

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΓΕΩΠΟΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ
ΤΟΜΕΑΣ ΕΓΓΕΙΩΝ ΒΕΛΤΙΩΣΕΩΝ, ΕΔΑΦΟΛΟΓΙΑΣ ΚΑΙ ΓΕΩΡΓΙΚΗΣ
ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ

ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ Α. ΤΟΠΑΛΟΓΛΟΥ
Γεωπόνου Msc.

ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ – ΑΣΑΦΟΥΣ
ΛΟΓΙΚΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΚΡΙΣΗ
ΒΙΟΦΥΣΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗ
2008

ΧΑΡΑΛΑΜΠΟΥ Α. ΤΟΠΑΛΟΓΛΟΥ
Γεωπόνου Msc.

**ΠΟΙΟΤΙΚΗ ΚΑΙ ΠΟΣΟΤΙΚΗ ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΑΝΕΛΑΣΤΙΚΩΝ – ΑΣΑΦΟΥΣ
ΛΟΓΙΚΗΣ ΑΛΓΟΡΙΘΜΩΝ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΓΙΑ ΤΗ ΔΙΑΚΡΙΣΗ
ΒΙΟΦΥΣΙΚΩΝ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΜΕ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

ΔΙΔΑΚΤΟΡΙΚΗ ΔΙΑΤΡΙΒΗ

Υποβλήθηκε στη Γεωπονική Σχολή,
Τομέας Εγγείων Βελτιώσεων Εδαφολογίας και Γεωργικής Μηχανικής
Ημερομηνία Προφορικής Εξέτασης: 5 Μαΐου 2008

Εξεταστική Επιτροπή

Καθηγητής	N. Συλλαίος, Επιβλέπων
Καθηγητής	Γ. Ζαλίδης, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής
Καθηγητής	Θ. Αστάρας, Μέλος Τριμελούς Εξεταστικής Επιτροπής
Καθηγητής	M. Καρτέρης, Εξεταστής
Λέκτορας	I. Γήτας, Εξεταστής
Αν. Καθηγητής	K. Περάκης, Εξεταστής
Αν. Καθηγητής	I. Θεοχάρης, Εξεταστής

© Χαράλαμπος Α. Τοπάλογλου

© Α.Π.Θ.

Ποιοτική και ποσοτική σύγκριση ανελαστικών – ασαφούς λογικής αλγορίθμων
ταξινόμησης για τη διάκριση βιοφυσικών στοιχείων με τη χρήση δορυφορικών
εικόνων

ISBN

«Η έγκριση της παρούσης Διδακτορικής Διατριβής από τη Γεωπονική Σχολή του
Αριστοτελείου Πανεπιστημίου Θεσσαλονίκης δεν υποδηλώνει αποδοχή των
γνωμών του συγγραφέως» (Ν. 5343/1932, άρθρο 202, παρ. 2)

Στην ανηψιά μου
Μικαέλα

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια της διδακτορικής μου διατριβής του δεύτερου κύκλου σπουδών του Προγράμματος Μεταπτυχιακών Σπουδών της Ειδίκευσης της Εδαφολογίας και της Διαχείρισης Εδαφικών Πόρων της Γεωπονικής Σχολής του Α.Π.Θ. Ο σκοπός της εργασίας ήταν η συγκριτική μελέτη διάφορων αλγορίθμων ταξινόμησης, από άποψη θεματικής ακρίβειας, για τη διάκριση καλλιεργειών και τύπων υδροτοπικής βλάστησης με χρήση δορυφορικής εικόνας IKONOS υπέρ υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας, στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κορώνειας. Τα αποτελέσματα της ταξινόμησης της εικόνας καθώς και άλλων γεωγραφικών δεδομένων, ως ένα δεύτερο επίπεδο επεξεργασίας, συντέλεσαν στη δημιουργία χωρικών περιβαλλοντικών δεικτών οι οποίοι παρουσιάζουν την πίεση που ασκείται στον υγρότοπο καθώς και την εκτίμηση της κατάστασής του, βάση του μοντέλου DPSIR που έχει προτείνει η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος. Μέρος της παρούσας διατριβής υλοποιήθηκε στα πλαίσια του Προγράμματος 'Πυθαγόρας II' του Υπουργείου Εθνικής Παιδείας και Θρησκευμάτων που συγχρηματοδοτήθηκε από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο της Ευρωπαϊκής Ένωσης.

Η παρούσα διατριβή αποτελείται από πέντε κεφάλαια όπου στο πρώτο εμφανίζεται η ανάγκη και η συμβολή της Τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών για την εκτίμηση του περιβάλλοντος μέσω κυρίως της ταξινόμησης, η οποία μπορεί να εφαρμοστεί με διάφορους αλγόριθμους που στηρίζονται σε στατιστικές παραμέτρους δειγματοληπτικών περιοχών ή όχι (Νευρωνικά Δίκτυα), καθώς και στο σύστημα απόφασης ταξινόμησης των εικονοστοιχείων (Ανελαστικοί ή ταξινομητές Ασαφούς Λογικής). Στο δεύτερο κεφάλαιο παρουσιάζεται η περιοχή μελέτης και στο τρίτο αναπτύσσονται οι μέθοδοι τόσο για την σύγκριση των ταξινομητών που χρησιμοποιήθηκαν, όσο και για την ανάπτυξη των δεικτών. Στο τέταρτο κεφάλαιο αναφέρονται τα αποτελέσματα των μεθόδων που εφαρμόστηκαν ενώ στο πέμπτο παρουσιάζονται τα τελικά συμπεράσματα.

Σ' αυτό το σημείο θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Επιβλέποντα Καθηγητή μου κ. Νικόλαο Συλλαίο, Διευθυντή του Εργαστηρίου Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών της Γεωπονικής Σχολής, για το θέμα που μου εμπιστεύθηκε καθώς και της οκταετούς συνεργασίας που δημιουργήθηκε μέσα από την επίβλεψη τόσο της προπτυχιακής όσο και της μεταπτυχιακής μου διατριβής. Επίσης, θέλω να ευχαριστήσω τον κ. Γεώργιο Ζαλίδη, Καθηγητή του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας της Γεωπονικής Σχολής και μέλος της Τριμελούς Συμβουλευτικής Επιτροπής, για τις πολύτιμες συμβουλές του, καθώς και της δυνατότητας που μου προσέφερε να συμμετάσχω στο πρόγραμμα 'Πυθαγόρας II'. Ακόμη θα ήθελα να ευχαριστήσω τον Αν. Καθηγητή του Εργαστηρίου Αυτοματοποίησης και Ρομποτικής, κ. Ιωάννη Θεοχάρη για τη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια του προγράμματος καθώς και της δυνατότητας χρησιμοποίησης του νευρωνικού δικτύου SONEFMUC, το οποίο αναπτύχθηκε από τον υποψήφιο Διδάκτορα Νικόλαο Μητράκη, που επίσης ευχαριστώ για την άσπογη συνεργασία που είχαμε. Θα ήθελα να ευχαριστήσω επιπλέον, τα υπόλοιπα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, τον Καθηγητή Γεωλογίας Θεόδωρο Αστάρα μέλος της Τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής, τον Καθηγητή Δασολογίας

Μιχάλη Καρτέρη, τον Λέκτορα Δασολογίας Ιωάννη Γήτα και τον Αναπληρωτή Καθηγητή του Τμήματος Πολεοδομίας και Χωροταξίας Κων/νο Περάκη, για τη διαθεσιμότητά τους, τις παρατηρήσεις τους και τις χρήσιμες συμβουλές τους για την ολοκλήρωση της διατριβής.

