μοντέλων. Ο πρώτος τύπος αναφέρεται στα ολοκληρωμένα μοντέλα που περιγράφονται από μια ενιαία λειτουργική έκφραση που περιέχει όλα τα επιχειρήματα των οποίων η ολοκλήρωση αντιπροσωπεύεται, παραδείγματος χάριν, μια ενιαία εξίσωση, ένα μοντέλο εισαγωγών εξαγωγών, κ.λπ. Ο δεύτερος τύπος αναφέρεται στα ολοκληρωμένα μοντέλα που συνδυάζουν διάφορα χωριστά μοντέλα των συστατικών του χωρικού συστήματος που μοντελοποιείται. Ο δεύτερος τύπος είναι πιο διαδεδομένος στις πρόσφατες εκδόσεις των ολοκληρωμένων μοντέλων. (Baker, 1989).

Η έννοια της ολοκλήρωσης ποικίλλει με τον σκοπό του μοντέλου και απεικονίζεται στη δομή του μοντέλου ολοκλήρωσης. «Πέντε διαστάσεις της ολοκλήρωσης μπορούν να διακριθούν:

- i. χωρική ολοκλήρωση – όπου οι οριζόντιες ή / και κάθετες αλληλεπιδράσεις μεταξύ των χωρικών επιπέδων υπογραμμίζονται όσον αφορά ένα φαινόμενο που μοντελοποιείται
- ii. τομεακή ολοκλήρωση – όπου το μοντέλο αντιπροσωπεύει τους δεσμούς και τις σχέσεις μεταξύ δύο ή περισσότερων οικονομικών τομέων του χωρικού συστήματος ενδιαφέροντος όπως η κατοικία, οι μεταφορές, η βιομηχανία, η γεωργία, κ.λπ.
- iii. ολοκλήρωση χρήσης εδάφους – στην οποία το μοντέλο επεξηγεί τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ περισσότερων από δύο τύπων χρήσης εδάφους όπως κατοικία, εμπόριο, κατασκευές, μεταφορές, κ.λπ. Αυτή η διάσταση της ολοκλήρωσης μπορεί να είναι ισοδύναμη κατά περιόδους με την τομεακή ολοκλήρωση
- iv. ολοκλήρωση οικονομίας – κοινωνίας - περιβάλλοντος – όπου το μοντέλο αντιπροσωπεύει τους δεσμούς μεταξύ τουλάχιστον δύο από τις διάφορες συνιστώσες του χωρικού συστήματος όπως οικονομία-περιβάλλον, οικονομία-κοινωνία (π.χ. πληθυσμός), οικονομία-ενέργεια κ.λπ.
- v. ολοκλήρωση υπό-αγορών – όπου τα μοντέλα επιδεικνύουν πώς οι διάφορες υπό-αγορές ολόκληρης της οικονομίας συσχετίζονται η μια με την άλλη. Ένας σχετικός τύπος ολοκλήρωσης μπορεί να θεωρηθεί αυτός μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης. Σε αυτήν την περίπτωση, τα σχετικά οικονομικά μοντέλα διακρίνονται στα μοντέλα μερικής ισορροπίας (αναφερόμενα είτε στην προσφορά είτε στη ζήτηση) και τα γενικά μοντέλα ισορροπίας» (Briassoulis, 2000).

Η χρονική διάσταση δεν θεωρείται ως μια από τις διαστάσεις της ολοκλήρωσης. Τα μοντέλα που ενσωματώνουν τη χρονική διάσταση καλούνται δυναμικά, γενικά, και μπορούν να αφορούν είτε απλά είτε μοντέλα ολοκλήρωσης αν και η τελευταία περίπτωση είναι λιγότερο συχνή λαμβάνοντας υπόψη τις πολλές δυσκολίες που συνδέονται με την δόμηση εννοιολογικών και λειτουργικών δυναμικών μοντέλων ολοκλήρωσης.

Οι πέντε κύριες διαστάσεις της ολοκλήρωσης δεν είναι αμοιβαία αποκλειόμενες, στην πραγματικότητα, οποιοδήποτε μοντέλο ολοκλήρωσης μπορεί να συνδυάσει περισσότερες της μιας από αυτές τις διαστάσεις. Η σύγχρονη τάση στη δόμηση

μοντέλων ολοκλήρωσης είναι να ερμηνεύσει διάφορες διαστάσεις με ιδιαίτερη έμφαση στη χωρική διάσταση – ειδικά στη μοντελοποίηση της χρήσης εδάφους ή των περιβαλλοντικών χαρακτηριστικών και ζητημάτων. Αυτό το τελευταίο χαρακτηριστικό γνώρισμα έχει διευκολυνθεί πολύ από τις ραγδαίες εξελίξεις στην τεχνολογία πληροφοριών και διαχείρισης χωρικών δεδομένων. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί ότι όσο υψηλότερος ο βαθμός ολοκλήρωσης, τόσο μεγαλύτερες είναι οι δυσκολίες, αφ' ενός, να κατανοηθούν και να υποστηριχτούν θεωρητικά οι σχέσεις ενδιαφέροντος και αφ' ετέρου, να καταστούν λειτουργικά και εφαρμόσιμα τα αντίστοιχα μοντέλα. (Briassoulis, 2000).

Τα μοντέλα ολοκλήρωσης μπορούν τελικώς να ομαδοποιηθούν στις ακόλουθες κατηγορίες:

- i. οικονομικού τύπου μοντέλα ολοκλήρωσης
- ii. μοντέλα ολοκλήρωσης βαρύτητας/ χωρικής αλληλεπίδρασης
- iii. μοντέλα προσομοίωσης
- iv. μοντέλα ολοκλήρωσης εισαγωγών- εξαγωγών

#### 4.5. ΜΟΝΤΕΛΑ ΑΛΥΣΙΔΩΝ MARKOV (MARKOV CHAIN MODELS)

Για την κατανόηση του μοντέλου που θα χρησιμοποιηθεί για την ανάλυση των διαχρονικών αλλαγών των καλύψεων εδάφους που προσπαθεί να περιγράψει η παρούσα εργασία, κρίνεται αναγκαία η εκτενής αναφορά της θεωρίας που στηρίζεται. Η θεωρία των αλυσίδων Markov δεν είναι τόσο διαδεδομένη στις γεω-επιστήμες όσο είναι στις επιστήμες των υπολογιστών. Ωστόσο, η ανάπτυξη μοντέλων ανάλυσης χρήσης εδάφους κυρίως σε περιβάλλον Γ. Σ. Π. έχει συμβάλλει τα μέγιστα στην μελέτη της επιφάνειας της γης και των αλλαγών που παρατηρούνται.

Η μοντελοποίηση με αλυσίδες Markov, είναι βασικά μια τεχνική προσομοίωσης που έχει εφαρμοστεί στην ανάλυση της αλλαγής κάλυψης εδάφους αλλά δεν είναι τόσο διαδεδομένη όσο άλλες τεχνικές. Η εφαρμογή της ανάλυσης Markov για την πρόβλεψη των μακροπρόθεσμων αλλαγών κάλυψης εδάφους συμπεριλαμβάνεται

μεταξύ των προτάσεων του σχεδίου εφαρμογής LUCC (Land Use / Cover Change 1999, βλ. βιβλιογραφία ) (Pontius και Malanson, 2005).

Σύμφωνα με την Briassoulis (2000) «η εφαρμογή της ανάλυσης Markov στη μελέτη των αλλαγών χρήσης εδάφους προτάθηκε στη «γεωγραφική» βιβλιογραφία από το 1965 για τη μελέτη της μετακίνησης των κεντρικών περιοχών ενοικιαζόμενης κατοικίας (Clark 1965). Οι επόμενες εφαρμογές αφορούσαν κυρίως τη μελέτη των διαδικασιών μετατροπής εδάφους συνήθως σε αστικά πλαίσια όπως η μετατροπή σε προάστιο, η αλλαγή γειτονιάς κατοικίας, η αλλαγή χρήσης εδάφους (Drewett 1969, Gilbert 1972, Bell 1974, 1975) και περισσότερο ειδικά θεωρητικά ζητήματα όπως η διαδικασία της διαδοχής χρήσης εδάφους (Bourne 1971). Άλλες εφαρμογές αφορούσαν τη χρήση της ανάλυσης αλυσίδων Markov στα πλαίσια της αξιολόγησης του αντίκτυπου της χρήσης εδάφους των μεγάλων δημοσίων επενδύσεων όπως τα φράγματα και την ανάλυση της ιστορικής δυναμικής της αστικοποίησης σε γεωργικές περιοχές (Muller και Middleton 1994)» (Briassoulis, 2000). Πιο πρόσφατα, η ανάλυση Markov έχει εφαρμοστεί στα προβλήματα της επίδρασης των αλλαγών της χρήσης / κάλυψης εδάφους στο τοπικό κλίμα και στις συγκεντρώσεις οργανικού άνθρακα. Τέλος, η ανάλυση Markov για την μελέτη των αλλαγών χρήσης εδάφους έχει συνδυαστεί με τα G.I.S. για να δημιουργηθεί ένα εργαλείο οπτικοποίησης και προβολής των πιθανοτήτων της αλλαγής χρήσης εδάφους (πιθανότητες μετάβασης) μεταξύ των διαφόρων κατηγοριών.

Η ακόλουθη αναφορά, παρουσιάζει εν συντομία τα βασικά στοιχεία της ανάλυσης αλυσίδων Markov όπως εφαρμόζεται στα ζητήματα της αλλαγής χρήσης εδάφους και σχολιάζει τα ζητήματα σχετικά με τη δυνατότητα εφαρμογής της.

Η ανάλυση των αλυσίδων Markov ανήκει στις αναλυτικές μεθόδους των *πιθανολογικών - στοχαστικών διαδικασιών*. Μια διαδικασία Markov είναι μια πιθανολογική διαδικασία με ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που την διακρίνουν από άλλες διαδικασίες του είδους.

«Για ένα σύστημα ενδιαφέροντος, για παράδειγμα ενός τμήματος του εδάφους, υπάρχει ένα σύνολο διακριτών καταστάσεων (ή κατηγοριών) –  $S_1, S_2, \dots, S_n$  (ας πούμε, διαφορετικοί τύποι χρήσεων εδάφους). Η διαδικασία μπορεί να είναι σε μόνο μια από αυτές τις καταστάσεις σε μία δεδομένη στιγμή.

Η διαδικασία κινείται διαδοχικά από τη μια κατάσταση στην άλλη με κάποια πιθανότητα που εξαρτάται μόνο από την επικρατούσα κατάσταση και όχι από τις προηγούμενες. Αυτή είναι μια χαρακτηριστική υπόθεση των διαδικασιών Markov (ή, διαφορετικά διατυπωμένα, αυτή είναι μια διαδικασία χωρίς μνήμη - process without memory). Η πιθανότητα της μετάβασης από μια κατάσταση  $i$  σε χρόνο  $t$ , σε μια άλλη κατάσταση  $j$  σε χρόνο  $t+1$ , καλείται **πιθανότητα μετάβασης** (*transition probability*),  $P_{ij}$  και δίνεται για κάθε διατεταγμένο ζεύγος καταστάσεων. Αυτές οι πιθανότητες μπορούν να αντιπροσωπευθούν υπό μορφή **πίνακα μετάβασης** (*transition matrix*)  $P$ , όπως παρουσιάζονται παρακάτω:

$$P = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & \dots & P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} & \dots & P_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{n1} & P_{n2} & \dots & P_{nn} \end{bmatrix}$$

Δεδομένου ότι τα στοιχεία του πίνακα είναι μη αρνητικά και το άθροισμα των στοιχείων σε κάθε σειρά είναι ίσο με 1 (100%), κάθε στοιχείο του πίνακα καλείται **διάνυσμα πιθανότητας** και ο πίνακας  $P$  είναι ένας **πίνακας πιθανοτήτων**» (Wood, Lewis, Tarran και Lietzow, 1997).

Αυτή η ιδέα μεταφέρεται εύκολα στην περίπτωση μιας περιοχής που υποδιαιρείται σε διάφορες στοιχειώδεις οντότητες (pixel στη προκείμενη περίπτωση) κάθε μια από τις οποίες μπορεί να καταληφθεί από έναν δεδομένο τύπο χρήσης εδάφους σε μία δεδομένη στιγμή. Οι πιθανότητες μετάβασης υπολογίζονται έπειτα βάσει των παρατηρηθέντων στοιχείων μεταξύ των χρονικών διαστημάτων που παρουσιάζουν την πιθανότητα ενός pixel να αλλάξει (ή να μετακινηθεί) από έναν τύπο χρήσης εδάφους σε άλλον εντός της ίδιας περιόδου στο μέλλον. Αυτή η πιθανότητα εξαρτάται μόνο από την κατάσταση στην οποία το pixel είναι σε οποιοδήποτε δεδομένο χρονικό σημείο - δηλ. ο τρέχων τύπος χρήσης εδάφους του - και όχι στους τύπους χρήσης εδάφους από τους οποίους έχει καταληφθεί στο παρελθόν.

Προφανώς, η ευλογοφάνεια και η αποδοχή αυτής της υπόθεσης εξαρτώνται από το χρονικό διάστημα που εξετάζεται. Παραδείγματος χάριν, αυτό μπορεί να ισχύει για μεγάλα χρονικά διαστήματα (π.χ. για περισσότερο από 50 χρόνια αν και γενικά, όσο

μεγαλύτερο το χρονικό διάστημα, τόσο πιο εύλογη γίνεται η υπόθεση). Λαμβάνοντας υπόψη τον πίνακα  $P$  των πιθανοτήτων μετάβασης, η χρήση του στην προβολή των μελλοντικών αλλαγών της χρήσης εδάφους είναι η ακόλουθη:

«Ένα διάνυσμα,  $I_0$ , που απεικονίζει την κατανομή των χρήσεων εδάφους μεταξύ των διαφορετικών τύπων στην αρχή της περιόδου απαιτείται. Το διάνυσμα  $I_t$ , που παρουσιάζει την κατανομή των τύπων χρήσης εδάφους στο τέλος της περιόδου προβολής βρίσκεται από τον ακόλουθο τύπο:

$$I_t = I_0 P$$

Η κατανομή των τύπων χρήσης εδάφους μετά από  $k$  χρονικές περιόδους (δεδομένης διάρκειας) βρίσκεται με την ύψωση σε δύναμη του πίνακα  $P$ :

$$I_t^k = I_0 P^k$$

Εάν μια αλυσίδα Markov είναι κανονική (δηλ. οι καταχωρήσεις κάθε σειράς είναι μη αρνητικές και αθροιζόμενες δίνουν 1), τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για να υπολογιστεί το διάνυσμα ισορροπίας της κατανομής χρήσης εδάφους – δηλ. εκείνο το υπόδειγμα χρήσης εδάφους στο οποίο οι τελικές μετακινήσεις από έναν τύπο χρήσης εδάφους σε άλλον είναι μηδέν» Ο πίνακας που προκύπτει έχει τις ίδιες σειρές, κάθε σειρά αντιπροσωπεύει την κατανομή ισορροπίας των τύπων χρήσης εδάφους στην περιοχή. Αυτός ο πίνακας ισορροπίας βρίσκεται με την ύψωση του πίνακα  $P$  σε διαδοχικές δυνάμεις έως ότου δεν αλλάζουν οι τιμές στις σειρές (Vanderveer και Drummond, 1978).

Οι αλυσίδες Markov είναι ταξινομημένες ποικιλοτρόπως ανάλογα με τις ιδιότητές τους. Μια τέτοια σημαντική ιδιότητα για την εφαρμογή τους στην ανάλυση των αλλαγών χρήσης εδάφους είναι η ιδιότητα της **σταθερότητας** (stationarity). Μια αλυσίδα Markov καλείται χρονικά ομοιογενής εάν οι πιθανότητες μετάβασης είναι ίδιες για δύο χρονικά διαστήματα ίδιας διάρκειας χρόνου που προκύπτει σε διαφορετικά χρονικά σημεία. Η έννοια της σταθερότητας συσχετίζεται πολύ με την έννοια της χρονικής ομοιογένειας και χρησιμοποιούνται μερικές φορές ταυτόσημα. «Μια χρονικά ομοιογενής διαδικασία είναι σταθερή όταν οι (απεριόριστες)

πιθανότητες του συστήματος να είναι σε διαφορετικές καταστάσεις σε μελλοντικά χρονικά σημεία είναι σταθερές» (Bell και Hinojosa, 1977).

Μια μη σταθερή διαδικασία Markov είναι μια διαδικασία στην οποία ο όρος σταθερότητα δεν ισχύει – δηλ. οι πιθανότητες μετάβασης δεν είναι σταθερές σε διαφορετικά χρονικά διαστήματα. Οι περισσότερες από τις εφαρμογές της ανάλυσης Markov στη μελέτη της αλλαγής χρήσης εδάφους υποθέτουν ότι η διαδικασία είναι σταθερή αν και αυτό δεν είναι εύκολο να αποδειχθεί στην πράξη, ο σημαντικότερος λόγος του οποίου είναι η έλλειψη στοιχείων που εξετάζουν εάν η διαδικασία είναι σταθερή ή όχι (Bell και Hinojosa, 1977).

Οι περισσότερες από τις εφαρμογές της ανάλυσης Markov που αφορούν στην αλλαγή χρήσης εδάφους ακολουθούν μια διαδικασία λίγο πολύ παρόμοια με αυτήν που περιγράφηκε ανωτέρω. Εντούτοις, η ανάλυση Markov είναι μια μάλλον σύνθετη στατιστική μέθοδος ανάλυσης και η χρήση της απαιτεί την πλήρη κατανόηση των μαθηματικών και των στατιστικών που χρησιμοποιεί καθώς επίσης και της ακρίβειας των δοκιμών των βασικών υποθέσεων που γίνονται, δηλαδή, οι παρατηρούμενες διαδικασίες να είναι διαδικασίες Markov και ειδικότερα σταθερές διαδικασίες Markov.

Ένας από τους λόγους που αυτές οι βασικές υποθέσεις είναι δύσκολο να εξεταστούν είναι η έλλειψη ικανοποιητικών δεδομένων χρονικής σειράς όσον αφορά στις αλλαγές της χρήσης εδάφους μεταξύ των χρονικών διαστημάτων που μελετώνται. Τα δεδομένα αυτά, θα χρησιμοποιηθούν για να σχηματιστούν οι πίνακες πιθανότητας μετάβασης και να εξεταστεί έπειτα η σταθερότητα των συντελεστών μετάβασης κατά τη διάρκεια του χρόνου. Οι περισσότερες εφαρμογές αναγνωρίζουν την παρουσία αυτής της δυσκολίας και προειδοποιούν τον αναγνώστη στον περιορισμό της ανάλυσης στην περίπτωση που αυτή η εξέταση δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί. Επομένως, μια έγκυρη εφαρμογή της ανάλυσης Markov για την προβολή των αλλαγών χρήσης εδάφους απαιτεί μια προγενέστερη αυστηρή δοκιμή αυτών των βασικών υποθέσεων. Μόλις γίνουν αυτές οι δοκιμές και δείξουν ότι οι υποθέσεις ισχύουν στη συγκεκριμένη περίπτωση που μελετάται, η διαδικασία που περιγράφηκε ανωτέρω μπορεί να εφαρμοστεί. Διαπιστώνεται ότι η πρόσφατη διαθεσιμότητα των δορυφορικών εικόνων καθώς επίσης και η χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων



Πληροφοριών (G.I.S.) καθιστά ευκολότερη τη δοκιμή και την εφαρμογή αυτού του τύπου ανάλυσης (Verburg κ.α., 2003)

Η ανάλυση Markov που αφορά στην αλλαγή χρήσης εδάφους είναι μια συνολική προσέγγιση, μακροσκοπικής μοντελοποίησης δεδομένου ότι δεν λαμβάνει υπ' όψη οποιουσδήποτε από τους λόγους της αλλαγής χρήσης εδάφους. Άντ' αυτού, υποθέτει ότι όλες οι δυνάμεις που λειτούργησαν για να παραγάγουν τα παρατηρούμενα πρότυπα και κατεύθυναν τις πιθανότητες μετάβασής τους θα συνεχίσουν να κάνουν το ίδιο και στο μέλλον. Φυσικά, προηγμένες εφαρμογές της ανάλυσης χαλαρώνουν την υπόθεση της σταθερότητας και καθιστούν πιθανή την εξέταση εναλλακτικών μελλοντικών καταστάσεων που παράγονται με την κατάλληλη τροποποίηση των αρχικών πιθανοτήτων μετάβασης έτσι ώστε να προσομοιώσουν διαφορετικές πιθανότητες μετάβασης μεταξύ των τύπων χρήσης εδάφους. Εντούτοις, αυτές οι εφαρμογές προϋποθέτουν ιδιαίτερη ικανότητα στα μαθηματικά και την στατιστική που χρησιμοποιούν (Pontius και Malanson, 2005).

Εάν η υπόθεση σταθερότητας μπορεί να θεωρηθεί ότι ισχύει, κάτι που είναι χρονικά και χωρικά συγκεκριμένο, τότε η ανάλυση Markov μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τρεις διαφορετικούς τρόπους: (α) για την εκ των υστέρων αξιολόγηση του αντίκτυπου των αλλαγών χρήσης εδάφους (και των σχετικών περιβαλλοντικών) των προγραμμάτων ή των πολιτικών, (β) για την προβολή του διανύσματος ισορροπίας χρήσης εδάφους καθώς επίσης και για τον υπολογισμό του χρονικού ορίζοντα στον οποίο μπορεί να επιτευχθεί και (γ) για την προβολή των αλλαγών χρήσης εδάφους οποιαδήποτε στιγμή στο μέλλον δεδομένου ενός αρχικού πίνακα πιθανότητας μετάβασης όπως γίνεται συνήθως στις περισσότερες εφαρμογές (Briassoulis, 2000).

Πρέπει να σημειωθεί, εντούτοις, ότι, εκτός από τις προαναφερθείσες υποθέσεις, ο τύπος της ανάλυσης Markov που παρουσιάζεται εδώ δεν ενσωματώνει περιορισμούς στις πιθανές μεταβάσεις ή άλλου τύπου περιορισμούς (π.χ. διαθεσιμότητα εδάφους και άλλων πόρων). Η μελλοντική έρευνα πρέπει να προσπαθήσει να χαλαρώσει τους περιορισμούς και να παρέχει εκδόσεις αυτής της τεχνικής προσομοίωσης που μπορούν να προσαρμόσουν πιο εύλογες και υπερασπίσιμες υποθέσεις για την πραγματικότητα.

#### 4.5.1. HMI-MARKOBIANA MONTELA (SEMI-MARKOV MODELS)

Υπάρχουν ποικίλα φαινόμενα σε κλίμακα τοπίου για τα οποία η πιθανότητα της μετάβασης από την κατάσταση  $i$  στην κατάσταση  $j$  κατά τη διάρκεια του χρονικού διαστήματος από το  $t$  στο  $t + 1$  εξαρτάται όχι μόνο από το  $i$  και το  $j$ , αλλά και από το πόσο καιρό το χαρακτηριστικό γνώρισμα του τοπίου (ή του pixel) ήταν στην κατάσταση  $i$ . Τέτοια φαινόμενα είναι έτσι μη-μαρκοβιανά και τα μοντέλα αλυσίδων Markov μπορεί να είναι ακατάλληλα. Παραδείγματα τέτοιων φαινομένων μπορεί να περιλαμβάνουν δάση των οποίων η πιθανότητα πυρκαγιάς αυξάνεται με το χρόνο, από την στιγμή που η πυρκαγιά και οι αστικές δομές είναι πιθανότερο είτε να εξαλειφθούν είτε, εναλλακτικά, να διατηρηθούν ως ιστορικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, καθώς η ηλικία τους αυξάνει.

Η επίδραση αυτής της κυμαινόμενης «διάρκειας παραμονής» ή «του χρόνου παραμονής» μπορεί να εξεταστεί με δύο τρόπους. Ο πρώτος τρόπος είναι να επαναπροσδιοριστεί το διάστημα της κατάστασης έτσι ώστε κάθε προηγούμενη κατάσταση να περιλαμβάνει διάφορες κατηγορίες διάρκειας. Το προκύπτον μοντέλο μπορεί έπειτα να είναι μοντέλο Markov.

Ο δεύτερος τρόπος είναι να χρησιμοποιηθεί ένα ημί-μαρκοβιανό μοντέλο. Σε ένα τέτοιο μοντέλο οι πρότυπες μετακινήσεις μεταξύ των καταστάσεων καθοδηγούνται από μια αλυσίδα Markov σταθερής μετάβασης, με πίνακα μετάβασης  $P = (P_{ij})$ , ενώ οι χρόνοι παραμονής έχουν την κατανομή  $F_{ij}(t)$ , οι οποίοι εξαρτώνται μόνο από το  $i$  και το  $j$ . Σε μια αλυσίδα Markov οι χρόνοι παραμονής είναι σταθεροί, ενώ στο ημι-μαρκοβιανό μοντέλο η κατανομή  $F_{ij}(t)$  μπορεί να λάβει οποιαδήποτε μορφή. Ο πίνακας  $Q: P_{ij} * F_{ij}(t)$  είναι τότε ένας πίνακας κατανομών μετάβασης για την ημι-μαρκοβιανή διαδικασία. Οι πιθανότητες μετάβασης για τη διαδικασία και την αναμενόμενη κατανομή μεταξύ των καταστάσεων για οποιαδήποτε στιγμή  $t$  μπορούν να προέλθουν από τον πίνακα  $Q$ . Στον πίνακα  $P$  μπορούν να γίνουν λειτουργίες εξωγενών ή ενδογενών μεταβλητών, ακριβώς όπως στα μοντέλα αλυσίδων Markov (Baker, 1989).

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5<sup>ο</sup>: ΟΡΙΣΜΟΙ – ΔΕΔΟΜΕΝΑ – ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ

### 5.1. ΜΟΝΤΕΛΑ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΚΑΝΝΑΒΟΥ ΚΑΙ PIXEL

Τα δεδομένα καννάβου στα Γ.Σ.Π. προέρχονται συχνά από σαρωτικές συσκευές που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση από αεροσκάφη και δορυφόρους, καθώς και από εκείνες που χρησιμοποιούνται για την σάρωση εγγράφων.

Τα χωρικά μοντέλα δεδομένων καννάβου θεωρούν το χώρο ως ένα μωσαϊκό κελιών, καθένα από τα οποία σχετίζεται με μια εγγραφή της τάξης ή του γνωρίσματος του φαινομένου που αναφέρεται το συγκεκριμένο κελί. Ο όρος «pixel», που σημαίνει στοιχείο εικόνας (pixel = pict.-el.= picture element), χρησιμοποιείται συχνά αναφερόμενος στα κελιά (Φώτης, 2003).

Το εικονοστοιχείο είναι το μικρότερο στοιχείο μιας ψηφιακής εικόνας. Το μέγεθός του εξαρτάται από τη χωρική διακριτική ικανότητα του καταγραφικού συστήματος και στην περίπτωση του Θεματικού Χαρτογράφου (TM) είναι 30 x 30 m.( $\approx$  1 στρέμμα). Θα πρέπει να γίνει σαφές ότι το εικονοστοιχείο είναι συνάρτηση τριών τιμών: της χωρικής του θέσης, που ορίζεται από τις συντεταγμένες  $\chi$  και  $\psi$  και του ποσοστού ανάκλασης, όπως αυτό κλιμακώνεται σε τιμές από 0-255 (0 = μαύρο, πλήρης απορρόφηση και 255 = λευκό, πλήρης ανάκλαση) (Συλλαίος, 2000).

Τα πληροφοριακά συστήματα που χρησιμοποιούν το μοντέλο καννάβου συνήθως εφαρμόζουν την διαστρωματική προσέγγιση. Σε κάθε θεματικό επίπεδο, τα εικονοστοιχεία του καννάβου καταγράφουν την ύπαρξη φαινομένων συγκεκριμένων κλάσεων. Η τιμή των μεμονωμένων εικονοστοιχείων είναι ενδεικτική των κατηγοριών του φαινομένου μέσα στη συγκεκριμένη κλάση. Στο θεματικό επίπεδο του εδάφους, για παράδειγμα, η κατηγορία μπορεί να είναι ο κυρίαρχος τύπος εδάφους μέσα στο εικονοστοιχείο.

Καθώς τα εικονοστοιχεία έχουν συγκεκριμένο μέγεθος και θέση, οι ψηφίδες τείνουν να αναπαριστούν φυσικά και ανθρωπογενή φαινόμενα με τρόπο συμπαγή. Τα όρια ανάμεσα στις κατηγορίες υποχρεούνται να ακολουθήσουν τα όρια των εικονοστοιχείων του καννάβου, καθώς κάθε εικονοστοιχείο του θεματικού επιπέδου

συνήθως κατανέμεται σε συγκεκριμένη κατηγορία και θεωρείται μια ομοιογενής μονάδα. Ο βαθμός στον οποίο το φαινόμενο μπορεί έτσι να απεικονίζεται λάθος, εξαρτάται από το μέγεθος του εικονοστοιχείου σε σχέση με το χαρακτηριστικό που μας ενδιαφέρει. Αν τα εικονοστοιχεία είναι αρκετά μικρά σε σχέση με το χαρακτηριστικό, ο κάνναβος μπορεί να είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικός τρόπος απεικόνισης της συνήθως τυχαίας κατανομής των ορίων των φυσικών φαινομένων, τα οποία ενδέχεται να τείνουν σταδιακά να ενοποιηθούν το ένα με το άλλο παρά να διακριθούν ξεκάθαρα.

Αν κάθε εικονοστοιχείο προέρχεται από μια συγκεκριμένη ταξινόμηση (σκληρών ταξινομητών), το μοντέλο καννάβου μπορεί να μην καταφέρει να αποδώσει επαρκώς την μεταβατική φύση της αλλαγής κάποιων φυσικών φαινομένων. Αν το δείγμα δεν κατεβεί σε μικροσκοπικό επίπεδο, πολλές κατηγορίες δεδομένων, όπως τα εδάφη, τα ιζήματα και η βλάστηση, είναι στην πραγματικότητα μικτές κατηγορίες. Τέτοια ασαφή χαρακτηριστικά μπορούν να αναπαρασταθούν πιο αποτελεσματικά σε ένα κάνναβο με μεικτά εικονοστοιχεία (mixed pixels), στα οποία οι συνιστώσες κατηγορίες απεικονίζονται με μετρημένα ή αναμενόμενα ποσοστά της συνολικής σύνθεσης του κελιού (Φώτης, 2003).

«Τα μεικτά εικονοστοιχεία μπορούν να περιέχουν:

1. Όρια μεταξύ δυο διαφορετικών φυσιογραφικών μονάδων (π.χ. δάσους και γεωργικής έκτασης).
2. Γραμμικά στοιχεία (π.χ. δρόμους)
3. Μικρού μεγέθους στοιχεία (π.χ. δένδρα, σπίτια)

Είναι σαφές ότι νέες τεχνικές και μέθοδοι απαιτούνται για να εξάγουν τις πληροφορίες που "κρύβονται" στην τιμή ανάκλασης ενός εικονοστοιχείου. Τέτοιες μέθοδοι που σήμερα δοκιμάζονται, είναι π.χ. η λογική της ασάφειας (fuzzy logic) και τα νευρωνικά δίκτυα (neural networks)» (Συλλαίος, 2000).

Για τις ανάγκες της επεξεργασίας δεδομένων στα Γ.Σ.Π., απαραίτητη ιδιότητα του μοντέλου καννάβου είναι το γεγονός ότι επειδή οι θέσεις των εικονοστοιχείων σε κάθε θεματικό επίπεδο καννάβου είναι προκαθορισμένες, είναι πολύ εύκολη η

διεξαγωγή λειτουργιών αλληλεπίθεσης για την σύγκριση ιδιοτήτων που έχουν καταγραφεί σε διαφορετικά θεματικά επίπεδα. Επειδή οι θέσεις των εικονοστοιχείων είναι προκαθορισμένες και συνήθως είναι οι ίδιες για διαφορετικά θεματικά επίπεδα σε συγκεκριμένη εφαρμογή, κάθε ιδιότητα μπορεί να συνδυαστεί λογικά ή αριθμητικά με ιδιότητες σε αντίστοιχα εικονοστοιχεία άλλων θεματικών επιπέδων προκειμένου να δημιουργήσουν νέα τιμή ιδιότητας για το αποτέλεσμα της αλληλεπίθεσης (Φώτης, 2003).

