



Χώρος αειχώρας

Κείμενα Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Ανάπτυξης

2011

16

ΣΥΝΤΑΚΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ - Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
*Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας
και Περιφερειακής Ανάπτυξης*

ΟΙΚΟΝΟΜΟΥ ΔΗΜΗΤΡΗΣ
ΣΚΑΓΙΑΝΝΗΣ ΠΑΝΤΕΛΗΣ
ΓΟΣΠΟΔΙΝΗ ΑΣΠΑ
ΔΕΦΝΕΡ ΑΛΕΞΗΣ
ΧΡΙΣΤΟΠΟΥΛΟΥ ΟΛΓΑ
ΨΥΧΑΡΗΣ ΓΙΑΝΝΗΣ
ΣΤΑΘΑΚΗΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΣΥΜΒΟΥΛΟΙ ΣΥΝΤΑΞΗΣ

Αραβαντινός Αθανάσιος	- ΕΜΠ
Ανδρικόπουλος Ανδρέας	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Βασενχόβεν Λουδοβίκος	- ΕΜΠ
Γιαννακούρου Τζίνα	- Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Γιαννιάς Δημήτρης	- Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Δελλαδέτσιμας Παύλος	- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Δεμαθάς Ζαχαρίας	- Πάντειο Πανεπιστήμιο
Ιωαννίδης Γιάννης	- Tufts University, USA
Καλογήρου Νίκος	- ΑΠΘ
Καρύδης Δημήτρης	- ΕΜΠ
Κοσμόπουλος Πάνος	- ΔΠΘ
Κουκλέλη Ελένη	- University of California, USA
Λαμπριανίδης Λόης	- Πανεπιστήμιο Μακεδονίας
Λουκάκης Παύλος	- Πάντειο Πανεπιστήμιο
Λουρή Ελένη	- Οικονομικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Μαλούτας Θωμάς	- Χαροκόπειο Πανεπιστήμιο
Μαντουβάλου Μαρία	- ΕΜΠ
Μελαχροινός Κώστας	- Γεωπονικό Πανεπιστήμιο Αθηνών
Μοδινός Μιχάλης	- Εθν. Κέντρο Περιβ. και Αειφ. Ανάπτυξης (ΕΚΠΙΑ)
Μπριασούλη Ελένη	- Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Παπαθεοδώρου Ανδρέας	- Πανεπιστήμιο Αιγαίου
Πρεβελάκης Γεώργιος-Στυλ.	- Universite de Paris I, France
Φωτόπουλος Γιώργος	- Πανεπιστήμιο Πελοποννήσου
Χαστάογλου Βίλμα	- ΑΠΘ

Διεύθυνση:
Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας
και Περιφερειακής Ανάπτυξης
Περιοδικό ΑΕΙΧΩΡΟΣ
Πεδίον Άρεως, 383 34 ΒΟΛΟΣ
<http://www.aeihoros.gr>, e-mail: aeihoros@prd.uth.gr
τηλ.: 24210 – 74456 fax: 24210 – 74388



Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης

Επιστημονικό Περιοδικό

αειχώρος

Ανακοίνωση

Από το τεύχος 12 άλλαξε η αρίθμηση του περιοδικού αειχώρος. Καταργείται η αναφορά σε τόμο και τεύχος τόμου, και καθιερώνεται η αναφορά σε αύξοντα αριθμό τεύχους (από την αρχή της έκδοσης του περιοδικού).

Επιμέλεια έκδοσης: Άννα Σαμαρίνα — Παναγιώτης Πανταζής
Λαγούτ: Παναγιώτης Πανταζής
Σχεδιασμός εξωφύλλου: Παναγιώτης Πανταζής
Εκτύπωση: Ευαγγελία Ξουράφα
Κεντρική διάθεση: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας

	Πορτοκαλίδης Κ., Λαλένης Κ.	4
Οι πόλεις "Ολοκληρωμένου Οικοσυστήματος" στην εποχή της κλιματικής αλλαγής. Ουτοπία ή εφικτή προοπτική;		
	Ασπρογέρακας Ε.Χ., Σερράος Κ. Α.	30
Οργανωμένη πολεοδομική ανάπτυξη. Η εμπειρία του Αμβούργου: Από τη δεκαετία του 1950 στο πέρασμα στον 21 ^ο αιώνα		
	Κυριαζής Α.Δ.	60
Σχεδιασμός ερήμην του σχεδιαστή: Παρεμβατικές πρακτικές στον πολεοδομικό και αστικό σχεδιασμό, με αφορμή το ζήτημα της μετεγκατάστασης του οικισμού της Μεσοχώρας Τρικάλων και τη λειτουργία του ομώνυμου υδροηλεκτρικού φράγματος		
	Χριστοπούλου Ο., Μινέτος Δ.	88
Η ανταπόκριση στην πολιτική δάσωσης γεωργικών γαιών: Μια χωρική ανάλυση με τη χρήση ενός υποδείγματος τακτικής παλινδρόμησης		
	Περάκης Κ.	124
Ανίχνευση και πρόβλεψη διαχρονικών αλλαγών κάλυψης γης στο νομό Μαγνησίας με την εφαρμογή της μεθόδου Markov και των κυτταρικών αυτόματων σε πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες		
	Γαβανάς Ν., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου Μ.	142
Αποτίμηση του συστήματος μεταφορών στις νέες χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης: Τάσεις ανάπτυξης και προοπτικές σύγκλισης		

Ανίχνευση και πρόβλεψη διαχρονικών αλλαγών κάλυψης γης στο νομό Μαγνησίας με την εφαρμογή της μεθόδου Markou και των κυτταρικών αυτόματων σε πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες

Κωνσταντίνος Περάκης

Αναπλ. Καθηγητής, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας

Περίληψη

Η μελέτη των διαχρονικών αλλαγών της κάλυψης γης αποτελεί ένα από τα κύρια αντικείμενα έρευνας τα τελευταία χρόνια. Σημαντικός αριθμός από ερευνητικές μελέτες που έχουν γίνει στο αντικείμενο των διαχρονικών αλλαγών κάλυψης γης βασίζεται στη χρήση τεχνικών τηλεπισκόπησης γιατί οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες αποτελούν "αψευδείς μαρτυρίες" των συμβάντων στην γήινη επιφάνεια.

Στην παρούσα έρευνα χρησιμοποιήθηκαν τρεις δορυφορικές εικόνες του Landsat (06/1991, 06/1999, 08/2000) με σκοπό τον εντοπισμό και την πρόβλεψη των διαχρονικών αλλαγών στο νομό Μαγνησίας. Στο στάδιο της προεπεξεργασίας έγιναν οι απαραίτητες ραδιομετρικές και γεωμετρικές διορθώσεις. Στη συνέχεια οι επιβλεπόμενες ταξινομήσεις που εφαρμόστηκαν παρήγαγαν θεματικούς χάρτες κάλυψης γης για τις παραπάνω ημερομηνίες. Οι περιοχές εκπαίδευσης του αλγόριθμου ταξινόμησης επιλέχθηκαν από θεματικούς χάρτες κάλυψης γης που προήλθαν από τα ευρωπαϊκά προγράμματα LIFE96ENV/GR/580 και CORINE (1990, 2000). Η μέθοδος Markou εφαρμόστηκε στις εικόνες του 1991 και 1999 και προέκυψε θεματικός χάρτης πρόβλεψης της χωρικής κατανομής της κάλυψης γης το 2000. Επειδή ο χάρτης πρόβλεψης που προέκυψε από την εφαρμογή της μεθόδου Markou παρουσίασε χωρικές ασυνέχειες εφαρμόστηκε το φίλτρο των κυτταρικών αυτόματων. Ο τελικός χάρτης πρόβλεψης συγκρίθηκε στη συνέχεια με την ταξινομημένη δορυφορική εικόνα του 2000. Τα αποτελέσματα της σύγκρισης ήταν ικανοποιητικά.

Λέξεις κλειδιά

Τηλεπισκόπηση, διαχρονικές αλλαγές, αλυσίδες Markou, κυτταρικά αυτόματα.