Η συμμετοχή μου στο Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών μου έδωσε τη δυνατότητα να συνεργαστώ εποικοδομητικά με τα υπόλοιπα μέλη του Εργαστηρίου καθώς και του Εργαστηρίου Εφαρμοσμένης Εδαφολογίας, συνεργασίες που με βοήθησαν είτε σε μικρό είτε σε μεγάλο βαθμό σε διάφορα στάδια της εργασίας. Γι' αυτό θα ήθελα να ευχαριστήσω αυτούς τους συνεργάτες, παλιούς και νέους, και ειδικότερα το Γιώργο Πετσάνη Γεωπόνο του ΕΛ.Γ.Α., Κώστα Ντούρο υπ. Διδάκτορα της Γεωπονικής Σχολής του Α.Π.Θ., Θωμά Αλεξανδρίδη Δρ. Γεωπονικής Σχολής Α.Π.Θ., Βασίλη Τακαβάκογλου Δρ. Γεωπονικής Σχολής Α.Π.Θ., Θωμά Καταγή Msc. Δασολογίας και Φυσικού Περιβάλλοντος και Έμιλυ Χριστοφόρου Μεταπτυχιακή Φοιτήτρια Γεωπονίας.

Τέλος, θέλω να ευχαριστήσω την οικογένειά μου και τους φίλους μου οι οποίοι μου συμπαραστάθηκαν ηθικά για την περάτωση της διατριβής.

ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ

Συλλαίος Νικόλαος*	Καθηγητής Γεωπονίας Α.Π.Θ.
Ζαλίδης Γεώργιος*	Καθηγητής Γεωπονίας Α.Π.Θ.
Ασάρας Θεόδωρος*	Καθηγητής Γεωλογίας Α.Π.Θ.
Θεοχάρης Ιωάννης	Αν. Καθηγητής Ηλεκτρολόγων Μηχανικών Α.Π.Θ.
Καρτέρης Μιχάλης	Καθηγητής Δασολογίας Α.Π.Θ.
Γήτας Ιωάννης	Λέκτορας Δασολογίας Α.Π.Θ.
Περάκης Κων/νος	Αν. Καθηγητής Πολεοδ. & Χωροταξ. Παν.. Θεσσαλίας

* Μέλη της τριμελούς συμβουλευτικής επιτροπής.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Ο σκοπός της παρούσας διατριβής ήταν η μελέτη ανελαστικών και ελαστικών μεθόδων για την ταξινόμηση βιοφυσικών στοιχείων μίας οικολογικά ευαίσθητης περιοχής με δορυφορικά δεδομένα όπου το αποτέλεσμα της ταξινόμησης χρησιμοποιήθηκε για την ανάπτυξη νέων περιβαλλοντικών χωρικών δεικτών σύμφωνα με το μοντέλο DPSIR που προτείνει η Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος.

Ειδικότερα, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις αλγόριθμοι ταξινόμησης που ανήκουν σε διαφορετική κατηγορία ταξινομητών ως προς την απόφαση που παίρνουν για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων (ανελαστικοί – ασαφούς λογικής) και ως προς τον τρόπο εκπαίδευσή τους (παραμετρικοί – μη παραμετρικοί), και εξετάσθηκε η ποσοτική και η ποιοτική τους ακρίβεια. Συγκεκριμένα, μετρήθηκε η ποσοτική ακρίβεια με τη χρήση του *πίνακα λαθών* (Confusion Matrix), από δεδομένα αναφοράς που συλλέχθηκαν με εργασία πεδίου. Επίσης, για την ποιοτική τους ακρίβεια προτάθηκε η χρησιμοποίηση ενός τροποποιημένου δείκτη τοπίου, του *Shannon Evenness' Index*, ο οποίος συνέβαλλε στην εκτίμηση της ομοιομορφίας της ταξινόμησης μέσα στα αγροτεμάχια της αγροτικής ζώνης της περιοχής μελέτης.

Η έρευνα έδειξε ότι τα συγκριτικά καλύτερα αποτελέσματα έδωσε το ασαφές νευρωνικό δίκτυο SONeFMUC (Self – Organized Neuro Fuzzy Multistage Classifier), όπου ο παραγόμενος θεματικός χάρτης χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό δεικτών πίεσης και κατάστασης.

Συγκεκριμένα αναπτύχθηκαν τρεις δείκτες πίεσης : Ο δείκτης άρδευσης *I.P.I*, λίπανσης *F.P.I* και οικιστικής ανάπτυξης *U.P.I*. Ένα καινοτόμο στοιχείο αυτών των δεικτών ήταν ο υπολογισμός του επιμέρους δείκτη τοπίου *Edge Contrast Index*, ο οποίος υπολογίζει την πίεση που ασκεί κάθε αγροτεμάχιο από τα γειτονικά του, στον υγρότοπο της Κορώνειας,

Επίσης, αναπτύχθηκε κατάλληλη μεθοδολογία όπου αξιολογήθηκαν οι λειτουργίες του υγρότοπου μέσω των ιδιοτήτων του, που με τη σειρά τους εκτιμήθηκαν μέσω δεικτών από την ταξινομημένη εικόνα και επιπλέον γεωγραφικά δεδομένα.

Η μεθοδολογία η οποία χρησιμοποιήθηκε τόσο για τους δείκτες πίεσης όσο και για τους δείκτες κατάστασης μπορεί να αποτελέσει ένα χρήσιμο εργαλείο στην επιλογή των κατάλληλων εναλλακτικών σεναρίων, ώστε να ληφθούν διαχειριστικά μέτρα αντιμετώπισης των περιβαλλοντικών προβλημάτων που παρουσιάζει ο υγρότοπος της Κορώνειας.

Λέξεις Κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, Ταξινόμηση καλύψεων/χρήσεων γης, Ανελαστικοί – ελαστικοί ταξινομητές, Νευρωνικά δίκτυα, MSHEI, IKONOS, Χωρικοί Περιβαλλοντικοί Δείκτες, Δείκτες τοπίου, DPSIR, Κορώνεια

SUMMARY

The aim of this thesis was the employment of hard and soft classifiers for land cover/use classification on an area with ecological importance protected by Ramsar Convention (Lake Koronia in Northern Greece), and the use of output thematic maps in the development of new spatially environmental indicators according to DPSIR model proposed by European Environmental Agency.

More specifically, four different classification algorithms were used and each one belonged to a different category of classifiers (hard or soft classifiers, parametric or non- parametric classifiers, like neural networks). The use of selected field test sites and confusion matrices resulted in the production of a site specific accuracy assessment for these classifiers. Moreover, using a modified equation of the landscape metric Shannon Eveness' Index (MSHEI), the homogeneity of classification inside the agriparcels in the agricultural zone of the study area was estimated.

The fuzzy neural network SONEFMUC (Self – Organized Neuro Fuzzy Multistage Classifier) performed better than the other algorithms and the output thematic map contributed to the calculation of pressure and state indicators in the area.