## 5.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Για την ανάλυση του μοντέλου των διαχρονικών αλλαγών τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν είναι σε μορφή καννάβου (raster) και διανυσματικά (vector). Να σημειωθεί ότι η προμήθεια όλων των δεδομένων έγινε από πανεπιστημιακά ιδρύματα και ιδιωτικές εταιρίες μεγάλου κύρους και γι' αυτό η εγκυρότητα τους θεωρείται ικανοποιητική για τους σκοπούς της εργασίας. Συνοπτικά τα δεδομένα περιλαμβάνουν τα εξής:

- 3 δορυφορικές εικόνες LANDSAT (raster)
- Δασικός χάρτης Ν. Κιλκίς 1998 (raster)
- Ισοΰψεις καμπύλες (vector)
- Όρια νομών (vector)
- Όρια δήμων Ν. Κιλκίς (vector)

### *5.2.1. ΔΙΑΝΥΣΜΑΤΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ (VECTOR)*

Τα διανυσματικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην εργασία, όπως προαναφέρθηκε, περιλαμβάνουν τα όρια των νομών που περιέχονται στις δορυφορικές εικόνες, τα όρια των καποδιστριακών δήμων του νομού Κιλκίς και τις υψομετρικές καμπύλες (ισοΰψεις) με ισοδιάσταση 100 m. Όλα τα παραπάνω βρίσκονται σε μορφή «.shp» (shapefile) και η χρήση τους περιλαμβάνει την δημιουργία χαρτών αλλά και την οριοθέτηση της περιοχής μελέτης. Επιπρόσθετα, οι ισοΰψεις λειτουργούν όπως και ο δασικός χάρτης για την επαλήθευση της ταξινόμησης και των αποτελεσμάτων.

### 5.2.2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΣΕ ΜΟΡΦΗ KANNABOY (RASTER)

Η προμήθεια των δορυφορικών εικόνων LANDSAT έγινε από το Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης και τον ιστοχώρο του Πανεπιστημίου του Maryland των Η.Π.Α. (βλ. βιβλιογραφία). Στη βάση δεδομένων του πανεπιστημίου του Maryland μπορούν να αναζητηθούν δεδομένα που είναι ταξινομημένα σε στήλες (path) και γραμμές (rows) και κατόπιν να γίνει «κατέβασμα» (download) χωρίς καμία χρέωση. Οι δορυφορικές εικόνες που αφορούν την περιοχή μελέτης αντιστοιχούν σε path 184 και row 32 και καλύπτουν την ευρύτερη περιοχή Θεσσαλονίκης όπου περιλαμβάνεται και ο δήμος Κιλκίς, ενώ το προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται είναι το WGS 84. Όσο για την εικόνα που αποκτήθηκε από το Α.Π.Θ., αυτή δεν περιλάμβανε γεωδαίτηση σε συγκεκριμένο σύστημα αναφοράς και για το σκοπό αυτό εφαρμόστηκε γεωμετρική διόρθωση που περιγράφεται παρακάτω.

Οι εικόνες που βρέθηκαν είναι τραβηγμένες σε τρεις διαφορετικές χρονιές, 1986, 1987 και 2001. Τα χαρακτηριστικά τους μαζί με τις ακριβείς ημερομηνίες καταγραφής τους, περιλαμβάνονται στον πίνακα 5.1. Το ιδανικότερο θα ήταν να υπάρχουν εικόνες ανά ίσα χρονικά διαστήματα ή έστω μια εικόνα μέσα στην δεκαετία του 90 για να φανούν καλύτερα οι αλλαγές και να γίνει καλύτερη παρουσίαση των αποτελεσμάτων. Ωστόσο μετά από επίπονη αναζήτηση, δεν βρέθηκαν εικόνες που θα παρέχονταν δωρεάν και η αγορά τέτοιων κρίθηκε υπερβολική για τα δεδομένα της μελέτης, μιας και το κόστος απόκτησης μιας εικόνας LANDSAT στο εμπόριο κυμαίνεται στα 400 – 450 \$.

Πίνακας 5.1. Χαρακτηριστικά δορυφορικών εικόνων p184r32

Εικόνα	Ημερομηνία	Δορυφόρος	Όργανο	Προβολικό σύστημα
p184r32-1986	4-10-1986	Landsat 5	TM	-
p184r32-1987	19-7-1987	Landsat 5	TM	WGS 84
p184r32-2001	30-5-2001	Landsat 7	ETM	WGS 84

Πηγή: ίδια εξεργασία

### 5.3. ΠΡΟΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

#### *5.3.1. ΕΝΟΠΟΙΗΣΗ ΕΠΙΠΕΔΩΝ (ΚΑΝΑΛΙΩΝ)*

Οι εικόνες που αποκτήθηκαν, δεν ήταν άμεσα επεξεργάσιμες από τα χρησιμοποιούμενα προγράμματα και έπρεπε να πραγματοποιηθούν ορισμένες διαδικασίες μετασχηματισμού τους. Κάθε μια από τις εικόνες, ήταν χωρισμένη σε εφτά αρχεία, όσα και τα κανάλια του Θεματικού Χαρτογράφου και ο τύπος των αρχείων ήταν της μορφής «.tif». Για να καταστεί δυνατή η επεξεργασία των εικόνων, έπρεπε να μετασχηματιστούν σε μορφή «.img» και να ενοποιηθούν σε ένα αρχείο που θα περιλαμβάνει τα έξι από τα εφτά κανάλια. Το κανάλι 6 (θερμικό υπέρυθρο), κρίθηκε σκόπιμο να μην συμπεριληφθεί στην ενοποίηση μιας και σε αναλύσεις τύπου αλλαγών καλύψεων γης μπορεί να δώσει παραπλανητικά στοιχεία. Η διαδικασία μετασχηματισμού και ενοποίησης έγινε με την βοήθεια της εντολής *Layer Stack* του προγράμματος ERDAS Imagine 8.6. Η λειτουργία της εντολής έγκειται στην ονομασία της και ουσιαστικά «στοιβάζει» (stack) τα επίπεδα (Layers) των έξι καναλιών το ένα πάνω στο άλλο και δημιουργεί ένα ενιαίο αρχείο που τα περιλαμβάνει όλα.

#### *5.3.2. ΓΕΩΔΑΙΤΗΣΗ - ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΔΙΟΡΘΩΣΗ*

Οι ψηφιακές εικόνες συλλέγονται από καταγραφικά συστήματα που είναι εγκατεστημένα σε δορυφόρους και εμπεριέχουν συστηματικές και μη συστηματικές γεωμετρικές παραμορφώσεις. Μερικοί παράγοντες που παραμορφώνουν την γεωμετρία της εικόνας έχουν σχέση με την αλληλεπίδραση του συστήματος δορυφόρου-γης και είναι α) η κίνηση της πλατφόρμας (δορυφόρου), β) η περιστροφή της γης, γ) η επίδραση της καμπυλότητας της γης κ.α. Επιπλέον, η παραμόρφωση που υφίσταται μία δορυφορική εικόνα εξαρτάται από τον τρόπο λειτουργίας του φασματικού σαρωτή (συστήματος λήψης) και κατά συνέπεια του τρόπου καταγραφής της εικόνας.

Κάποιες από αυτές τις παραμορφώσεις (περιστροφή της γης, καμπυλότητα της γης, πανοραμική παραμόρφωση προσανατολισμός εικόνας κατά μεσημβρινό κ.α.) μπορούν να διορθωθούν με τη χρήση των δεδομένων της τροχιάς του δορυφόρου σε

συνδυασμό με την γεωμετρία του συγκεκριμένου καταγραφικού συστήματος. Άλλες παραμορφώσεις (μεταβολή στην ταχύτητα-ύψος του δορυφόρου, διατοιχισμός, προνευστασμός, αμφιπρόσηψη, κ.α.) διορθώνονται με τη συσχέτιση των συντεταγμένων των εικονοστοιχείων της ψηφιακής εικόνας (φωτοσταθερά) με τις αντίστοιχες συντεταγμένες στο έδαφος, έτσι όπως αυτές προσδιορίζονται σε ένα τοπογραφικό χάρτη ή με ένα GPS στο ύπαιθρο (Μηλιαρέσης, 2003).

Στην προκειμένη περίπτωση, η δορυφορική εικόνα του 1986 δεν είναι γεωδαιτημένη σε κάποιο σύστημα αναφοράς. Η γεωμετρική διόρθωση που πρέπει να εφαρμοστεί, ανήκει στα μη παραμετρικά μοντέλα γεωμετρικών διορθώσεων. Σ' αυτά τα μοντέλα, χρησιμοποιούμε πληροφορία που αφορά την θέση φωτοσταθερών σημείων (π.χ. διασταυρώσεις οδικών αρτηριών, χαρακτηριστικά σημεία σε λιμάνια-αεροδρόμια κ.α.) που μπορούμε να διακρίνουμε ευκρινώς τόσο στην δορυφορική εικόνα που θέλουμε να διορθώσουμε, όσο και πάνω στην επιφάνεια της γης ή σε χαρτογραφικές αναπαραστάσεις της γήινης επιφάνειας. Τα σημεία αυτά ονομάζονται «σημεία επίγειου ελέγχου»(Ground Control Points) και η θέση τους στην επιφάνεια της γης συνήθως υπολογίζεται από κάποιο χάρτη που είναι διαθέσιμος μπορεί όμως να υπολογιστεί και με επιτόπου μετρήσεις (συνήθως με GPS) ή με την βοήθεια μιας γεωδαιτημένης δορυφορικής εικόνας που θα λειτουργήσει ως υπόβαθρο.. Η υπόθεση που κάνουμε είναι ότι με την χρήση των συντεταγμένων των σημείων επίγειου ελέγχου, θα υλοποιήσουμε ένα μετασχηματισμό συντεταγμένων για όλα τα σημεία της δορυφορικής εικόνας ως προς το χρησιμοποιούμενο υπόβαθρο.. Οι συντρέχουσες προϋποθέσεις προκειμένου να υλοποιηθεί σωστά ο μετασχηματισμός είναι ότι:

- τα σημεία επίγειου ελέγχου να κατανέμονται ομοιόμορφα πάνω στην εικόνα,
- να είναι γνωστό το μοντέλο της παραμόρφωσης της δορυφορικής εικόνας (γραμμικό, πολυωνυμικό κ.α.) (Μηλιαρέσης, 2003).

Η δορυφορική εικόνα που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο ήταν η εικόνα του 1987. Όπως προαναφέρθηκε, η συγκεκριμένη εικόνα χρησιμοποιεί το προβολικό σύστημα WGS 84 και αρχικά έπρεπε να γίνει γεωδαίτηση στο ελληνικό προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 87 (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987) (βλ. πίνακα 5.2 παραρτήματος). Με τη βοήθεια του προγράμματος ERDAS Imagine 8.6 και την



εντολή Reproject, πραγματοποιήθηκε η μετατροπή της εικόνας του 1987 (και του 2001) από WGS 84 σε ΕΓΣΑ 87.

Μέσω του προγράμματος ERDAS Imagine 8.6, έγινε και η διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης της εικόνας του 1986. Αφού ανοίξαμε δυο viewers, έναν με την εικόνα του 1986 και έναν με την εικόνα του 1987, αρχίσαμε την επιλογή σημείων ελέγχου με το G.C.P. tool. Με διαδοχικό zoom προσπαθήσαμε να επιλέξουμε ακριβώς τα ίδια σημεία και στις δυο εικόνες με όσο το δυνατό μεγαλύτερη ακρίβεια και με μεγάλη διασπορά, όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα, ώστε να επιτύχουμε καλύτερο αποτέλεσμα.

Εικόνα 5.1. Διασπορά σημείων επίγειου ελέγχου.



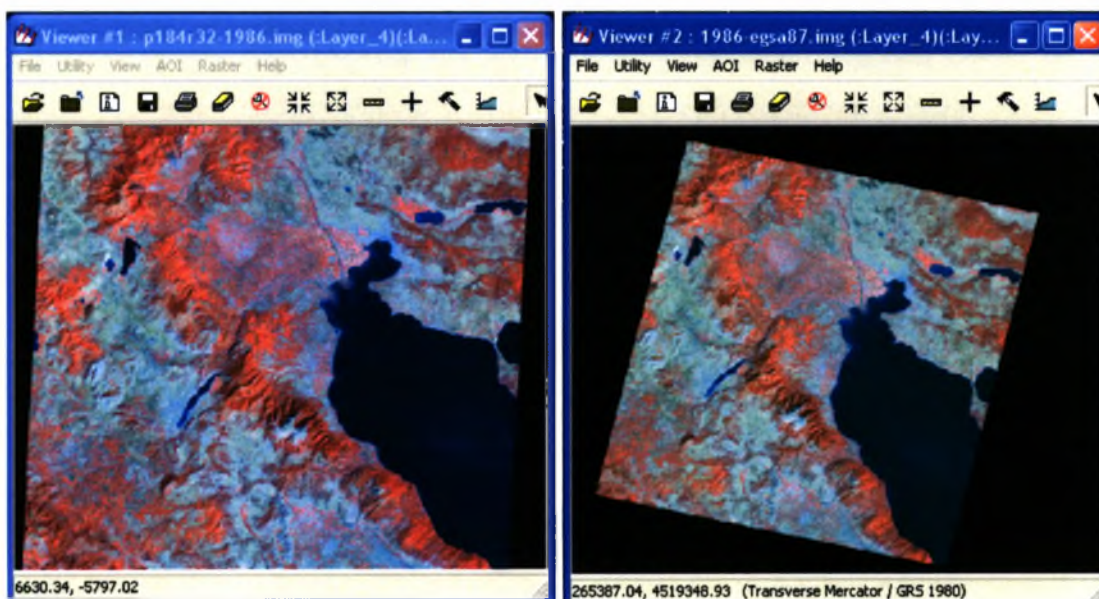
Αριστερά η δορυφορική εικόνα του 1986 που θέλουμε να διορθώσουμε και δεξιά η δορυφορική εικόνα του 1987 σε ΕΓΣΑ 87.

Αφού επιλέξαμε 19 σημεία, στην συνέχεια εφαρμόσαμε την επίλυση του μοντέλου που μας παρουσιάζει έναν πίνακα με τις συντεταγμένες των σημείων στις δυο εικόνες και το «μέσο τετραγωνικό σφάλμα» (RMS error). Σκοπός της διαδικασίας ήταν να επιτύχουμε τετραγωνικό σφάλμα μικρότερο ή ίσο από ένα pixel. Όσα σημεία είχαν σφάλμα μεγαλύτερο από 1.0 pixel επαναλαμβάναμε την επιλογή τους με πιο προσεκτικό τρόπο, ωστόσο υπήρχαν και σημεία που δεν βελτιώνονταν γι' αυτό και απαλείφτηκαν από την διαδικασία. Μετά την διαγραφή δυο σημείων με μεγάλο σφάλμα καταφέραμε να επιτύχουμε μέσο τετραγωνικό σφάλμα 0,405 pixel που κρίνεται κάτι παραπάνω από ικανοποιητικό. Ο πίνακας με τα 17 σημεία επίγειου

ελέγχου, τις συντεταγμένες τους και το RMS error, φαίνονται στον πίνακα 5.3 του παραρτήματος.

Μετά την εφαρμογή της διόρθωσης η νέα εικόνα αποθηκεύτηκε σε μορφή «.img» και η αλλαγή στον προσανατολισμό της φαίνεται στις ακόλουθες εικόνες.

Εικόνα 5.2. Αντιπαράθεση δορυφορικής εικόνας 1986 πριν και μετά την εφαρμογή της γεωμετρικής διόρθωσης.



Αριστερά η εικόνα πριν τη γεωμετρική διόρθωση. Δεξιά η εικόνα σε ΕΓΣΑ 87.

Τέλος, στο δασικό χάρτη του Ν. Κιλκίς αφού μετατράπηκε από αναλογική σε ψηφιακή μορφή, εφαρμόστηκε και εδώ γεωμετρική διόρθωση με τη βοήθεια των διανυσματικών δεδομένων που χρησιμοποιήθηκαν ως υπόβαθρα. Ο χάρτης αυτός, πέρα από τις διάφορες κατηγορίες δασών περιλαμβάνει και μια κατηγοριοποίηση των βασικών χρήσεων γης. Έτσι ο ρόλος του στην εργασία είναι να χρησιμοποιείται ως οδηγός τόσο στην δειγματοληψία που θα εφαρμοστεί παρακάτω, όσο και στην ταξινόμηση όπου θα αποκλείει ενδεχόμενα λάθη. Για παράδειγμα αν μετά την ταξινόμηση βρεθεί μια κατηγορία κάλυψης εδάφους σε περιοχή που δεν συμφωνεί με τον χάρτη, η διαδικασία θα εφαρμοστεί ξανά ή θα μελετηθεί περαιτέρω για την ορθότητα της έτσι ώστε να επιτευχθεί καλύτερη δυνατή ακρίβεια των αποτελεσμάτων.

#### 5.4. ΟΙ ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ LANDSAT

Ο πρώτος δορυφόρος της σειράς LANDSAT τέθηκε σε τροχιά το 1972 από το υπουργείο Εσωτερικών των Η.Π.Α. και τη NASA με το όνομα ERTS (Earth Resources Technology Satellite). Από τότε με διαδοχικές εκτοξεύσεις έχει επιτευχθεί αδιάλειπτη κάλυψη σε γήινη κλίμακα από αυτή την σειρά δορυφόρων όπως φαίνεται στον ακόλουθο πίνακα.

Πίνακας 5.4. Η σειρά δορυφόρων LANDSAT.



### LANDSAT

Δορυφόρος	Ενεργοποίηση	Απενεργοποίηση	Φασματικά Κανάλια			Κάλυψη (km <sup>2</sup> )
			RBV	MSS	TM	
Landsat 1	23 Ιουλ 1972	6 Ιαν 1978	1,2,3	4,5,6,7	-	185 * 170
Landsat 2	22 Ιαν 1975	25 Φεβ 1982	1,2,3	4,5,6,7	-	185 * 170
Landsat 3	5 Μαρ 1978	31 Μαρ 1983	A,B,C,D	4,5,6,7,8	-	185 * 170
Landsat 4	16 Ιουλ 1982	σε αναμονή	-	1,2,3,4	1-7	185 * 170
Landsat 5	1 Μαρ 1984	εν ενεργεία	-	1,2,3,4	1-7	185 * 170
Landsat 6	Οκτ 1993	καταστράφηκε				
Landsat 7	Μάιος 1998	-	-	-	1-7+pan	185 * 170

Πηγή: [www.eranet.gr](http://www.eranet.gr)

Ο LANDSAT 1, ήταν ηλιοσύγχρονος με σχεδόν πολική τροχιά κλίσης από τον Ισημερινό 99°, περιόδου 103 λεπτών και ύψους πτήσης 920 km. Πραγματοποιούσε 14 περιστροφές της γης κάθε μέρα, μετατοπισμένη κάθε μια από την επόμενη κατά 1,5° προς τα δυτικά. Έτσι επιτυγχανόνταν περιοδικότητα κάλυψης της ίδιας περιοχής κάθε 18 ημέρες.

Στις 22 Ιανουαρίου 1975, η NASA εκτόξευσε τον LANDSAT 2 ο οποίος είχε ίδια χαρακτηριστικά με τον LANDSAT 1 αλλά με διαφορά φάσης εννέα ημερών. Τρία χρόνια αργότερα, στις 5 Μαρτίου 1978 τέθηκε σε τροχιά ο 3<sup>ος</sup> δορυφόρος της σειράς

ο οποίος αντικατέστησε ουσιαστικά τον πρώτο ο οποίος είχε πάψει να λειτουργεί. Για τον LANDSAT 3 είχε προβλεφθεί να μεταφέρει ένα όργανο καταγραφής του υπέρυθρου καναλιού όμως δεν λειτούργησε ποτέ λόγω διάφορων τεχνικών προβλημάτων. (Περάκης, 1999)

Τα βασικά είδη οργάνων για την καταγραφή της γήινης επιφάνειας που μετέφεραν οι δορυφόροι LANDSAT 1, 2 και 3 ήταν: α) Οι Κάμερες Επιστρεφόμενης Δέσμης (Return Beam Vidicon- RBV cameras). Στους LANDSAT 1 και 2, οι τρεις RBV κάμερες είχαν 3 φασματικά κανάλια που κάλυπταν διαφορετικά μήκη κύματος και ονομάστηκαν 1,2 και 3 με χωρική διακριτική ικανότητα  $79 \times 79$  m. Στον LANDSAT 3, οι RBV κάμερες ήταν πανομοιότυπες με βελτιωμένη διακριτική ικανότητα ( $24 \times 24$  m). β) Ο Πολυφασματικός Σαρωτής (Multispectral Scanner – MSS). Τα κανάλια του MSS ονομάστηκαν 4, 5, 6 και 7 ενώ το 5<sup>ο</sup> κανάλι του LANDSAT 3 ονομάστηκε 8 και αντιστοιχούσαν σε μήκη κύματος 0,5-0,6  $\mu\text{m}$ , 0,6-0,7  $\mu\text{m}$ , 0,7-0,8  $\mu\text{m}$ , 0,8-1,1  $\mu\text{m}$  και 10,4-12,5  $\mu\text{m}$  αντίστοιχα. Η χωρική διακριτική ικανότητα ήταν  $79 \times 79$  m εκτός από το κανάλι 8 με μέγεθος pixel  $237 \times 237$  m.

Ακολούθησαν οι δορυφόροι LANDSAT 4 και 5 το 1982 και 1984 με εντελώς καινούργια πλατφόρμα και χαμηλότερη τροχιά κίνησης (705 km) έτσι ώστε να καταστούν δυνατές οι επιδιορθώσεις από το διαστημικό λεωφορείο (Περάκης, 1999).

Η καινοτομία των LANDSAT 4 και 5 έγκειται στο νέο όργανο καταγραφής του εδάφους με το όνομα Θεματικός Χαρτογράφος (Thematic Mapper - TM) με ραδιόμετρο υψηλής διακριτικής ικανότητας και επτά φασματικά κανάλια (6 + θερμικό υπέρυθρο). Επίσης, οι κάμερες RBV εγκαταλείφθηκαν ενώ τα κανάλια του MSS μετονομάστηκαν σε 1, 2, 3, 4 με διακριτική ικανότητα  $82 \times 82$  m. Τα βασικά χαρακτηριστικά του MSS και του TM αναφέρονται συνοπτικά στον πίνακα 5.5.

Πίνακας 5.5. Χαρακτηριστικά MSS και TM LANDSAT 4,5.

Χαρακτηριστικό	MSS	TM
Μέγεθος pixel	82 m	30 m (κανάλι 6: 120 m)
Ραδιομετρικές διαβαθμίσεις	64	256
Ρυθμός απόκτησης δεδομένων	15 Mbps	85 Mbps
Βάρος	68 kg	258 kg
Μέγεθος	0,35 x 0,4 x 0,9 m	1,1 x 0,7 x 2 m
Ισχύς	50 Watt	332 Watt

Πηγή: ίδια επεξεργασία

Τέλος, μετά την αποτυχημένη προσπάθεια του LANDSAT 6 ήρθε ο LANDSAT 7 το Μάιο του 1998 με την αναβαθμισμένη έκδοση του TM που ονομάστηκε ETM (Enhanced Thematic Mapper). Οι βελτιώσεις που έφερε αφορούσαν τη διακριτική ικανότητά του στο θερμικό υπέρυθρο κανάλι που από 120m έγινε 60m ενώ αργότερα προστέθηκε ένα παγχρωματικό κανάλι με μέγεθος pixel 15m. Τα φασματικά κανάλια του ETM με τις κύριες εφαρμογές τους παρουσιάζονται στον πίνακα 5.6 (Μηλιαρέσης, 2003).

Πίνακας 5.6. Φασματικά κανάλια ETM (LANDSAT 7) και εφαρμογές τους.

Κανάλι	Μήκος κύματος λ(μm)	Φασματική ζώνη	Εφαρμογές
1	0,45-0,52	Μπλε	Νερό, χαρτογράφηση παράκτιων περιοχών, βλάστηση
2	0,52-0,60	Πράσινο	Υγιής βλάστηση
3	0,63-0,69	Κόκκινο	Απορρόφηση χλωροφύλλης
4	0,76-0,90	Εγγύς υπέρυθρο	Απογραφή βιομάζας
5	1,55-1,75	Μέσο υπέρυθρο	Περιεχόμενη υγρασία, διαχωρισμός χιονιού-νεφών
6	10,4-12,5	Θερμικό υπέρυθρο	Θερμική χαρτογράφηση, υδρογεωλογία
7	2,08-2,36	Μέσο υπέρυθρο	Υγρασία βλάστησης, γεωλογική χαρτογράφηση
8	0,5-0,9	Παγχρωματικό	Χρήση ως αεροφωτογραφίες

Πηγή: ίδια επεξεργασία

## 5.5. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ

### *5.5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ*

Με το όρο ταξινόμηση φασματικών δεδομένων εννοείται η διαδικασία καταχώρησης κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας σε κάποια χρήση ή κάλυψη που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, δηλαδή εδάφους, νερού, βλάστησης και στις ανθρώπινες κατασκευές. Τα χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων της εικόνας είναι οι ραδιομετρικές τιμές τους, δηλαδή το ποσοστό ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας, εκφρασμένο σε τιμές 0 έως 255 (0=μαύρο, πλήρης απορρόφηση και 255=λευκό, πλήρης ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας).

Στην περίπτωση του δορυφόρου Landsat, κάθε εικονοστοιχείο χαρακτηρίζεται από 7 ραδιομετρικές τιμές. Αυτές αντιπροσωπεύουν την ανάκλαση της περιοχής, την οποία καλύπτει το εικονοστοιχείο στις επτά ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που καταγράφει ο Θεματικός Χαρτογράφος (TM) του δορυφόρου. Οι τιμές αυτές αποτελούν τη φασματική δομή του εικονοστοιχείου.

«Ως ταξινόμηση θεωρείται η αναγνώριση της δομής του κάθε εικονοστοιχείου και η συσχέτιση της με κάποιο βιοφυσικό χαρακτηριστικό. Με τον όρο ταξινομητής, εννοείται ο αλγόριθμος, ο οποίος έχει αναπτυχθεί για να εκτελεί την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων. Σύμφωνα με τον Καρτέρη (1994) υπάρχουν 2 ειδών ταξινομητές, (1) οι ταξινομητές φάσματος (spectral ή point classifiers) και (2) οι ταξινομητές χώρου ή υφής (spatial ή textural classifiers).

Οι ταξινομητές φάσματος θεωρούν κάθε εικονοστοιχείο ως σημειακή παρατήρηση, απομονωμένη από τα γειτονικά εικονοστοιχεία και, κατά συνέπεια, δε μπορούν να συνδυάσουν και να αλληλοσυσχετίσουν ομάδες εικονοστοιχείων, με αποτέλεσμα την απώλεια πληροφορίας. Οι ταξινομητές χώρου ή υφής εξετάζουν τις φασματικές ιδιότητες ομάδων εικονοστοιχείων, αλλά είναι πολύπλοκοι και τα αποτελέσματα παρουσιάζουν δυσκολία ερμηνείας» (Συλλαίος, 2000).

Για την κατανόηση της ταξινόμησης, θα χρησιμοποιηθούν οι όροι φασματική κατηγορία και βιοφυσική κατηγορία. Με τον όρο φασματική κατηγορία εννοείται

έναν αριθμό (ομάδα) εικονοστοιχείων της εικόνας με, στατιστικά, συσχετιζόμενες ραδιομετρικές τιμές. Με τον όρο βιοφυσική κατηγορία εννοείται η φύση των στοιχείων επιφάνειας, π.χ. επιφανειακό νερό, φυσική βλάστηση, ετήσιες καλλιέργειες, κατοικημένη περιοχή, κ.λ.π. Με την ταξινόμηση γίνεται προσπάθεια να συσχετιστεί η φασματική κατηγορία με μια βιοφυσική κατηγορία. Το τελικό αποτέλεσμα από την ταξινόμηση, θα είναι η εμφάνιση των διαφόρων βιοφυσικών κατηγοριών στην εικόνα με κάποια σύμβολα ή χρώματα.

Τρεις είναι οι βασικές μέθοδοι ταξινόμησης (1) η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification), (2) η επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification) και (3) η υβριδική ταξινόμηση (hybrid classification), ενώ τελευταία αναπτύχθηκαν τεχνικές στηριζόμενες στην ασαφή λογική (fuzzy logic), στα νευρωνικά δίκτυα (neural networks) και στη ταξινόμηση υπό-εικονοστοιχείων (sub-pixel classification) (Συλλαίος, 2000).

#### 5.5.2. ΦΑΣΜΑΤΙΚΕΣ ΥΠΟΓΡΑΦΕΣ

Κάθε υλικό αντιδρά στην ηλεκτρομαγνητική ενέργεια ανακλώντας, απορροφώντας ή μεταδίδοντας την, με το είδος της αντίδρασης να διαφέρει ανάλογα με το μήκος κύματος, δημιουργώντας μια δομή γνωστή σαν Δομή Φασματικής Ανάκλασης. Η βάση της ταξινόμησης είναι, επομένως, η εύρεση μιας περιοχής του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, στην οποία η αντίδραση είναι σημαντικά διαφορετική από αυτή άλλων υλικών που συναντώνται στην εικόνα. Πολλοί αναφέρονται σ' αυτή σαν Φασματική Υπογραφή, δηλαδή μια Δομή Φασματικής Ανάκλασης, που είναι χαρακτηριστική για το υλικό. «Ωστόσο, στην πράξη, ο καθορισμός σταθερών διακριτών υπογραφών είναι δύσκολος για τους ακόλουθους λόγους:

- τα περισσότερα είδη βλάστησης δεν έχουν σταθερή Δομή Φασματικής Ανάκλασης. Οι φαινολογικές αλλαγές, κατά τη περίοδο ανάπτυξης, μπορεί να οδηγήσουν σε ιδιαίτερα μεταβλητές φασματικές ταυτότητες.

- μεταβολές στο φωτισμό (εξαιτίας διαφορετικής κλίσης ή εποχής του έτους) και στην υγρασία μπορούν να επιφέρουν διαφορετικές Δομές Φασματικής Ανάκλασης.

- τα περισσότερα είδη κάλυψης εδάφους είναι συνήθως μίγματα βιοφυσικών στοιχείων και διακρίνονται, ωστόσο, σαν ένα εικονοστοιχείο. Για παράδειγμα, μια γραμμική καλλιέργεια, όπως το καλαμπόκι, στην πραγματικότητα αποτελείται από φυτά και έδαφος, σύμφωνα με την οπτική γωνία του δορυφόρου. Όμοια, ένα εικονοστοιχείο μπορεί να περιέχει μίγμα από κωνοφόρα και πλατύφυλλα είδη σε μια δασώδη περιοχή.

- για ένα δεδομένο αισθητήρα (sensor) δεν είναι εγγυημένο ότι το μήκος κύματος, στο οποίο λειτουργεί θα είναι το ίδιο με αυτό στο οποίο το υλικό που μελετάται είναι διακριτό. Αυτή τη στιγμή, πολυφασματικοί αισθητήρες εξετάζουν σημαντικές περιοχές του φάσματος, κυρίως για τη διαφοροποίηση της βλάστησης.

- Οι περιοχές ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, που δεν εξετάζονται αλλά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, είναι πολύ περισσότερες από αυτές που εξετάζονται. Για παράδειγμα, πολλά από τα μήκη κύματος, που θα μπορούσαν να διακρίνουν πετρώματα, δε χρησιμοποιούνται.» (Συλλαίος, 2000).

Τα προβλήματα αυτά έχουν ως επακόλουθο, η κοινότητα της τηλεπισκόπησης να κατευθύνεται στην ανάπτυξη φασματικών ταυτοτήτων από παραδείγματα μέσα από την ίδια την εικόνα που πρόκειται να ταξινομηθεί, αντί να βασίζεται στη χρήση γενικών βιβλιοθηκών με χαρακτηριστικές Δομές Φασματικής Ανάκλασης. Αυτά τα παραδείγματα ονομάζονται «περιοχές εκπαίδευσης» (training sites), με την έννοια ότι ο αναλυτής "εκπαιδεύει" τον ταξινομητή στο τι θα ψάξει. Επομένως, επιλέγοντας παραδείγματα από την ίδια την εικόνα (συνήθως επιβεβαιωμένα από εργασία υπαίθρου), ο αναλυτής δημιουργεί φασματικές ταυτότητες που είναι συγκεκριμένες για το μήκος κύματος που χρησιμοποιείται και αποφεύγει το πρόβλημα των διαφοροποιήσεων της ηλιακής ζενίθειας γωνίας και του σταδίου ανάπτυξης των φυτών. Επίσης, ο αναλυτής μπορεί να επιλέξει χαρακτηριστικές περιπτώσεις των διαφόρων μιγμάτων κάλυψης εδάφους, που υπάρχουν.

### 5.5.3. ΕΠΙΒΛΕΠΟΜΕΝΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ (SUPERVISED CLASSIFICATION)

Στη διαδικασία αυτή της ταξινόμησης, ο χρήστης ορίζει, από την αρχή, τις βιοφυσικές κατηγορίες στις οποίες επιθυμεί να ταξινομηθεί η εικόνα. Στην εικόνα του έτους λήψης αναγνωρίζονται εικονοστοιχεία τα οποία είναι σίγουρο ότι ανήκουν σε κάποια από τις, προς ταξινόμηση, κατηγορίες, δηλαδή ορίζονται αντιπροσωπευτικές





περιοχές ή περιοχές εκπαίδευσης (training sites). Ο καθορισμός αυτός των περιοχών εκπαίδευσης γίνεται είτε με εργασία υπαίθρου, είτε με αεροφωτογραφίες, χάρτες, κ.λ.π. Οι περιοχές πρέπει, όσο το δυνατόν, να είναι ομοιογενείς, δηλαδή το ιστόγραμμα τους να είναι μικρού εύρους και με μια κορυφή. Ένα άλλο σημαντικό στοιχείο, για κάθε βιοφυσική κατηγορία, είναι να μη λαμβάνεται μόνο μια περιοχή εκπαίδευσης, αλλά περισσότερες, σε αντιπροσωπευτικά σημεία της εικόνας.