Temporal Changes and Land Cover Prediction in the Prefecture of Magnisia Using Markov Chains and Cellular Automata

The study of the temporal changes of the land cover has been one of the major subjects of research during the last years. A large number of land cover change detection research studies employ remote sensing since satellite imagery and aerial photography provide objective evidence on the earth surface events.

In this work three Landsat images (06/1991, 06/1999, 08/2000) were employed to study temporal changes in Magnisia, Greece. The radiometric and geometric correction of the images followed by their supervised classification result in the production of land cover maps for the dates mentioned. The training of the classifiers was based on the use of LIFE96ENV/GR/580 and CORINE (1991 and 2000) data. Markov chains were applied to the 1991 and 1999 land cover maps in order to produce a prediction map of land cover distribution of 2000. The Markov prediction map was then compared to the land cover classification map of the 2000 Landsat image. Although the results obtained from Markov model were satisfactory the non spatial character of the methodological chain resulted in a thematic map with spatial discontinuities. In order to overcome the spatial discontinuity problem cellular automata was applied on the Markov based land cover map.

Keywords

Remote Sensing, Change Detection, Markov Chains, Cellular Automata.

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η ανίχνευση των διαχρονικών αλλαγών είναι η διαδικασία του προσδιορισμού των διαφορών στην κατάσταση ενός αντικειμένου ή φαινομένου σε διαφορετικές χρονικές στιγμές (Singh, 1989).

Η διαχρονική ανίχνευση των αλλαγών αποτελεί ένα σύγχρονο ερευνητικό αντικείμενο με μεγάλη πρόσφατη βιβλιογραφία και ιδιαίτερα χρήσιμες εφαρμογές τόσο στη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος, όσο και στη διαχείριση των κοινωνικών και οικονομικών συνεπειών στο ανθρωπογενές περιβάλλον (Moshen, 1999). Σύμφωνα με τους Corpin και Bauer (1996) οι προτεινόμενες μεθοδολογίες είναι δυνατόν να ομαδοποιηθούν στις παρακάτω κατηγορίες:

1. οριοθέτηση των αλλαγών
2. Δέλτα ή μετα-ταξινομικές συγκρίσεις
3. Πολυδιάστατη χρονική ανάλυση στον χώρο των χαρακτηριστικών
4. Σύνθετη ανάλυση

5. Διαφορές εικόνων
6. Πολυχρονικός γραμμικός μετασχηματισμός δεδομένων
7. Ανάλυση του διανύσματος των αλλαγών
8. Παλινδρόμηση εικόνων
9. Πολυχρονικός δείκτης βιομάζας
10. Αφαίρεση υποβάθρου
11. Λόγος εικόνων

Ανεξαρτήτως της μεθόδου η οποία ακολουθείται, οι Im και Jensen (2005) συμπέραναν ότι μικρές αλλαγές παρατηρούνται ανάμεσα σε δορυφορικές εικόνες διαφορετικών ημερομηνιών που παρουσιάζουν υψηλή συσχέτιση, ενώ σημαντικές αλλαγές παρατηρούνται ανάμεσα σε εικόνες που παρουσιάζουν χαμηλή συσχέτιση.

Οι Cinco κ.ά. (2002) σε μία συγκριτική μελέτη τεσσάρων τύπων μεθόδων ανίχνευσης αλλαγών κατέληξαν ότι οι διαχρονικές μελέτες που βασίζονται στις κλασσικές μεθόδους σύγκρισης ταξινομημένων δορυφορικών εικόνων καθώς και στην "ανάλυση με διασταυρούμενες συσχετίσεις" απαιτούν αρκετή *a priori* γνώση της περιοχής μελέτης. Επίσης, οι ίδιοι συγγραφείς συνιστούν τη χρήση πιο σύγχρονων μεθοδολογιών όπως τα νευρωνικά δίκτυα και την αντικειμενοστραφή ταξινόμηση στις μελέτες διαχρονικών αλλαγών.

Διάφορες εφαρμογές της μαρκοβιανής θεωρίας δείχνουν την χρησιμότητά της στην Τηλεπισκόπηση. Τα μοντέλα Markov έχουν την ιδιότητα να μειώνουν την χωρική ετερογένεια των ταξινομημένων εικόνων σε κάποιο βαθμό. Η χωρική ετερογένεια επηρεάζει αρνητικά τον πίνακα μετάβασης (πίνακας πιθανοτήτων μετάβασης από μία κάλυψη γης σε άλλη σε δύο χρονικές στιγμές). Ο πιθανοτικός αυτός πίνακας μετάβασης για να αποδώσει την καλύτερη ακρίβεια πρέπει να προέλθει από εικόνες με σχετικά χαμηλή ετερογένεια. Οι López κ.ά. (2001) χρησιμοποίησαν τη μέθοδο Markov για να προβλέψουν τις διαχρονικές αλλαγές στην κάλυψη/χρήση της γης στην περιοχή της πόλης Μορέλια του Μεξικού. Συμπέραναν ότι η αύξηση στην έκταση της πόλης θα οδηγήσει στις πιο σημαντικές αλλαγές στην κάλυψη της γης στο άμεσο μέλλον.

Πιο πρόσφατα, οι Liu κ.ά. (2008) χρησιμοποίησαν δύο χωρο-χρονικά μοντέλα Markov σε ταξινομημένες δορυφορικές εικόνες για να βελτιώσουν την ακρίβεια της ανίχνευσης των αλλαγών στην κάλυψη γης. Τέλος, οι Kamusoko κ.ά. (2009) ενσωμάτωσαν την πρόβλεψη σύμφωνα με το μοντέλο Markov καθώς και τα κυτταρικά αυτόματα σε μία πολύ-κριτηριακή ανάλυση, την οποία εφάρμοσαν στην Ζιμπάμπουε και συμπέραναν αύξηση των γυμνών εδαφών σε βάρος των δασικών εκτάσεων.

Ήδη από το 1983 οι Cross και Jain χρησιμοποίησαν διάφορες στοχαστικές διαδικασίες όπως αυτοπαλινδρομητικά και κλασματικά πρότυπα (autoregressive and fractal models) και Μαρκοβιανούς τυχαίους περιπάτους με σκοπό την μοντελοποίηση της υψής

της (δορυφορικής) εικόνας. Οι Panjwani και Healey (1995), με την χρήση μοντέλων τυχαίων περιπάτων Markov κατά Gauss, ανέλυσαν την πολύ-κάναλη υφή δορυφορικών εικόνων με σκοπό την βελτίωση της ταξινόμησής τους.

Τα μοντέλα που ακολουθούν τις Markovιανές διαδικασίες στο μεγαλύτερο μέρος των εφαρμογών σε επεξεργασία εικόνας, χαρακτηρίζονται από την συσχέτιση μεταξύ των γειτονικών εικονοστοιχείων στον χώρο και στον χρόνο (Nemirovsky και Porat, 2009).

Κυτταρικό αυτόματο είναι ένα αντικείμενο το οποίο βασισμένο στην εφαρμογή ενός κανόνα μπορεί να αλλάξει την κατάστασή του σε μία νέα κατάσταση, η οποία να βασίζεται στην προηγούμενη κατάστασή του και στην κατάσταση των γειτόνων του. Οι Ladet κ.ά. (2004) βασισμένοι στην τελευταία αυτή σημαντική χωρική ιδιότητα του κυτταρικού αυτομάτου, εφάρμοσαν αυτό με την ιδιότητα ενός φίλτρου με χωρική υπόσταση, ώστε να προσδώσουν μία περισσότερο "γεωγραφική" εμφάνιση στα αποτελέσματα της εφαρμογής των αλυσίδων Markov για την μελέτη των διαχρονικών αλλαγών. Χωρίς την συνδυασμένη εφαρμογή της μεθόδου Markov και των κυτταρικών αυτομάτων τα θεματικά αποτελέσματα (ψηφιακοί χάρτες καλύψεων γης) εμφάνιζαν το φαινόμενο του αλατοπίπερου (salt and pepper).