Three pressure indicators were estimated: the Irrigation Pressure Index, the Fertilization Pressure Index and the Urbanization Pressure Index. An innovative technique for the estimation of these indicators was the use of Edge Contast Index (ECON). ECON was utilized for the calculation of the pressure that is forced on an agriparcel from its adjacent agriparcel.

Additionally, an appropriate methodology was applied in the wetland of Koronia in order to evaluate its functions through its basic attributes. These attributes were estimated using image classification and collateral geographic data.

The proposed methodology for the calculation of pressure and state indicators could be useful for the selection of appropriate alternative scenarios by the local authorities in order to deal with the environmental problems of the area.

Keywords: *Remote Sensing, Land Cover/Land use classification, Hard – Soft Classifiers, Neural Networks, MSHEI, IKONOS, Spatial Environmental Indicators, Landscape metrics, DPSIR, Koronia*

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ.....	ii
ΕΞΕΤΑΣΤΙΚΗ ΕΠΙΤΡΟΠΗ	iv
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	v
SUMMARY	vi
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	ix
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xi
1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Σκοπός Εργασίας	7
1.2 Ανάλυση τεχνικών και προβλημάτων ταξινόμησης	8
1.3 Ανάπτυξη δεικτών με χρήση τηλεπισκόπησης και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών.....	13
2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ	17
2.1 Χλωρίδα και πανίδα.....	18
2.2 Γεωλογία.....	19
2.3 Κλίμα	19
2.4 Αγροτική περιοχή	19
3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	21
3.1 Υλικά	21
3.1.1 Δεδομένα Τηλεπισκόπησης.....	21
3.1.2 Γεωγραφικά Δεδομένα	23
3.1.3 Δειγματοληπτικές περιοχές	25
3.2 Μεθοδολογία	25
3.2.1 Μεθοδολογία για τις ταξινομήσεις των εικόνων και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων.....	25
3.2.1.1 Προεπεξεργασία εικόνας.....	26
3.2.1.1.1 Διορθώσεις της εικόνας.....	26
3.2.1.1.2 Σύζευξη παγχρωματικής – πολυφασματικής εικόνας	29
3.2.1.2 Υπολογισμός επιπλέον χαρακτηριστικών της εικόνας.....	30
3.2.1.2.1 Ο μετασχηματισμός Tasselled Cap	31
3.2.1.2.2 Ο μετασχηματισμός IHS	32
3.2.1.2.3 Η δημιουργία των Co – occurrence φίλτρων.....	33
3.2.1.3 Εργασία πεδίου	37
3.2.1.3.1 Προετοιμασία για τη συλλογή δεδομένων πεδίου.....	39
3.2.1.3.2 Συλλογή παρατηρήσεων στο πεδίο	39
3.2.1.3.3 Έλεγχος και επεξεργασία	39
3.2.1.3.4 Γενικές Παρατηρήσεις.....	40
3.2.1.4 Δημιουργία του Classification Scheme	41
3.2.1.5 Διαχωρισμός της εικόνας στην IKONOS στην υδροτοπική και αγροτική περιοχή.....	44

3.2.1.6	Εφαρμογή μεθόδων ταξινόμησης.....	45
3.2.1.6.1	Ταξινομητής Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood).....	45
3.2.1.6.2	Ταξινομητής Dempster - Shafer	46
3.2.1.6.3	Ταξινομητής Back Propagation.....	48
3.2.1.6.4	Ασαφές νευρωνικό δίκτυο SONEFMUC.....	51
3.2.1.7	Εκτίμηση Ακρίβειας Ταξινόμησης.....	54
3.2.2	Μεθοδολογία για την ανάπτυξη και υπολογισμό χωρικών δεικτών.....	57
3.2.2.1	Προεπεξεργασία δεδομένων.....	58
3.2.2.2	Ανάπτυξη χωρικού δείκτη πίεσης άρδευσης.....	59
3.2.2.3	Ανάπτυξη χωρικού δείκτη πίεσης λίπανσης.....	63
3.2.2.4	Ανάπτυξη χωρικού δείκτη πίεσης οικιστικής ανάπτυξης.....	64
3.2.2.5	Εκτίμηση κατάστασης των λειτουργιών του υγροτόπου	64
4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ	71
4.1	Σύγκριση ταξινομήσεων	71
4.1.1	Ποσοτικές μετρήσεις	75
4.1.1.1	Υγρότοπος	75
4.1.1.2	Αγροτική περιοχή	77
4.1.2	Ποιοτική σύγκριση	81
4.1.2.1	Υγρότοπος	81
4.1.2.2	Αγροτική περιοχή	82
4.1.3	Ποσοτικά ποιοτική σύγκριση (Δείκτης Ομοιομορφίας).....	84
4.2	Υπολογισμός περιβαλλοντικών δεικτών.....	86
4.2.1	Δείκτες πίεσης	87
4.2.1.1	Θεματικοί χάρτες.....	87
4.2.1.2	Στατιστικά αποτελέσματα	90
4.2.2	Εκτίμηση κατάστασης υγροτόπου.....	91
4.3	Συζήτηση	95
5	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	100
6	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	101