Στο σημείο αυτό τίθεται το ερώτημα ποιοι φασματικοί διάυλοι θα χρησιμοποιηθούν. Όσον αφορά στον δορυφόρο Landsat, θα πρέπει να έχουμε υπόψη ότι αυτός καταγράφει σε 6 φασματικούς διάυλους (εξαιρείται ο θερμικός φασματικός διάυλος). Συνήθως χρησιμοποιούνται οι διάυλοι 4,3,2 ή 2,4,5 όπου διαχωρίζονται εύκολα οι καλλιέργειες ενώ ο συνδυασμός 3,2,1 δίνει περίπου φυσικά χρώματα. Θα πρέπει ακόμη να γνωρίζουμε ότι, όσο αυξάνουμε τους φασματικούς διάυλους που θα χρησιμοποιηθούν, τόσο αυξάνεται ο χρόνος υπολογισμού και ταξινόμησης.

Μετά τη λήψη των φασματικών ταυτοτήτων των βιοφυσικών κατηγοριών που πρόκειται να ταξινομηθούν, επιλέγεται η μέθοδος ταξινόμησης (ταξινομητής), που θα χρησιμοποιηθεί.

#### 5.6. ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ Δ. ΚΙΛΚΙΣ

Αρχικό βήμα για την ταξινόμηση των εικόνων είναι ο συνολικός ορισμός των κατηγοριών κάλυψης που θα συμπεριληφθούν στην διαδικασία. Όπως έχει αναφερθεί και στο κεφάλαιο που αφορά στην περιοχή μελέτης, η ποιότητα των εδαφών και η πολύ μικρή διαθεσιμότητα νερού για ποτιστικές καλλιέργειες, ευνοούν την επικράτηση των ξερικών καλλιεργειών και κυρίως των σιτηρών. Επίσης λόγω του ανάγλυφου του εδάφους έχουμε δασικές καλύψεις κυρίως στο ανατολικό τμήμα του δήμου που είναι και το ορεινό, ενώ αν εξαιρέσουμε τον Αξιό ποταμό που έτσι και αλλιώς έχει μικρά αποθέματα νερού τα επιφανειακά νερά είναι αμελητέα ποσότητα. Αντιθέτως, εξαιτίας του γεωργό-κτηνοτροφικού χαρακτήρα της περιοχής, οι βοσκότοποι καλύπτουν σημαντική έκταση και παρατηρούνται διάσπαρτοι στην περιοχή μελέτης. Απόρροια των παραπάνω είναι τελικά η διαδικασία ταξινόμησης να περιλαμβάνει τις εξής 7 βιοφυσικές κατηγορίες: αστική γη, ξερικές καλλιέργειες,

αρδευόμενες καλλιέργειες, βοσκότοποι, δάσος πλατύφυλλων (αραιό δάσος), δάσος δρυός (πυκνό δάσος)

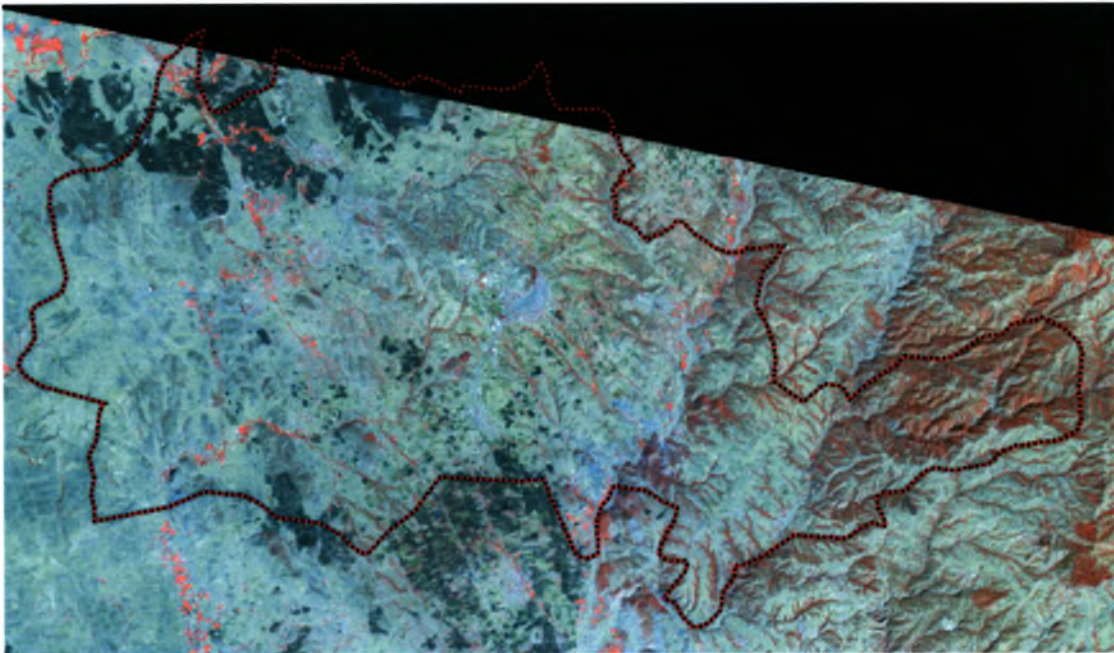
Ωστόσο, μετά από πολλές απόπειρες ταξινόμησης με τις 7 παραπάνω κατηγορίες τα αποτελέσματα δεν ήταν ικανοποιητικά και εμφανίζονταν σύγχυση μεταξύ των κατηγοριών άγονα εδάφη και ξερικές καλλιέργειες. Η επιμελέστερη προσπάθεια δειγματοληψίας ενέτεινε παρά έλυσε το πρόβλημα αφού μετά την ταξινόμηση μπερδευόταν και η κατηγορία αστική γη. Το πρόβλημα ήταν εντονότερο στην εικόνα του 1987 λόγω της μεγάλης φωτεινότητας που εμφάνιζε τις κατηγορίες σχεδόν όμοιες. Έγινε προσπάθεια διόρθωσης της εικόνας χειροκίνητα αλλά και με εφαρμογή γραμμικού μετασχηματισμού με την βοήθεια της εικόνας του 1986 αλλά και πάλι το πρόβλημα δεν λυνόταν. Έτσι τελικά, αποφασίστηκε η απαλοιφή της κατηγορίας άγονα εδάφη-χώμα που έτσι και αλλιώς περιελάμβανε μικρό αριθμό pixels μετά την ταξινόμηση και έτσι ο τελικός αριθμός των κατηγοριών είναι 6:

- i. Αστική γη
- ii. Ξερικές καλλιέργειες
- iii. Αρδευόμενες καλλιέργειες
- iv. Βοσκότοποι
- v. Δασός πλατύφυλλων (αραιό δάσος)
- vi. Δασός δρυός (πυκνό δάσος)

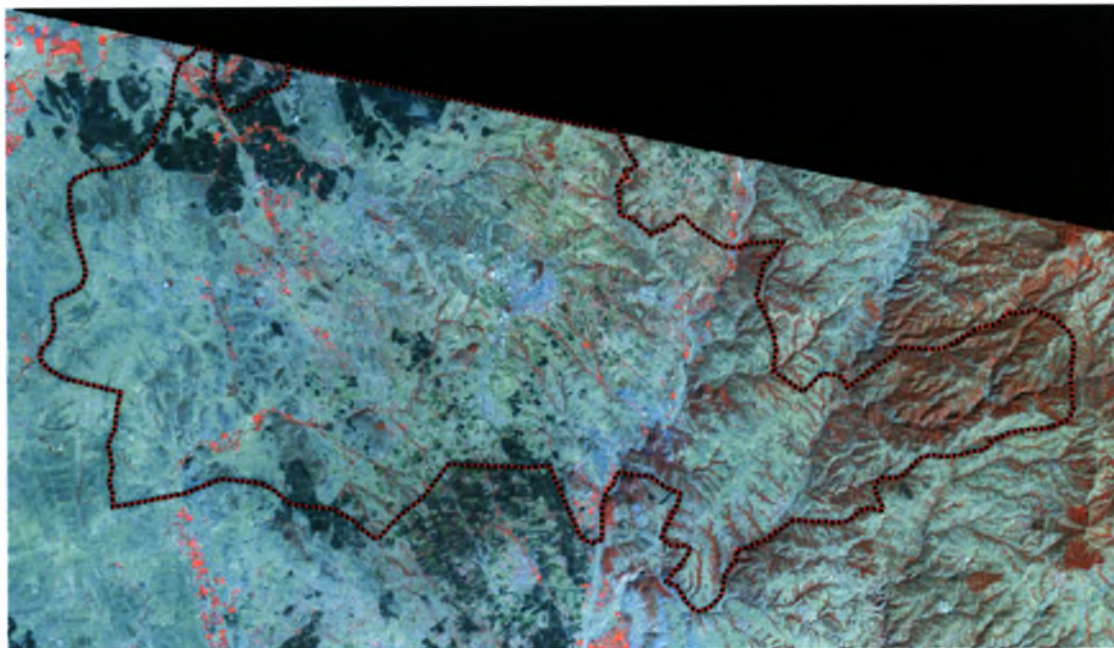
Πρόβλημα παρουσιάστηκε και στην εικόνα του 1986 η οποία ήταν μικρότερη από τις άλλες δυο και είχαμε έλλειψη πληροφορίας σε ένα μικρό κομμάτι του δήμου στο βόρειο τμήμα. Για τον λόγο αυτό προσαρμόστηκε η περιοχή μελέτης στα δεδομένα της εικόνας του 1986 και κόπηκε το πάνω μέρος της όπως φαίνεται στην εικόνα 5.3. Βέβαια, ενώ στην αρχή φάνηκε ότι με την προσαρμογή της περιοχής μελέτης στο μέγεθος της εικόνας του 1986 η διαδικασία θα εξελισσόταν ομαλά, εμφανίστηκε ένα ακόμη πρόβλημα. Μετά την ταξινόμηση των τριών εικόνων, η εικόνα του 1986 περιείχε πολύ λιγότερα pixel από τις άλλες δυο. Ενώ οπτικά οι τρεις εικόνες φαίνονταν να έχουν τις ίδιες διαστάσεις, στην πραγματικότητα η εικόνα του 1986 ήταν πεπλατυσμένη για να είναι απόλυτα υπερθέσιμη με τις εικόνες του 1987 και 2001, δηλαδή δεν είχε τον ίδιο αριθμό στηλών (columns) και γραμμών (rows) με αυτές. Το πρόβλημα εντοπίστηκε τελικά στο μέγεθος του pixel των δορυφορικών

εικόνων που στη μεν του 1986 ήταν 33.0 m ενώ στις δε του 1987 και 2001 ήταν 28.5 m. Έτσι, έγινε τροποποίηση του μεγέθους του pixel στην εικόνα του 1986 και από 33.0 m έγινε 28.5 m για να είναι υπερθέσιμες όλες οι εικόνες και με τον ίδιο αριθμό στηλών και γραμμών.

Εικόνα 5.3. Προσαρμογή περιοχής μελέτης



Περιοχή μελέτης αρχική



Περιοχή μελέτης τελική

Αφού ορίστηκαν οι βιοφυσικές κατηγορίες και η περιοχή μελέτης, το επόμενο βήμα ήταν η ταξινόμηση για κάθε ημερομηνία με το πρόγραμμα ERDAS Imagine 8.6. Με την βοήθεια της λειτουργίας «signature editor», επιλέχτηκαν δειγματοληπτικές περιοχές για κάθε κατηγορία. Η δειγματοληψία περιελάμβανε αρκετές περιοχές για κάθε κατηγορία έτσι ώστε να επιτύχουμε το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Μόλις ολοκληρωνόταν η δειγματοληψία για μια κατηγορία, οι ραδιομετρικές τιμές των επιμέρους περιοχών συγχωνεύονταν σε ένα ενιαίο αρχείο που αποτελούσε το τελικό σύνολο ραδιομετρικών τιμών για τη συγκεκριμένη κατηγορία. Έτσι, μετά την ολοκλήρωση της δειγματοληπτικής διαδικασίας αναμένουμε 7 σύνολα ραδιομετρικών τιμών αντιπροσωπευτικά της κάθε κατηγορίας. Υπόβαθρο για τη σωστή δειγματοληψία αποτέλεσε ο δασικός χάρτης ο οποίος περιλαμβάνει βασικές κατηγορίες χρήσεων γης και η συμβολή του στην διαδικασία υπήρξε καθοριστική.

Οι 7 κατηγορίες έχουν χαρακτηριστικές φασματικές υπογραφές με βάση τις οποίες θα γίνει η ταξινόμηση των pixel. Η μέση ραδιομετρική τιμή των pixel όλων των δειγματοληπτικών περιοχών για κάθε κανάλι, δημιουργεί ένα διάνυσμα το οποίο είναι χαρακτηριστικό της συγκεκριμένης κάλυψης γης [με τόσες συνιστώσες όσα και τα φασματικά κανάλια].

Εάν τοποθετήσουμε τις μέσες αυτές τιμές σ" ένα σχεδιάγραμμα, δεχθούμε ότι η κλίμακα των ραδιομετρικών τιμών από 0-255 [για τις 8-bit ψηφιακές δορυφορικές εικόνες] αντιστοιχεί σε μία κλίμακα ανακλαστικότητας. θεωρήσουμε σαν οριζόντιο άξονα του σχεδιαγράμματος το μήκος κύματος και κάθετο την ανακλαστικότητα, δημιουργούμε την φασματική υπογραφή της κάλυψης γης που μελετούμε.

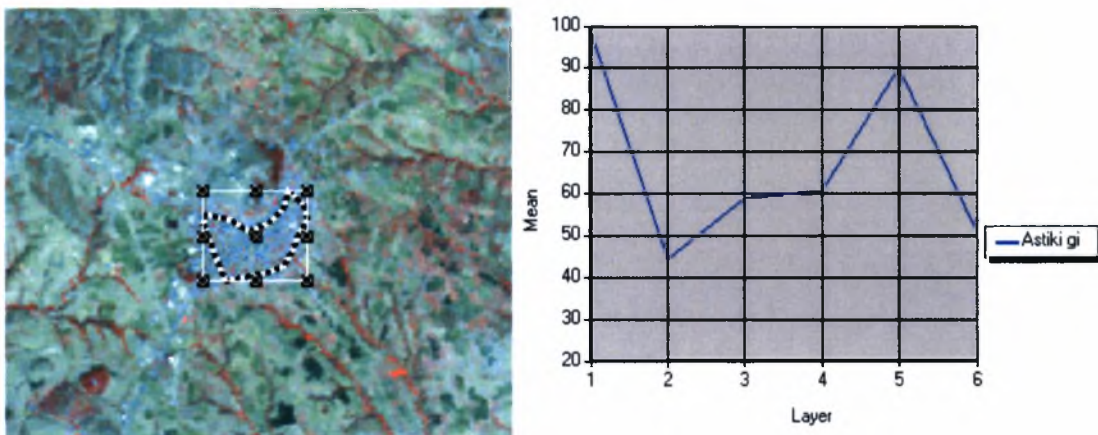
Οι αντιπροσωπευτικές δειγματοληπτικές περιοχές για κάθε κατηγορία και οι αντίστοιχες φασματικές τους υπογραφές παρουσιάζονται παρακάτω:

5.6.1. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ 1986

i. Αστική γη

Για τη δημιουργία της κατηγορίας αυτής χρησιμοποιήθηκαν δείγματα από τους οικισμούς και τους οδικούς άξονες όπου αυτοί έχουν μεγάλο πλάτος και είναι ευδιάκριτοι.

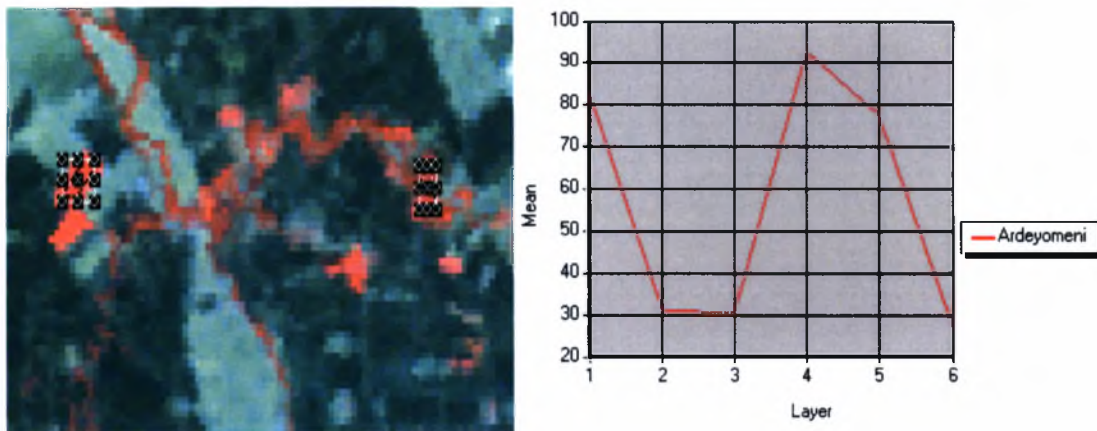
Εικόνα 5.4. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αστικής γης 1986.



ii. Αρδευόμενη καλλιέργεια

Η επιλογή δειγματοληπτικών περιοχών της κατηγορίας αρδευόμενων καλλιεργειών έγινε κυρίως από χωράφια που βρισκόταν κοντά σε ρέματα ή ποτάμια και εμφάνιζαν έντονο κόκκινο χρώμα όπως φαίνεται και στην εικόνα του παραδείγματος.

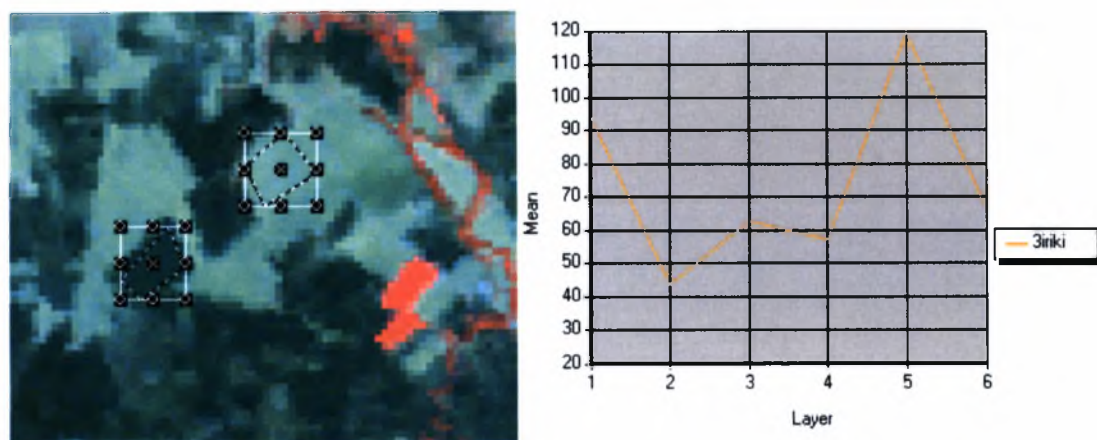
Εικόνα 5.5. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αρδευόμενης καλλιέργειας 1986.



iii. Ξερική καλλιέργεια

Για την κατηγορία των ξερικών καλλιεργειών χρησιμοποιήθηκαν χωράφια που είχαν διακριτό σχήμα και χρώμα. Ανάλογα με το στάδιο ανάπτυξης της καλλιέργειας το χρώμα εμφανίζει δυο αποχρώσεις, μια ανοιχτό πράσινο και μια σκούρο πράσινο. Για την καλύτερη σύσταση της κατηγορίας επιλέχθηκαν ισάριθμες δειγματοληπτικές περιοχές από τα δυο χρώματα.

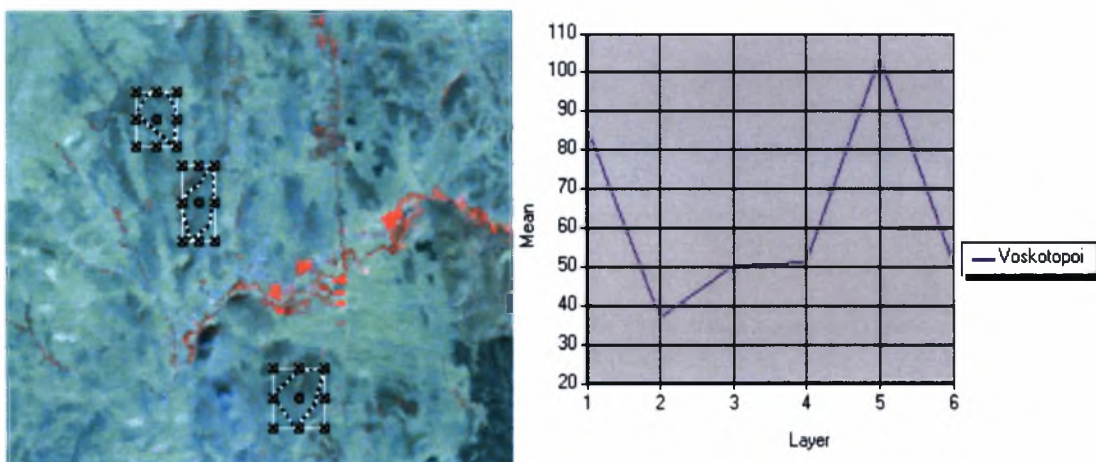
Εικόνα 5.6. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας ξερικής καλλιέργειας 1986.



## iv. Βοσκότοποι

Για την επιλογή των δειγματοληπτικών περιοχών των βοσκοτόπων χρησιμοποιήθηκε ως βάση ο δασικός χάρτης για προσανατολισμό. Οι βοσκότοποι εμφανίζουν μια μίξη χρώματος ανοιχτού πράσινου και ανοιχτού κόκκινου και έχουν ακανόνιστο σχήμα όπως φαίνεται και στην εικόνα.

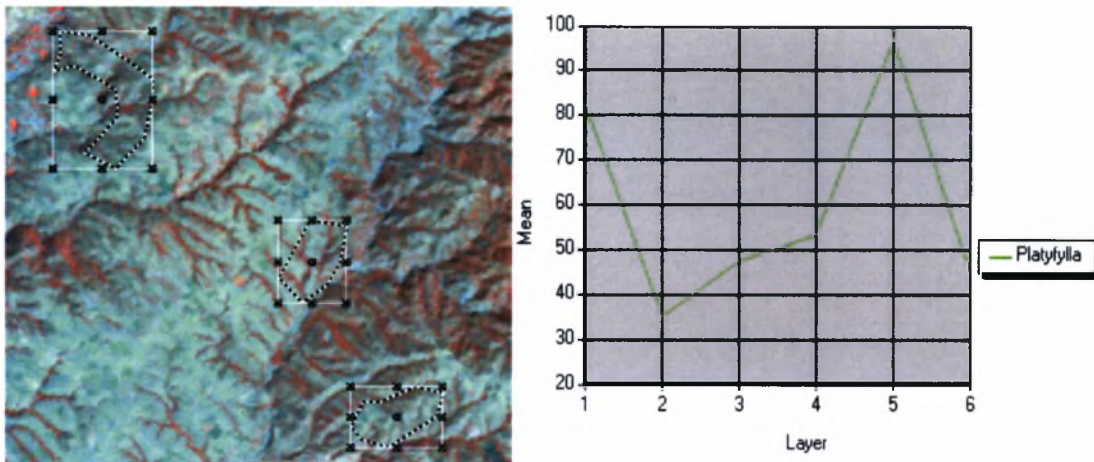
Εικόνα 5.7. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας βοσκοτόπων 1986.



## v. Δάσος πλατύφυλλων (αραιό δάσος)

Για την δειγματοληψία των πλατύφυλλων δασών που περιλαμβάνουν και την παραποτάμια και θαμνώδη βλάστηση, χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο ο δασικός χάρτης. Η κατηγορία αυτή εμφανίζει ροζ-ανοιχτό κόκκινο χρώμα και χρησιμοποιήθηκαν δείγματα κυρίως από το ανατολικό τμήμα του δήμου όπου παρατηρείται και μεγάλη κάλυψη.

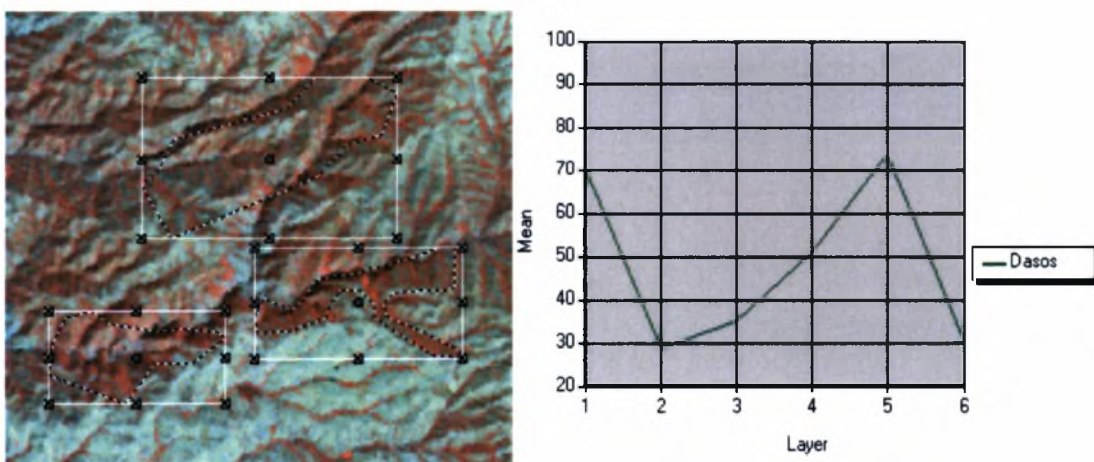
Εικόνα 5.8. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους πλατύφυλλων 1986.



vi. Δάσος δρυός (πυκνό δάσος)

Για την κατηγορία του πυκνού δάσους χρησιμοποιήθηκε και πάλι ο δασικός χάρτης για να γίνει σωστή συλλογή δειγμάτων. Το πυκνό δάσος εμφανίζει κόκκινο χρώμα και απροσδιόριστο σχήμα ενώ εμφανίζεται σχεδόν αποκλειστικά στο ανατολικό τμήμα της περιοχής μελέτης.

Εικόνα 5.9. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους δρυός 1986.



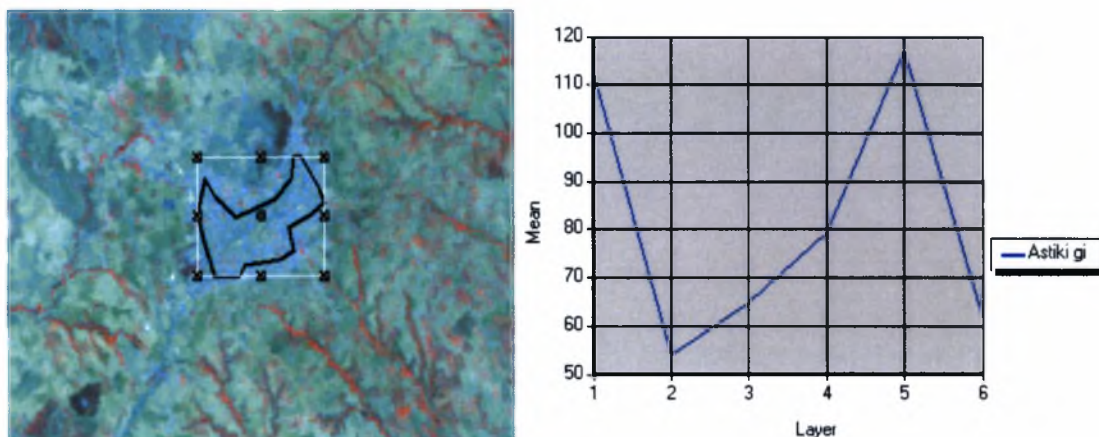


Με αντίστοιχη λογική και με την βοήθεια πάντα του δασικού χάρτη έγινε η επιλογή των δειγματοληπτικών περιοχών για την εικόνα του 1987 και του 2001. Η διαδικασία για την εικόνα του 1987 ήταν αρκετά δύσκολη και χρονοβόρα λόγω της φωτεινότητας και έγιναν αρκετές δόκιμες μέχρι να επιτευχθεί καλό αποτέλεσμα ταξινόμησης. Οι εικόνες των δειγμάτων και τα διαγράμματα των φασματικών υπογραφών ανά κατηγορία φαίνονται στις παρακάτω εικόνες.

### 5.6.2. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ 1987

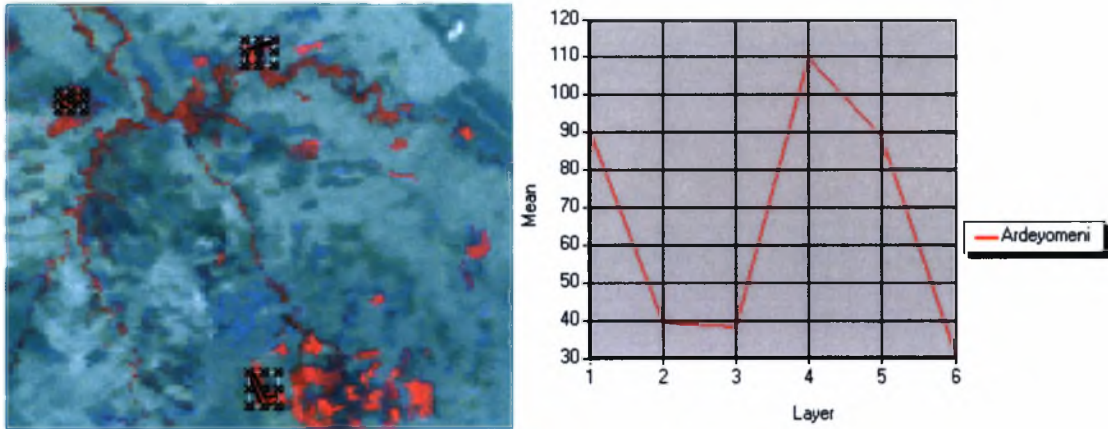
#### i. Αστική γη

Εικόνα 5.10. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αστικής γης 1987.



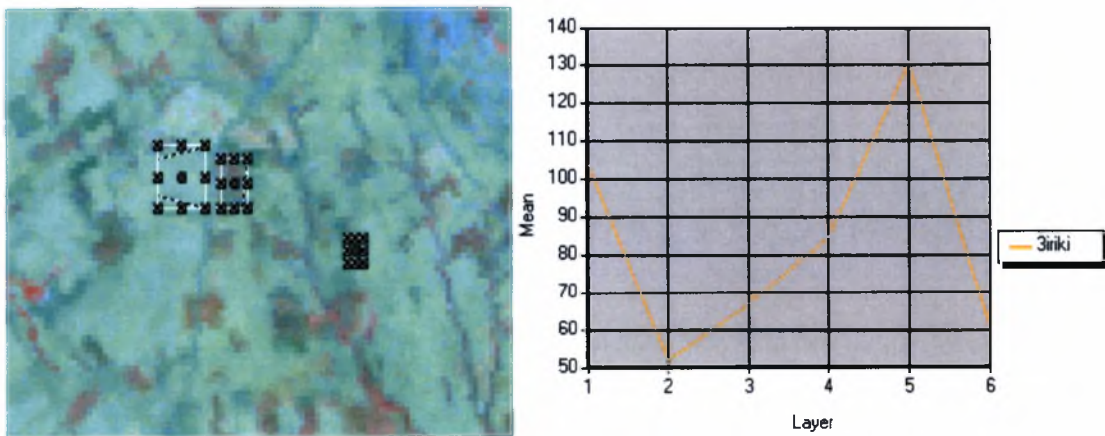
ii. Αρδευόμενη καλλιέργεια

Εικόνα 5.11. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αρδευόμενη καλλιέργεια 1987.