Σκοπός της εργασίας είναι η ανίχνευση και πρόβλεψη των διαχρονικών αλλαγών στην κάλυψη γης στο νομό Μαγνησίας με την εφαρμογή της μεθόδου Markov και των κυτταρικών αυτομάτων σε δορυφορικές εικόνες, η εξαγωγή συμπερασμάτων που αφορούν τον συνδυασμό της μεθόδου Markov με τα κυτταρικά αυτόματα και μία προσέγγιση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων της μεθοδολογίας αυτής.

Η συμβολή της συγκεκριμένης έρευνας ως προς την διεθνή βιβλιογραφία έγκειται στο γεγονός ότι αναδεικνύει αφενός την χρησιμότητα της εφαρμογής της μεθόδου Markov για τον εντοπισμό των διαχρονικών αλλαγών σε συνδυασμό με τα κυτταρικά αυτόματα που ομογενοποιούν τα θεματικά αποτελέσματα, αλλά κυρίως στην σχετική αδυναμία της πρόβλεψης και εντοπισμού της χωρικής εξέλιξης καλύψεων γης μικρής έκτασης που προέρχονται από ανθρωπογενείς παρεμβάσεις.

2. ΔΕΔΟΜΕΝΑ ΚΑΙ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ

Τρεις δορυφορικές εικόνες του δορυφόρου Landsat που καλύπτουν τον νομό Μαγνησίας (path: 183, row: 033) χρησιμοποιήθηκαν στην έρευνα αυτή. Οι ημερομηνίες λήψης των εικόνων αυτών είναι: 29/06/1991, 08/06/1999 και 24/08/2000. Η προμήθεια των εικόνων έγινε από το United States Geological Survey και πιο συγκεκριμένα από το site Global Visualization Viewer: <http://glovis.usgs.gov> που διαθέτει ελεύθερα εικόνες Landsat για ερευνητικούς και διδακτικούς σκοπούς.

Ως υπόβαθρα βάσης για την δημιουργία δειγματοληπτικών περιοχών και εξαγωγή φασματικών υπογραφών χρησιμοποιήθηκαν τα ψηφιακά υπόβαθρα καλύψης γης του νομού Μαγνησίας του 1990 και του 2000 σε κλίμακα 1: 100.000 (CORINE Land Cover) και LIFE96ENV/GR/580 σε κλίμακα 1: 50.000.

Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε είναι το Idrisi (version 16.04, Taïga Edition, www.clarklabs.org).

3. ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

Ραδιομετρικά σφάλματα μπορεί να προκύψουν από σφάλματα στα όργανα καταγραφής, από παραμορφώσεις στην ραδιομετρία λόγω της ατμόσφαιρας ή τέλος από την εξάρτηση ορισμένων μηκών κύματος από την ηλιακή ενέργεια. Δύο είναι οι κύριες παραμορφώσεις της ραδιομετρίας: Η (στατιστική) κατανομή των ραδιομετρικών τιμών των εικονοστοιχείων σε κάποιο φασματικό κανάλι να είναι διαφορετική από την αντίστοιχη κατανομή όταν αυτή μετριέται στο έδαφος και οι ραδιομετρικές τιμές ενός εικονοστοιχείου στα διαφορετικά φασματικά κανάλια να είναι διαφορετικές από τις αντίστοιχες που μετρούνται στο έδαφος (Richards και Jia, 2006).

Η ατμόσφαιρα επηρεάζει με διάφορους τρόπους το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που φτάνει στους καταγραφείς του δορυφόρου λόγω διάχυσης, απορρόφησης ή διάθλασης. Η διάχυση κατά Rayleigh που προκαλείται από ατμοσφαιρικά αέρια σε μοριακό επίπεδο, σταδιακά επηρεάζει και μικρότερα μήκη κύματος (προκαλώντας για παράδειγμα το μπλε χρώμα του ουρανού). Επίσης τα κύρια αέρια της ατμόσφαιρας όπως το οξυγόνο και το διοξείδιο του άνθρακα αλλά κυρίως το όζον και οι υδρατμοί απορροφούν ενέργεια σε καθορισμένα μήκη κύματος. Η γνωστή ως διάχυση κατά Mie, προκαλείται από σωματίδια υγρών και στερεών που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα και προκαλούν μία θολότητα (αχλύδα) της ατμόσφαιρας, που επηρεάζει όλα τα μήκη κύματος.

Διάφορες τεχνικές και μοντέλα έχουν προταθεί για την εξάλειψη των αποκλίσεων των ραδιομετρικών τιμών λόγω της ατμόσφαιρας, με πλέον χρησιμοποιούμενες την "εξάλειψη της θολότητας" (haze removal) και την μέθοδο COST σύμφωνα με τον Chavez (1996).

Η εξάλειψη θολότητας πραγματοποιείται με την αφαίρεση από την τρέχουσα ραδιομετρική τιμή όλων των pixels της εικόνας (κάθε καναλιού) της τιμής που βρέθηκε σε περιοχές που όφειλε να είναι ίση με μηδέν, όπως π.χ. στο εσωτερικό από βαθιές λίμνες. Για την μέθοδο αυτή απαιτούνται να είναι γνωστές επιπλέον πληροφορίες που υπάρχουν στο αρχείο πληροφοριών κάθε εικόνας (ημερομηνία και ώρα λήψης της δορυφορικής εικόνας, γωνία πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και διάφορες παράμετροι μετατροπής της ακτινοβολίας).

Σε αντίποδα το COST μοντέλο που προτάθηκε από τον Chavez το 1996 και εφαρμόστηκε στην παρούσα έρευνα δεν ζητά επιπλέον στοιχεία από αυτά για την εξάλειψη της θολότητας, παρά εκτιμά στοιχεία για την απορρόφηση της ραδιομετρίας από αέρια της ατμόσφαιρας και για το φαινόμενο διάχυσης του Rayleigh από το συνημίτονο της γωνίας του ήλιου με το ζενίθ.

Επιπλέον των παραπάνω ραδιομετρικών διορθώσεων εφαρμόστηκε η παρακάτω μεθοδολογία για την εξάλειψη των νεφών στην δορυφορική εικόνα LANDSAT TM της 08/06/1999 η οποία εμφανίζει νέφη στο δυτικό μέρος της Μαγνησίας και πιο συγκεκριμένα στο Πήλιο, καλύπτοντας αποκλειστικά μέρος των δασικών εκτάσεων. Για την εξάλειψη των νεφών και για μία βέλτιστη προσέγγιση των καλυπτόμενων από τα νέφη καλύψεων γης λήφθηκαν υπόψη οι εξής σημαντικές συνθήκες που διέπουν τόσο τις συγκεκριμένες δασικές καλύψεις γης όσο και το χρονικό διάστημα μεταξύ της εν λόγω εικόνας και της διαθέσιμης μεταγενέστερης της:

1. Οι συγκεκριμένες δασικές καλύψεις γης στην Δυτική Μαγνησία δεν υφίστανται σημαντικές διαχρονικές αλλαγές σε μικρά χρονικά διαστήματα
2. Το χρονικό διάστημα μεταξύ των δύο διαδοχικών δορυφορικών διαθέσιμων εικόνων είναι σχετικά μικρό ώστε να μην αιτιολογεί σημαντικές διαφορές στις δασικές εκτάσεις (η εικόνα με τα νέφη καταγράφηκε στις 08/06/1999 και η επόμενη της στις 24/08/2000, δηλαδή περίπου ένα χρόνο και δύο μήνες μετά).

Σύμφωνα με τις παραπάνω συνθήκες-παραδοχές εφαρμόστηκε η παρακάτω διαδικασία για την εξάλειψη των νεφών:

1. Αφού εντοπίστηκε η ελάχιστη τιμή των νεφών και όντας η κάλυψη γης που εμφανίζει τις υψηλότερες ραδιομετρικές τιμές, εφαρμόστηκε μία κατωφλίωση (thresholding) στην ελάχιστη τιμή των νεφών. Στη συνέχεια αντικαταστάθηκαν όλες οι υψηλότερες ραδιομετρικές τιμές από την ελάχιστη αυτή τιμή των νεφών (και κατά συνέπεια όλες οι ραδιομετρικές τιμές που αντιστοιχούν στα νέφη) με την τιμή 1 και όλες οι υπόλοιπες με την τιμή 0. Έτσι δημιουργήθηκε μία δυαδική μάσκα 0-1 που καλύπτει όλα τα νέφη της εικόνας του 1999.
2. Πολλαπλασιάστηκε η δυαδική εικόνα των νεφών με την εικόνα του 2000 και έτσι δημιουργήθηκε μία μάσκα που περιέχει τις ραδιομετρικές τιμές των δασικών εκτάσεων του 2000 στις περιοχές που καλύπτονται από νέφη.
3. Στην εικόνα του 1999 που παρουσιάζει τα νέφη δημιουργήθηκε μία δεύτερη μάσκα των νεφών η οποία περιέχει την τιμή 0 σε παρουσία νεφών και τις πραγματικές ραδιομετρικές τιμές οπουδήποτε αλλού (αντικαθιστώντας τις υψηλότερες τιμές από την ελάχιστη τιμή των νεφών με 0).