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Σχήμα 1.1. Διάφορες μορφές της διεύρυνσης της αντίθεσης (Lillesand και Kiefer, 1994)	4
Σχήμα 1.2. Χωρικά φίλτρα 3 x 3 εικόνας. Αριστερά χαμηλής συχνότητας φίλτρο (α) και δεξιά υψηλής συχνότητας (β).	4
Σχήμα 1.3. Ταξινόμηση εικόνας	5
Σχήμα 1.4. Βήματα για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση	7
Σχήμα 1.5. Απεικόνιση του DPSIR, της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος	14
Σχήμα 2.1. Ποσοστιαία κατανομή του πληθυσμού στα δημοτικά διαμερίσματα που συνορεύουν με τον υγρότοπο της Κορώνειας	18
Σχήμα 2.2. Ομβροθερμικό διάγραμμα του σταθμού των Λουτρών Απολλωνίας	19
Σχήμα 2.3. Καλλιέργειες της αγροτικής περιοχής της Κορώνειας. (α) Καλλιέργεια μηδικής που αρδεύεται με καταιονισμό, (β) καλλιέργεια καλαμποκιού (γ) και δ) καλλιέργειες λαχανικών	20
Σχήμα 3.1. Η πολυφασματική εικόνα IKONOS (Ημερομηνία λήψης 7 Αυγούστου 2005) της περιοχής μελέτης με ψευδοέγχρωμη απεικόνιση (Η βλάστηση παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα)	23
Σχήμα 3.2. Διαθέσιμα γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής Πάνω αριστερά το DEM, κάτω αριστερά τα όρια των δημοτικών διαμερισμάτων, πάνω δεξιά ο χάρτης NATURA και κάτω δεξιά ο γελογικός χάρτης του ΙΓΜΕ 1:50.000	24
Σχήμα 3.3. Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας για την ταξινόμηση και την εκτίμηση ακρίβειας των ταξινομήσεων	26
Σχήμα 3.4. Λήψη Σταθερών Σημείων Επιφάνειας (Ground Control Points, GCPs)	27
Σχήμα 3.5. Η διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης δορυφορικών εικόνων	28
Σχήμα 3.6. Σύζευξη (pan – sharpen) πολυφασματικής και παγχρωματικής εικόνας	30
Σχήμα 3.7. Μετασχηματισμός Tasseled Cap της εικόνας IKONOS. Στο πλαίσιο Α με το πράσινο εμφανίζονται καλλιέργειες όπου η βλάστηση είναι αναπτυγμένη, στο Β πλαίσιο με μπλε εμφανίζονται αγροτεμάχια με σιτάρι, στο πλαίσιο Γ με το μώβ χρωματισμό εμφανίζονται αγροτεμάχια με υγρό γυμνό έδαφος, στο πλαίσιο Δ με το κόκκινο χρώμα εμφανίζεται το νερό της λίμνης, ενώ στο πλαίσιο Ε με το κοκκινοπράσινο χρώμα εμφανίζεται η υγροτοπική βλάστηση	32
Σχήμα 3.8. Ο μετασχηματισμός IHS της εικόνας IKONOS	33
Σχήμα 3.9. Οι γωνίες για απόσταση $d=1$. Για $d=2$ θα λαμβανόταν υπόψη το παραδιπλανό και όχι το διπλανό pixel	34
Σχήμα 3.10. Τα GLCM για γωνίες $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$	34
Σχήμα 3.11. Τα co-occurrence φίλτρα του τρίτου καναλιού της εικόνας, α) η αντίθεση, β) η συσχέτιση γ) το Angular Second Moment και δ) η ομοιογένεια	37
Σχήμα 3.12. Αναπαράσταση της μεθοδολογίας για τη λήψη των δεδομένων πεδίου	38
Σχήμα 3.13. Φωτογραφίες από την εργασία υπαίθρου. Στην πάνω δεξιά γίνεται λήψη σημείων με τη χρήση του palm top, στην πάνω αριστερά παρατήρηση του υγρότοπου με κιάλια, στη κάτω δεξιά παρατήρηση της εκτυπωμένης δορυφορικής εικόνας από το αυτοκίνητο και στην κάτω αριστερά χρήση του φορητού υπολογιστή για άμεση αποθήκευση των δεδομένων	40
Σχήμα 3.14. Υπέρθεση σημείων στη δορυφορική εικόνα IKONOS σε ψευδοέγχρωμη απεικόνιση και σύνδεση με τις φωτογραφίες πεδίου για την καλύτερη εκτίμηση και επιβεβαίωση των σημείων που συλλέχθηκαν καθώς και για τη δημιουργία του Classification Scheme	42
Σχήμα 3.15. Η κατανομή των σημείων πεδίου στη δορυφορική εικόνα	44

Σχήμα 3.16. Η γενική μορφή του δικτύου SONeFMUC	52
Σχήμα 3.17. Παράδειγμα της δομής ενός νευρώνα του πρώτου επίπεδου του δικτύου SONeFMUC. Ο νευρώνας αποτελείται από δύο εισόδους, δύο εξόδους και δύο μονάδες: FPD και DMFU	53
Σχήμα 3.18. Η δομή του δικτύου στο L-1 και στο L στρώμα	53
Σχήμα 3.19. Διάφορες τιμές του SHEI για το υπερτιθέμενο αγροτεμάχιο (κόκκινο χρώμα) σε ταξινομημένες εικόνες. Οι μικρότερες τιμές υποδηλώνουν την ταξινόμησή του σε μία καλλιέργεια.	55
Σχήμα 3.20. Γραφική αναπαράσταση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων	57
Σχήμα 3.21. Οι υπολεκάνες της λίμνης Μυγδονίας υπερτιθέμενες στη εικόνα IKONOS. Η εικόνα καλύπτει ως επί το πλείστον μία υπολεκάνη απορροής.....	59
Σχήμα 3.22. Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη I.P.I.	62
Σχήμα 3.23. Σχεδιάγραμμα της μεθοδολογίας για την εκτίμηση των ιδιοτήτων και την αξιολόγηση των λειτουργιών του υδροτόπου με βάση γεωγραφικά δεδομένα	65
Σχήμα 4.1. Οι τέσσερις ταξινομήσεις των εικόνων. (α) η ταξινόμηση με την MLC, (β) η ταξινόμηση με την DS, (γ) η ταξινόμηση με την BP, (δ) η ταξινόμηση με τη SONeMUC και (ε) το υπόμνημα	74
Σχήμα 4.2. Απεικόνιση νότια του υδροτόπου με τις τέσσερις ταξινομήσεις	82
Σχήμα 4.3. Απεικόνιση νοτιοανατολικά της αγροτικής περιοχής με τις τέσσερις ταξινομήσεις	83
Σχήμα 4.4. Ο Mean MSHEI _{area} στις τέσσερις ταξινομήσεις.....	85
Σχήμα 4.5 Ο Mean MSHEI _{crop} στις τέσσερις ταξινομήσεις	86
Σχήμα 4.6. Η τιμή του δείκτη MSHEI των αγροτεμαχίων σύμφωνα με την ταξινόμηση. Οι χαμηλές τιμές του δείκτη (κόκκινο χρώμα) υποδηλώνουν μικρή ποιότητα ταξινόμησης. Ένας τρόπος αύξησης είναι η συλλογή δεδομένων εκπαίδευσης από αυτά τα αγροτεμάχια.	96

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 2.1. Στατιστικά στοιχεία των Δημοτικών Διαμερισμάτων που καλύπτουν την περιοχή μελέτης.....	17
Πίνακας 3.1 Τα στοιχεία του πίνακα πολλαπλασιάζονται με την εικόνα για τη δημιουργία της μετασχηματισμένης εικόνας Tasseled Cap	31
Πίνακας 3.2. Η κανονικοποίηση του GLCM για $\theta = 0^\circ$	34
Πίνακας 3.3. Ο υπολογισμός των co-occurrence φίλτρων των δύο εικόνων	36
Πίνακας 3.4 Κατανομή των σημείων που συλλέχθηκαν στο πεδίο στις 13 κλάσεις του Classification Scheme	43
Πίνακας 3.5 Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκαν και η κατηγορία που ανήκουν	45
Πίνακας 3.6. Οι τιμές Kc και Ne των καλλιεργείων	63
Πίνακας 3.7 Δείκτες και δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων του υγρότοπου	70
Πίνακας 4.1. Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο MLC	76
Πίνακας 4.2 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο DS.....	76
Πίνακας 4.3 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο BP	77
Πίνακας 4.4 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο SONEFMUC..	77
Πίνακας 4.5 Οι τιμές του Z-test μεταξύ των ταξινομήσεων στην υγροτοπική περιοχή	77
Πίνακας 4.6. Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο MLC	79
Πίνακας 4.7 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο DS.....	80
Πίνακας 4.8 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο BP.....	80
Πίνακας 4.9. Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο SONEFMUC.	80
Πίνακας 4.10 Οι τιμές του Z-test μεταξύ των ταξινομήσεων στην αγροτική περιοχή .	81
Πίνακας 4.11. Στατιστικά αποτελέσματα της ANOVA για το δείκτη MSHEI.....	84
Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα του Δείκτη I.P.I.	90
Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα του Δείκτη F.P.I.	91
Πίνακας 4.14 Υπολογισμός επιμέρους δεικτών για την εκτίμηση των ιδιοτήτων του υγροτόπου.....	92
Πίνακας 4.15. Εκτίμηση ιδιοτήτων υγροτόπου.....	93
Πίνακας 4.16. Τελική αξιολόγηση των λειτουργιών του υγροτόπου. Παρουσιάζονται οι κανονικοποιημένες τιμές των ιδιοτήτων και σε παρένθεση τα βάρη τους.....	94
Πίνακας 4.17. Παράμετροι ταξινόμησης.....	97

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Είναι γεγονός ότι η πίεση που ασκείται στους φυσικούς πόρους από τον άνθρωπο, λόγω ανάγκης παραγωγής περισσότερων προϊόντων για τη διατροφή και επιβίωση του όλου και αυξανόμενου πληθυσμού της γης, οδηγεί σταθερά στην υποβάθμιση ή καταστροφή τους. Το γεγονός αυτό δημιουργεί την επείγουσα ανάγκη για συγκέντρωση και επεξεργασία πληροφοριών σχετικά με τη σημερινή και βραχυπρόθεσμη ικανότητα των φυσικών πόρων να ανταπεξέλθουν στις ανάγκες και απαιτήσεις των ανθρώπων.