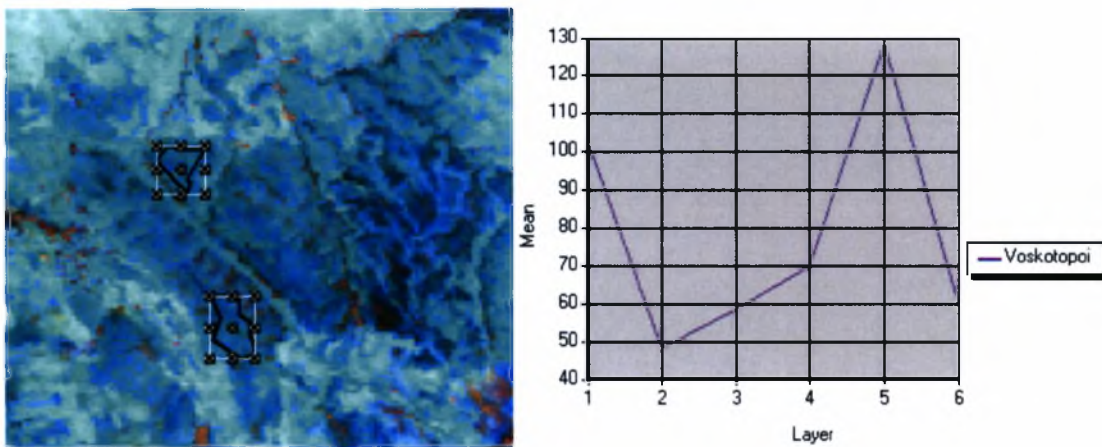
iii. Ξερική καλλιέργεια

Εικόνα 5.12. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας ξερική καλλιέργεια 1987.



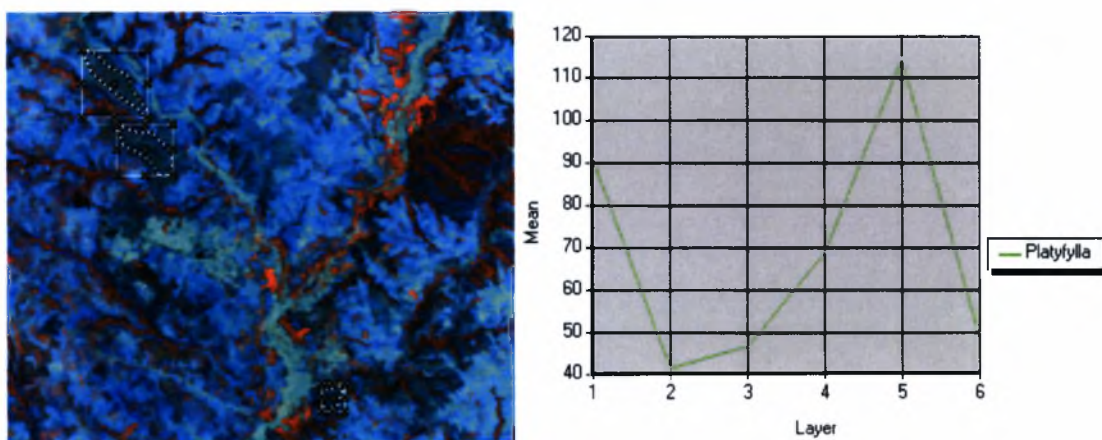
iv. Βοσκότοποι

Εικόνα 5.13. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας βοσκοτόπων 1987.



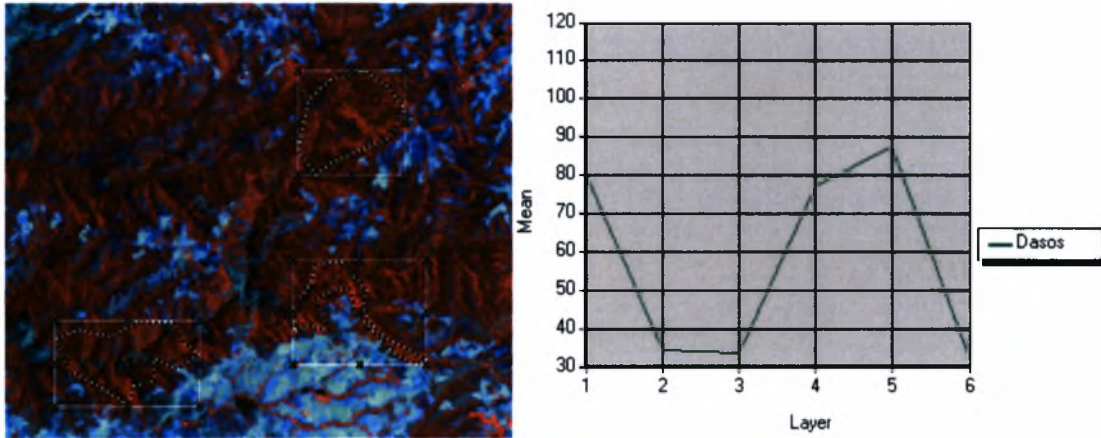
v. Δάσος πλατύφυλλων (αραιό δάσος)

Εικόνα 5.14. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους πλατύφυλλων 1987.



vi. Δάσος δρυός (πυκνό δάσος)

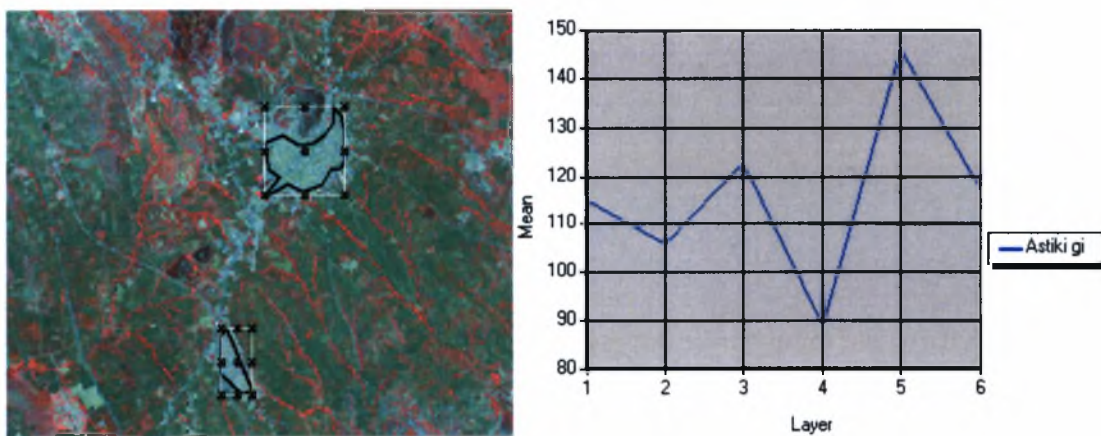
Εικόνα 5.15. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους δρυός 1987.



5.6.3. ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΗ ΕΙΚΟΝΑ 2001

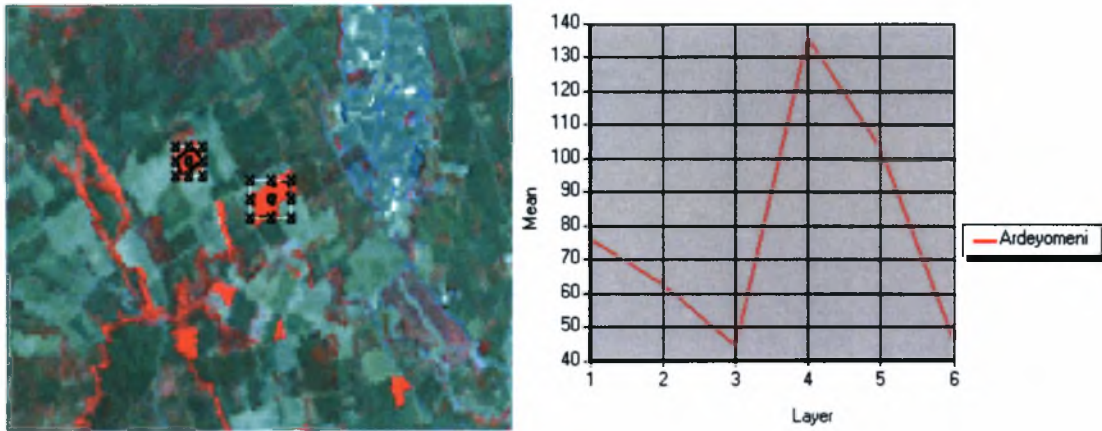
i. Αστική γη

Εικόνα 5.16. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αστικής γης 2001.



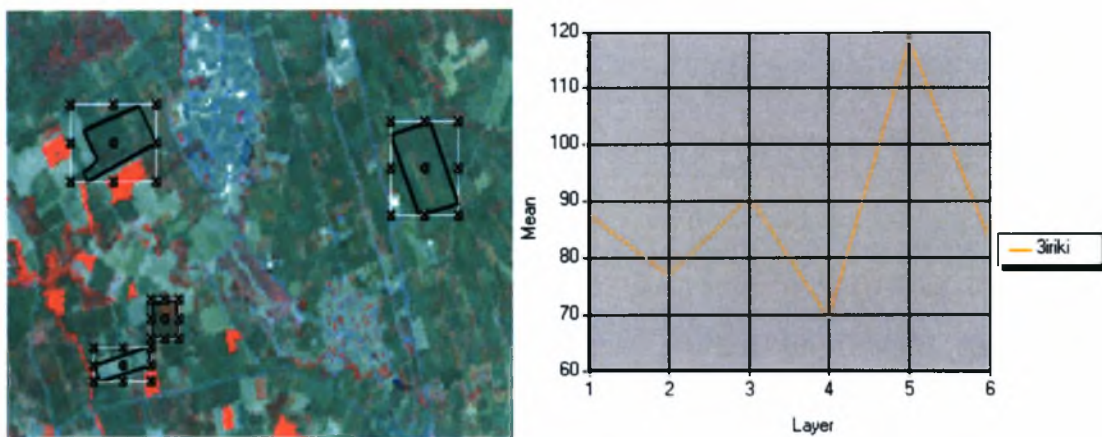
ii. Αρδευόμενη καλλιέργεια

Εικόνα 5.17. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας αρδευόμενης καλλιέργειας 2001.



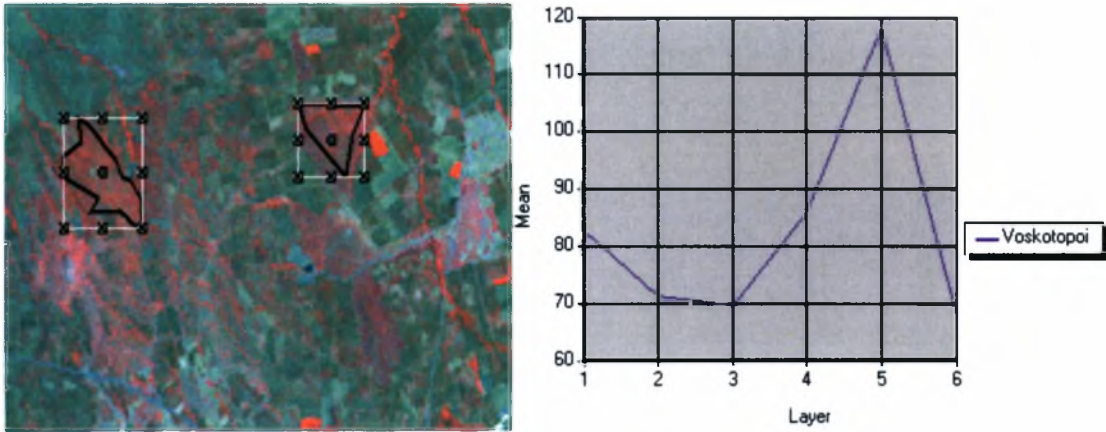
iii. Ξερική καλλιέργεια

Εικόνα 5.18. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας ξερικής καλλιέργειας 2001.



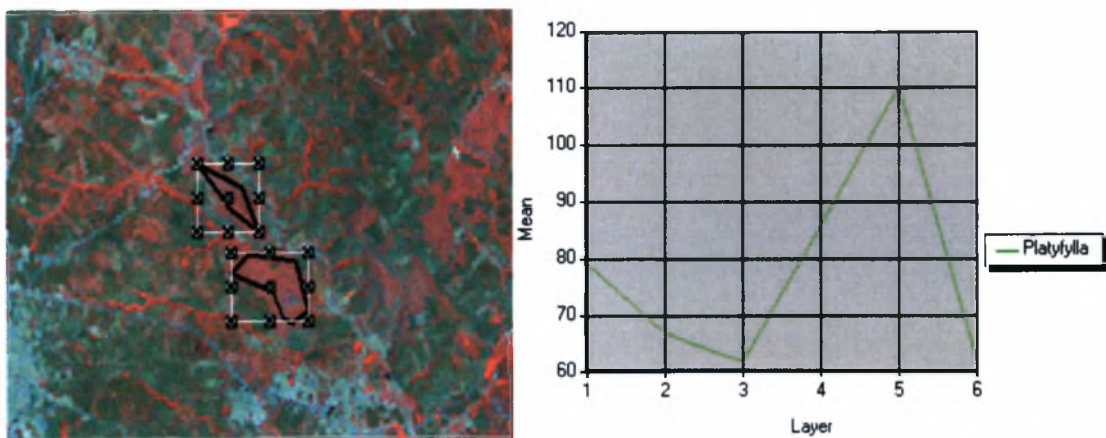
iv. Βοσκότοποι

Εικόνα 5.19. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας βοσκοτόπων 2001.



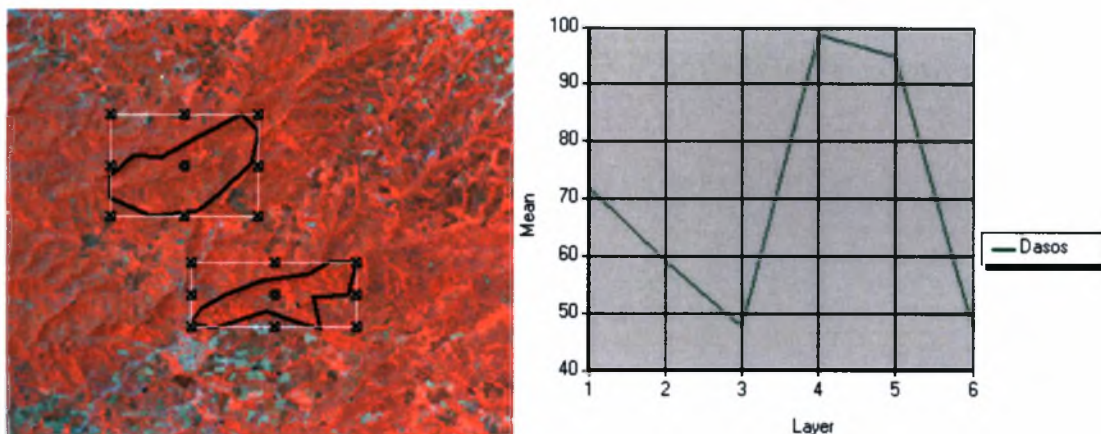
v. Δάσος πλατύφυλλων (αραιό δάσος)

Εικόνα 5.20. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους πλατύφυλλων 2001.



vi. Δάσος δρυός (πυκνό δάσος)

Εικόνα 5.21. Δειγματοληπτική περιοχή και φασματική υπογραφή κατηγορίας δάσους δρυός 2001.



### 5.7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΜΕΘΟΔΟΥ ΤΗΣ ΜΕΓΙΣΤΗΣ ΠΙΘΑΝΟΦΑΝΕΙΑΣ (MAXIMUM LIKELIHOOD CLASSIFICATION)

Η μέθοδος ταξινόμησης που εφαρμόστηκε στην παρούσα εργασία, είναι η μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (ΜΜΠ), η οποία βασίζεται στην Bayesian θεωρία πιθανοτήτων. Γενικά η μέθοδος ταξινόμησης της μέγιστης πιθανοφάνειας είναι η συνηθέστερη τεχνική ταξινόμησης. Χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες ενός αριθμού περιοχών εκπαίδευσης, η ΜΜΠ χρησιμοποιεί το μέσο όρο και το λόγο μεταβλητότητα / συμμεταβλητότητα των φασματικών ταυτοτήτων για να εκτιμήσει την προκαταρκτική πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου να ανήκει σε κάποια κλάση.

Η ΜΜΠ αξιολογεί ποσοτικά τη διακύμανση και συνδιακύμανση των διαφόρων φασματικών κατηγοριών, όταν ταξινομεί ένα άγνωστο εικονοστοιχείο. Για να επιτευχθεί αυτό, η μέθοδος κάνει μια παραδοχή ότι το "νέφος" των εικονοστοιχείων ακολουθούν κατανομή Gaussian (κανονική κατανομή). Με την παραδοχή αυτή η κατανομή μιας φασματικής κατηγορίας μπορεί να περιγραφεί με το *μέσο διάνυσμα* και τη *μήτρα συσχέτισης*. Με τη χρήση των παραμέτρων αυτών μπορεί να

υπολογιστεί η στατιστική πιθανότητα, βάση της οποίας, ένα άγνωστο εικονοστοιχείο ταξινομείται σε κάποια φασματική κατηγορία (Συλλαίος, 2000).

Ο υπολογιστής θα εξετάσει την πιθανότητα ότι ένα εικονοστοιχείο ταξινομείται στην κατηγορία «αρδευόμενη καλλιέργεια», μετά την εξέταση της πιθανότητας ότι ανήκει στην κατηγορία «αστική γη», κ.ο.κ. Μετά την αξιολόγηση της κάθε πιθανότητας, για κάθε κατηγορία, το εικονοστοιχείο θα ταξινομηθεί στην πιο πιθανή κλάση (κατηγορία) ή θα ταξινομηθεί ως άγνωστο, εάν η τιμή πιθανότητας είναι κάτω από ένα όριο που έχει προκαθοριστεί από το χρήστη.

Το μειονέκτημα της ΜΜΠ είναι ο χρόνος υπολογισμού, ο οποίος εξαρτάται από το πλήθος των φασματικών κατηγοριών που θα ταξινομηθούν και τον αριθμό των φασματικών διαύλων που θα χρησιμοποιηθούν. Στην προκειμένη περίπτωση εξαιτίας κυρίως της μικρής έκτασης της περιοχής μελέτης η διαδικασία υπολογισμού της ταξινόμησης δεν ήταν ιδιαίτερα χρονοβόρα.

Με την βοήθεια του προγράμματος ERDAS Imagine 8.6 πραγματοποιήθηκε επιβλεπόμενη ταξινόμηση με την μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας. Για την διαδικασία χρησιμοποιήθηκαν η εικόνα κάθε ημερομηνίας με το αντίστοιχο αρχείο των φασματικών υπογραφών (signature file) και το αρχείο της περιοχής μελέτης (AOI-Area Of Interest). Το αρχείο που προκύπτει μετά την ταξινόμηση για κάθε ημερομηνία είναι μια εικόνα της περιοχής μελέτης που περιλαμβάνει τις 6 κατηγορίες που ορίσαμε. Για την καλύτερη διάκριση μεταξύ τους επιλέχθηκαν διαφορετικά χρώματα τα οποία είναι:

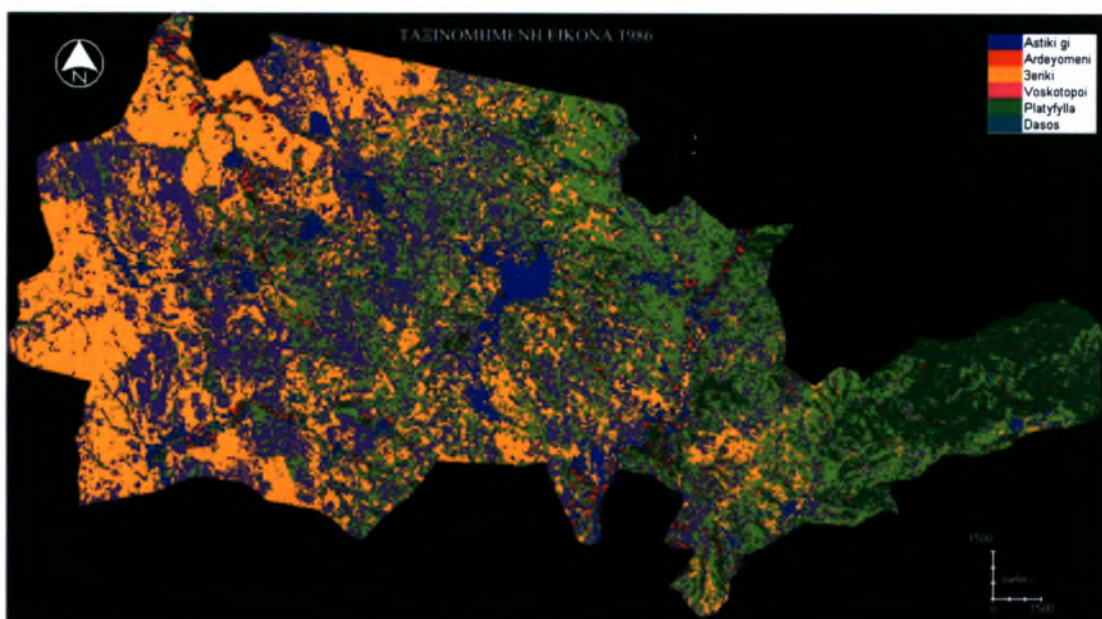
- i. Μπλε – Αστική γη
- ii. Κόκκινο – Αρδευόμενη καλλιέργεια
- iii. Πορτοκαλί – Ξερική καλλιέργεια
- iv. Μοβ – Βοσκότοποι
- v. Ανοιχτό πράσινο – Δάσος πλατύφυλλων
- vi. Σκούρο πράσινο – Δάσος δρυός

Οι εικόνες που προέκυψαν για κάθε ημερομηνία και οι πίνακες με τον αριθμό των ταξινομημένων pixel ανά κατηγορία παρουσιάζονται στις ακόλουθες εικόνες.



5.7.1. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΔΗΜΟΥ ΚΥΛΚΙΣ 1986

Εικόνα 5.22. Ταξινομημένη εικόνα δήμου Κυλκίς 1986



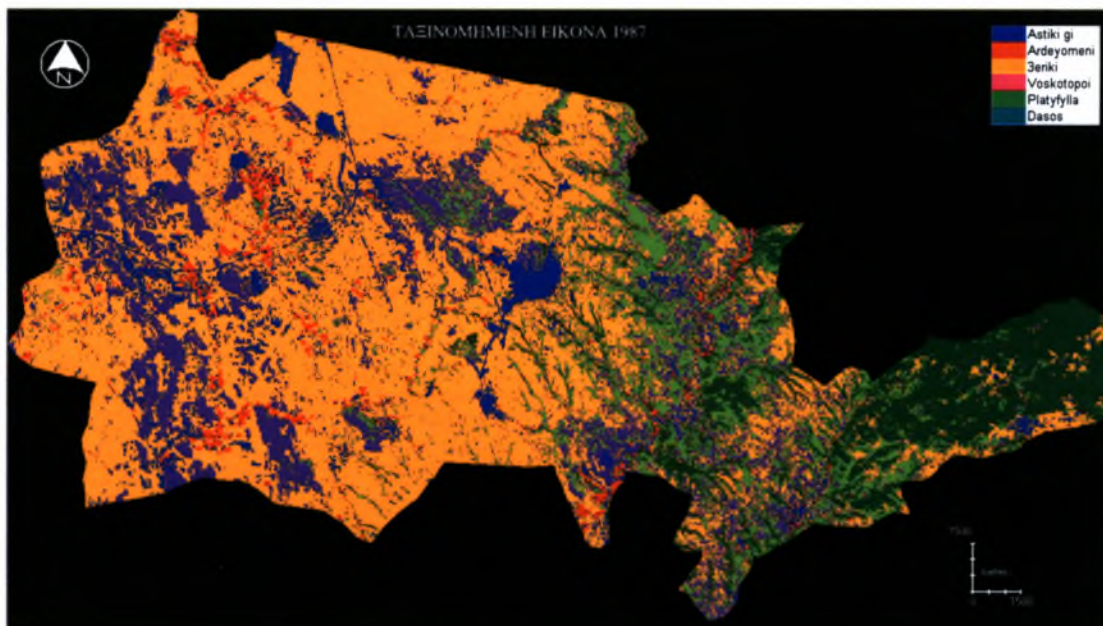
Πίνακας 5.7. Πίνακας ταξινομημένων pixel ανά κατηγορία (1986)

Αριθμός pixel	Χρώμα	Κατηγορία
25383	Blue	Αστική γη
8146	Orange	Αρδευόμενη
113667	Yellow	Ξερική
95244	Red	Βοσκότοποι
116657	Green	Πλατύφυλλα
41398	Dark Green	Δάσος

Αξίζει να αναφέρουμε ότι στη ταξινόμηση σημαντικό ρόλο παίζει η εποχή που έχει τραβηχτεί η δορυφορική εικόνα που στην περίπτωση της εικόνας του 1986 είναι Οκτώβριος. Αυτό σημαίνει ότι τα χωράφια με τις ξερικές καλλιέργειες είναι σε ανεκμετάλλευτη κατάσταση αφού μετά το θέρισμα του Ιουνίου δεν χρησιμοποιούνται μέχρι να σπαρθούν ξανά. Η παραμέληση των χωραφιών οδηγεί στην ανάπτυξη αυτοφυούς βλάστησης και θάμνων που δίνουν μια εικόνα αραιούς βλάστησης στην εικόνα. Ως αποτέλεσμα, στην διαδικασία της ταξινόμησης αρκετά χωράφια ξερικών καλλιεργειών εμφανίζονται ως δάσος πλατύφυλλων με αποτέλεσμα η κατηγορία αυτή να εμφανίζει αυξημένο αριθμό καταχωρημένων pixel σε σχέση με τις άλλες δυο ημερομηνίες.

## 5.7.2. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΔΗΜΟΥ ΚΥΛΚΙΣ 1987

Εικόνα 5.23. Ταξινομημένη εικόνα δήμου Κυλικίς 1987



Πίνακας 5.8. Πίνακας ταξινομημένων pixel ανά κατηγορία (1987)

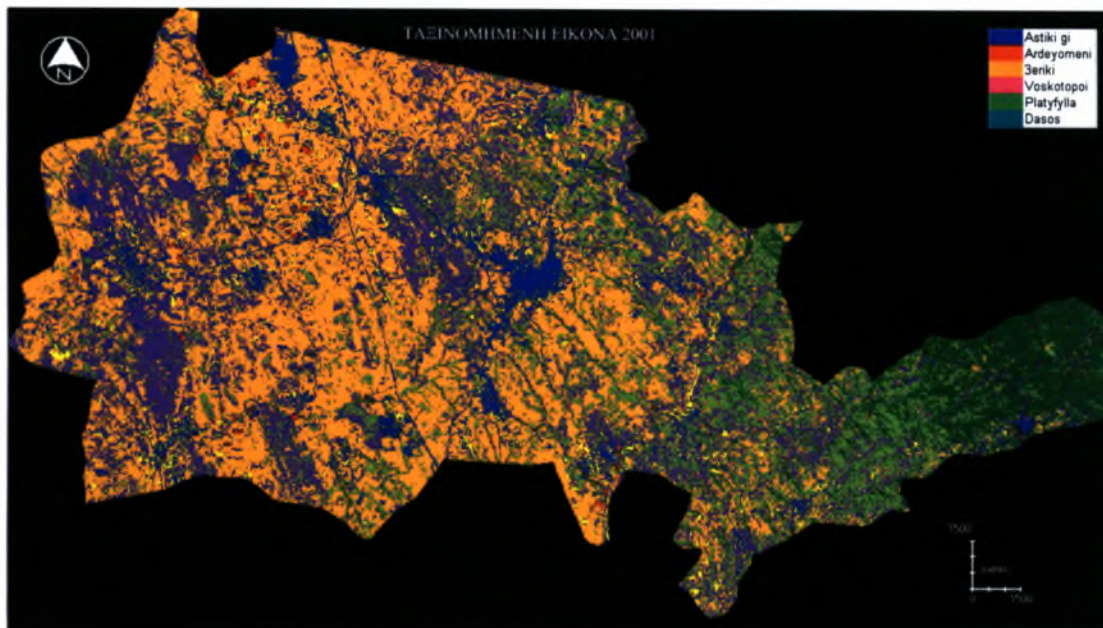
Αριθμός pixel	Χρώμα	Κατηγορία
23324	Blue	Αστική γη
8754	Orange	Αρδευόμενη
226540	Red	Ξερική
57046	Green	Βοσκότοποι
44739	Dark Green	Πλατύφυλλα
41029	Black	Δάσος

Η εικόνα του 1987 όπως έχει αναφερθεί και παραπάνω παρουσιάζει έντονη φωτεινότητα και δημιουργεί πρόβλημα στην ταξινόμηση. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο από την ημερομηνία της λήψης της δορυφορικής εικόνας που είναι στα τέλη Ιουλίου. Όπως είναι γνωστό, το θέρισμα των χωραφιών γίνεται την περίοδο τέλη Ιουνίου-αρχές Ιουλίου και τα χωράφια στην δορυφορική εικόνα φαίνονται ξερά και ανοιχτόχρωμα. Επίσης λόγω της έντονης φωτεινότητας, ορισμένες άγονες περιοχές μικρής έκτασης που βρίσκονται διάσπαρτες στο ανατολικό τμήμα της εικόνας υπό άλλες συνθήκες θα εμφανίζονταν ως δάσος πλατύφυλλων. Αποτέλεσμα όλων των προαναφερθέντων και ιδιαίτερα του γεγονότος της πρόσφατης ολοκλήρωσης της

γεωργικής δραστηριότητας οι ξερικές καλλιέργειες παρουσιάζουν αυξημένο αριθμό pixel από τις δυο άλλες ημερομηνίες.

### 5.7.3. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ 2001

Εικόνα 5.24. Ταξινομημένη εικόνα δήμου Κιλκίς 2001



Πίνακας 5.9. Πίνακας ταξινομημένων pixel ανά κατηγορία (2001)

Αριθμός pixel	Χρώμα	Κατηγορία
34582	Blue	Αστική γη
2150	Orange	Αρδευόμενη
161366	Red	Ξερική
93869	Green	Βοσκότοποι
77936	Dark Green	Πλατύφυλλα
31505	Light Green	Δάσος

Η ταξινόμηση του 2001 είναι η πιο αντιπροσωπευτική. Σε αυτό συμβάλλει η εποχή που είναι πολύ καλή καθώς είναι πριν την εποχή του θερίσματος αλλά υπάρχει ήδη και ανεπτυγμένη βλάστηση, αλλά και η καθαρότητα της εικόνας. Η ευκρίνεια της εικόνας οφείλεται κυρίως στον ETM του Landsat 7 που είναι πιο εξελιγμένος από τον TM του Landsat 5. Κατά τα άλλα, στην ταξινόμηση αυτή φαίνεται η πραγματική έκταση των ξερικών καλλιεργειών σε σχέση με τις άλλες δυο ταξινομήσεις όπου ο αριθμός των pixel είναι μάλλον παραπλανητικός.

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6<sup>ο</sup>: ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ MARKOV

### 6.1. ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ ΜΟΝΤΕΛΟΥ MARKOV ΣΤΗ ΔΙΕΘΝΗ ΕΜΠΕΙΡΙΑ

Τα πρότυπα της αλλαγής χρήσης εδάφους είναι εργαλεία για να αναλύονται τα αίτια και οι συνέπειες των αλλαγών χρήσης εδάφους και να χρησιμοποιούνται στον προγραμματισμό και την πολιτική χρήσεων γης. Τα πρότυπα είναι χρήσιμα για τη κατανόηση των κοινωνικοοικονομικών και βιοφυσικών δυνάμεων που επηρεάζουν το ποσοστό και τη χωρική έκταση των αλλαγών χρήσης εδάφους. Επιπλέον, με βάση στοιχεία διαφορετικών χρονολογιών και κατάλληλη επεξεργασία, μπορεί να γίνει πρόβλεψη μελλοντικών αλλαγών με βάση διαφορετικά σενάρια.

Προϋπόθεση στη μοντελοποίηση της αλλαγής χρήσης / κάλυψης εδάφους, είναι η δυνατότητα να χαρακτηριστεί η υπάρχουσα αλλαγή τόσο χρονικά όσο και χωρικά χρησιμοποιώντας εμπειρικά στοιχεία. Αυτό το βήμα είναι απαραίτητο για την πρόβλεψη στο μέλλον. Τα μοντέλα Markov μπορούν να το επιτύχουν και γι' αυτό στο παρελθόν τέτοια μοντέλα έχουν χρησιμοποιηθεί για την μελέτη αλλαγών αστικών χρήσεων / καλύψεων εδάφους, τη διαχρονική μελέτη δασών και βλάστηση, και στη μελέτη της αλλαγής τοπίων.

Τα μοντέλα Markov έχουν μεγάλη απήχηση στην επιστημονική κοινότητα. Είναι από μαθηματικής άποψης συμπαγή, αναπτύσσονται εύκολα από τα παρατηρηθέντα στοιχεία και χρησιμεύουν ως ένα αποτελεσματικό εργαλείο για μελέτες προσομοίωσης. Εντούτοις, δεν είναι χωρίς τα προβλήματά τους, όπως οι παραδοχές που πρέπει να ικανοποιούνται και που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο 4.