4. Προσετέθη η εικόνα που δημιουργήθηκε στο 2^ο βήμα στην εικόνα του 3^{ου} βήματος.

Με την διαδικασία αυτή, ουσιαστικά, αντικαθιστούμε τις περιοχές που καλύπτονται από νέφη με τις ραδιομετρικές τιμές των δασικών εκτάσεων της δορυφορικής εικόνας του 2000 στην εικόνα του 1999. Η παραπάνω προσεγγιστική διαδικασία υιοθετήθηκε αφού δεν διαπιστώθηκε μεγάλη απόκλιση της μέσης ραδιομετρικής τιμής (της τάξεως του 3%) αλλά και της τυπικής απόκλισης (της τάξεως του 5,5%) των ραδιομετρικών τιμών των δασικών εκτάσεων του 1999 με τις αντίστοιχες του 2000.

4. ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΕΣ ΔΙΟΡΘΩΣΕΙΣ

Οι γεωμετρικές διορθώσεις που εφαρμόστηκαν και στις τρεις δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα βασίζονται στον γραμμικό (αφινικό) μετασχηματισμό που συνδέει τις συντεταγμένες (x,y) των pixels της προγενέστερης χρονικά εικόνας με τις αντίστοιχες (X,Y) της μεταγενέστερης εικόνας βάσει των παρακάτω σχέσεων:

$$X = a_0 + a_1x + a_2y$$

$$Y = b_0 + b_1x + b_2y$$

Οι σταθεροί όροι a_0 , a_1 , a_2 , b_0 , b_1 και b_2 προσδιορίστηκαν από αντίστοιχα φωτοσταθερά σημεία που εντοπίστηκαν οπτικά στα ζεύγη εικόνων ανά δύο που δημιουργήθηκαν από τις τρεις εικόνες. Με αυτόν τον τρόπο οι τρεις δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν, καταστάθηκαν τελείως συμβατές μεταξύ τους χωρικά. Οι καινούργιες ραδιομετρικές τιμές των pixels στην διορθωμένη γεωμετρικά εικόνα προέκυψαν από τις αντίστοιχες τιμές των πλέον γειτονικών pixels (nearest neighbor). Το σφάλμα το οποίο βρέθηκε μετά από τις γεωμετρικές διορθώσεις είναι της τάξης του 0,3 pixel το οποίο θεωρείται αποδεκτό για τις κλίμακες που αντιπροσωπεύουν οι εικόνες Landsat οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν (της τάξης 1/50.000).

5. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ

Η επιλογή των δειγματοληπτικών περιοχών για την εξαγωγή των φασματικών υπογραφών βασίστηκε στους χάρτες καλύψεων γης από τα ολοκληρωμένα ευρωπαϊκά προγράμματα CORINE 1990 και CORINE 2000 (Σχήμα 1).

Λαμβάνοντας υπ' όψη την σημαντικότητα κάθε κάλυψης γης, ως προς την έκταση που καταλαμβάνει, καθώς και την ανυπαρξία ουσιαστικά μερικών καλύψεων γης στον νομό Μαγνησίας και στις δορυφορικές εικόνες που χρησιμοποιήθηκαν και μετά από συγχώνευση τελείως συγγενών καλύψεων γης για την παρούσα έρευνα, οι καλύψεις γης που

υιοθετήθηκαν από τον παραπάνω πίνακα (Πίνακας 1) είναι του 2^{ου} επιπέδου με κάποια μεγαλύτερη ανάλυση του 3^{ου} επιπέδου σε ειδικές κατηγορίες:

1. Αστική οικοδόμηση (κατηγορίες του επιπ.3 με αριθμ. 1.1.1 και με αριθμ. 1.1.2)
2. Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας (κατηγορίες του επιπ.3 με αριθμ. 1.2.1, με αριθμ. 1.2.2 και με αριθμ. 1.2.3)
3. Ορυχεία, χώροι απορρίψεως απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης (κατηγορίες του επιπ.3 με αριθμ. 1.3.1, με αριθμ. 1.3.2, με αριθμ. 1.3.3)
4. Οι κατηγορίες 1.4.1 και 1.4.2 ενσωματώθηκαν στην κατηγορία 11 παρακάτω γιατί διαπιστώθηκε μεγάλη προσέγγιση των φασματικών τους υπογραφών και λόγω της πολύ μικρής έκτασης σε επίπεδο νομού.
5. Αρόσιμη γη (κατηγορίες του επιπ.3 με αριθμ. 2.1.1 και με αριθμ. 2.1.2)
6. Δεν διαπιστώθηκε ύπαρξη της κατηγορίας 2.1.3
7. Οπωροφόρα δέντρα με φυτείες και σαρκώδεις καρπούς και αμπελώνες (κατηγορίες του επιπ.3 με αριθμ. 2.2.1 και με αριθμ. 2.2.2.)
8. Ελαιώνες (κατηγορία του επιπ.3 με αριθμ. 2.2.3.)
9. Ετερογενείς γεωργικές περιοχές (κατηγορία του επιπ.2 με αριθμ. 2.4., δηλ. όλες οι αντίστοιχες κατηγορίες του επιπ.3 που είναι οι 2.4.1, 2.4.2, 2.4.3 και 2.4.4)
10. Δάσος πλατύφυλλων (κατηγορία του επιπ.3 με αριθμ. 3.1.1.)
11. Δάσος κωνοφόρων-Μικτό δάσος (κατηγορίες του επιπ.3 με αριθμ. 3.1.2. και 3.1.3.)
12. Φυσικοί βοσκότοποι (περιλαμβάνει τις κατηγορίες του επιπ.3, 3.2.1 και 3.2.2 αλλά και την κατηγορία 2.3.1)
13. Σκληροφυλλική βλάστηση και μεταβατικές θαμνώδεις – δασώδεις εκτάσεις (κατηγορίες του επιπ.3 με αριθμ. 3.2.3. και 3.2.4.)
14. Οι κατηγορίες 3.3.1, 3.3.2 και 3.3.3 ενσωματώθηκαν στην κατηγορία 10 γιατί εμφάνισαν σχεδόν όμοιες φασματικές υπογραφές με την κατηγορία 3.2.2 που ανήκει στην κατηγορία 10 του παρόντος. Οι κατηγορίες 3.3.4 και 3.3.5 δεν υπάρχουν.
15. Υγρές επιφάνειες (ενσωματώθηκαν όλες οι κατηγορίες 4.1, 4.2, 5,1 και 5.2 του επιπέδου 2 και άρα και οι υποκατηγορίες του επιπέδου 3 γιατί ή δεν υπάρχουν ή παρουσιάζουν μεταξύ τους την ίδια φασματική συμπεριφορά, εκτός από την 5.2.3 η οποία δεν ταξινομήθηκε).