Σημαντικό βήμα για την προστασία του φυσικού περιβάλλοντος, πριν την κατάρτιση σχεδίων αποκατάστασης και διαχειριστικών σχεδίων, είναι αρχικά η χαρτογράφηση της υπάρχουσας κατάστασης, και η παρακολούθηση (monitoring) των ανθρωπογενών πιέσεων. Οι απαιτήσεις που τίθενται για την αποτελεσματική παρακολούθηση των περιβαλλοντικά ευαίσθητων περιοχών δύσκολα μπορούν να καλυφθούν με τις παραδοσιακές μεθόδους παρατήρησης στο πεδίο.

Η τηλεπισκόπηση, η επιστήμη της παρατήρησης εξ αποστάσεως, έχει εξελιχθεί τις τελευταίες δεκαετίες στη δορυφορική τηλεπισκόπηση με αποτέλεσμα μια σειρά πλεονεκτημάτων στην Παρατήρηση της Γης (Earth Observation – EO). Έχουν δοθεί κατά καιρούς πολλοί ορισμοί για την Τηλεπισκόπηση αλλά ο πιο κατάλληλος μπορεί να θεωρηθεί ο ορισμός που έχει δώσει το Εθνικό Κέντρο Τηλεπισκόπησης της Αγγλίας (NRSC). Δηλαδή ότι Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη της απόκτησης και ανάλυσης πληροφοριών, για το περιβάλλον της γης, από ανιχνευτές που δεν βρίσκονται σε φυσική επαφή με το περιβάλλον.

Η τηλεπισκόπηση παρέχει συγκριτικά πλεονεκτήματα έναντι των άλλων μεθόδων συλλογής δεδομένων και κύρια αυτών που χρησιμοποιούν μόνο εργασία υπαίθρου. Πιο συγκεκριμένα η τηλεπισκόπηση δίνει την **ικανότητα της χωρικής αντίληψης** (spatial comprehensiveness) των δεδομένων των δορυφορικών εικόνων σε σχέση με αυτά που συλλέγονται με εργασία πεδίου. Ως αποτέλεσμα της ικανότητας αυτής, η ευκολία προσέγγισης βελτιώνεται, ιδιαίτερα σε περιοχές που είναι μεγάλες και δυσπρόσιτες.

Επίσης, **η κάλυψη των περιοχών πραγματοποιείται γρήγορα** και κατά συνέπεια γίνεται δυνατή η σύγκριση μεταξύ δεδομένων από διάφορες περιοχές.

Επιπλέον, η τηλεπισκόπηση δίνει τη **δυνατότητα της συνοπτικής απεικόνισης μεγάλων περιοχών** σε μια δορυφορική εικόνα, που καθιστά δυνατή την ταυτοποίηση ευρείας κλίμακας διαφοροποιήσεων των φυσιογραφικών στοιχείων της περιοχής.

Ακόμα, **η δυνατότητα διαχρονικών λήψεων** από τους δορυφόρους δίνει την ευκαιρία μελέτης δυναμικών φαινομένων και διαχρονικών συγκρίσεων καθώς και συνεχούς καταγραφής και παρακολούθησης αυτών.

Τέλος, η **λήψη εικόνων σε πολλές ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος** δίνει τη δυνατότητα στον αναλυτή να ανιχνεύσει διαφορές μεταξύ βιοφυσικών στοιχείων, οι οποίες πολλές φορές δεν είναι δυνατό να γίνουν αντιληπτές με την ανάλυση μιας μόνο φασματικής ζώνης.

Η απόκτηση των πληροφοριών αυτών γίνεται κυρίως από τους δορυφόρους (αλλά και από αεροπλάνα) οι οποίοι φέρουν **απεικονιστές** (scanners) και καταγράφουν την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια από την επιφάνεια της γης. Η ανακλώμενη ενέργεια προέρχεται συνήθως από την προσπίπτουσα ηλιακή ενέργεια (**παθητικοί απεικονιστές**) ενώ υπάρχουν και δορυφόροι που στέλνουν ακτινοβολία στην περιοχή των μικροκυμάτων και έπειτα καταγράφουν την εκπεμπόμενη, από τα βιοφυσικά αντικείμενα, ακτινοβολία (**ενεργητικοί απεικονιστές- radar**).

Ένας άλλος διαχωρισμός των παθητικών απεικονιστών, γίνεται σύμφωνα με το τμήμα της ηλιακής ακτινοβολίας το οποίο καταγράφουν. Έτσι υπάρχουν οι **πανχρωματικοί**, οι οποίοι καταγράφουν το οπτικό τμήμα του φάσματος, οι **πολυφασματικοί**, οι οποίοι καταγράφουν την επιφάνεια της γης σε περισσότερα του ενός τμήματος του φάσματος, (συνήθως στο οπτικό και υπέρυθρο), οι **θερμικοί**, οι οποίοι καταγράφουν την εκπεμπόμενη θερμική υπέρυθρη ακτινοβολία, ενώ τελευταία έχουν αναπτυχθεί και οι **υπερφασματικοί** απεικονιστές οι οποίοι καταγράφουν και αυτοί, όπως οι πολυφασματικοί, σε παρά πολλά τμήματα του οπτικού και του υπέρυθρου, με μικρό όμως εύρος φάσματος περίπου 0,01 μm ή 10 nm. Πολλοί δορυφόροι φέρουν περισσότερους από ενός είδους απεικονιστή όπως ο Landsat-7 (Land Satellites) ο οποίος διαθέτει πολυφασματικό, πανχρωματικό και θερμικό απεικονιστή.

Ένα βασικό χαρακτηριστικό των απεικονιστών είναι η **χωρική διακριτική ικανότητα**. Δηλαδή το μικρότερο τμήμα του εδάφους από το οποίο ο απεικονιστής καταγράφει την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια. Το μικρότερο αυτό τμήμα ονομάζεται εικονοστοιχείο ή pixel (picture element) και για τον Landsat είναι 30 x 30 μ., ενώ υπάρχουν δορυφόροι με υψηλότερη διακριτική ικανότητα, όπως ο Quick Bird με 2,4 μ. και άλλοι με χαμηλή διακριτική ικανότητα όπως ο δορυφόρος NOAA με τον απεικονιστή AVHRR με 1,1 χλμ.