Στην ελληνική βιβλιογραφία τα μοντέλα διαχρονικών αλλαγών χρήσεων / καλύψεων γης δεν είναι ιδιαίτερα διαδεδομένα και αφορούν κυρίως μελέτες δασολογίας και γεωλογίας. Όσον αφορά δε τα μοντέλα Markov οι μελέτες που έχουν γίνει στην Ελλάδα είναι ελάχιστες. Σε διεθνές επίπεδο ωστόσο η βιβλιογραφία έχει να επιδείξει μελέτες από τη δεκαετία του '70 και έπειτα, όπως για παράδειγμα οι μελέτες αλλαγών αστικών χρήσεων / καλύψεων γης του Bourne (1971) και του Bell (1974). Ο

τελευταίος, σε συνεργασία με το πανεπιστήμιο της Washington εφάρμοσε το μοντέλο Markov για την περιοχή του νησιού San Juan. Τα δεδομένα που χρησιμοποίησε ήταν 3 αεροφωτογραφίες με μέγεθος pixel 100 \* 100 m. διαφορετικών χρονολογιών, 1949, 1965 και 1971. Με την βοήθεια της γλώσσας προγραμματισμού FORTRAN IV έγιναν οι απαραίτητες πράξεις, οι υπολογισμοί των πινάκων μετάβασης καθώς και ο έλεγχος των υποθέσεων. Ο Bell μελέτησε ποιοτικά και ποσοτικά τις αλλαγές στις καλύψεις εδάφους για τις περιόδους 1949-1965, 1965-1971 και με την βοήθεια αυτών πρόβαλλε στο μέλλον τα έτη 1977 και 1981. Πέρα από την μελέτη των διαχρονικών αλλαγών ο Bell απέδειξε στην πράξη την θεωρία του Markov που υποστηρίζει ότι η αλλαγή μιας κάλυψης εδάφους εξαρτάται μόνον από την προηγούμενη κατάσταση της. Το γεγονός αυτό καταστεί την συλλογή δεδομένων παλαιότερων ετών άχρηστη καθώς κάθε αλλαγή μπορεί να μελετηθεί με τη χρήση μόνο των δεδομένων της προηγούμενης περιόδου.

Τα μοντέλα Markov εφαρμόζονται κυρίως σε περιοχές όπου παρατηρούνται ραγδαίες αλλαγές στις καλύψεις εδάφους ως αποτέλεσμα πολιτικών ανάπτυξης ή συγκέντρωσης δραστηριοτήτων ή / και πληθυσμού. Παράδειγμα τέτοιας περίπτωσης είναι η μελέτη του Weng (1999) στην περιοχή του δέλτα που σχηματίζει ο ποταμός Zhujiang στην Κίνα. Από το 1978 και έπειτα, άρχισε στην Κίνα ένα κύμα έντονης εκβιομηχάνισης και αστικοποίησης. Οι πολιτικές περιφερειακής ανάπτυξης που εφαρμόστηκαν οδήγησαν μεγάλο αριθμό εργοστάσιων, κυρίως ξένων εταιριών, στην εγκατάσταση στο δέλτα του ποταμού Zhujiang. Με βάση τις εικόνες TM του δορυφόρου Landsat τριών χρονολογιών 1989, 1994 και 1997 μελετήθηκαν χωρικά και ποσοτικά οι αλλαγές στις καλύψεις γης. Τόσο για την περίοδο 1989-1994 όσο και για την περίοδο 1994-1997 οι αλλαγές ήταν σημαντικές όμως διαπιστώθηκε ότι δεν ακολουθούν το ίδιο πρότυπο δηλαδή έχουν διαφορετικούς μηχανισμούς μετάβασης.

Πέρα όμως από τις περιοχές όπου υπάρχουν έντονες αλλαγές, μελέτες πραγματοποιούνται και για περιοχές όπου οι αλλαγές δεν θέλουμε να εμφανιστούν και γι αυτό γίνεται μια διαρκής παρακολούθηση. Τέτοιες περιοχές είναι για παράδειγμα οι περιβαλλοντικά ευαίσθητες περιοχές. Στην μελέτη των Muller και Middleton (1994), γίνεται ένας απολογισμός των αλλαγών και μια επισκόπηση της δυναμικής τους στην περιοχή Peninsula κοντά στους καταρράκτες του Νιαγάρα. Η περιοχή παρουσιάζει πλούσια βλάστηση και δέχεται πιέσεις από την εντατικοποίηση

των καλλιεργειών και την αστική ανάπτυξη. Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν περιλαμβάνουν χάρτες της Εθνικής Τοπογραφικής Υπηρεσίας του Καναδά για τις χρονιές 1936, 1952, 1965, 1976 και 1981 οι οποίοι εμπλουτίστηκαν με πληροφορίες που προήλθαν από τις αντίστοιχες αεροφωτογραφίες τους. Στη μέθοδο που εφαρμόστηκε έγινε προσπάθεια ώστε οι πίνακες μετάβασης μεταξύ δυο περιόδων να είναι στατιστικά ανεξάρτητοι. Εφόσον για κάθε χρονική περίοδο μελέτης υπάρχει ένας πίνακας μετάβασης που περιγράφει τις παρατηρούμενες αλλαγές και οι πίνακες είναι στατιστικά ανεξάρτητοι, μπορούν να εξαχθούν ποιοτικά συμπεράσματα με την σύγκρισή τους. Η σύγκριση έδειξε ότι υπάρχουν δυο τάσεις αλλαγών στις καλύψεις εδάφους. Στην πρώτη παρατηρείται έντονη αστικοποίηση με παράλληλη αποψίλωση δασών (περίοδος 1936-1952) και στην δεύτερη μια συνέχιση της αστικοποίησης με μικρότερους ρυθμούς και συγκριτική αύξηση της δασικής έκτασης (περίοδος 1952-1981).

Συχνά στις μελέτες αλλαγών χρήσεων γης παρατηρείται σύνδεση αλγόριθμων αναλόγως με την περιοχή που μελετάται και του σκοπού για τον οποίο πραγματοποιούνται οι μελέτες αυτές. Περίπτωση μελέτης όπου γίνεται τέτοιας μορφής σύνδεση αλγόριθμων αποτελεί αυτή των Tang, Wang και Yao (2005) για την περιοχή της πόλης Daqing της Κίνας. Η ευρύτερη περιοχή της πόλης Daqing συγκεντρώνει πετρελαϊκές χρήσεις καθιστώντας την σήμερα την μεγαλύτερη πετροχημική περιοχή της Κίνας. Ωστόσο, η συγκέντρωση αυτή άρχισε να παρατηρείται μετά το 1978 όταν και έγινε μεταρρύθμιση στην οικονομία της Κίνας. Για την διαχρονική μελέτη των αλλαγών καλύψεων / χρήσεων γης χρησιμοποιήθηκαν 4 δορυφορικές εικόνες Landsat και MSS από το 1979 έως το 2000 και μια δορυφορική εικόνα Landsat ETM του 2001 για επαλήθευση του μοντέλου. Οι μελετητές, πέρα από το κλασσικό μοντέλο Markov χρησιμοποίησαν και δυο παραλλαγές του που λαμβάνουν υπόψη τους τις καλύψεις των γειτονικών pixel όταν μελετούν την αλλαγή ενός pixel (Spatial Markov και Edge Markov). Παράλληλα έγινε μια σύνδεση με έναν ακόμη αλγόριθμο, τον γενετικό αλγόριθμο GA (Genetic Algorithm), για καλύτερα αποτελέσματα στην εφαρμογή της προβολής των αλλαγών στο μέλλον. Η μελέτη απέδειξε ότι η περιοχή έχει υποστεί μεγάλης έκτασης αλλαγές στο διάστημα 1979-2000 και παράλληλα έκανε προβολές στο μέλλον για τα έτη 2010, 2030 και 2050. Οι προβολές κατέδειξαν την περαιτέρω αλλαγή (που

παρατηρήθηκε και στο διάστημα 1979-2000) από δάση και καλλιεργούμενες εκτάσεις σε δομημένο περιβάλλον και πετρελαϊκές εγκαταστάσεις.

Σε παρόμοιο πνεύμα με την μελέτη για την πόλη Daqing, οι Wood, Lewis, Tappan και Lietzow (1997) χρησιμοποιούν μοντέλο Spatial Markov (4 γειτονικά pixel) για την μελέτη των αλλαγών στην περιοχή της Νότιας Σενεγάλης. Η περιοχή εντάσσεται στο πιλοτικό πρόγραμμα περιβαλλοντικής παρακολούθησης του EROS Data Center σε συνεργασία με την U.S. Agency for International Development. Η μέθοδος που εφαρμόστηκε αφορά την δημιουργία πινάκων μετάβασης για τις περιόδους 1973-1978 και 1978-1990 από τις ταξινομημένες εικόνες Landsat MSS των αντίστοιχων ετών. Η ίδια διαδικασία ακολουθείται και για το μοντέλο Spatial Markov που συνυπολογίζει τις πιθανότητες των 4 γειτονικών pixel στη μέθοδο. Η μελέτη αυτή ωστόσο πραγματοποιεί ακόμα ένα βήμα συγκρίνοντας τα αποτελέσματα των δυο μεθόδων με άλλες τεχνικές χωρικής ανάλυσης για την ακρίβεια τους. Οι τεχνικές που χρησιμοποιούνται είναι “join-count statistics” και “landscape metrics”. Τα αποτελέσματα των δυο μοντέλων Markov που εφαρμόστηκαν, δείχνουν τις αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν στην περιοχή όμως σύμφωνα με την γνώμη των μελετητών το μοντέλο Spatial Markov είναι ακριβέστερο.

Η δασολογία είναι η επιστήμη που ασχολείται περισσότερο με τις αλλαγές των καλύψεων εδάφους και κυρίως, προφανώς, με τις εκτάσεις των δασών. Πολλά μοντέλα είναι κατάλληλα για την παρατήρηση των αλλαγών, ωστόσο τα μοντέλα Markov λόγω της απλότητας της εφαρμογής τους προτιμούνται περισσότερο. Οι Pastor, Sharp και Wolter (2005) στη μελέτη τους για την δυναμική των δασών της Μινεσότα χρησιμοποιούν μοντέλα Markov. Αρχικά, η διαδικασία περιλαμβάνει την ταξινόμηση δυο εικόνων Landsat TM για τα έτη 1990 και 1995 ενώ δυο αντίστοιχες αεροφωτογραφίες χρησιμοποιούνται για επαλήθευση. Η ταξινόμηση γίνεται με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood) για δυο κατηγορίες κάλυψης: καινούργιο δάσος (<20 χρόνια) και δάσος (>20 χρόνια). Το μοντέλο Markov εφαρμόστηκε και στη συνέχεια έγινε εξομάλυνση των πιθανοτήτων μετάβασης για τις αλλαγές των δυο κατηγοριών σε λοιπές κατηγορίες οι οποίες θεωρήθηκαν μηδενικές. Έπειτα μια ακόμη παράμετρος προστέθηκε, αυτή της ηλικίας των δασών και του ρυθμού αποψίλωσης τους, για περαιτέρω ακρίβεια των αποτελεσμάτων. Από την σύγκριση του μοντέλου Markov με και χωρίς την

παράμετρο αυτή εξάχθηκε το συμπέρασμα ότι η ηλικία των δασών παίζει σημαντικό ρόλο στην μελέτη του ρυθμού αποψίλωσης τους.

Τα μοντέλα Markov που χρησιμοποιούνται για την διαχρονική μελέτη των αλλαγών χρήσεων / καλύψεων γης είναι εργαλεία που αναλύουν το πόσο, που και πως πραγματοποιούνται οι εν λόγω αλλαγές στην επιφάνεια του εδάφους. Τις περισσότερες φορές μελετώνται οι αλλαγές στις καλύψεις εδάφους ωστόσο για μια πιο ολοκληρωμένη εικόνα το ιδανικό είναι να γίνεται μια συσχέτιση μεταξύ των μοντέλων αλλαγών χρήσεων και καλύψεων εδάφους. Μια τέτοια συσχέτιση επιχειρείται στη μελέτη των Brown, Rijanowski και Duh (2000) στην περιοχή των Κέντρο-Δυτικών Η.Π.Α.. Αρχικά εφαρμόζεται ταξινόμηση των χρήσεων εδάφους. Με την βοήθεια χαρτών χρήσεων γης για τις χρονολογίες 1970, 1985 και 1990 και αντίστοιχων αεροφωτογραφιών, τα δεδομένα αναβαθμίζονται και για κάθε ημερομηνία υπάρχουν πλέον πληρέστερες πληροφορίες για κάθε χρήση. Παράλληλα, για τις καλύψεις εδάφους εφαρμόζεται μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση από δορυφορικές εικόνες Landsat MSS και στη συνέχεια το μοντέλο Markov για τις περιόδους 1972-1975, 1985-1987 και 1990-1992. Όσα pixel δεν ταξινομήθηκαν αρχικά, ταξινομήθηκαν με την βοήθεια του αλγορίθμου ISODATA. Ακολούθως με τα στοιχεία των χρήσεων εδάφους και τις πιθανότητες μετάβασης του μοντέλου Markov για τις καλύψεις εδάφους, έγινε ένα μοντέλο προσομοίωσης των αλλαγών για την κάλυψη εδάφους που αφορά τα δάση. Η προσομοίωση έδειξε μια αρνητική συσχέτιση μεταξύ των χρήσεων γης κατοικία, βιομηχανία και μεταφορές με την αύξηση των δασών και μια θετική συσχέτιση με την αποψίλωση των δασών.

## 6.2. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ ΣΤΟΧΑΣΤΙΚΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ MARKOV ΣΤΙΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΕΣ ΕΙΚΟΝΕΣ ΤΟΥ ΔΗΜΟΥ ΚΙΛΚΙΣ

Για την εφαρμογή του μοντέλου Markov οι τρεις, ταξινομημένες πλέον, εικόνες έπρεπε να μετατραπούν σε κατάλληλη μορφή ώστε να είναι αναγνώσιμες από το πρόγραμμα Idrisi 14 Kilimanjaro. Πριν όμως από αυτή την ενέργεια έπρεπε να κοπούν στον ίδιο ακριβώς αριθμό γραμμών (rows) και στηλών (columns) καθώς το πρόγραμμα δεν διαβάζει συντεταγμένες αλλά γραμμές και στήλες. Έτσι και οι τρεις



εικόνες κόπηκαν σε 673 γραμμές και 1207 στήλες. Στη συνέχεια έγινε τελικά η μετατροπή τους σε μορφή «.rst» με την βοήθεια του προγράμματος Idrisi 14.

Πλέον η διαδικασία ήταν απλή καθώς με την εντολή MARKOV από το μενού του Gis Analysis του προγράμματος Idrisi τα αποτελέσματα προέκυπταν αυτόματα. Ωστόσο μια σειρά προβλημάτων μας ανάγκασε να κάνουμε κάποιες τροποποιήσεις.

Καταρχήν βασικό πρόβλημα αποτελούν οι ημερομηνίες των εικόνων που ταξινομήθηκαν. Πέρα από την μεγάλη χρονική τους απόσταση που ουσιαστικά θα μας δημιουργούσε μικρό πρόβλημα ακρίβειας, σημαντικότερο πρόβλημα είναι η εποχή λήψης των εικόνων. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5, η εικόνα του 1986 είναι τραβηγμένη τον Οκτώβριο, του 1987 τον Ιούλιο και του 2001 τον Μάιο. Παρατηρούμε δηλαδή μια ανομοιογένεια στην εποχικότητα. Επομένως η μελέτη των διαχρονικών αλλαγών γίνεται συγχρόνως και μελέτη εποχικών αλλαγών καθώς σε καθένα από τους τρεις μήνες η ανάπτυξη των δασών και των καλλιεργειών έχουν αρκετές διαφορές. Τον Οκτώβριο τα δέντρα χάνοντας το φύλλωμα τους δεν αντανακλούν τη χλωροφύλλη όπως το καλοκαίρι. Αντίστοιχα τα χωράφια τον Ιούλιο είναι θερισμένα και φαίνονται εντελώς διαφορετικά από ότι είναι το Μάιο που βρίσκονται περίπου στη μέση της ανάπτυξης τους. Όπως αναφέρεται σε πληθώρα μελετών και βιβλίων, η καταλληλότερη περίοδος για την επιλογή εικόνων που θα χρησιμοποιηθούν για διαχρονικές αλλαγές είναι μεταξύ Ιουνίου και Σεπτεμβρίου καθώς τα φυτά βρίσκονται στην πλήρη ανάπτυξή τους. Βέβαια όσο πιο κοντά βρίσκονται οι ημερομηνίες μεταξύ τους τόσο καλύτερα θα είναι και τα αποτελέσματα του μοντέλου.

Η εικόνα του 1987 όπως έχει αναφερθεί και σε προηγούμενο κεφάλαιο, παρουσιάζει έντονη φωτεινότητα και δημιουργεί πρόβλημα στην ταξινόμηση. Το πρόβλημα γίνεται εντονότερο από την ημερομηνία της λήψης της δορυφορικής εικόνας. Όπως είναι γνωστό, το θέρισμα των χωραφιών γίνεται την περίοδο τέλη Ιουνίου-αρχές Ιουλίου και τα χωράφια στην δορυφορική εικόνα φαίνονται ξερά και ανοιχτόχρωμα. Επίσης λόγω της έντονης φωτεινότητας, ορισμένες άγονες περιοχές μικρής έκτασης που βρίσκονται διάσπαρτες στο ανατολικό τμήμα της εικόνας υπό ιδανικές συνθήκες φωτός θα εμφανίζονταν ως δάσος πλατύφυλλων. Αποτέλεσμα όλων των προαναφερθέντων και ιδιαίτερα του γεγονότος της πρόσφατης ολοκλήρωσης της

γεωργικής δραστηριότητας οι ξερικές καλλιέργειες παρουσιάζουν αυξημένο αριθμό pixel από τις δυο άλλες ημερομηνίες. Αν και το βασικό πρόβλημα φαινόταν να είναι μόνον αυτό, μετά την εφαρμογή του μοντέλου Markov προέκυψε άλλο πιο σημαντικό. Στην ταξινόμηση της εικόνας του 1987 τα pixel της κατηγορίας «αστική γη» εμφανίζονται λιγότερα από αυτά της εικόνας του 1986. Η συγκεκριμένη κατηγορία δεν επηρεάζεται από την εποχικότητα και προφανώς δεν είναι δυνατόν μέσα σε διάστημα ενός έτους να μειώθηκαν τα κτίρια και οι δρόμοι. Η μείωση των pixel είναι ουσιαστικά σφάλμα στην ταξινόμηση που οφείλεται στην φωτεινότητα της εικόνας η οποία κάνει δύσκολη την διάκριση των κατηγοριών.

Τελικά για να δούμε το κατά πόσο επηρεάζει την διαδικασία η λανθασμένη ταξινόμηση του 1987 κάναμε ένα τεστ προβολής των αλλαγών στο έτος 2001 όπου έχουμε στοιχεία. Με αλληλεπίθεση της εικόνας του 1987 σε αυτήν του 1986 και με έτος προβολής το 2001 το μοντέλο Markov μας έδωσε τα αποτελέσματα που φαίνονται στον πίνακα 6.1. Από την σύγκριση του αριθμού των pixel του πίνακα 6.1 και 5.9, κρίναμε ότι η εικόνα του 1987 είναι ακατάλληλη για την εφαρμογή του μοντέλου των διαχρονικών αλλαγών καθώς δίνει παραπλανητικά αποτελέσματα και επηρεάζει αρνητικά την αντικειμενικότητα της μελέτης. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα είναι η σύγκριση της κατηγορίας 3 (ξερικές καλλιέργειες) που στην προβολή του 2001 έχει 272.822 pixel, ενώ στην ταξινόμηση της πραγματικής εικόνας έχει 161.366. Επίσης για την κατηγορία 1 που αντιπροσωπεύει την κάλυψη «αστική γη» πέρα από το γεγονός ότι ο συνολικός αριθμός των pixel είναι μικρότερος, ο τρόπος με τον οποίο προκύπτει ο αριθμός αυτός είναι πικράδοξος. Από τον πίνακα 6.1 φαίνεται ότι μόλις 1.766 από τα 30.364 συνολικά pixel παραμένουν αστική γη ενώ όλα τα υπόλοιπα προκύπτουν από αλλαγές άλλων καλύψεων. Αυτό ουσιαστικά σημαίνει ότι έχουμε δόμηση αστικής γης σε σημεία που πριν δεν ήταν δομημένα και ταυτόχρονα γκρεμίζονται τα παλαιότερα και γίνονται άλλες καλύψεις, παρατηρούμε δηλαδή τεράστιες αλλαγές. Αντίστοιχα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν και από τη μελέτη του πίνακα πιθανοτήτων που δείχνει τις αναμενόμενες αλλαγές υπό μορφή ποσοστών, δίνοντας ίσως μια πιο αντιπροσωπευτική εικόνα του λάθους της ταξινόμησης της εικόνας του 1987 (βλ. πίνακα 6.2)

Πίνακας 6.1. Περιοχές μετάβασης pixel (Transition areas) 86-87 με προβολή στο έτος 2001.

	Expected to transition to :					
	Astiki gi	Ardeyomeni	3eriki	Voskotopoi	Platyfylla	Dasos
<b>Cells in :</b>						
Astiki gi :	1766	486	15867	2927	1269	976
Ardeyomeni :	662	183	5949	1097	478	373
3eriki :	17146	4714	154028	28409	12304	9401
Voskotopoi :	4318	1188	38792	7155	3100	2374
Platyfylla :	3381	931	30383	5604	2432	1875
Dasos :	3091	856	27803	5127	2246	1805

Πίνακας 6.2. Πιθανότητες μετάβασης (Transition probabilities) 86-87 με προβολή στο έτος 2001.

	Probability of changing to :					
	Astiki gi	Ardeyomeni	3eriki	Voskotopoi	Platyfylla	Dasos
<b>Given in :</b>						
Astiki gi :	0,0758	0,0209	0,6813	0,1257	0,0545	0,0419
Ardeyomeni :	0,0757	0,0209	0,6806	0,1255	0,0546	0,0427
3eriki :	0,0759	0,0209	0,6815	0,1257	0,0544	0,0416
Voskotopoi :	0,0759	0,0209	0,6814	0,1257	0,0545	0,0417
Platyfylla :	0,0758	0,0209	0,6811	0,1256	0,0545	0,0420
Dasos :	0,0755	0,0209	0,6793	0,1253	0,0549	0,0441

Μετά την απαλοιφή της εικόνας του 1987 από την διαδικασία, ο μοναδικός συνδυασμός για την μελέτη των αλλαγών ήταν αυτός μεταξύ της εικόνας του 1986 και του 2001. Εξαιτίας της ανυπαρξίας δυο χρονικών περιόδων μελέτης δεν μπόρεσε να γίνει έλεγχος της υπόθεσης της σταθερότητας (stationarity) του προτύπου των αλλαγών. Όπως αναφέρεται και στις περισσότερες βιβλιογραφικές αναφορές και άρθρα που μελετήθηκαν, ο έλεγχος της σταθερότητας της διαδικασίας Markov είναι βασικό στοιχείο της ανάλυσης. Η σταθερότητα, προκύπτει ουσιαστικά από την σύγκριση των πινάκων μετάβασης μεταξύ δυο περιόδων μελέτης. Στην προκειμένη περίπτωση, αν ο πίνακας μετάβασης της περιόδου 1986-1987 είχε παρόμοιες τιμές με τον πίνακα της περιόδου 1987-2001, θα μιλούσαμε για σταθερότητα. Ωστόσο, έστω και εμπειρικά μπορούμε να υποθέσουμε ότι η διαδικασία είναι σταθερή καθότι τα

τελευταία χρόνια δεν παρατηρήθηκε κάποιο γεγονός που θα μπορούσε να κλονίσει τον ρυθμό των αλλαγών που παρατηρούνται στο δήμο Κιλκίς.

6.2.1. ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΕΤΟΣ 2002

Αρχικά μελετήθηκαν οι αλλαγές που προκύπτουν στο μικρότερο δυνατό χρονικό διάστημα, αυτό του ενός έτους. Έτσι με αρχική εικόνα καλύψεων γης την εικόνα του 1986 και τελική την εικόνα του 2001, με χρονικό διάστημα μεταξύ των δυο εικόνων 15 έτη και χρονικό διάστημα προβολής ένα έτος, προβάλαμε τις πιθανότητες των αλλαγών στο 2002. Οι πιθανότητες και οι περιοχές (δηλ. τα pixel) μετάβασης παρουσιάζονται στους πίνακες 6.3 και 6.4 αντίστοιχα.

Πίνακας 6.3. Περιοχές μετάβασης pixel (Transition areas) 86-01 με προβολή στο έτος 2002.

	Expected to transition to :					
	Astiki gi	Ardeyomeni	3eriki	Voskotopoi	Platyfylla	Dasos
<b>Cells in :</b>						
Astiki gi :	26358	388	3560	3080	602	543
Ardeyomeni :	218	155	285	299	647	544
3eriki :	6472	1021	115980	28332	9145	0
Voskotopoi :	1175	0	35360	39832	17251	0
Platyfylla :	1780	305	15096	21240	34684	4577
Dasos :	0	184	0	0	5454	25697

Πίνακας 6.4. Πιθανότητες μετάβασης (Transition probabilities) 86-01 με προβολή στο έτος 2002

	Probability of changing to :					
	Astiki gi	Ardeyomeni	3eriki	Voskotopoi	Platyfylla	Dasos
<b>Given in :</b>						
Astiki gi :	0,7633	0,0112	0,1031	0,0892	0,0174	0,0157
Ardeyomeni :	0,1013	0,0720	0,1325	0,1394	0,3013	0,2535
3eriki :	0,0402	0,0063	0,7206	0,1760	0,0568	0,0000
Voskotopoi :	0,0126	0,0000	0,3777	0,4255	0,1843	0,0000
Platyfylla :	0,0229	0,0039	0,1943	0,2734	0,4465	0,0589
Dasos :	0,0000	0,0059	0,0000	0,0000	0,1740	0,8201

Από τους πίνακες των αποτελεσμάτων μπορούμε να δούμε για κάθε κατηγορία που έχουμε ορίσει τις αλλαγές που παρατηρούνται τόσο βάσει ρίχει όσο και βάσει ποσοστών. Ωστόσο, η μελέτη του πίνακα των πιθανοτήτων δίνει μια πιο αντικειμενική και άμεσα συγκρίσιμη εικόνα. Αρχικά παρατηρούμε ότι οι κατηγορίες αστική γη και δάσος είναι αυτές που έχουν υποστεί τις μικρότερες αλλαγές. Για την μεν πρώτη, το 76.33 % της έκτασής της παραμένει αμετάβλητο ενώ η υπόλοιπη έκταση μετατρέπεται κυρίως σε ξερικές καλλιέργειες και βοσκότοπους. Για το δε δάσος, οι αλλαγές είναι ακόμα πιο περιορισμένες καθώς το 82 % παραμένει ως έχει ενώ το υπόλοιπο 17,4 μετατρέπεται σε δάσος πλατύφυλλων και παραποτάμια βλάστηση. Η εξέλιξη των αλλαγών για τις δυο παραπάνω κατηγορίες είναι πολύ λογικές αφού είναι αυτές για τις οποίες η διαδικασία αλλαγής είναι δύσκολη και σπάνια στο χρόνο και επίσης είναι οι περισσότερο σαφώς χωρικά προσδιορισμένες περιοχές. *Δηλαδή, οι εκτάσεις τους είναι κατά μεγάλο ποσοστό αντιπροσωπευτικές καθώς η ταξινόμηση τις ξεχώρισε πολύ καλά στη διαδικασία.*

Συνεχίζοντας τη μελέτη των αποτελεσμάτων, παρατηρούμε ότι η κατηγορία κάλυψης που αφορά τις αρδευόμενες εκτάσεις έχει υποστεί ριζικές αλλαγές. Μόλις το 7,2 % παραμένει αρδευόμενη γη ενώ μεγάλα είναι τα ποσοστά μετατροπής σε βοσκότοπους, δάσους πλατύφυλλων και δάσους δρυός. Το συμπέρασμα που μπορούμε να βγάλουμε από τις αλλαγές αυτές είναι ότι τελικά η ακρίβεια της ταξινόμησης και η σωστή κατηγοριοποίηση των καλύψεων εδάφους στα πρώτα στάδια της μελέτης, διαδραματίζουν σημαντικό ρόλο. Η ταξινόμηση, εξαιτίας του γεγονότος των παρόμοιων φασματικών υπογραφών των κατηγοριών αρδευόμενη γη βοσκότοποι και δάσος πλατύφυλλων και δρυός, μπορεί να μπερδέψει τα αποτελέσματα. Έτσι στη μια ταξινόμηση ένα ρίχει μπορεί να ταξινομηθεί ως αρδευόμενη γη και στην άλλη ως βοσκότοπος. Αποτέλεσμα αυτού, είναι τελικά η ανάλυση Markov να προβάλλει μεγάλες αλλαγές. Πέρα από τις αλλαγές στις παραπάνω κατηγορίες που οφείλονται ίσως στις παρόμοιες φασματικές υπογραφές, σημαντικό ποσοστό συγκεντρώνει και η μετατροπή των αρδευόμενων καλλιεργειών σε ξερικές που είναι γενικά οι επικρατούσες σε όλη την έκταση της περιοχής μελέτης, ενώ μικρότερο είναι το ποσοστό μετατροπής σε αστική γη.

Οι ξερικές καλλιέργειες παρουσιάζουν μια δυναμική συσπείρωσης καθώς το 72,06 % παραμένουν ίδιες ενώ ένα ποσοστό 17,6 % μετατρέπεται σε βοσκότοπους. Η

μετατροπή αυτή μπορεί να οφείλεται εν μέρη και στα αγροτεμάχια που βρίσκονται σε αγραναπαύσεις όπου λόγω της εγκατάλειψης φυτρώνουν διάφορα φυτά και θάμνοι δίνοντας μια εικόνα παρόμοια με αυτή των βοσκοτόπων.

Τέλος, οι βοσκότοποι και το δάσος πλατύφυλλων παρουσιάζουν παρόμοιο πρότυπο αλλαγών. Από τον πίνακα των πιθανοτήτων βλέπουμε ότι οι βοσκότοποι παραμένουν στην ίδια κατάσταση κατά 42,55 %, ενώ παρουσιάζουν σημαντική αλλαγή (37,77 %) σε ξερικές καλλιέργειες και αντιστοίχως μια αλλαγή της τάξης του 18,4 % σε δάσος πλατύφυλλων. Το ποσοστό αυτό δικαιολογείται όπως έχει αναφερθεί και προηγουμένως στις παρόμοιες φασματικές υπογραφές των δυο κατηγοριών. Το 37,77 % όμως των ξερικών καλλιεργειών εξηγείται από την εντατικοποίηση της γεωργίας και ίσως από τη νοοτροπία των αγροτών να σπέρνουν όσο περισσότερη έκταση μπορούν για να λάβουν μεγαλύτερο ποσό ενίσχυσης από το Υπουργείο Γεωργίας. Αντίστοιχη είναι η εικόνα των αλλαγών και στην κατηγορία των πλατύφυλλων δασών. Το 44,65 % παραμένει δάσος ενώ το 27,34 % μετατρέπεται σε βοσκότοπους και το 19,43 % σε ξερικές καλλιέργειες. Όπως είπαμε η εντατικοποίηση της γεωργίας και ιδίως των ξερικών καλλιεργειών που επιδοτούνται αδρά, εξηγεί το αυξημένο αυτό ποσοστό μετατροπής. Το 27,34 % των βοσκοτόπων έχει μια εξήγηση αν συνδυάσουμε και τα παραπάνω αποτελέσματα.. Εφόσον οι βοσκότοποι μειώνονται για να γίνουν τελικά ξερικές καλλιέργειες και οι ανάγκες για εκτάσεις βοσκοτόπων παραμένουν ίδιες, η μόνη λύση είναι οι βοσκότοποι να επεκταθούν σε περιοχές όπου πριν ήταν δάση πλατύφυλλων. Παρατηρούνται λοιπόν αλυσιδωτές αντιδράσεις και αλλαγές εξαιτίας της αρχικής αύξησης των ξερικών καλλιεργειών.

Σε νούμερα, η συνολική εικόνα των αλλαγών δείχνει μια αύξηση των ξερικών καλλιεργειών κατά 10000 περίπου στρέμματα τα οποία προέρχονται κυρίως από την απώλεια των πλατύφυλλων δασών. Όπως ειπώθηκε, η εντατικοποίηση της γεωργίας οδηγεί στη επέκταση των καλλιεργειών σε περιοχές που ήταν βοσκότοποι και οι ανάγκες για βόσκηση οδηγούν σε επέκταση των βοσκοτόπων σε περιοχές πλατύφυλλων δασών. Επίσης οι αρδευόμενες εκτάσεις μετατρέπονται σχεδόν ισόποσα στις υπόλοιπες 5 κατηγορίες, ενώ οι βοσκότοποι και οι δυο τύποι δασών παραμένουν σχεδόν αμετάβλητοι σε έκταση. Τέλος, μικρή αύξηση στην έκτασή της εμφανίζει η αστική γη.