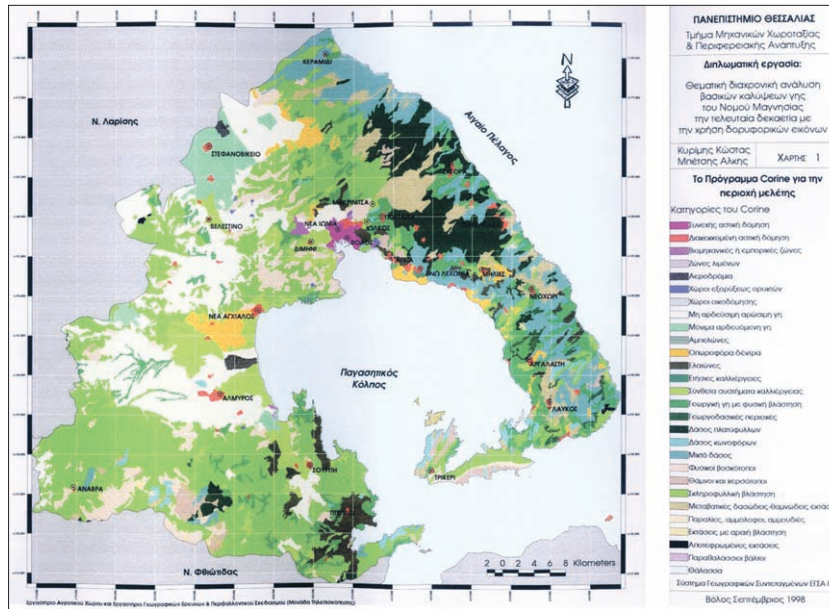
Επίσης βοηθητικά στοιχεία για τις καλύψεις γης στον νομό Μαγνησίας χρησιμοποιήθηκαν από το Ευρωπαϊκό πρόγραμμα LIFE96ENV/GR/580 (Σχήμα 2), που υλοποιήθηκε στο τμήμα Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Κυρίμης και Μπέτσης, 1998).

Πίνακας 1. Ονοματολογία CORINE των καλύψεων-χρήσεων γης του νομού Μαγνησίας σε τρία επίπεδα πληροφoρίας

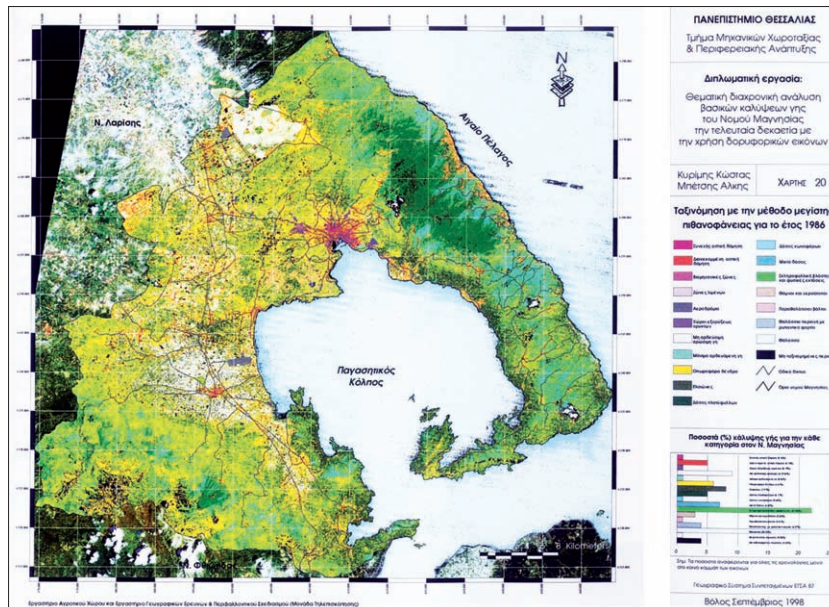
Επίπεδο 1	Επίπεδο 2	Επίπεδο 3
1. Τεχνητές επιράνεις	1.1 Αστική οικοδόμηση	1.1.1 Συνεχής αστική οικοδόμηση 1.1.2 Διασκομμένη αστική οικοδόμηση
	1.2 Βιομηχανικές, εμπορικές ζώνες και δίκτυα επικοινωνίας	1.2.1 Βιομηχανικές ή εμπορικές ζώνες 1.2.2 Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα και γαϊτνάζουσα γη 1.2.3 Ζώνες λιμένων
	1.3 Ορυχεία, χώροι απορρίψεως, απορριμμάτων και χώροι οικοδόμησης	1.3.1 Χώροι εξόρυξης ορυκτών 1.3.2 Χώροι απόρριψη απορριμμάτων 1.3.3 Χώροι οικοδόμησης
	1.4 Τεχνητές, μη γεωργικές ζώνες πρασίτου	1.4.1 Περιοχές αστικού πρασίτου 1.4.2 Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής
2. Γεωργικές περιοχές	2.1 Αρόσημη γη	2.1.1 Μη αρδευόμενη-αρόσημη γη 2.1.2 Μόνιμα αρδευόμενη γη 2.1.3 Ορυζώνες
	2.2 Μόνιμες καλλιέργειες	2.2.1 Αμπελώνες 2.2.2 Οπωροφόρα δέντρα και φυτείες με σαρκοειδείς καρπούς 2.2.3 Ελαιώνες
	2.3 Λιβάδια	2.3.1 Λιβάδια
	2.4 Επερογενείς γεωργικές περιοχές	2.4.1 Ετήσιες καλλιέργειες που συνδέονται με μόνιμες καλλιέργειες 2.4.2 Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας 2.4.3 Γη που καλύπτεται κυρίως από γεωργία με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης 2.4.4 Γεωργο-οαστικές περιοχές
3. Δάση και ημι-φυσικές περιοχές	3.1 Δάση	3.1.1 Δάσος πλατύφυλλων 3.1.2 Δάσος κωνοφόρων 3.1.3 Μικτό δάσος
	3.2 Συνδυασμοί θαμνώνος και/ή ποόδου βλάστησης	3.2.1 Φυσικοί βοσκότοποι 3.2.2 Θάμνοι και χερσότοποι 3.2.3 Σκληροφυλλική βλάστηση 3.2.4 Μεταβατικές, οασώδεις-θαμνώδεις εκτάσεις
	3.3 Άνοιχτοι χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση	3.3.1 Παραλίες, αμμόλοφοι, αμμουδιές 3.3.2 Απογυμνωμένοι βράχοι 3.3.3 Εκτάσεις με αραβή βλάστηση 3.3.4 Αποτεφρωμένες εκτάσεις 3.3.5 Παγετώνες και αιώνιο χιόνι
4. Υγρές ζώνες	4.1 Εσωτερικές υγρές ζώνες	4.1.1 Βάλτοι στην ενδοχώρα 4.1.2 Τυφάνες
	4.2 Παραθαλάσσιες υγρές ζώνες	4.2.1 Παραθαλάσσιοι βάλτοι 4.2.2 Άλυοι 4.2.3 Παλαρορικά επίπεδα
5. Υδάτινες επιράνεις	5.1 Χερσαία ύδατα	5.1.1 Ροές υδάτων 5.1.2 Συλλογές υδάτων
		5.2 Θαλάσσια ύδατα

Εφαρμόστηκαν οι κλασικές μέθοδοι ταξινόμησης και τελικά χρησιμοποιήθηκαν τα αποτελέσματα της μεθόδου της Μέγιστης Πιθανοφάνειας στις δορυφορικές εικόνες του 1999 και του 2000 (Σχήμα 3 και Σχήμα 4) στην εφαρμογή των αλυσίδων Markov για την διαχρονική μελέτη γιατί αξιολογήθηκαν ως τα πλέον αξιόπιστα (μεγαλύτερη συνολική ακρίβεια ταξινόμησης της τάξης του 82%) σύμφωνα με συγκρίσεις με τους θεματικούς χάρτες των ευρωπαϊκών προγραμμάτων CORINE και LIFE. Οι αξιολογήσεις αυτές πραγματοποιήθηκαν με διασταυρούμενους πίνακες (cross-classification tables) δειγματοληπτικών περιοχών των θεματικών αποτελεσμάτων(χάρτες καλύψεων γης) που προέκυψαν από τις ταξινομήσεις της ελάχιστης απόστασης από τον μέσο όρο των ομάδων(καλύψεων γης), της μεθόδου των παραλληλεπίπεδων και της μεθόδου της μέγιστης πιθανοφάνειας.