Επίσης, η **ραδιομετρική ικανότητα** είναι ένα ακόμη χαρακτηριστικό των δορυφόρων, δηλαδή είναι η ικανότητα, σε κάθε κανάλι, να ανιχνεύσει διαφορές στο ανακλώμενο ή εκπεμπόμενο ραδιομετρικό σήμα. Π.χ. το σήμα στον Θεματικό Χαρτογράφο, TM, του Landsat είναι σε 8 bits (256 διαβαθμίσεις του γκρίζου τόνου) ενώ στον Quick Bird είναι σε 11 bits (2048 διαβαθμίσεις).

Ακόμη, υπάρχει η **φασματική διακριτική ικανότητα** η οποία αφορά 1) στο εύρος των ζωνών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, στο οποίο ο απεικονιστής είναι ευαίσθητος, π.χ. 400-700 nm και 2) σε πόσες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος καταγράφει το ανακλώμενο σήμα.

Τέλος, υπάρχει και η **διαχρονική διακριτική ικανότητα**, ή **χρόνος επαναδιέλευσης**, που αφορά στον χρόνο που απαιτείται για τη διέλευση του δορυφόρου πάνω από την ίδια περιοχή με αποτέλεσμα να έχουμε μια νέα εικόνα της ίδιας περιοχής από τον ίδιο δορυφόρο.

Πλήθος τεχνικών τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται για την χαρτογράφηση και παρακολούθηση των φυσικών και ημι-φυσικών οικοσυστημάτων. Ο στόχος αυτός επιτυγχάνεται μέσα από κατηγορίες ή και σειρά κατηγοριών επεξεργασίας της εικόνας με αποτέλεσμα τη δημιουργία σε δεύτερο επίπεδο, δεικτών (indicators) που περιγράφουν την οικολογική κατάσταση στο υπό εξέταση περιβάλλον. Τέτοιοι δείκτες είναι οι δομικοί δείκτες (structural indicators), οι δείκτες βιοποικιλότητας (biodiversity

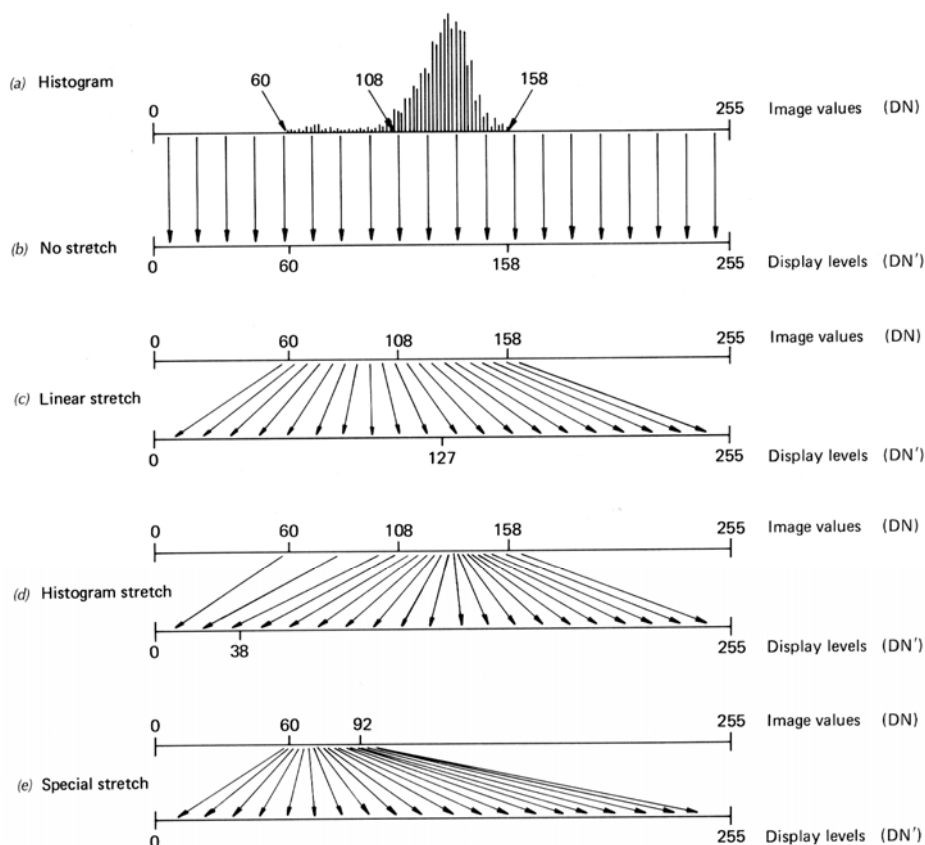
indicators), οι δείκτες λειτουργικής κατάστασης του περιβάλλοντος (functional landscape ecological indicators) και οι δείκτες διαχρονικών αλλαγών (change analysis indicators). Η ανάπτυξη των δεικτών αυτών μπορεί να λάβει υπόψη το πλαίσιο DPSIR (Driving forces-Pressures-State-Impact-Responses) όπως έχει προταθεί από την Ευρωπαϊκή Υπηρεσία Περιβάλλοντος. Οι κατευθυντήριες δυνάμεις (Driving forces) είναι οι αιτίες που οδηγούν σε περιβαλλοντικές πιέσεις (Pressures). Οι πιέσεις με τη σειρά τους διαφαίνονται στην κατάσταση του περιβάλλοντος (State) και εκφράζονται ως επιπτώσεις στο περιβάλλον (Impacts). Η απόκριση στην κατάσταση αυτή (Responses) επηρεάζει τις κατευθυντήριες δυνάμεις και έτσι ολοκληρώνεται ένας κύκλος ανάδρασης.

Για τον υπολογισμό των δεικτών απαιτείται προγενέστερη επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων καθώς και η ταξινόμηση (classification) τους σε καλύψεις/χρήσεις γης, τύπους οικοτόπων, και είδη βλάστησης κ.α., με βάση πληροφορίες που προκύπτουν από δορυφορικά δεδομένα.

Οι επεξεργασίες της εικόνας οι οποίες μπορούν να λάβουν χώρα κατηγοριοποιούνται στις εξής κατηγορίες: ***Διορθώσεις των δορυφορικών δεδομένων, τεχνικές σημείου, τοπικές τεχνικές και τεχνικές της διαχείρισης πολλαπλών εικόνων.***

Οι ***διορθώσεις των δορυφορικών δεδομένων*** έχουν σχέση με λάθη που υπεισέρχονται στην τιμή ανάκλασης του εικονοστοιχείου από λάθη του δορυφόρου ή της ατμόσφαιρας και χωρίζονται σε γεωμετρικές και ραδιομετρικές. Οι γεωμετρικές διορθώσεις έχουν ως στόχο την εύρεση της ακριβούς γεωγραφικής θέσης των εικονοστοιχείων, λόγω των παραμορφώσεων εξαιτίας της κίνησης της γης, του δορυφόρου, της ατράκτου, των υψομετρικών διαφορών, της κύλισης και μετάπτωσης του δορυφόρου κ.α. Τα δορυφορικά δεδομένα παρουσιάζουν συστηματικά και τυχαία σφάλματα. Τα συστηματικά διορθώνονται από τις εταιρίες διάθεσης των δορυφορικών εικόνων ενώ τα τυχαία σφάλματα διορθώνονται από επίπεδα αναφοράς που είναι ήδη διορθωμένα γεωμετρικά με τη βοήθεια σταθερών σημείων επιφάνειας (Ground Control Points, GCPs) που αναγνωρίζονται τόσο στη δορυφορική εικόνα όσο και στο επίπεδο αναφοράς. Οι ραδιομετρικές διορθώσεις πραγματοποιούνται λόγω σφαλμάτων που σχετίζονται με τη γωνία σάρωσης, τις μεταβολές της γωνίας πρόσπτωσης της ηλιακής ακτινοβολίας και το «θόρυβο» του συστήματος, τη διάχυση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα κ.α. Οι ραδιομετρικές διορθώσεις μπορούν να διακριθούν εκ νέου, σε απλές ραδιομετρικές, ατμοσφαιρικές και τοπογραφικές.