Για την επαλήθευση των αποτελεσμάτων και κατά πόσο αυτά επιτυγχάνουν ένα ικανοποιητικό επίπεδο ακρίβειας, χρησιμοποιήθηκαν στοιχεία καλλιεργειών που συλλέχτηκαν από την Διεύθυνση Γεωργίας Κιλκίς για το έτος 2002. Οι ξερικές καλλιέργειες και η αστική γη είναι ίσως οι δυο καταλληλότερες κατηγορίες για μια τέτοια σύγκριση. *Ο λόγος είναι ότι οι φασματικές τους υπογραφές είναι διακριτές και αποκλείεται το γεγονός σύγχυσης των κατηγοριών στη ταξινόμηση* (οπότε και στην μελλοντική πρόβλεψη) όπως γίνεται στην περίπτωση μεταξύ των αρδευόμενων καλλιεργειών, των βοσκότοπων και των δασών που εμφανίζουν παρόμοιο φαινότυπο και φασματικές υπογραφές. Ενώ συλλέχθηκαν στοιχεία και για τις ποτιστικές καλλιέργειες και τους βοσκότοπους, η σύγκριση των αποτελεσμάτων ήταν ανούσια, καθώς η ταξινόμηση θεωρούσε διαφορετικές τις εκτάσεις των κατηγοριών αυτών (λόγω ομοιότητας μεταξύ τους) από ότι είναι στη πραγματικότητα. Επιπρόσθετα, λόγω έλλειψης δεδομένων για την κατηγορία της αστικής γης τη μόνη επιλογή για σύγκριση και επαλήθευση των αποτελεσμάτων αποτελούν τα στοιχεία των ξερικών καλλιεργειών.

Ο πίνακας 6.5, δείχνει τις επιμέρους εκτάσεις των ξερικών καλλιεργειών και το σύνολο τους που ανέρχεται σε 172847,9 στρέμματα. Από τον πίνακα 6.3, προσθέτοντας τα pixel που αναμένονται να γίνουν ξερικές καλλιέργειες το 2002 βρίσκουμε ότι έχουν σύνολο 170281 pixel. Όπως αναφέρθηκε και στο κεφάλαιο 5 το μέγεθος των pixel στην εικόνα αντιστοιχούν στην πραγματικότητα σε έκταση περίπου 1 στρέμμα (900 τ.μ.), οπότε ο παρατηρούμενος αριθμός των pixel είναι κατά προσέγγιση και η πραγματική έκταση της κατηγορίας σε στρέμματα (σε ποσοστό). Όπως γίνεται σαφές, η μέθοδος της πρόβλεψης με τις αλυσίδες Markov, δίνει πολύ καλή ακρίβεια όσον αφορά τις ξερικές καλλιέργειες και βάσει λογικής και αποτελεσμάτων το ίδιο παρατηρείται για την κατηγορία της αστικής γης όπου εμφανίζεται αύξηση. Η αύξηση της αστικής γης είναι απόρροια του γεγονότος της αύξησης του πληθυσμού και της οικοδομικής δραστηριότητας των ετών 1994-1999 που παρατέθηκαν στο κεφάλαιο 3. Στον πίνακα 6.6 παρουσιάζεται ο αριθμός των pixel ανά κατηγορία και έτος και η μεταβολή τους ενώ στους χάρτες 6.1 έως 6.6 εμφανίζεται η χωρική κατανομή των πιθανοτήτων κάθε κατηγορία για το έτος 2002.

Πίνακας 6.5. Εκτάσεις ξερικών καλλιεργειών έτους 2002.

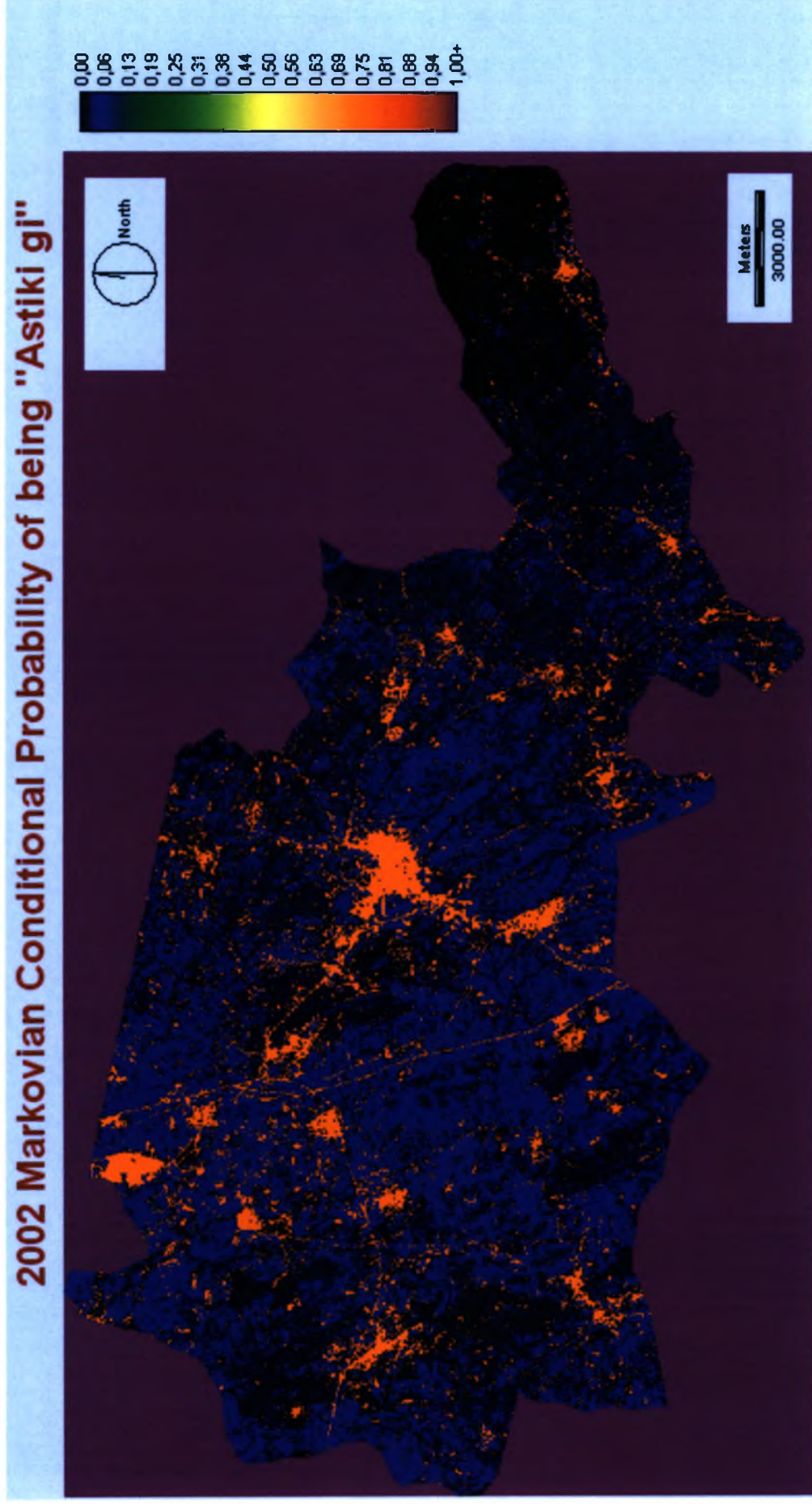
<b>Εκτάσεις ανά κατηγορίες ξερικών καλλιεργειών (στρέμματα)</b>						
<b>Έτος</b>	σίτος σκληρός	λοιπά σιτηρά	πρωτεϊνούχοι	αγρανάπαυση	οσπριοειδή	καπνός
2002	164073,7	5526,7	539,3	993,2	1399,7	315,3
<b>Σύνολο</b>	172847,9					

Πίνακας 6.6. Μεταβολές pixel ανά κατηγορία 2001-2002.

<b>Κατηγορία</b>	<b>Αριθμός pixel</b>		
	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>Μεταβολή</b>
Αστική γη	34582	36003	1421
Αρδευόμενη	2150	2053	-97
Ξερική	161366	170281	8915
Βοσκότοποι	93869	92783	-1086
Πλατύφυλλα	77936	67783	-10153
Δάσος	31505	31361	-144



Χάρτης 6.1. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αστικής γης» για το έτος 2002.



Χάρτης 6.2. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αρδευόμενων καλλιμεργειών» για το έτος 2002 (επεξεργασμένη εικόνα).



Χάρτης 6.3. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «ξερικών καλλιεργειών» για το έτος 2002.



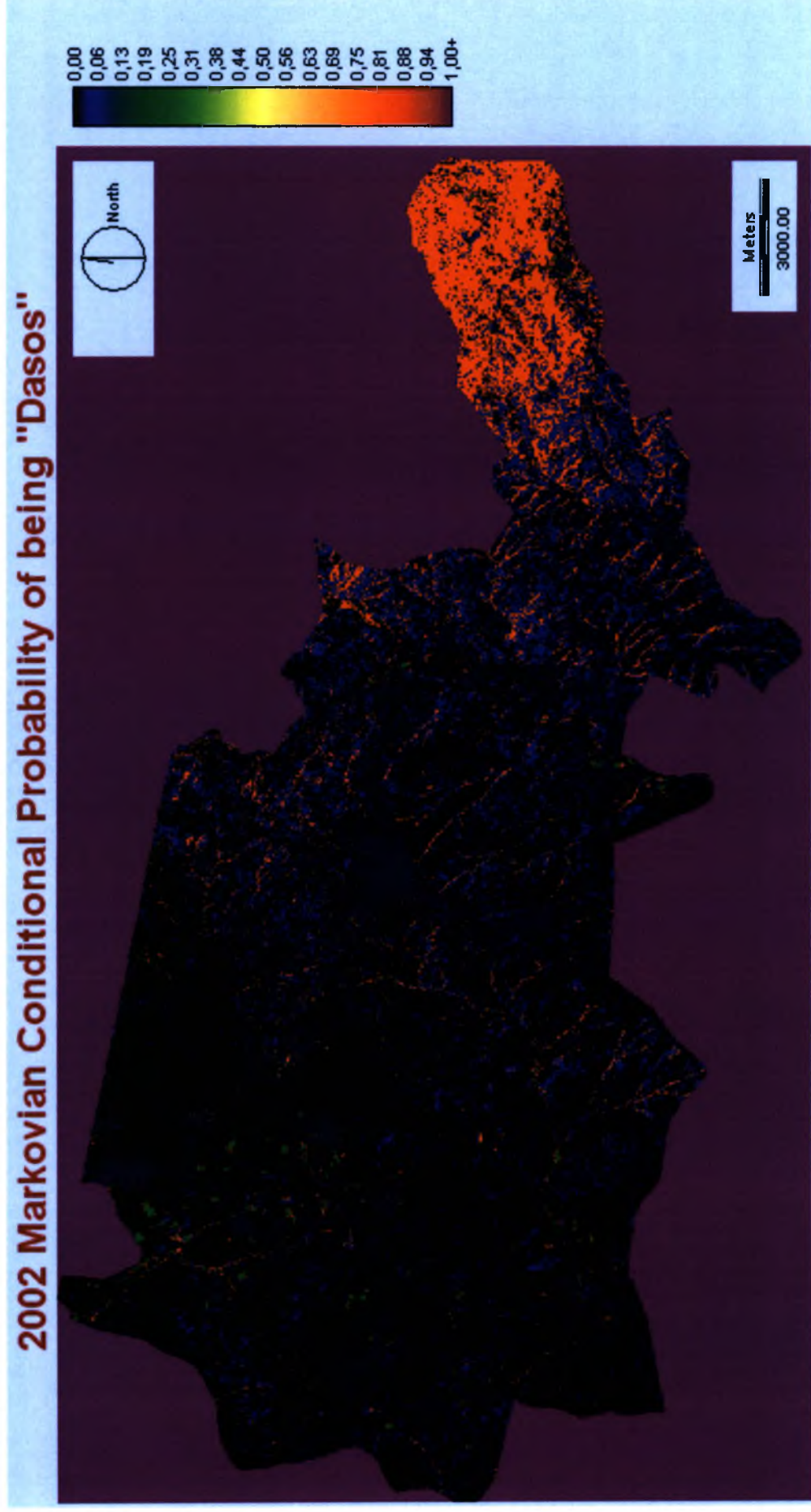
Χάρτης 6.4. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «βοσκότοποι» για το έτος 2002.



Χάρτης 6.5. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους πλατύφυλλων» για το έτος 2002.



Χάρτης 6.6. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους δρυός» για το έτος 2002.



6.2.2. ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΕΤΟΣ 2005

Επόμενη χρονική περίοδος μελέτης των αλλαγών στις καλύψεις εδάφους είναι το διάστημα των 4 ετών, δηλαδή του έτους 2005 το οποίο είναι το πιο πρόσφατο στο σήμερα και διαθέτουμε στοιχεία για σύγκριση των αποτελεσμάτων. Με την ίδια διαδικασία που περιγράφηκε ανωτέρω και με τη βοήθεια των εικόνων του δήμου για τις χρονιές 1986 και 2001 έγινε η προβολή των αλλαγών στο 2005, τα αποτελέσματα των οποίων φαίνονται στους πίνακες 6.7 και 6.8.

Πίνακας 6.7. Περιοχές μετάβασης pixel (Transition areas) 86-01 με προβολή στο έτος 2005.

	Expected to transition to :					
	Astiki gi	Ardeyomeni	3eriki	Voskotopoi	Platyfylla	Dasos
<b>Cells in :</b>						
Astiki gi :	23703	364	4962	3672	1165	664
Ardeyomeni :	215	132	359	324	615	504
3eriki :	7950	998	110517	30203	11282	0
Voskotopoi :	2232	0	37122	37239	17027	0
Platyfylla :	2494	314	17939	20893	31493	4549
Dasos :	0	252	0	0	7787	23296

Πίνακας 6.8. Πιθανότητες μετάβασης (Transition probabilities) 86-01 με προβολή στο έτος 2005.

	Probability of changing to :					
	Astiki gi	Ardeyomeni	3eriki	Voskotopoi	Platyfylla	Dasos
<b>Given in :</b>						
Astiki gi :	0,6865	0,0106	0,1437	0,1063	0,0337	0,0192
Ardeyomeni :	0,1003	0,0612	0,1670	0,1507	0,2862	0,2346
3eriki :	0,0494	0,0062	0,6867	0,1877	0,0701	0,0000
Voskotopoi :	0,0238	0,0000	0,3965	0,3978	0,1819	0,0000
Platyfylla :	0,0321	0,0040	0,2309	0,2690	0,4054	0,0586
Dasos :	0,0000	0,0081	0,0000	0,0000	0,2485	0,7434

Μελετώντας τον πίνακα 6.8 των πιθανοτήτων μετάβασης για το έτος 2005, βλέπουμε ότι τα ποσοστά της κάθε κατηγορίας να μείνει στην ίδια κατάσταση ελαττώνονται σε σχέση με τα αποτελέσματα του 2002. Το ποσοστό της αστικής γης να παραμείνει αστική γη είναι 68,65 %, αντίστοιχα του δάσους δρυός 74,34 %, ενώ συγκριτικά την μικρότερη απώλεια εμφανίζουν οι ξερικές καλλιέργειες. Οι βοσκότοποι και το δάσος πλατύφυλλων ακολουθώντας το ίδιο πρότυπο αλλαγών μετατρέπονται όλο και περισσότερο σε ξερικές καλλιέργειες με τάση αύξησης των ποσοστών σε βάθος χρόνου. Όπως φαίνεται και από τα ποσοστά, το 39,65 % των βοσκότοπων και το 23,09 % των πλατύφυλλων μετατρέπονται σε ξερικές το 2005, ενώ τα ποσοστά για το έτος 2002 είναι αντίστοιχα 37,77 % και 19,43 %. Τις μικρότερες αλλαγές βάσει ποσοστών παρουσιάζει η κατηγορία των δασών που πέρα από το 24,85 % της μετατροπής στη συναφή κατηγορία των πλατύφυλλων εμφανίζει μηδενικές απώλειες προς άλλες κατηγορίες.

Όσον αφορά στα σύνολα των pixel ανά κατηγορία, η εικόνα των αλλαγών δεν απέχει και πολύ από αυτήν του 2002. Οι ξερικές καλλιέργειες και η αστική γη συνεχίζουν να κερδίζουν έδαφος, ενώ το δάσος πλατύφυλλων συνεχίζει να μειώνεται. Μικρή μείωση εμφανίζει το δάσος δρυός, ενώ οι αρδευόμενες καλλιέργειες και οι βοσκότοποι παραμένουν σχεδόν αμετάβλητοι. *Με βάση τον πίνακα 6.9, παρατηρούμε ότι και πάλι η ακρίβεια των ξερικών καλλιεργειών είναι καλή.* Η ανάλυση Markov μας δίνει περίπου 170899 στρέμματα ( $1 \text{ pixel} \approx 1 \text{ στρέμμα}$ ) και ο πίνακας με τα πραγματικά στοιχεία 170414,5. Παρόλα αυτά, ενώ το μοντέλο προβλέπει μικρή αύξηση των ξερικών στο 2005 από ότι παλαιότερα, τα πραγματικά στοιχεία δείχνουν μια μικρή μείωση. Παρακάτω στον πίνακα 6.10, βλέπουμε συγκεντρωτικά τις αλλαγές ανά κατηγορία για τα έτη 2001 και 2005. Αντιστοίχως στους χάρτες 6.7 έως 6.12 βλέπουμε τους χάρτες πιθανοτήτων κάθε κατηγορίας για το έτος 2005.



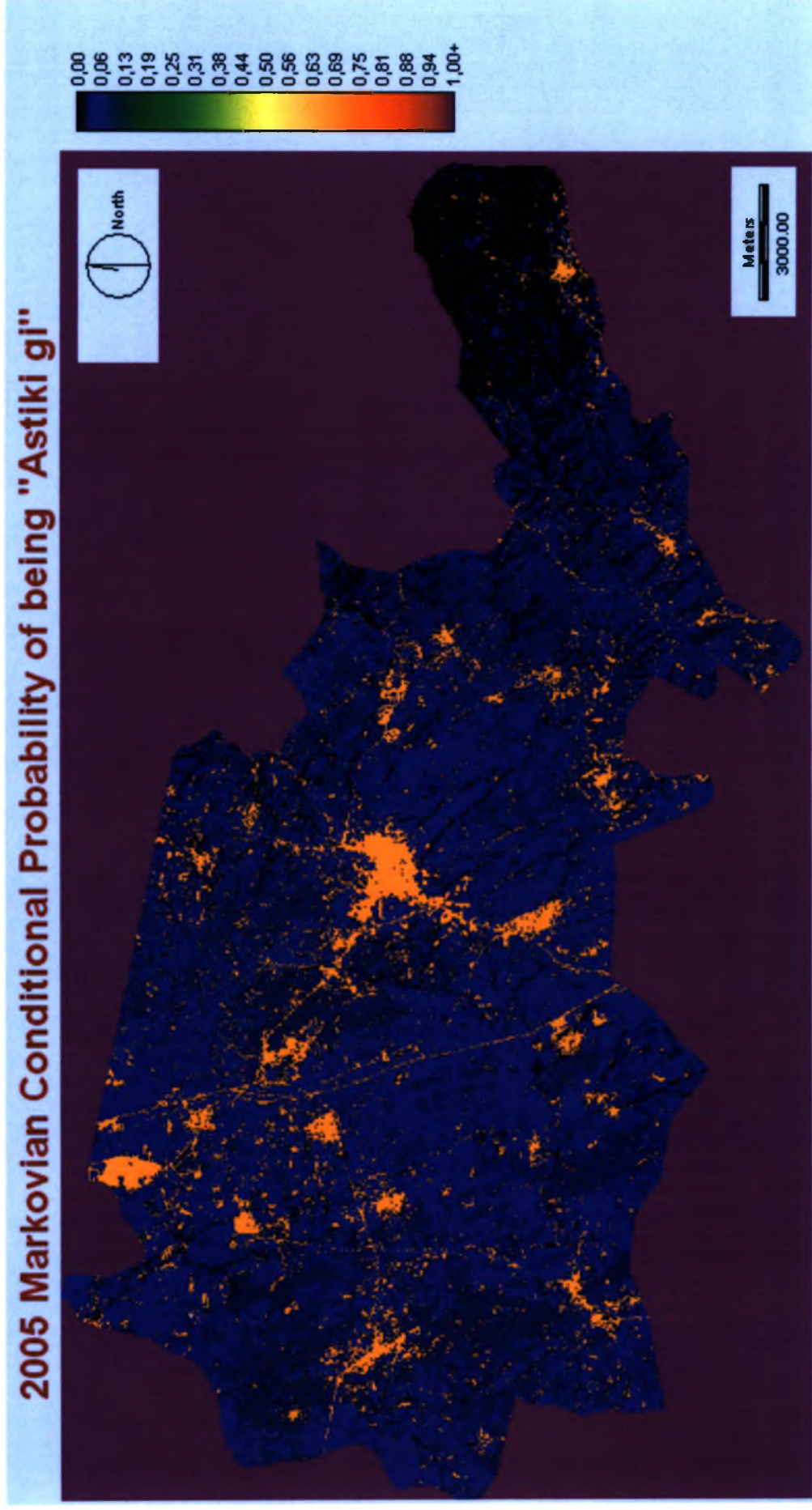
Πίνακας 6.9. Εκτάσεις ξερικών καλλιεργειών έτους 2005.

	Εκτάσεις ανά κατηγορίες ξερικών καλλιεργειών (στρέμματα)					
Έτος	σίτος σκληρός	λοιπά σιτηρά	πρωτεϊνούχοι	αγρανάπαυση	οσπριοειδή	καπνός
2005	162557,8	2075,7	3710,2	1252,4	484	334,4
<b>Σύνολο</b>	170414,5					

Πίνακας 6.10. Μεταβολές pixel ανά κατηγορία 2001-2005.

Κατηγορία	Αριθμός pixel		
	2001	2005	Μεταβολή
Αστική γη	34582	36594	2012
Αρδευόμενη	2150	2060	-90
Ξερική	161366	170899	9533
Βοσκότοποι	93869	92331	-1538
Πλατύφυλλα	77936	69369	-8567
Δάσος	31505	29013	-2492

Χάρτης 6.7. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αστικής γης» για το έτος 2005.



Χάρτης 6.8. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αρδευόμενων καλλιεργειών» για το έτος 2005.



Χάρτης 6.9. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «ξερικών καλλιιεργειών» για το έτος 2005.



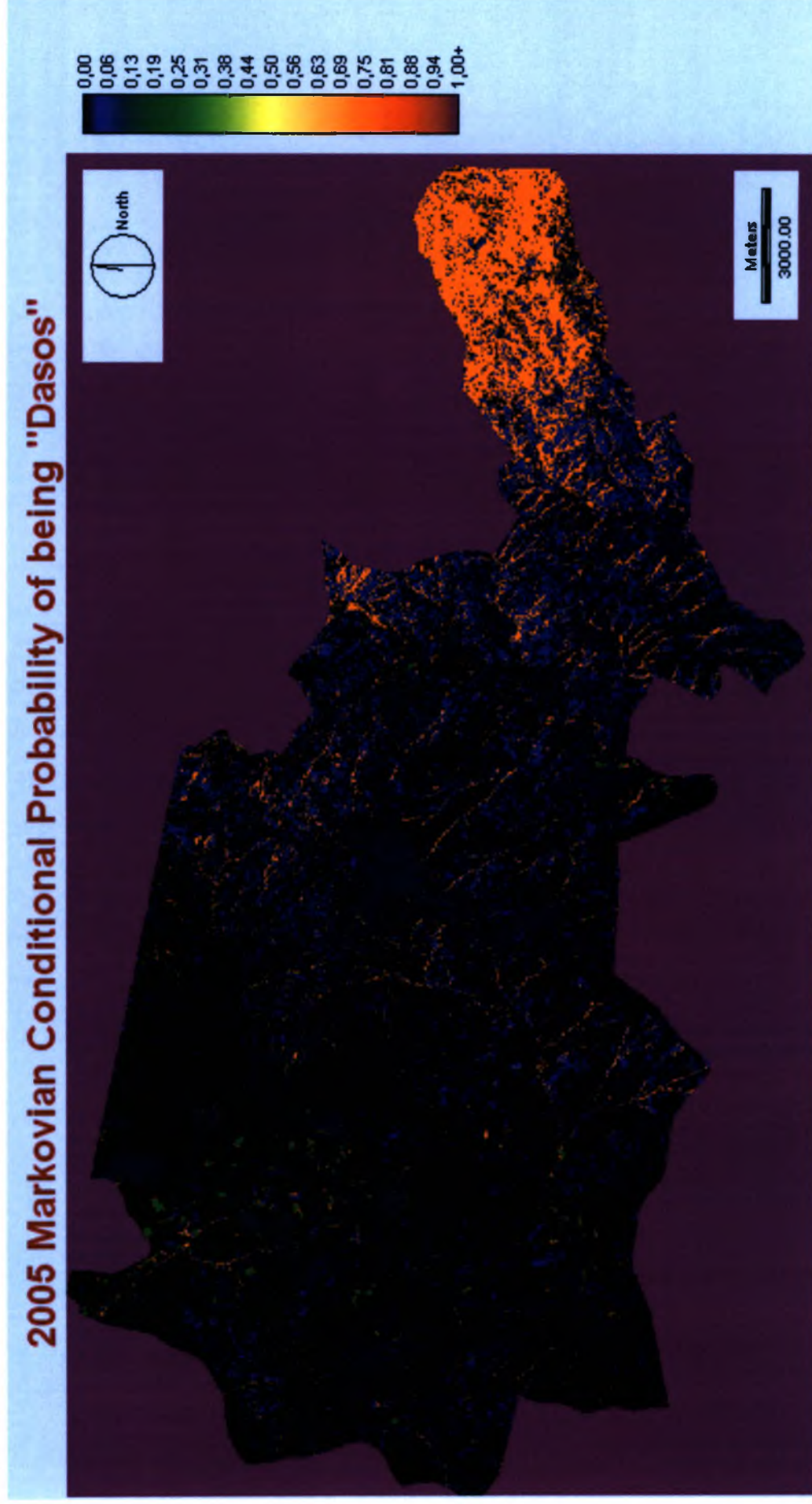
Χάρτης 6.10. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «βοσκοτόπων» για το έτος 2005.



Χάρτης 6.1.1. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους πλατύφυλλων» για το έτος 2005.



Χάρτης 6.12. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους δρυός» για το έτος 2005.



## 6.2.3. ΠΡΟΒΟΛΗ ΤΩΝ ΑΛΛΑΓΩΝ ΣΤΟ ΕΤΟΣ 2016

Τέλος, έγινε μια μελλοντική προβολή της κατάστασης του δήμου Κιλκίς σε 10 χρόνια από σήμερα δηλαδή στο έτος 2016. Το χρονικό διάστημα μεταξύ του 2001 και του 2016 είναι ίδιο με αυτό του διαστήματος 1986-2001 που χρησιμοποιήθηκε ως υπόβαθρο του μοντέλου και μπορεί να θεωρηθεί ουσιαστικά ως μια περίοδος ( $15/15=1$ ). Οι τιμές των περιοχών και των πιθανοτήτων μετάβασης παρατίθενται παρακάτω στους πίνακες 6.11 και 6.12 αντίστοιχα.

Πίνακας 6.11. Περιοχές μετάβασης pixel (Transition areas) 86-01 με προβολή στο έτος 2016

	Expected to transition to :					
	Astiki gi	Ardeyomeni	3eriki	Voskotopoi	Platyfylla	Dasos
<b>Cells in :</b>						
Astiki gi :	15509	291	9305	5497	2902	1026
Ardeyomeni :	210	64	590	398	513	374
3eriki :	12388	902	93932	35092	17665	970
Voskotopoi :	5485	196	41427	29490	15910	1111
Platyfylla :	4725	343	26501	19807	21912	4392
Dasos :	701	259	2786	2720	9145	15724

Πίνακας 6.12. Πιθανότητες μετάβασης (Transition probabilities) 86-01 με προβολή στο έτος 2016

	Probability of changing to :					
	Astiki gi	Ardeyomeni	3eriki	Voskotopoi	Platyfylla	Dasos
<b>Given in :</b>						
Astiki gi :	0,4491	0,0084	0,2695	0,1592	0,0840	0,0297
Ardeyomeni :	0,0978	0,0296	0,2746	0,1853	0,2389	0,1739
3eriki :	0,0770	0,0056	0,5836	0,2180	0,1098	0,0060
Voskotopoi :	0,0586	0,0021	0,4425	0,3150	0,1699	0,0119
Platyfylla :	0,0608	0,0044	0,3412	0,2550	0,2821	0,0565
Dasos :	0,0224	0,0083	0,0889	0,0868	0,2918	0,5018

Ο πίνακας 6.12 των πιθανοτήτων μετάβασης για το έτος 2016, κάνει σαφές ότι σε βάθος χρόνου οι αλλαγές που αναμένονται είναι μεγάλες. Ακόμη και κατηγορίες όπως η αστική γη, οι ξερικές καλλιέργειες και τα δάση δρυός που στις προηγούμενες



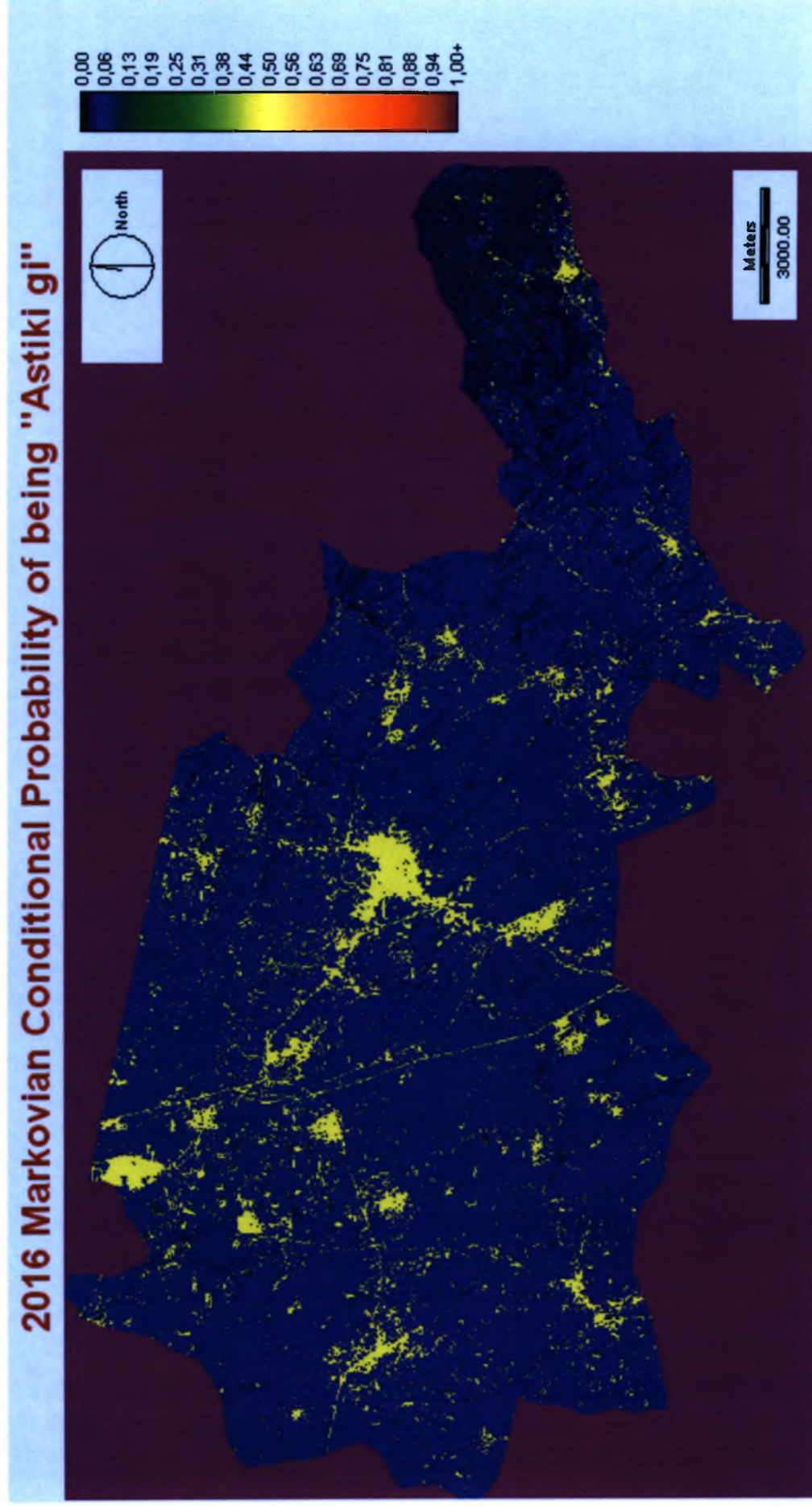
προβολές διατηρούσαν κατά πολύ την ίδια κατάσταση, πλέον φαίνεται ότι στον ορίζοντα της δεκαπενταετίας τα ποσοστά τους κυμαίνονται στο 50 %. Όσον αφορά ειδικά στην αστική γη, είναι μάλλον λίγο απίθανο σενάριο το 44,91 % του δομημένου χώρου να διατηρηθεί και το υπόλοιπο 55 % να μετατραπεί σε άλλες κατηγορίες. Δυστυχώς όμως η μεγάλη χρονική περίοδος των 15 χρόνων (1986-2001) που χρησιμοποιείται ως βάση για την εφαρμογή του μοντέλου Markov επηρεάζουν αρκετά την ακρίβεια της πρόβλεψης. Ρίχνοντας μια πιο προσεκτική ματιά στα ποσοστά των υπόλοιπων κατηγοριών παρατηρούμε ότι η γενική τάση των αλλαγών είναι παρόμοια με τις προβολές του 2002 και 2005 απλά ελαφρώς εντονότερη εξαιτίας του μεγάλου χρονικού ορίζοντα.