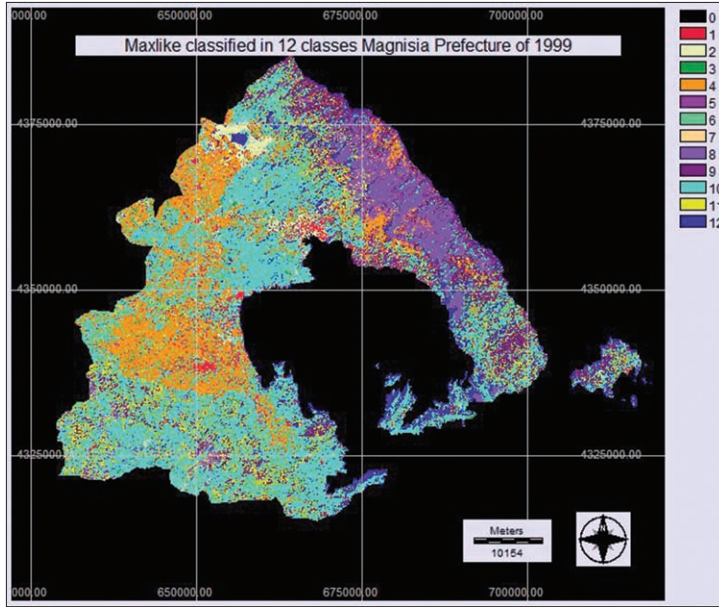
Σχήμα 1. Θεματικός χάρτης του νομού Μαγνησίας σύμφωνα με το πρόγραμμα CORINE1990



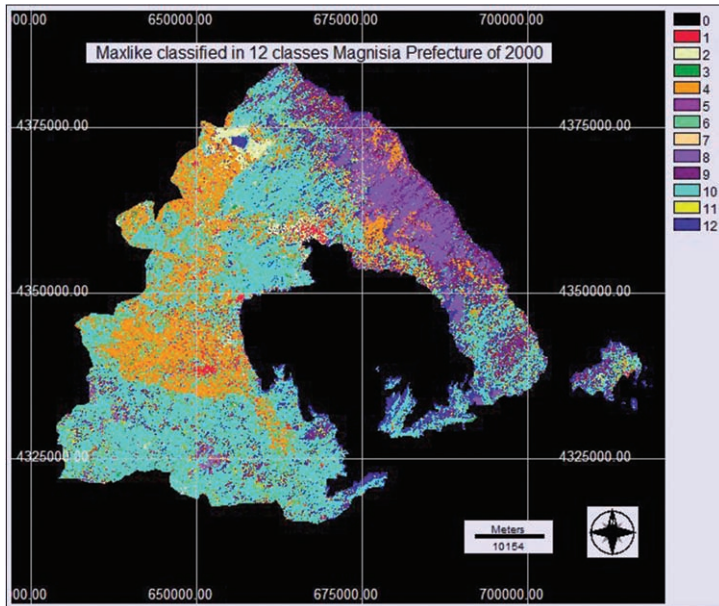
Σχήμα 2. Θεματικός χάρτης ταξινομημένης δορυφορικής εικόνας του 1986 του νομού Μαγνησίας σύμφωνα με το πρόγραμμα LIFE96ENV/GR/580



Σχήμα 3. Θεματικός χάρτης ταξινομημένης δορυφορικής εικόνας του 1999 του νομού Μαγνησίας



Σχήμα 4. Θεματικός χάρτης ταξινομημένης δορυφορικής εικόνας του 2000 του νομού Μαγνησίας



6. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΜΑΡΚΟΒΙΑΝΩΝ ΑΛΥΣΙΔΩΝ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΧΡΟΝΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΚΑΙ ΠΡΟΒΛΕΨΗ

Η συνήθης, ίσως και διαισθητική στατιστική πρόβλεψη ενός φυσικού φαινομένου ή μιας κατάστασης στον χρόνο (ή/και στον χώρο), βασίζεται σε όσο το δυνατόν περισσότερες προηγούμενες καταστάσεις του φαινομένου ή της κατάστασης σε βάθος χρόνου. Μία Μαρκοβιανή διαδικασία είναι μία ειδική περίπτωση των στοχαστικών διαδικασιών και σύμφωνα με αυτήν η παρούσα κατάσταση μίας στοχαστικής διαδικασίας, δεν εξαρτάται παρά μόνο από την κατάσταση της αμέσως χρονικά προηγούμενης διαδικασίας.

Για την εκτίμηση των μεταβολών από κάποια κλάση κάλυψης γης σε κάποια άλλη με την μέθοδο Markov, χρησιμοποιήθηκε ο πίνακας πιθανοτήτων μετάβασης (probability transition matrix). Ο πίνακας αυτός που είναι τετραγωνικός με διάσταση όσες και οι καλύψεις γης, υπολογίζει για κάθε κάλυψη γης την πιθανότητα ύπαρξής της μετά από καθορισμένο αριθμό χρονικών μονάδων. Οι τιμές των πιθανοτήτων του παραπάνω πίνακα που δίνουν την πιθανότητα κάθε κάλυψη γης της αρχικής εικόνας (οι αρχικές καλύψεις εκφράζονται με τις γραμμές του πίνακα) να μετασχηματιστεί σε κάποια κάλυψη γης της τελικής εικόνας (οι τελικές καλύψεις γης εκφράζονται με τις στήλες του πίνακα), υπολογίζονται από το λόγο των pixels που αντιστοιχούν στην κάλυψη αυτή στην τελική εικόνα (μετά από ορισμένο αριθμό χρονικών περιόδων) προς τον αριθμό των αντίστοιχων pixels στην αρχική εικόνα. Από τον πολλαπλασιασμό κάθε στήλης του πίνακα μετάβασης πιθανοτήτων με τον αριθμό των pixels της αντίστοιχης κατηγορίας κάλυψης γης στην μεταγενέστερη χρονικά εικόνα, προκύπτει ο πίνακας μεταβολών των περιοχών για κάθε κάλυψη γης που δίνει τον συνολικό αριθμό των pixels που αναμένεται να αλλάξουν από κάθε κατηγορία κάλυψης γης σε κάθε άλλη κατηγορία κάλυψης γης για τον αριθμό των χρονικών περιόδων που ορίστηκε. Ο πίνακας αυτός χρησιμοποιείται ως είσοδος στην εφαρμογή των κυτταρικών αυτόματων στην συνέχεια για να προσδώσει στην μέθοδο Markov χωρική ομογένεια.

Η θεματική έξοδος-αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου Markov, δημιουργεί μία πιθανοτική εικόνα για κάθε κάλυψη γης που υπάρχει στην προγενέστερη και την μεταγενέστερη εικόνα που έχουν χρησιμοποιηθεί (ο αριθμός των κλάσεων κάλυψης γης στην προγενέστερη και μεταγενέστερη εικόνα πρέπει να συμπίπτουν). Η παραπάνω τελική πιθανοτική εικόνα αποτέλεσμα της εφαρμογής της μεθόδου προσδίδει σε κάθε pixel της εικόνας την πιθανότητα να ανήκει σ' αυτήν την συγκεκριμένη κάλυψη γης που εκφράζει η εικόνα αυτή.

7. ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΚΥΤΤΑΡΙΚΩΝ ΑΥΤΟΜΑΤΩΝ

Βασικό ρόλο και ειδικότερα στην αλλαγή των καλύψεων γης στον χρόνο παίζει ο παράγοντας γειτνίαση. Τα κυτταρικά αυτόματα όντας οντότητες οι οποίες μπορούν να μεταβάλουν την κατάσταση τους βασισμένα στην προηγούμενη κατάσταση τους αλλά και στην κατάσταση των γειτονικών τους οντοτήτων που στη συγκεκριμένη έρευνα είναι τα pixels, προσδίδουν στα θεματικά αποτελέσματα, στην συνέχεια της εφαρμογής της μεθόδου Markov, την χωρική ομογένεια που δεν υπάρχει στα θεματικά αποτελέσματα της εφαρμογής της μεθόδου Markov.