Στις ***τεχνικές σημείου*** οι τιμές των εικονοστοιχείων εξαρτώνται από το ιστόγραμμα της εικόνας, οι οποίες μετασχηματίζονται ανάλογα με την περιοχή του ιστογράμματος που βρίσκονται. Τέτοιοι αλγόριθμοι είναι ο *καταμερισμός του τόνου* και η *διεύρυνση της αντίθεσης*. Η διεύρυνση της αντίθεσης έχει σχέση με τη διεύρυνση των ραδιομετρικών τιμών στη κλίμακα 0-255 γιατί σε μία εικόνα συνήθως το εύρος τιμών είναι μικρότερο από τη κλίμακα 0-255. Η διεύρυνση αυτή μπορεί να είναι γραμμική, η οποία διαχειρίζεται με τον ίδιο τρόπο όλα τα εικονοστοιχεία, ή με βάση το ιστόγραμμα των εικόνων (histogram equalization stretch) όπου τα εικονοστοιχεία εικόνας εισόδου λαμβάνουν στην εικόνα εξόδου τιμές ανάλογες με τη συχνότητα παρουσίας τους.



Σχήμα 1.1. Διάφορες μορφές της διεύρυνσης της αντίθεσης (Lillesand και Kiefer, 1994)

Στις **τοπικές τεχνικές**, η ραδιομετρική τιμή ενός εικονοστοιχείου εξαρτάται από τις ραδιομετρικές τιμές των γειτονικών εικονοστοιχείων, επειδή ο αλγόριθμος που χρησιμοποιείται λαμβάνει υπόψη τις ραδιομετρικές τιμές των γειτονικών εικονοστοιχείων για τη δημιουργία της νέας εικόνας εξόδου. Τέτοιοι αλγόριθμοι είναι το *χωρικό φιλτράρισμα*, η *ανάλυση Fourier* και ο *τονισμός των ορίων* (edge enhancement). Ειδικότερα, στην εικόνα εφαρμόζονται κινούμενα παράθυρα 3 x 3, 5 x 5, ή 7 x 7, τα οποία μετατρέπουν την τιμή του μεσαίου εικονοστοιχείου με διάφορες αλγεβρικές σχέσεις. Για παράδειγμα υπάρχουν τα φίλτρα χαμηλής συχνότητας στα οποία το κεντρικό pixel υπολογίζεται από το μέσο όρο των υπολοίπων, με αποτέλεσμα να απαλύνονται διακυμάνσεις του τόνου (μείωση της αδρότητας), και τα φίλτρα υψηλής συχνότητας όπου τονίζονται οι διαφορές μεταξύ των γειτονικών εικονοστοιχείων (αύξηση της αδρότητας). Τέτοιου είδους φίλτρα απεικονίζονται στο σχήμα 1.2.

1	1	1
1	1	1
1	1	1

(α)

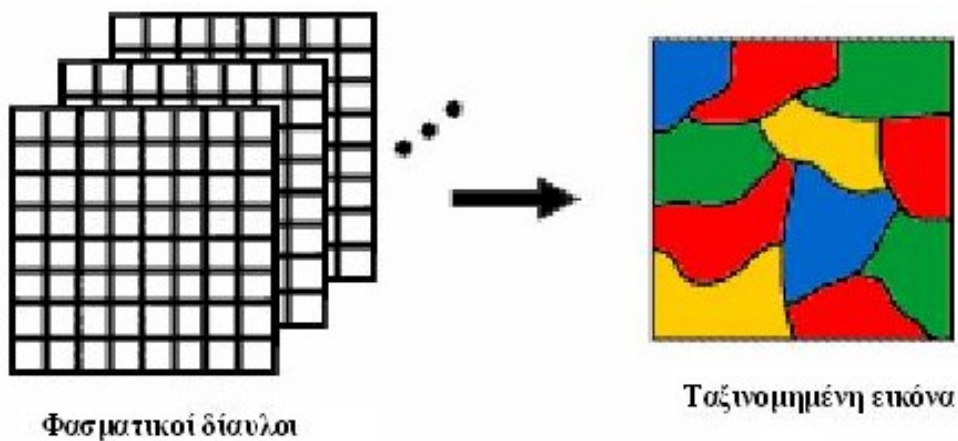
1	1	1
1	8	1
1	1	1

(β)

Σχήμα 1.2. Χωρικά φίλτρα 3 x 3 εικόνας. Αριστερά χαμηλής συχνότητας φίλτρο (α) και δεξιά υψηλής συχνότητας (β).

Στις *τεχνικές της διαχείρισης πολλαπλών εικόνων* οι εικόνες εξόδου δημιουργούνται από τη διαίρεση (ή και από άλλες αλγεβρικές ή μη πράξεις) δύο διαύλων της ίδιας εικόνας. Το πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι από τη μία διατηρούνται τα φασματικά χαρακτηριστικά της εικόνας και από την άλλη οι εικόνες που προκύπτουν αποκαλύπτουν λεπτές διαφορές στην φωτεινότητα της εικόνας. Τέτοιου είδους αλγόριθμοι είναι οι *Δείκτες Βλάστησης* και η *Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών* (Principal Component Analysis, PCA).

Η βασικότερη όμως επεξεργασία της εικόνας η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση και παρακολούθηση των φυσικών και ημι-φυσικών οικοσυστημάτων είναι η ταξινόμηση (classification), δηλαδή η μετατροπή των ραδιομετρικών τιμών των εικονοστοιχείων σε διάφορες κλάσεις (σχήμα 1.3), οι οποίες είτε έχουν οριστεί εξ αρχής είτε όχι με σκοπό τη διάκριση βιοφυσικών στοιχείων χρησιμοποιώντας διάφορους αλγόριθμους οι οποίοι ονομάζονται ταξινομητές.