Παρατηρώντας τον πίνακα μετάβασης των pixel βλέπουμε ότι η μείωση της έκτασης των πλατύφυλλων δασών συνεχίζεται όμως με μικρότερο ρυθμό και τα δάση δρυός μειώνονται ραγδαία. Κερδισμένη κατηγορία εξακολουθεί να είναι οι ξερικές καλλιέργειες που αυξάνονται με γρήγορο ρυθμό ενώ λιγότερο γρήγορα κερδίζει έδαφος και η αστική γη. Τα δάση δρυός χάνουν περίπου 7900 στρέμματα τα οποία μετατρέπονται κατά κύριο λόγο σε πλατύφυλλα τα οποία στην προβολή του 2002 και 2005 έχαναν συνεχώς έδαφος. Βλέπουμε δηλαδή μια αντίδραση του συστήματος των δασών όπου τα δάση δρυός προσπαθούν να εξομαλύνουν τις απώλειες των πλατύφυλλων που μετατρέπονται σε ξερικές καλλιέργειες. Αυτό που συμπεραίνεται τελικώς είναι ότι η εντατικοποίηση της γεωργίας που βραχυπρόθεσμα προκαλεί μείωση των πλατύφυλλων δασών, μακροπρόθεσμα επηρεάζει τα δάση δρυός η μείωση των οποίων εγκυμονεί περιβαλλοντικούς κινδύνους. Στον πίνακα 6.13 φαίνονται οι αλλαγές που παρατηρούνται ανά κατηγορία στο έτος προβολής 2016 και στους χάρτες 6.13 έως 6.18 οι πιθανότητες των pixel ανά κατηγορία καλύψεων γης.

Πίνακας 6.13. Μεταβολές pixel ανά κατηγορία 2001-2016.

Κατηγορία	Αριθμός pixel		
	2001	2016	Μεταβολή
Αστική γη	34582	39018	4436
Αρδευόμενη	2150	2055	-95
Ξερική	161366	174541	13175
Βοσκότοποι	93869	93004	-865
Πλατύφυλλα	77936	68047	-9889
Δάσος	31505	23597	-7908

Χάρτης 6.13. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αστικής γης» για το έτος 2016.



Χάρτης 6.14. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «αρδεδόμενων καλλιεργειών» για το έτος 2016 (επεξεργασμένη εικόνα).



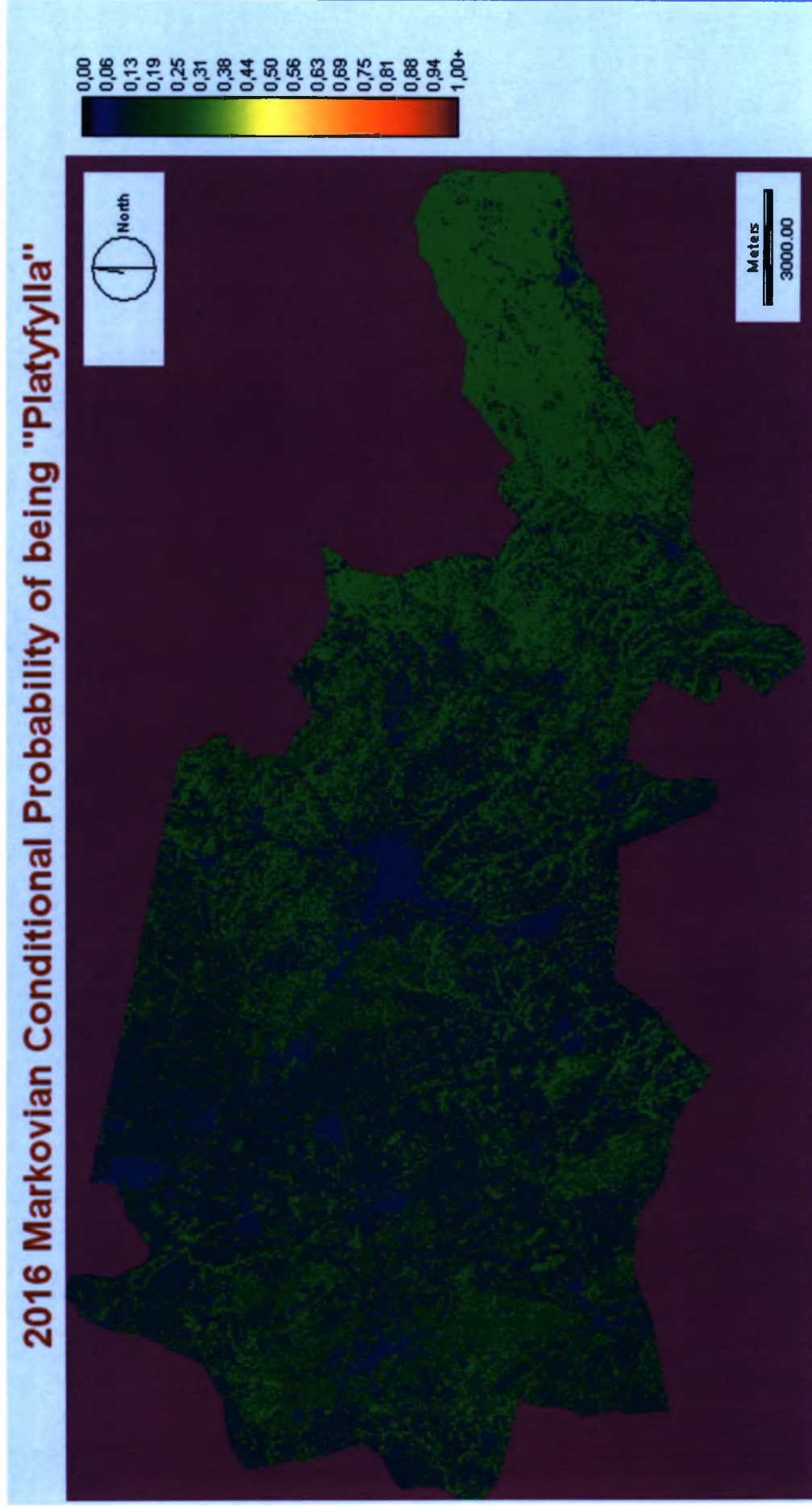
Χάρτης 6.15. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «ξερικών καλλιερχειών» για το έτος 2016.



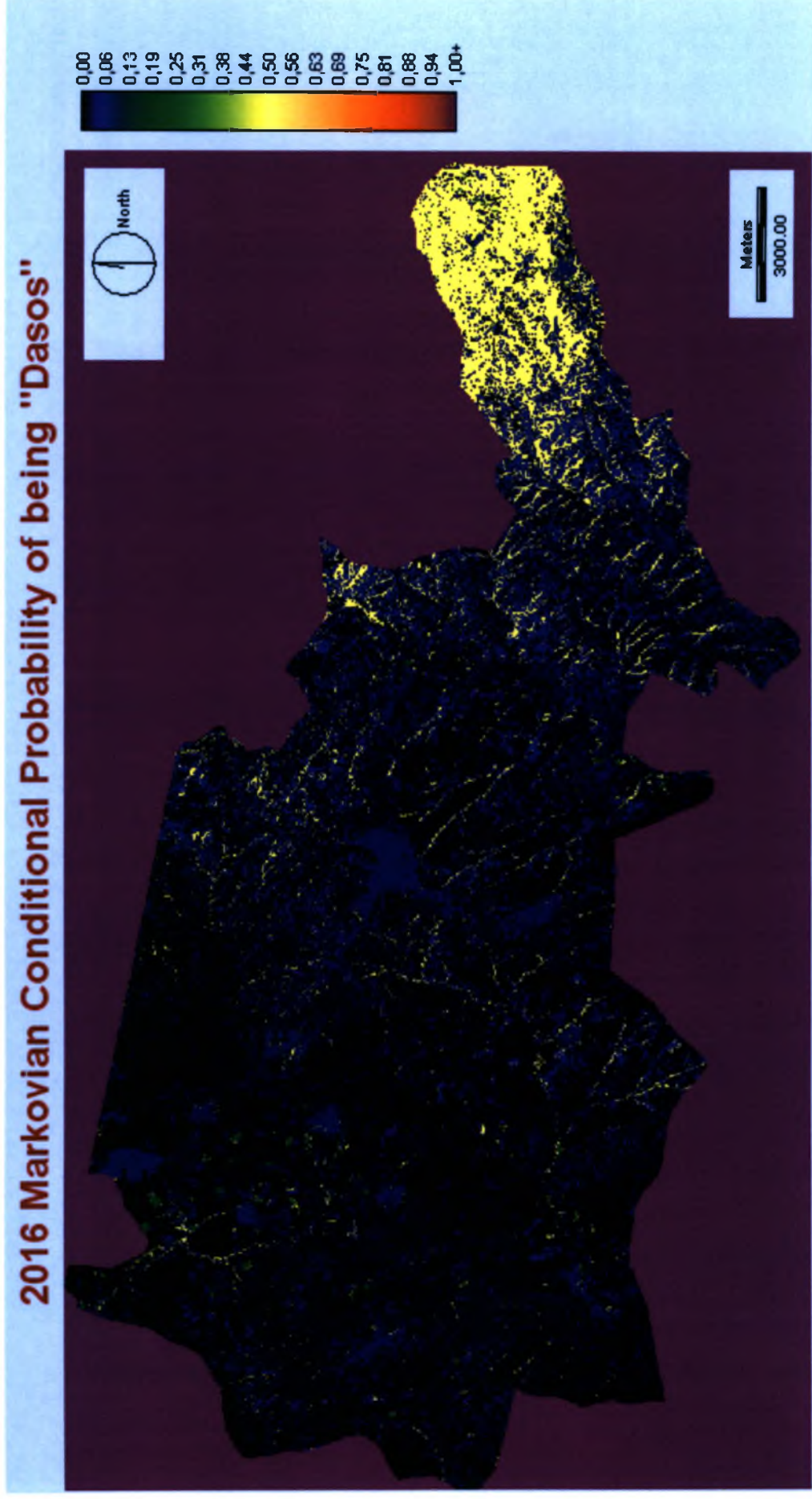
Χάρτης 6.16. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «βοσκοτόπων» για το έτος 2016.



Χάρτης 6.17. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους πλατύφυλλων» για το έτος 2016.



Χάρτης 6.18. Πιθανοτικός χάρτης κατηγορίας «δάσους δρυός» για το έτος 2016.



## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Ολοκληρώνοντας την παρούσα διπλωματική εργασία, σκόπιμη θεωρείται η εξαγωγή ορισμένων συμπερασμάτων, τα οποία αποτελούν απόρροια της ανάλυσης που έχει προηγηθεί. Η εξέλιξη της τηλεπισκόπησης και των GIS έχουν συμβάλει τα μέγιστα στην παρατήρηση και χαρτογράφηση της γήινης επιφάνειας, ωστόσο η δυνατότητα πρόβλεψης αποτελεί πλέον το μέλλον της έρευνας. Οι μέθοδοι μοντελοποίησης των αλλαγών όπως η ανάλυση Markov σε συνδυασμό με δορυφορικές εικόνες οι οποίες παρέχουν όλες τις απαραίτητες πληροφορίες, μπορούν να οδηγήσουν σε χρήσιμα συμπεράσματα προς αυτήν την κατεύθυνση.

Πριν ξεκινήσει η ανάλυση του μοντέλου των διαχρονικών αλλαγών στο Δήμο Κιλκίς, τα στοιχεία και οι ενδείξεις προϋδέαζαν για μια αύξηση του δομημένου χώρου και των ξερικών καλλιεργειών που κυριαρχούν ως κάλυψη. Όσον αφορά στην αστική γη, η κατακόρυφη αύξηση του πληθυσμού του δήμου κατά 40 % και η αυξημένη οικοδομική δραστηριότητα που παρουσιάζεται βάσει στοιχείων στο κεφάλαιο 3, συνηγορούν υπέρ μιας αύξησης της συγκεκριμένης κατηγορίας. Από την άλλη, η στήριξη της οικονομίας του δήμου στον πρωτογενή τομέα και οι επιδοτήσεις των σιτηρών από την ΚΑΠ, οδήγησαν στην επικράτηση των ξερικών καλλιεργειών και τη συνεχή ενδυνάμωσή τους.

Βασικότατο στάδιο του μοντέλου και καθοριστικός παράγοντας της ακρίβειας της πρόβλεψης αποτέλεσε η διαδικασία της ταξινόμησης. Δυστυχώς παρουσιάστηκαν αρκετά προβλήματα όπως αναφέρθηκε και στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο κυρίως με την δορυφορική εικόνα του 1987 η οποία τελικά εξαιρέθηκε από την ανάλυση. Η εξαίρεση της περιόρισε σημαντικά τον όγκο των δεδομένων και παρέκαμψε βήματα όπως η υπόθεση της σταθερότητας της μεταβολής του μοντέλου. Όσον αφορά τις ταξινομήσεις των υπολοίπων δυο εικόνων κατάφεραν να επιτύχουν ικανοποιητικά αποτελέσματα παρά το γεγονός της σύγχυσης των κατηγοριών με φυτική βιομάζα (αρδευόμενες καλλιέργειες, βοσκότοποι, δάση). Η σύγχυση αυτή θα μπορούσε ίσως να αποφευχθεί με τρόπο που θα αναφερθεί στη συνέχεια.

Χρησιμοποιώντας τις ταξινομημένες εικόνες του 1986 και 2001 στην εφαρμογή του μοντέλου κάναμε πρόβλεψη των αλλαγών των καλύψεων γης σε τρεις χρονιές, το

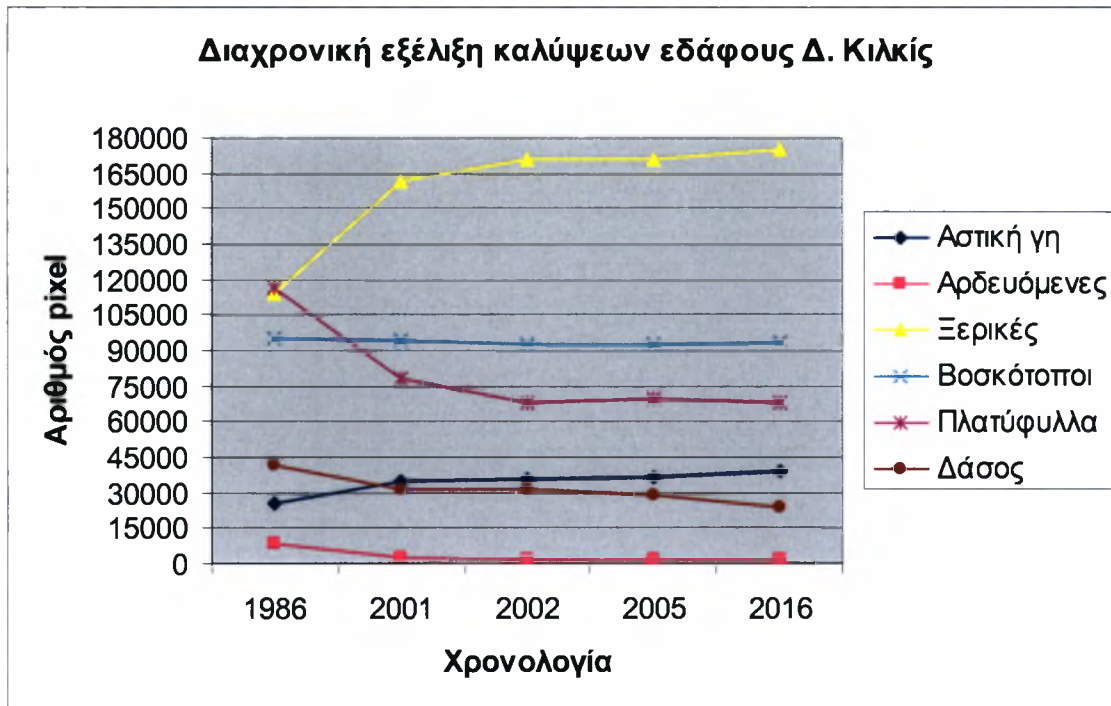


2002, το 2005 και το 2016. Τα αποτελέσματα σαφώς επηρεάζονται από τις ταξινομήσεις, την έλλειψη επιπρόσθετων εικόνων και τη μεγάλη χρονική απόσταση των δυο εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν. Επίσης, η διαφορετική εποχή λήψης των εικόνων επηρεάζει την ταξινόμηση και άρα και την εφαρμογή του μοντέλου για μια σειρά από λόγους που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο (βλ. κεφάλαιο 5). Από τους πίνακες των περιοχών μετάβασης και των πιθανοτήτων τους, συμπεράναμε ότι στο Δήμο Κιλκίς συντελούνται σημαντικές αλλαγές η εξέλιξη των οποίων παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον. Η αρχική μας υπόθεση ότι η αστική γη και οι ξερικές καλλιέργειες θα αυξηθούν επιβεβαιώθηκε και στις τρεις προβολές. Οι ρυθμοί αύξησης τους όπως και των υπολοίπων κατηγοριών ανά έτος παρουσιάζονται στο διάγραμμα 7.1. Βεβαίως η αύξηση των δυο κατηγοριών δεν γίνεται εις βάρος όλων των υπολοίπων αλλά κυρίως εις βάρος του δάσους πλατύφυλλων.

Όπως φάνηκε και στους πίνακες των προβολών που παρουσιάστηκαν στο κεφάλαιο 6, τα δάση πλατύφυλλων μετατρέπονται διαχρονικά σε ξερικές καλλιέργειες. Οι αλυσιδωτές αλλαγές που πραγματοποιούνται εξηγούν το φαινόμενο αυτό. Η εντατικοποίηση της γεωργίας οδηγεί τη μετατροπή εκτάσεων βοσκοτόπων σε ξερικές καλλιέργειες. Όμως οι ανάγκες βόσκησης που παραμένουν σταθερές οδηγούν στην εύρεση εκτάσεων για βόσκηση που προέρχονται από τη μετατροπή των πλατύφυλλων. Έτσι οι βοσκότοποι χάνουν έκταση για να γίνουν ξερικές και συγχρόνως κερδίζουν έκταση από τη μετατροπή των πλατύφυλλων με αποτέλεσμα να σημειώνονται σημαντικές αλλαγές αλλά τελικά η έκταση τους να παραμένει σχεδόν αμετάβλητη όπως φαίνεται και στο διάγραμμα.

Μακροπρόθεσμα ωστόσο, στο έτος 2016, βλέπουμε ότι τελικά το σύστημα προσπαθεί να εξομαλύνει την κατάσταση και η αύξηση των ξερικών καλλιεργειών και της αστικής γης επιβαρύνει το δάσος δρυός. Συνεχίζοντας την θεωρία των αλυσιδωτών αλλαγών του συστήματος, παρατηρείται ότι το δάσος δρυός αρχίζει να μετατρέπεται σε δάσος πλατύφυλλων, το οποίο μετατρέπεται σε βοσκότοπους οι οποίοι μετατρέπονται τελικά κυρίως σε ξερικές καλλιέργειες. Συμπερασματικά δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι σε βάθος χρόνου η αύξηση των ξερικών καλλιεργειών επηρεάζει την έκταση των δασών λόγω της αλυσίδας των αλλαγών.

Διάγραμμα 7.1. Διαχρονική εξέλιξη καλύψεων γης στο Δήμο Κιλκίς.



Σημείωση: 1pixel ≈ 1 στρέμμα

Παρά το γεγονός ότι μακροπρόθεσμα τα δάση δρυός μειώνονται, βραχυπρόθεσμα βλέπουμε ότι παραμένουν σχεδόν σταθερά όσον αφορά στην έκτασή τους. Σταθερές εκτάσεις εμφανίζουν και οι βοσκότοποι και οι αρδευόμενες καλλιέργειες, ενώ όπως αναφέρθηκε η αστική γη και οι ξερικές καλλιέργειες αυξάνονται και το δάσος πλατύφυλλων μειώνεται. Ωστόσο η σταθερότητα ή η αυξομείωση των εκτάσεων δεν έχει σχέση με τις αλλαγές που παρατηρούνται. Για παράδειγμα, οι αρδευόμενες εκτάσεις παρά το ότι εμφανίζουν σταθερή έκταση προκύπτουν κατά 90 % από μετατροπές άλλων κατηγοριών σε αρδευόμενες και μόλις 10 % αφορά τις αρδευόμενες εκτάσεις που παρέμειναν αμετάβλητες. Αντίστοιχη εικόνα παρουσιάζουν και οι βοσκότοποι που όπως ήδη αναφέρθηκε όση έκταση χάνουν ταυτόχρονα τόση κερδίζουν με αποτέλεσμα τη σχεδόν σταθερή διαχρονική τους έκταση. Οι πιο «συμπαγείς» κατηγορίες, δηλαδή αυτές που ο κύριος όγκος τους παραμένει ως έχει διαχρονικά είναι αστική γη, οι ξερικές καλλιέργειες και το δάσος δρυός. Αναφορικά αξίζει να αναφερθεί ότι στην προβολή του έτους 2002, η αστική γη παρέμεινε κατά 76 % αστική γη, ενώ αντίστοιχα οι ξερικές καλλιέργειες και το δάσος δρυός παρέμειναν στην ίδια κατάσταση κατά 72 % και 82 %.

Το γενικό συμπέρασμα που προκύπτει από τη χρήση μοντέλων που μελετούν τις αλλαγές καλύψεων εδάφους όπως τα μοντέλα Markov είναι ότι, αν και εφαρμόζονται σπάνια στην Ελλάδα, προσφέρουν σημαντικές πληροφορίες για την μελλοντική κατάσταση μιας περιοχής. Οι πληροφορίες που αφορούν τις αλλαγές στο έδαφος μπορούν να χρησιμοποιηθούν από αρμόδιους της Χωροταξίας, της Πολεοδομίας, της Δασολογίας και των φορέων της προστασίας του περιβάλλοντος για τη χάραξη πολιτικών. Μελετώντας την τάση και τον ρυθμό των αλλαγών δίνεται η δυνατότητα να θεσπιστούν μέτρα για την προώθηση ή αντίστοιχα τη πρόληψη της ανάπτυξης συγκεκριμένων κατηγοριών κάλυψης.

Μολονότι η χρησιμότητα του μοντέλου είναι αδιαμφισβήτητη, ορισμένες ατέλειες που ωστόσο επιδέχονται διόρθωσης, είναι απαραίτητο να εξαλειφθούν στο μέλλον. Μια πρώτη ίσως ατέλεια της διαδικασίας είναι η αρχική ταξινόμηση των υπό μελέτη εικόνων. Επειδή η ταξινόμηση επηρεάζει κατά πολύ την ακρίβεια του μοντέλου πρέπει να βρεθεί τρόπος τελειοποίησης της ώστε να μην υπάρχει σύγχυση κατηγοριών με παρόμοιες φασματικές υπογραφές. Μια ενδεδειγμένη λύση είναι η ταξινόμηση να λαμβάνει υπόψη της και άλλες παραμέτρους όπως το σχήμα που μπορεί να έχουν τα στοιχεία μια κατηγορίας, η έκτασή τους, ή το υψόμετρο στο οποίο βρίσκονται. Τέτοιου είδους ταξινόμηση είναι δυνατή με το πρόγραμμα E-cognition που ωστόσο δεν έχει συμβατό τύπο αρχείων ώστε να αναγνωρίζεται από το Idrisi 14.0.

Επιπρόσθετο στοιχείο που θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στη διαδικασία της δημιουργίας του μοντέλου αποτελεί η συσχέτιση της γειτνίασης των pixel στην παραγωγή των πιθανοτήτων μετάβασης όπως έγινε στη μελέτη των Tang, Wang και Yao (2005). Στο παράδειγμα της περίπτωσης αυτής η δημιουργία μιας παραλλαγής του μοντέλου, του Spatial Markov, έδωσε καλύτερα αποτελέσματα. Η διαφορά του έγκειται στο γεγονός ότι η πιθανότητα κάθε pixel επηρεάζεται από τις πιθανότητες των γειτονικών του. Έτσι εξαλείφονται περιπτώσεις όπου σε αμιγείς περιοχές μιας κατηγορίας εμφανίζονται pixel κάποιας άλλης κάτι που θεωρείται απίθανο ως γεγονός (π.χ. αρδευόμενη καλλιέργεια να εμφανίζεται μέσα σε δασώδη περιοχή).

Ως τελευταίο κομμάτι που επιδέχεται βελτίωσης είναι ο καθορισμός ορίων και περιορισμών για την ανάπτυξη ή την μείωση κάποιας κατηγορίας. Ο αλγόριθμος δεν

έχει νοημοσύνη για να καταλάβει πότε το μελλοντικό σενάριο των αλλαγών αρχίζει και γίνεται μη πραγματοποιήσιμο. Για παράδειγμα, στη περίπτωση που μελετήθηκε στην εργασία, οι ξερικές καλλιέργειες και η αστική γη που ακολουθούν γενικά αυξητική τάση, κάποια στιγμή θα κυριαρχήσουν και θα καταλάβουν σχεδόν όλη την έκταση της περιοχής. Αυτό βέβαια αποτελεί απίθανο σενάριο καθώς όλες οι αλλαγές που μπορούν να πραγματοποιηθούν είναι πεπερασμένες. Ο ορισμός ενός επιπέδου ορίων θα μπορούσε να προβλέψει μέχρι ένα χρονικό ορίζοντα όπου οι αλλαγές θα είναι λογικές. Στη περίπτωση του δήμου Κιλκίς λόγω χάρη, αν ορίζαμε ένα ανώτατο όριο για τις δυο κατηγορίες που παρουσιάζουν αύξηση, το μοντέλο θα έκανε μελλοντικές προβλέψεις μέχρι το συγκεκριμένο όριο. Το ίδιο θα μπορούσε να γίνει και με την έκταση των δασών όπου θα μπορούσαμε να ορίσουμε π.χ. όταν η έκταση των δασών μειωθεί κατά κάποιο ποσοστό από το αρχικό να σταματάει η περαιτέρω πρόβλεψη. Η περίπτωση αυτή θα ήταν ιδιαίτερα σημαντική για περιβαλλοντικά ευαίσθητες κατηγορίες όπως τα δάση και οι προστατευόμενες περιοχές καθώς το μοντέλο θα μπορούσε να δώσει το χρονικό ορίζοντα στον οποίο θα επιτευχθεί η εξάντληση του ορίου. Με τον τρόπο αυτό θα συνέβαλλε στο τομέα της προειδοποίησης και της χάραξης της κατάλληλης πολιτικής για την αποφυγή μιας τέτοιας κατάστασης. Έτσι αν μπορεί να υπάρξει τρόπος να τεθούν περιορισμοί ώστε το σενάριο από κάποιο χρονικό σημείο και μετά να σταματάει, θα μιλάμε για έναν ολοκληρωμένο αλγόριθμο μελέτης διαχρονικών αλλαγών.

Τέλος, θα πρέπει να πούμε ότι το τελευταίο βήμα της εργασίας ματαιώθηκε λόγω τεχνικών δυσκολιών που αντιμετωπίστηκαν στη χρήση μιας εντολής του προγράμματος Idrisi 14.0. Στόχος ήταν η δημιουργία ενός συγκεντρωτικού πιθανοτικού χάρτη για κάθε έτος προβολής που θα έδινε μια πιο εποπτική εικόνα των αλλαγών ανά κατηγορία. Η διαδικασία θυμίζει ταξινόμηση μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood) με τη διαφορά ότι γίνεται παράλληλα και συσχέτιση του πίνακα πιθανοτήτων κάθε έτους προβολής. Δυστυχώς όμως το πρόγραμμα έδινε συνεχώς σφάλμα όταν προσπαθούσαμε να ορίσουμε πολύγωνα για τη δημιουργία των φασματικών υπογραφών που ήταν απαραίτητες και έτσι η προσπάθεια τερματίστηκε χωρίς επιτυχία.

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Ελληνόγλωσση

Αναπτυξιακή Κιλκίς Α.Ε. (1998) «Τοπικό Αναπτυξιακό Πρόγραμμα Δήμου Κιλκίς - συμβουλίου περιοχής Κιλκίς. Ανάλυση στοιχείων - διάγνωση περιοχής, Κιλκίς.

Γιαννάκου, Α. κ.α. (2004) «Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Δήμου Κιλκίς, Φάση Α. Ανάλυση - Διάγνωση - Προοπτικές», Κιλκίς.

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

Περάκης, Κ. (1999) *Φωτοερμηνεία και Τηλεπισκόπηση:Σημειώσεις*, Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.

Σορτικός, Γ. κ.α. (1983) «Γενικό Πολεοδομικό Σχέδιο Κιλκίς», Υ.Χ.Ο.Π., Ε.Π.Α. 82-84, Κιλκίς.

Συλλαίος, Ν. (2000) *Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη.

Φώτης, Γ. (2003) *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών:Σημειώσεις*, Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.

Ξενόγλωσση

Anselin, L. (1999) “Spatial Econometrics”, Richardson: Bruton Center School of Social Sciences University of Texas at Dallas.

Baker, L.W. (1989) “A review of models of landscape change”, *Landscape Ecology*, **2(2)**, 111-33.

- Bell, E. J. (1974) "Markov analysis of Land Use Change - An Application of Stochastic Processes to Remotely Sensed Data", *Journal of Socioeconomic Planning Sciences*, **8**, 311-16.
- Bell, E.J. και Hinojosa, R.C. (1977) "Markov Analysis of Land Use Change: Continuous Time and Stationary Processes", *Socio-Economic Planning Sciences*, **11**, 13-7.
- Briassoulis, H. (2000) Ph. D., *Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches*, Morgantown: West Virginia University.
- Brown, D.G. Pijanowski, B.C. και Duh, J.D. (2000) "Modeling the relationships between land-use and land-cover on private lands in the Upper Midwest USA", *Journal of Environmental Management*, **59**, 247-63.
- Brown, D.G. Riolo, R. Robinson, D. T. North, M. και Rand, W. (2005) "Spatial Process and Data Models: Toward Integration of Agent-Based Models and GIS", *Journal of Geographical Systems, Special Issue on Space-Time Information Systems*, **7(1)**, 25-47.
- Lambin, E. F., Baulies, X., Bockstael, N. E., Fischer, G., Krug, T., Leemans, R., Moran, E. F., Rindfuss, R. R., Sato, Y., Skole, D., Turner II, B. L., and Vogel, C. (2000) "Land-Use and Land-Cover Change (LUCC), Implementation Strategy", *IGBP*, **48**, *IHDP*, **10**.
- Lambin, E., Geist, H. "Global land-use and land cover change: what have we learned so far?", summary of scientific discussions within the Scientific Steering Committee of the IGBP/IHDP LUCC project, Global Change Newsletter 46, 27-30, διατίθεται στο:  
<http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/home.html>, ημερομηνία προσπέλασης 4-9-2006.
- Lepers, E. Lambin, E.F. Janetos, A.C. DeFries, R. Achard, F. Ramankutty, N. και Scholes, R.J. (2005) "A Synthesis of Rapid Land-Cover Change Information for the 1981-2000 period", *Bioscience*, **55(2)**, 115-24.

- Ligmann-Zielinska, A. Church, R. και Jankowski, P. (2004) “Sustainable Urban Land Use Allocation with Spatial Optimization”.
- Meyer, W.B. και Turner, B.L. II (1996) “Land-Use/Land-Cover Change: Challenges for Geographers”, *Geojournal*, **39(3)**, 237-40.
- Muller, R. και Middleton, J. (1994) “A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara region, Ontario, Canada”, *Landscape Ecology*, **9**, 151-57.
- Pastor, J., Sharp, A. και Wolter, P. (2005) “An application of Markov models to the dynamics of Minnesota's forests”, *International Journal of Remote Sensing*, **35**, 3011-19.
- Pontius, R.G. και Malanson, J. (2005) “Comparison of the structure and accuracy of two land change models”, *International Journal of Geographical Information Science*, **19(2)**, 243-65.
- Rogan, J. Franklin και Roberts, D.A. (2002) “A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery”, *Remote Sensing of Environment*, **80**, 143-56.
- Rogan, J. και Chen, D.M. (2004) “Remote sensing technology for mapping and monitoring land cover and land use change”, *Progress in Planning*, **61(4)**, 301-25.
- Sarwar, J. (1986) “The determination of stability and similarity of markovian land use change processes: a theoretical and empirical analysis”, *Socio-Economic Planning Science*, **20(4)**, 243-51.
- Tang, J. Wang, L. Yao, Z. (2005) “Spatio-temporal urban landscape change analysis using Markov chain and modified genetic algorithm”, *Research paper, International journal of Remote Sensing*.
- Turner, B.L. II Skole, D. Sanderson, S. Fischer, G. Fresco, L. και Leemans. R. (1995) “Land-Use and Land-Cover Change; Science/Research Plan.” *IGBP*, **35**, HDP, 7.