Η συνδυασμένη εφαρμογή των κυτταρικών αυτομάτων με την μέθοδο Markov χρησιμοποιεί τον πίνακα πιθανοτήτων μετάβασης με την βοήθεια του οποίου δημιουργείται ο πίνακας μετάβασης περιοχών που παρουσιάζει τις περιοχές (αριθμό pixels ανά κατηγορία κάλυψης γης) που θα υποστούν αλλαγές. Ο πίνακας αυτός, χρησιμοποιείται στη συνέχεια για την εφαρμογή μιας επαναληπτικής διαδικασίας η οποία προσαρτά ή αφαιρεί pixels από κάθε κάλυψη γης ανάλογα με τις τιμές του (πίνακα μετάβασης περιοχών). Το κυτταρικό αυτόματο εφαρμόζεται σε κάθε επανάληψη με την μορφή ενός φίλτρου γειτνίασης – βάρους για κάθε κάλυψη γης. Το φίλτρο αυτό είναι 5 X 5 και έχει την μορφή:

```

0 0 1 0 0
0 1 1 1 0
1 1 1 1 1
0 1 1 1 0
0 0 1 0 0

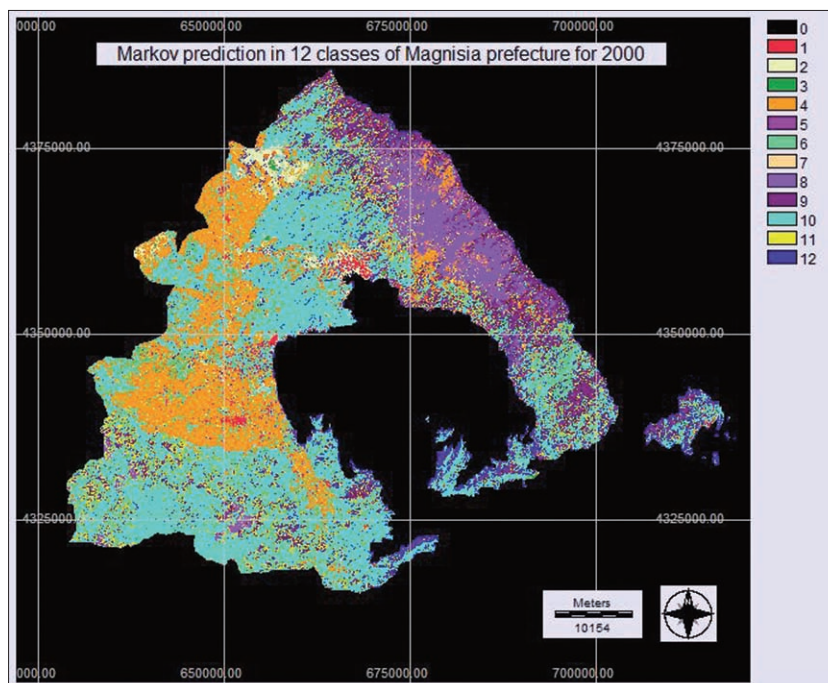
```

Κάθε επανάληψη (iteration) αντιπροσωπεύει ένα διάστημα χρόνου μεταξύ της μεταγενέστερης εικόνας και της προβολής της στο μέλλον που όρισε ο χρήστης. Η ουσιώδης διαφορά με την μέθοδο κατά Markov είναι ότι, σε κάθε επανάληψη η πιθανότητα προσάρτησης των πιο απομακρυσμένων περιοχών στην αντίστοιχη κατηγορία κάλυψης γης μειώνεται, μειώνοντας έτσι την "τυχειότητα" της προσάρτησης κατά Markov. Τελικά, ο θεματικός χάρτης πρόβλεψης κατά Markov στον οποίο εφαρμόστηκε το φίλτρο των κυτταρικών αυτόματων δίνεται στο Σχήμα 5.

Στον θεματικό χάρτη που προέκυψε με την εφαρμογή της μεθόδου Markov και των κυτταρικών αυτομάτων, η πρόβλεψη των αλλαγών των καλύψεων γης για το 2000 είναι αρκετά ικανοποιητική. Φαίνεται ότι η ακρίβεια της μεθόδου για τις κυρίαρχες καλύψεις γης, όπως δάσος, σκληροφυλλική βλάστηση, αγροτικές καλύψεις και άγονες περιοχές έχει υψηλό βαθμό ακρίβειας. Ωστόσο, για τις καλύψεις μικρότερης έκτασης και ειδικότερα για τις αστικές και περιαστικές περιοχές η ακρίβεια της εφαρμογής της μεθόδου είναι χαμηλότερη. Το ίδιο παρατηρούμε στην Βορειοδυτική περιοχή της εικόνας όπου βρίσκεται

η τεχνητή λίμνη Κάρλα. Το γεγονός αυτό εξηγείται εάν λάβουμε υπόψη ότι η μέθοδος Markov "ευνοεί πιθανοτικά" τις καλύψεις που κατέχουν μεγάλες επιφάνειες στην εικόνα. Ένας πιθανά τομέας έρευνας στο μέλλον θα ήταν ο προσδιορισμός των συνθηκών που επηρεάζουν την εφαρμογή της μεθόδου Markov, (όπως π.χ. μικρές σε έκταση καλύψεις όπως οι ανθρωπογενείς παρεμβάσεις) και ενδεχόμενα η ποσοτική τους αποτίμηση.

Σχήμα 5. Θεματικός χάρτης προβλέψεων καλύψεων γης κατά Markov για το έτος 2000 για τον νομό Μαγνησίας βάσει των δορυφορικών εικόνων του 1991 και του 1999



8. ΑΚΡΙΒΕΙΑ ΤΩΝ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων μιας επεξεργασίας στην Τηλεπισκόπηση που δίνει σαν αποτελέσματα θεματικούς χάρτες κάλυψης γης όπως για παράδειγμα οι ταξινομήσεις, υπήρξε αντικείμενο έρευνας πολλών ερευνητών, ήδη από την δεκαετία του 1990 (Congalton κ.ά. 1983 Rosefield 1986, Cartersen 1987). Αργότερα οι Congalton and Green, 1993, διαπιστώνουν, ότι διαφόρων τύπων σφάλματα μπορούν να υπεισέλθουν στον πίνακα λαθών (Error matrix), ο οποίος δείχνει την σχετική ακρίβεια της ταξινομημένης δορυφορικής εικόνας σε σχέση με οποιοδήποτε άλλο ψηφιακό αρχείο που απεικονίζει την ίδια

περιοχή μελέτης. Στην παρούσα έρευνα, η ανάλυση της ακρίβειας των θεματικών χαρτών που προέκυψαν από την διαχρονική προβολή σε μελλοντική ημερομηνία, ακολουθεί την πιο γενικευμένη αντίληψη και μεθοδολογία την οποία υιοθέτησε και εφάρμοσε ο Pontius (2000) και σύμφωνα με την οποία ο πίνακας λαθών περιέχει εκτός από τα ποσοτικά λάθη για pixels που δεν αντιστοιχούν στην αρχική κατηγορία κάλυψης γης, και λάθη που αντιστοιχούν σε pixels που δεν βρίσκονται χωρικά στις αρχικές συντεταγμένες.

Ο δείκτης Kappa Index of Agreement στην περίπτωση της πρόβλεψης κάλυψης γης του 2000 (και μετά από εφαρμογή της μεθόδου Markon με βάση τις δορυφορικές εικόνες του 1991 και του 1999), εφαρμόστηκε σε δύο επίπεδα δεδομένων και έδωσε τα εξής αποτελέσματα:

1. Για την σύμπτωση των θεματικών χαρτών μεταξύ CORINE 1990 και CORINE 2000 έδωσε τιμή 0,54, ενώ για τις ταξινομημένες εικόνες των αντιστοιχών ημερομηνιών 1991 και 1999 έδωσε την τιμή 0,5683.
2. Για την σύμπτωση της εικόνας πρόβλεψης κατά Markon με την αντίστοιχη ταξινομημένη εικόνα του 2000, η τιμή του δείκτη 0,7247 παρουσίασε μια αρκετά καλή θεματική-χωρική πρόβλεψη των καλύψεων γης, λαμβανομένων υπόψη και των σφαλμάτων ταξινόμησης από την επιλογή πολυγώνων για την δημιουργία φασματικών υπογραφών, και άλλων.

9. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Η διαχρονική μελέτη και πρόβλεψη των αλλαγών της κάλυψης γης με την μέθοδο Markon οδηγεί σε σχετικά αξιόπιστα αποτελέσματα. Το κύριο μειονέκτημα της μεθόδου, δηλαδή, η μη χωρική διάσταση των θεματικών αποτελεσμάτων που παράγονται αντιμετωπίστηκε επιτυχώς με την εφαρμογή φίλτρων που δημιουργούνται από τα κυτταρικά αυτόματα.

Ο δείκτης Kappa Index of Agreement ο οποίος χρησιμοποιήθηκε για τον έλεγχο σύμπτωσης των ταξινομημένων εικόνων με τους χάρτες CORINE των αντίστοιχων ημερομηνιών (1990 και 2000) έδωσε τιμές 0,57 και 0,54 αντίστοιχα.

Από τη μικρή απόκλιση (της τάξης του 3%) που παρατηρήθηκε ανάμεσα στις δύο τιμές σύμπτωσης φαίνεται ότι:

- υπήρξαν σημαντικές αλλαγές στην κάλυψη γης του νομού Μαγνησίας κατά την περίοδο 1990-2000, και
- οι ταξινομήσεις είναι αξιόπιστες σε σχέση με το CORINE.

Απο μία πρώτη εφαρμογή της μεθόδου Markon για την πρόβλεψη κάλυψης γης στο Νομό Μαγνησίας στο απώτερο μέλλον φαίνεται ότι οι κυρίαρχες κατηγορίες (π.χ. δάσος, χαμηλή βλάστηση, άγονα) επικρατούν σε βάρος των κατηγοριών που καταλαμβάνουν μικρές εκτάσεις, χωρίς το γεγονός αυτό να είναι απόλυτο (κυρίως για αστικές περιοχές).

Έτσι για μια πιο ρεαλιστική πρόβλεψη των αλλαγών στην κάλυψη γης στο απώτερο μέλλον θα έπρεπε να ενσωματωθούν στην διαδικασία θεματικές ή μεθοδολογικές συνθήκες οι οποίες να λαμβάνουν υπ' όψη τις ανθρωπογενείς επιδράσεις (π.χ. αστικοποίηση, ανθρωπογενείς πυρκαγιές, κατασκευή μεγάλων δρόμων).

Βιβλιογραφία

Ελληνόγλωσση

Κυρίμης Κ. και Μπέτσης Α. (1998), "Θεματική διαχρονική ανάλυση βασικών καλύψεων γης του νομού Μαγνησίας την τελευταία δεκαετία με την χρήση δορυφορικών εικόνων", Διπλωματική εργασία, Τμήμα Μηχανικών Πολεοδομίας, Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάλυσης, Πολυτεχνική σχολή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος.

Ξενόγλωσση

Cartersen L.W., Jr. (1987) "A measure of similarity for cellular maps", *The American Geographer*, 14(4): 345-358.

Chavez P. S. (1996) "Image-Based Atmospheric Corrections – Revisited and Improved", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(9): 1025-1036.

Civco D. L., Hurd J. D., Wilson E. H., Song M. και Zhang Z. (2002) "A Comparison of Land Use and Land Cover Change Detection Methods", στο: *2002 ASPRS-ACSM Annual Conference and FIG XXII Congress*.

Congalton R. και Green K. (1993), "A practical look at the sources of confusion in error matrix generation", *Photogrammetric engineering and Remote Sensing*, 59(5): 641-644.

Congalton R., Oderwald R. και Mead R. (1983), "Assessing Landsat Classification Accuracy Using Discrete Multivariate Analysis Statistical Techniques", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 49(12): 1671-1678.

Coppin P. και Bauer M. (1996), "Digital Change Detection in Forest Ecosystems with Remote Sensing Imagery", *Remote Sensing Reviews*, 13: 207-234.

Cross G. R. και Jain A. K. (1983), "Markov validation field texture modes", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 5: 25-39.

Dong Y., Forester B. C. και Milne A. K. (1999) "Segmentation of radar imagery using the Gaussian Markov random field model", *International Journal of Remote Sensing*, 20: 1617-1639.

Im J. και Jensen R. J. (2005), "A change detection model based on neighborhood correlation image analysis and decision tree classification", *Remote Sensing of Environment*, 99: 326-340.

- Kamusoko C., Aniya M., Adi B. και Manjoro M. (2009) "Rural sustainability under threat in Zimbabwe – Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model", *Applied Geography*, 29: 435–447.
- Ladet S., Deconchat M., Monteil M., Lacombe J.P. και Balent G. (2004) "Dynamiques forestières dans l'espace rural", στο: *Les chaînes de Markov spatialisées comme outil de simulation*, UMR DYNAFOR INRA-INPT/ENSAT, Colloque CASSINI, Grenoble.
- Liu D., Song K., Townshend J. και Gong P. (2008) "Using local transition probability models in Markov random fields for forest change detection", *Remote Sensing of Environment*, 112: 2222–2231.
- Lopez E., Bocco G., Mendoza M. και Duhau E. (2001), "Predicting land cover and land-use change in the urban fringe. A case in Morelia City, Mexico", *Landscape and Urban Planning*, 55(4): 271– 285.
- Moshen A. (1999) "Environmental Land Use Change Detection and Assessment Using with Multi – temporal Satellite Imagery", Zanzan University.
- Nemirovsky S. και Porat M. (2009), "On texture and image interpolation using Markov models", *Signal Processing: Image Communication*, 24: 139-157.
- Panjwani D. K. και Healey G. (1995), "Markov random field models for unsupervised segmentation of textured colored images", *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 17: 939-954.
- Pontius Jr., R. G. (2000) "Quantification error versus location error in comparison of categorical maps", *Photogrammetric engineering and Remote Sensing*, 66(8): 1011-1016.
- Richards J. A. και Xiuping J. (2006) *Remote Sensing Digital Image Analysis. An Introduction*, 4th Edition, Berlin: Springer-Verlag.
- Rosefield G.H. (1986) "A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy", *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52(2): 223-227.
- Singh A. (1989) "Digital Change Detection Techniques Using Remotely Sensed Data", *International Journal of Remote Sensing*, 10(6): 989-1003.

Κωνσταντίνος Περάκης,
 · Τμ. Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης,
 Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Πεδίον Άρεως, 383 34, Βόλος,
 e-mail: perakis@prd.uth.gr

αιχώρος

ΤΕΥΧΟΣ 16 | ΕΤΟΣ 2011
ISSUE | YEAR

- 4 Πορτοκαλίδης Κ., Λαλένης Κ.**
Οι πόλεις "Ολοκληρωμένου Οικοσυστήματος" στην εποχή της κλιματικής αλλαγής. Ουτοπία ή εφικτή προοπτική;
- 30 Ασπρογέρακας Ε.Χ., Σερράος Κ. Α.**
Οργανωμένη πολεοδομική ανάπτυξη. Η εμπειρία του Αμβούργου: Από τη δεκαετία του 1950 στο πέρασμα στον 21^ο αιώνα
- 60 Κυριαζής Α.Δ.**
Σχεδιασμός ερήμην του σχεδιαστή: Παρεμβατικές πρακτικές στον πολεοδομικό και αστικό σχεδιασμό, με αφορμή το ζήτημα της μετεγκατάστασης του οικισμού της Μεσοχώρας Τρικάλων και τη λειτουργία του ομώνυμου υδροηλεκτρικού φράγματος
- 88 Χριστοπούλου Ο., Μινέτος Δ.**
Η ανταπόκριση στην πολιτική δάσωσης γεωργικών γαιών: Μια χωρική ανάλυση με τη χρήση ενός υποδείγματος τακτικής παλινδρόμησης
- 124 Περάκης Κ.**
Ανίχνευση και πρόβλεψη διαχρονικών αλλαγών κάλυψης γης στο νομό Μαγνησίας με την εφαρμογή της μεθόδου Markov και των κυτταρικών αυτόματων σε πολυφασματικές δορυφορικές εικόνες
- 142 Γαβανάς Ν., Πιτσιάβα-Λατινοπούλου Μ.**
Αποτίμηση του συστήματος μεταφορών στις νέες χώρες-μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης: Τάσεις ανάπτυξης και προοπτικές σύγκλισης

ISSN

1109-5008

Webpage

<http://www.aeihoros.gr>