- Vandever, L.R. και Drummond, H.E. (1978) "The Use of Markov Processes in Estimating Land Use Change", Oklahoma State University Agricultural Experiment Station, Technical Bulletin 148, 1-20.
- Veldkamp, A. και Lambin, E. (2001) "Predicting land-use change", *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **85**, 1-6.
- Verburg, H. Schot, P. Dijst, M. Veldkamp, A. (2003) "Land use change modelling: current practice and research priorities", *GeoJournal*, in press.
- Weng, Q. (2001) "Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modeling" *Journal of Environmental Management*, **64**, 273-84.
- Wood, E.C., Lewis, J.E., Tappan G.G. και Lietzow, R.W. (1997) "The Development of a Land Cover Change Model for Southern Senegal." Presented at Land Use Modeling Workshop, EROS Data Center, Sioux Falls, South Dakota, June 5-6, 1997, διατίθεται στο:  
[http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/landuse97/papers/wood\\_eric/pecdoc.html](http://www.ncgia.ucsb.edu/conf/landuse97/papers/wood_eric/pecdoc.html),  
ημερομηνία προσπέλασης 4-9-2006.
- Yang, X. και Lo, P. (2001) "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* 2002, **23(9)**, 1775-98.

#### Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο

LUCC - Land-Use and Land-Cover Change, <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/>,  
ημερομηνία προσπέλασης 25-7-2006

Project SLUCE, Spatial Land Use Change and Ecological Effects, <http://www.cscs.umich.edu/sluc/>, ημερομηνία προσπέλασης 3-8-2006



European Environment Agency, <http://www.eea.eu>, ημερομηνία προσπέλασης 12-8-2006

Global Land Cover Facility, University of Maryland, <http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>, ημερομηνία προσπέλασης 20-6-2006

The Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia University, <http://www.ciesin.columbia.edu/>, ημερομηνία προσπέλασης 17-8-2006

Food and Agriculture Organization, <http://www.fao.com>, ημερομηνία προσπέλασης 3-8-2006

Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδας, <http://www.statistics.gr>, ημερομηνία προσπέλασης 18-8-2006

US Geological Survey, <http://www.usgs.gov/>, ημερομηνία προσπέλασης 20-8-2006

NASA Earth Observatory, <http://earthobservatory.nasa.gov/>, ημερομηνία προσπέλασης 20-8-2006

## ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

**Πίνακας 3.10.** Πληθυσμιακή δυναμικότητα και μεταβολή οικισμών και Δημοτικών διαμερισμάτων δήμου Κιλκίς

	Πληθυσμός			Μεταβολή 71-81		Μεταβολή 81-91		Μεταβολή 91-01		Χαρακτηρισμός			
	1971	1981	1991	2001	κάτοικοι	%	κάτοικοι	%	κάτοικοι	%	1981	1991	2001
<b>Δ. Δ. Κιλκίς</b>	<b>12.965</b>	<b>13.067</b>	<b>13.540</b>	<b>18.958</b>	<b>102</b>	<b>0,79%</b>	<b>473</b>	<b>3,62%</b>	<b>5.418</b>	<b>40,01%</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΔΥ</b>
Κιλκίς	10.538	11.148	12.139	17.430	610	5,79%	991	8,89%	5.291	43,59%	ΑΝ	ΑΝ	ΔΥ
Αργυρούπολη	1.432	924	477	591	-508	-35,47%	-447	-48,38%	114	23,90%	ΠΦ	ΠΦ	ΔΥ
Ζαχαράτο	109	94	85	101	-15	-13,76%	9	-9,57%	16	18,82%	Φ	Φ	ΔΥ
Κολχίς	134	132	150	143	-2	-1,49%	18	13,64%	-7	-4,67%	ΣΤ	ΑΝ	ΣΤ
Ξηρόβρυση	161	153	134	172	-8	-4,97%	-19	-12,42%	38	28,36%	ΣΤ	Φ	ΔΥ
Σεβαστό	181	197	143	150	16	8,84%	-54	-27,41%	7	4,90%	ΑΝ	ΠΦ	ΣΤ
Μεταλλικόν	410	419	412	371	9	2,20%	-7	-1,67%	-41	-9,95%	ΣΤ	ΣΤ	Φ
<b>Δ. Δ. Βαπτιστού</b>	<b>598</b>	<b>584</b>	<b>589</b>	<b>504</b>	<b>-14</b>	<b>-2,34%</b>	<b>5</b>	<b>0,86%</b>	<b>-85</b>	<b>-14,43%</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>Φ</b>
Βαπτιστής	598	544	535	449	-54	-9,03%	-9	-1,65%	-86	-16,07%	Φ	ΣΤ	ΠΦ
Κυριακαίικα	-	40	54	55	40	-	14	35,00%	1	1,85%	-	ΔΥ	ΣΤ
<b>Δ. Δ. Κρηστώνης</b>	<b>737</b>	<b>655</b>	<b>980</b>	<b>1.138</b>	<b>-82</b>	<b>-11,13%</b>	<b>325</b>	<b>49,62%</b>	<b>158</b>	<b>16,12%</b>	<b>Φ</b>	<b>ΔΥ</b>	<b>ΔΥ</b>
Κρηστώνη	737	655	980	1.138	-82	-11,13%	325	49,62%	158	16,12%	Φ	ΔΥ	ΔΥ
<b>Δ. Δ. Λειψυδρίου</b>	<b>680</b>	<b>736</b>	<b>513</b>	<b>556</b>	<b>56</b>	<b>8,24%</b>	<b>-223</b>	<b>-30,30%</b>	<b>43</b>	<b>8,38%</b>	<b>ΑΝ</b>	<b>ΠΦ</b>	<b>ΑΝ</b>
Λειψύριο	109	128	84	121	19	17,43%	-44	-34,38%	37	44,05%	ΔΥ	ΠΦ	ΔΥ
Ακροποταμιά	286	299	211	212	13	4,55%	-88	-29,43%	1	0,47%	ΣΤ	ΠΦ	ΣΤ
Άνω Ποταμιά	114	127	82	105	13	11,40%	-45	-35,43%	23	28,05%	ΑΝ	ΠΦ	ΔΥ
Κάτω Ποταμιά	171	182	136	118	11	6,43%	-46	-25,27%	-18	-13,24%	ΑΝ	ΠΦ	Φ
<b>Δ. Δ. Μεγάλης Βρύσης</b>	<b>474</b>	<b>468</b>	<b>497</b>	<b>520</b>	<b>-6</b>	<b>-1,27%</b>	<b>29</b>	<b>6,20%</b>	<b>23</b>	<b>4,63%</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΑΝ</b>	<b>ΣΤ</b>
Μεγάλη Βρύση	474	468	497	520	-6	-1,27%	29	6,20%	23	4,63%	ΣΤ	ΑΝ	ΣΤ
<b>Δ. Δ. Μελανθίου</b>	<b>260</b>	<b>196</b>	<b>193</b>	<b>235</b>	<b>-64</b>	<b>-24,62%</b>	<b>-3</b>	<b>-1,53%</b>	<b>42</b>	<b>21,76%</b>	<b>ΠΦ</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΔΥ</b>
Μελάνθιο	260	196	193	235	-64	-24,62%	-3	-1,53%	42	21,76%	ΠΦ	ΣΤ	ΔΥ
<b>Δ. Δ. Μεσσιανού</b>	<b>1.013</b>	<b>1.058</b>	<b>1.028</b>	<b>906</b>	<b>45</b>	<b>4,44%</b>	<b>-30</b>	<b>-2,84%</b>	<b>-122</b>	<b>-11,87%</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>Φ</b>
Μεσιανόν	203	225	194	195	22	10,84%	-31	-13,78%	1	0,52%	ΑΝ	Φ	ΣΤ

Δαφνοχώριον	188	156	112	63	-32	-17,02%	-44	-28,21%	-49	-43,75%	ΠΦ	ΠΦ	ΠΦ
Λεβεντοχώριον	238	279	301	266	41	17,23%	22	7,89%	-35	-11,63%	ΔΥ	ΑΝ	Φ
Παλαιό Γυναικόκαστρο	384	398	421	382	14	3,65%	23	5,78%	-39	-9,26%	ΣΤ	ΑΝ	Φ
<b>Δ. Δ. Σταυροχωρίου</b>	<b>492</b>	<b>529</b>	<b>523</b>	<b>481</b>	<b>37</b>	<b>7,52%</b>	<b>-6</b>	<b>-1,13%</b>	<b>-42</b>	<b>-8,03%</b>	<b>ΑΝ</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>Φ</b>
Σταυροχώριο	492	529	523	481	37	7,52%	-6	-1,13%	-42	-8,03%	ΑΝ	ΣΤ	Φ
<b>Δ. Δ. Χωρυγίου</b>	<b>732</b>	<b>819</b>	<b>878</b>	<b>919</b>	<b>87</b>	<b>11,89%</b>	<b>59</b>	<b>7,20%</b>	<b>41</b>	<b>4,67%</b>	<b>ΑΝ</b>	<b>ΑΝ</b>	<b>ΣΤ</b>
Χωρύγιο	732	819	878	919	87	11,89%	59	7,20%	41	4,67%	ΑΝ	ΑΝ	ΣΤ
<b>Δ. Δ. Καστανέων</b>	<b>617</b>	<b>599</b>	<b>617</b>	<b>595</b>	<b>-18</b>	<b>-2,92%</b>	<b>18</b>	<b>3,01%</b>	<b>-22</b>	<b>-3,57%</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΣΤ</b>
Καστανιές	617	599	617	595	-18	-2,92%	18	3,01%	-22	-3,57%	ΣΤ	ΣΤ	ΣΤ
<b>ΣΥΝΟΛΟ Δ. ΚΙΛΙΚΊΣ</b>	<b>18.568</b>	<b>18.711</b>	<b>19.358</b>	<b>24.812</b>	<b>143</b>	<b>0,77%</b>	<b>647</b>	<b>3,46%</b>	<b>5.454</b>	<b>28,17%</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΣΤ</b>	<b>ΔΥ</b>

Πολύ Φθίνων (ΠΦ) Δημοτικό Διαμέρισμα/ οικισμός, όταν μεταβολή <-15%  
 Φθίνων (Φ) Δημοτικό Διαμέρισμα/ οικισμός, όταν -15%<=μεταβολή<-5%  
 Στάσιμο (Σ) Δημοτικό Διαμέρισμα/ οικισμός, όταν -5%<=μεταβολή<+5%  
 Αναπτυσσόμενο (ΑΝ) Δημοτικό Διαμέρισμα/ οικισμός, όταν +5%<=μεταβολή<+15%  
 Δυναμικό (ΔΥ) Δημοτικό Διαμέρισμα/ οικισμός, όταν μεταβολή =>+15%

Πηγή: Γ.Π.Σ. Κιλίκis 2004

Πίνακας 5.2. Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς '87.

<b>Προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ'87</b>	
<b>Όνομα προβολικού συστήματος:</b>	<i>Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 87</i>
<b>Γεωδαιτικό σύστημα αναφοράς (Datum):</b>	Ε.Γ.Σ.Α. 87 με αφετηρία το μετατεθειμένο γεώκεντρο, βάθρο Διονύσου
<b>Ελλειψοειδές αναφοράς:</b>	GRS'80
<b>Μεγάλος ημιάξονας ελλειψοειδούς a:</b>	6378137.000m
<b>Επιπλάτυνση ελλειψοειδούς (1/f):</b>	1/298.25722101
<b>Συντελεστής κλίμακας K<sub>0</sub></b>	0.9996
<p>Είναι το πλέον πρόσφατο προβολικό σύστημα που χρησιμοποιείται στην Ελλάδα, και είναι προϊόν συνεργασίας του Εργαστηρίου Ανώτερης Γεωδαισίας του Τμήματος Αγρονόμων-Τοπογράφων Μηχανικών – Εθνικού Μετσόβειου Πολυτεχνείου, της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και του Οργανισμού Κτηματολογίου Χαρτογράφησης Ελλάδας. Θεωρείται μια ενιαία ζώνη για όλη την χώρα με κεντρικό μεσημβρινό <math>\lambda_0=24^{\circ}</math> και χρησιμοποιείται ενιαίος συντελεστής κλίμακας 0.9996. Οι παραμορφώσεις με αυτόν τον τρόπο μπορούν να φτάσουν μέχρι και 1:1.000 στα άκρα της χώρας (δηλ. 1 μέτρο σε απόσταση 1χλμ.). Για να αποφευχθούν αρνητικές τιμές ο κεντρικός μεσημβρινός έχει ως τετμημένη 500000μ. Αρχή των τεταγμένων θεωρείται ο ισημερινός (<math>\varphi=0^{\circ}</math>) Το σύστημα χρησιμοποιείται για την σύνταξη του Εθνικού Κτηματολογίου καθώς έχει υιοθετηθεί από τον ΟΚΧΕ. Γενικά, τείνει να γίνει το επίσημο προβολικό σύστημα για την Ελλάδα καθώς προσφέρει ενιαία αναφορά για το σύνολο της χώρας. Έχει ήδη υιοθετηθεί από τις περισσότερες δημόσιες υπηρεσίες και οργανισμούς καθώς και ιδιωτικές εταιρείες.</p>	

Πηγή: [www.eranet.gr](http://www.eranet.gr)

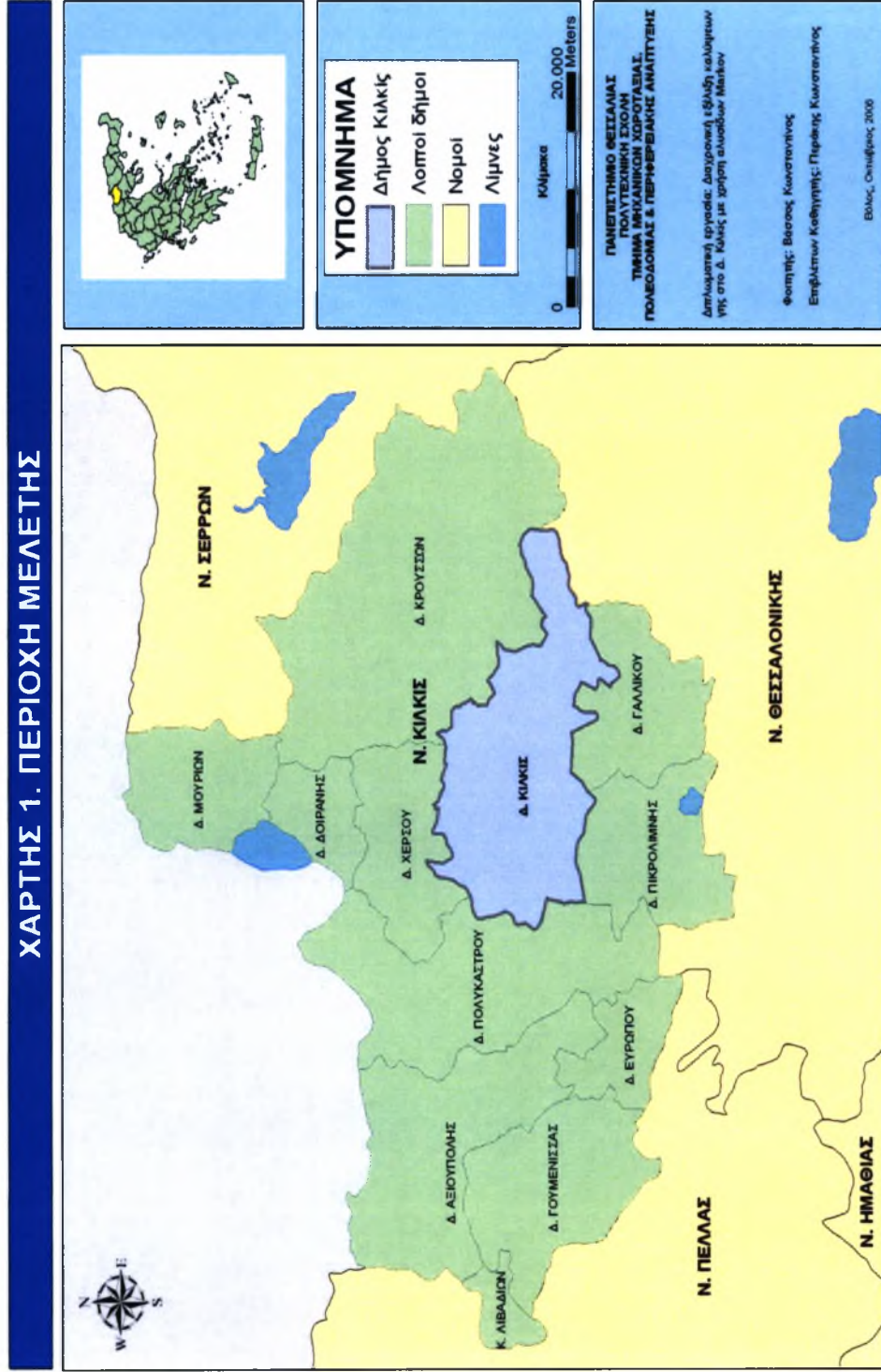
Πίνακας 5.3. Συντεταγμένες και RMS error των 17 σημείων επίγειου ελέγχου που χρησιμοποιήθηκαν στη γεωμετρική διόρθωση.

GCP Tool : (Input : new.gcc) (Reference : refZ.gcc)

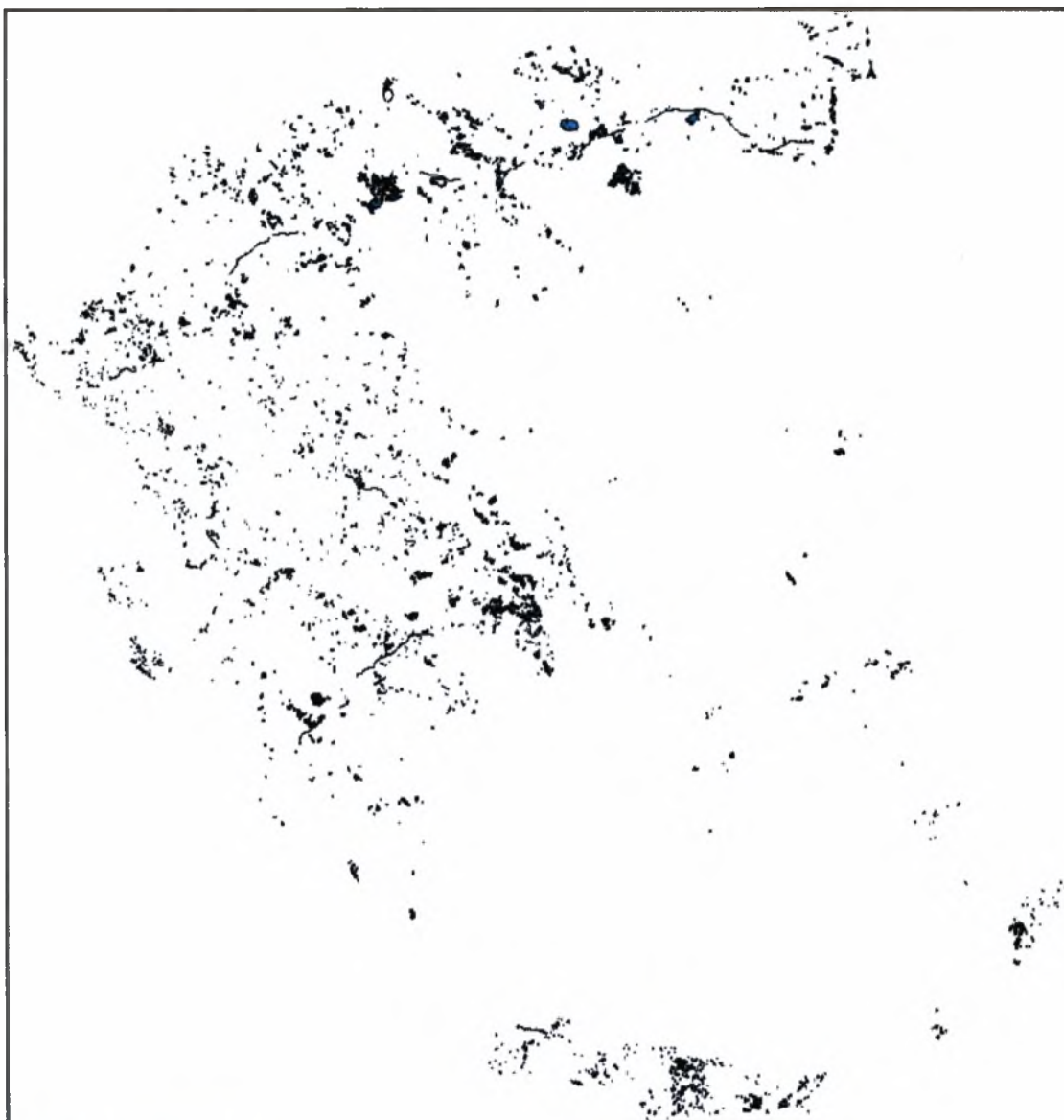
Control Point Error: (X) 0.3122 (Y) 0.2579 (Z) 0.4050

Point #	Point ID	Color	X Input	Y Input	Color	X Ref.	Y Ref.	Z Ref.	Type	X Residual	Y Residual	RMS Error	Contrib.	Match
2	GCP #3	>	5327.998	-4785.807		401569.470	4405926.445	146.000	Control	-0.246	0.184	0.307	0.759	
3	GCP #4		3493.500	-5537.614		346031.798	4395563.260	146.000	Control	0.263	-0.274	0.380	0.939	
4	GCP #5		1662.069	-5790.238		293462.557	4399122.699	101.000	Control	-0.023	-0.107	0.109	0.270	
5	GCP #7		6414.301	-492.249		456808.814	4519354.167	83.000	Control	-0.044	-0.194	0.198	0.490	
6	GCP #8		4462.021	-283.765		403266.727	4536544.632	112.000	Control	-0.192	-0.498	0.524	1.295	
7	GCP #9		4251.870	-2698.890		383672.755	4470347.223	99.000	Control	0.401	-0.252	0.479	1.183	
8	GCP #10		5007.273	-2573.115		405472.170	4469499.375	106.000	Control	-0.028	0.442	0.443	1.093	
9	GCP #11		2407.689	-2039.591		336030.518	4499424.966	134.000	Control	-0.261	-0.389	0.468	1.157	
10	GCP #12		1949.120	-4684.045		307898.442	4428332.928	95.000	Control	0.096	0.395	0.406	1.003	
11	GCP #13		4738.947	-1670.609		403216.092	4496215.366	103.000	Control	-0.204	0.042	0.208	0.515	
12	GCP #14		4040.047	-1260.704		386115.169	4511705.266	82.000	Control	0.436	0.355	0.562	1.389	
13	GCP #15		2752.852	-3416.029		337663.979	4459049.159	96.000	Control	-0.522	0.211	0.563	1.391	
14	GCP #16		4019.855	-3759.068		370797.804	4441006.730	108.000	Control	-0.132	-0.332	0.357	0.863	
15	GCP #17		6447.640	-3383.752		440963.265	4438522.304	119.000	Control	0.253	-0.334	0.419	1.034	
16	GCP #18		2236.471	-456.245		340466.294	4544599.462	139.000	Control	0.317	0.209	0.390	0.938	
17	GCP #19		6365.421	-1653.594		448705.088	4487271.821	89.000	Control	-0.179	0.501	0.532	1.314	
18	GCP #20		6275.298	-5801.341		422119.777	4372098.154	105.000	Control	0.063	0.041	0.075	0.186	

Χάρτης 1. Περιοχή μελέτης.



Εικόνα 2.1. Διαχρονικές αλλαγές καλύψεων εδάφους 1990-2000 για το σύνολο της χώρας.



Πηγή: [www.eea.com](http://www.eea.com)

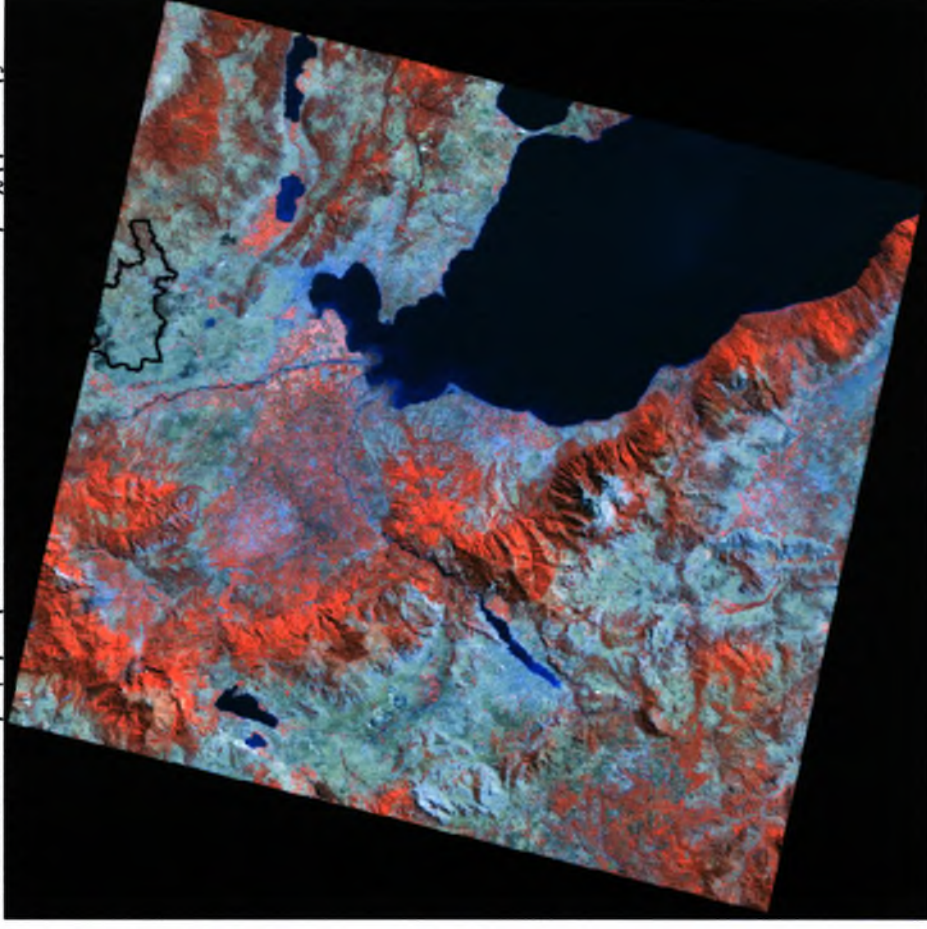


Εικόνα 5.25. Άποψη της Ελλάδας από το δορυφόρο LANDSAT (MSS).



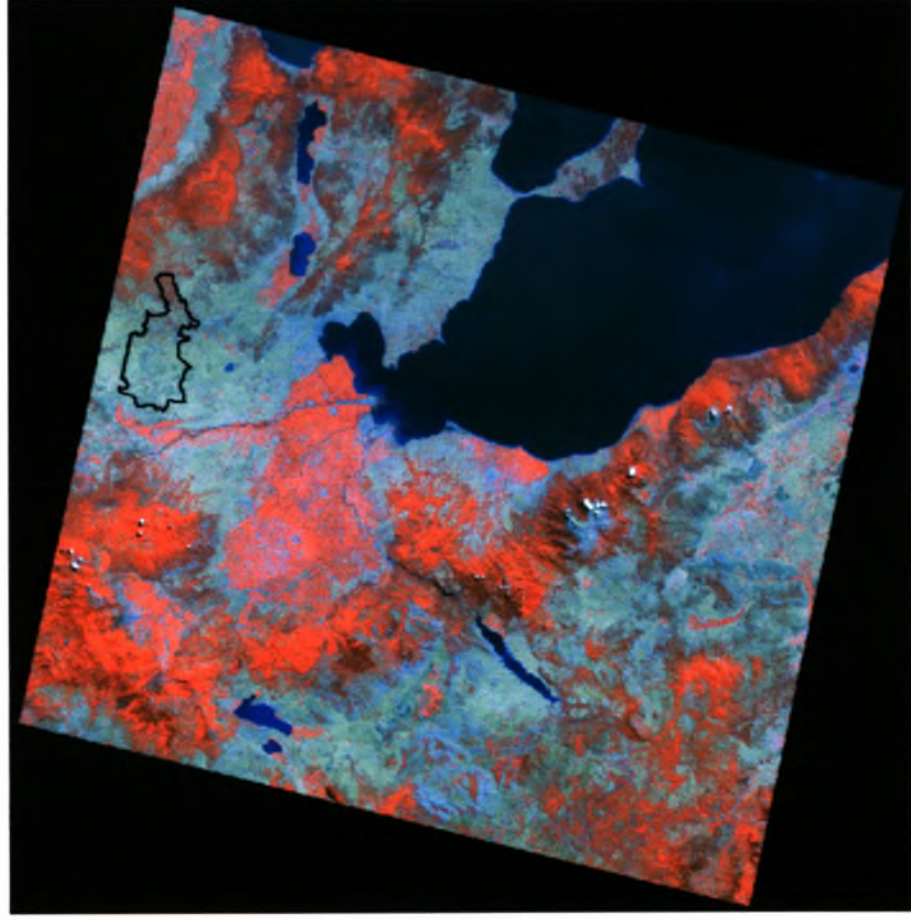
Πηγή: [www.geology.com](http://www.geology.com)

Εικόνα 5.26. Δορυφορική εικόνα LANDSAT 1986 και περιοχή μελέτης.



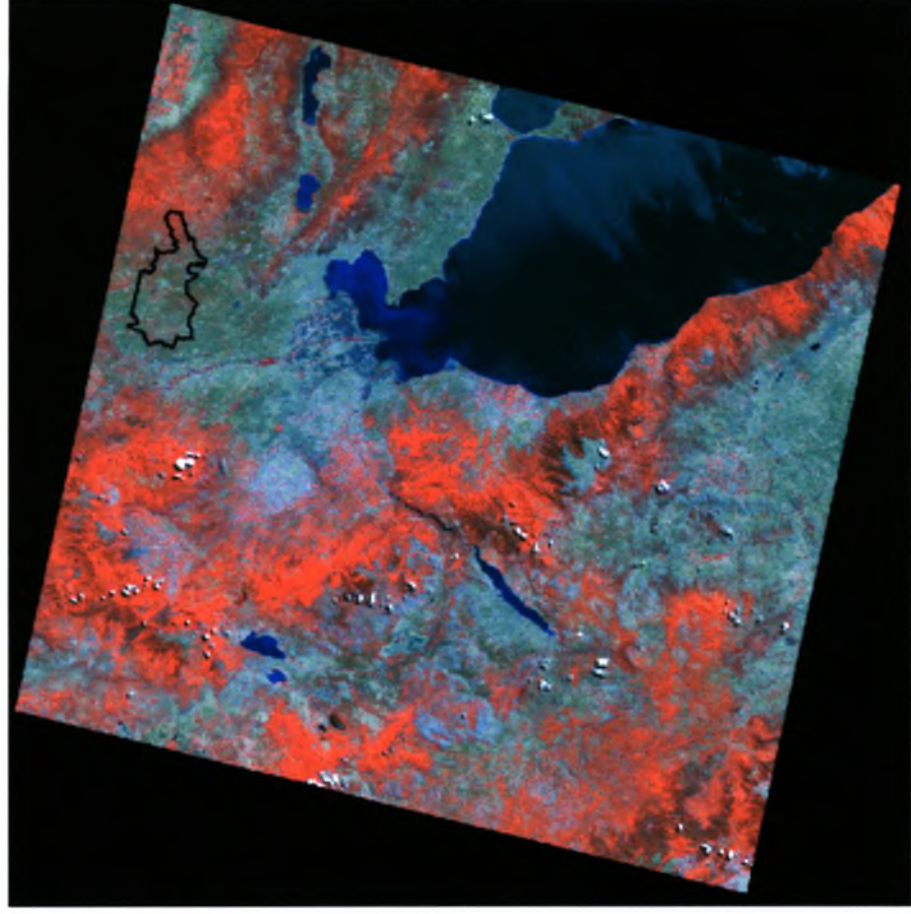
Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 5.27. Δορυφορική εικόνα LANDSAT 1987 και περιοχή μελέτης.



Πηγή: ίδια επεξεργασία

Εικόνα 5.28. Δορυφορική εικόνα LANDSAT 2001 και περιοχή μελέτης.



Πηγή: ίδια επεξεργασία



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000085644