Σχήμα 1.3. Ταξινόμηση εικόνας

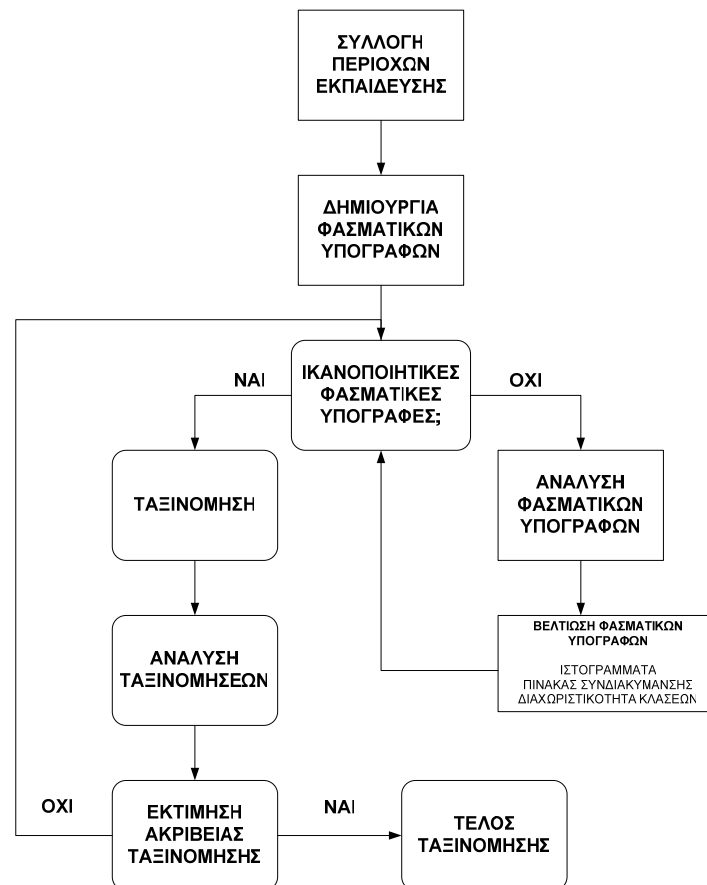
Υπάρχουν διαφόρων ειδών ταξινομήσεις και διαφόρων ειδών ταξινομητές. Ένας τρόπος κατηγοριοποίησης των ταξινομήσεων είναι σε Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised Classification), Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised Classification) και Υβριδική ταξινόμηση (Hybrid Classification), ενώ μία κατηγοριοποίηση των ταξινομητών είναι σε στατιστικούς ταξινομητές και σε ταξινομητές που βασίζονται στη θεωρία των νευρωνικών δικτύων.

Η *μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση* χρησιμοποιεί ταξινομητές για να αποκαλύψει διακριτές φασματικές δομές στην εικόνα, με την παραδοχή ότι αυτές οι δομές αντιπροσωπεύουν καλύψεις γης. Για τη χρησιμοποίηση αυτών των ταξινομητών το μόνο που απαιτείται από τον αναλυτή, είναι ο αριθμός των κλάσεων, χωρίς όμως να γίνεται ταυτοποίηση των κλάσεων με τις καλύψεις γης. Για να το πραγματοποιήσει αυτό ο αναλυτής θα πρέπει να έχει την ανάλογη εμπειρία, ή να επισκεφτεί την υπό μελέτη περιοχή, ή να διαθέτει και άλλα ψηφιακά δεδομένα για τη διάκριση των βιοφυσικών στοιχείων.

Η **επιβλεπόμενη ταξινόμηση** χρησιμοποιεί ταξινομητές που αξιολογούν την πιθανότητα ότι κάθε εικονοστοιχείο ανήκει σε μία ή περισσότερες από τις κλάσεις οι οποίες όμως ορίζονται από τον αναλυτή μέσω περιοχών εκπαίδευσης (training sites) Δηλαδή αναγνωρίζονται στην εικόνα περιοχές οι οποίες αντιπροσωπεύουν τις διάφορες κλάσεις, είτε μέσω εργασίας υπαίθρου, είτε μέσω φωτοερμηνείας, είτε από άλλα γεωγραφικά δεδομένα, και σύμφωνα με αυτές τις περιοχές εκπαίδευσης ταξινομείται όλη η εικόνα της περιοχής. Επομένως η βασική διαφορά με την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι ότι οι κλάσεις είναι ήδη γνωστές ή θεωρούνται ότι είναι ήδη γνωστές πριν εφαρμοστεί ο αλγόριθμος της ταξινόμησης.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση αν και φέρει πλεονεκτήματα έναντι της επιβλεπόμενης ταξινόμησης δεν μπορεί να δημιουργήσει κατ' ανάγκη πραγματικές κατηγορίες καλύψεις γης από τις φασματικές κατηγορίες που δημιουργούνται, ενώ κρίνεται δύσκολη και η σύγκριση με τις πραγματικές κατηγορίες σε διαχρονική βάση (Καρτέρης, 1994). Γι' αυτό το λόγο, η χρήση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης, περιορίζεται συνήθως σε περιπτώσεις που υπάρχει έλλειψη δεδομένων πεδίου ή σε περιπτώσεις όπου εφαρμόζεται μαζί με επιβλεπόμενη ταξινόμηση δημιουργώντας υβριδικές ταξινομήσεις για την αύξηση της ποσοτικής ακρίβειας της ταξινόμησης (Chilar 1998).

Η ταξινόμηση και ειδικά η επιβλεπόμενη ταξινόμηση (σχήμα 1.4), δεν αποτελεί μία απλή επεξεργασία μιας δορυφορικής εικόνας, αλλά μία διαδικασία από επεξεργασίες, όπως είναι τα δεδομένα εισόδου για την ταξινόμηση, η συλλογή και ο τρόπος συλλογής των δειγματοληπτικών περιοχών, η εφαρμογή του αλγορίθμου ταξινόμησης καθώς και η εκτίμηση και ο τρόπος εκτίμησης ακρίβειας της ταξινόμησης. Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα της ταξινόμησης και της ακρίβειάς της σε σχέση με την πραγματικότητα με αποτέλεσμα να είναι διαθέσιμη πλούσια διεθνή βιβλιογραφία με περιπτώσεις προβλημάτων ταξινόμησης που προσδοκούν στην όσο το δυνατόν μεγαλύτερη ακρίβεια του αποτελέσματος. Επίσης έρευνα πραγματοποιείται, για τρόπους εφαρμογής τέτοιων αποτελεσμάτων με τη χρήση επιπλέον ή όχι γεωγραφικών δεδομένων για την ανάπτυξη δεικτών που χαρακτηρίζουν την οικολογική κατάσταση μιας περιοχής. Γι' αυτό το λόγο στα επόμενα υποκεφάλαια εμφανίζεται ο σκοπός της εργασίας και επιχειρείται μία εκτενής ανασκόπηση βιβλιογραφίας που έχει σχέση με την ταξινόμηση των δορυφορικών δεδομένων καθώς και με την ανάπτυξη και υπολογισμό περιβαλλοντικών δεικτών από γεωγραφικά δεδομένα και δεδομένα τηλεπισκόπησης..



Σχήμα 1.4. Βήματα για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση

1.1 Σκοπός Εργασίας

Λαμβάνοντας υπόψη όλων των παραπάνω εμφανίζεται η ανάγκη για την καταγραφή και παρακολούθηση των χειρσαίων ημι-φυσικών οικοσυστημάτων μέσω περιβαλλοντικών δεικτών οι οποίοι μπορούν να υπολογιστούν από την ταξινόμηση δορυφορικών δεδομένων η οποία όμως παρουσιάζει προβλήματα ακρίβειας από διάφορους παράγοντες όπως το σύστημα ταξινόμησης, οι δειγματοληπτικές περιοχές, τα χαρακτηριστικά της δορυφορικής εικόνας, τα δεδομένα εισόδου και τον αλγόριθμο της ταξινόμησης.

Ο σκοπός της εργασίας είναι η διερεύνηση της ταξινόμησης δορυφορικής εικόνας υπέρ – υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας σε μία οικολογικά ευαίσθητη περιοχή με διαφορετικούς αλγορίθμους ταξινόμησης που βασίζονται σε στατιστικούς παραμέτρους, την ασαφή λογική και την αρχιτεκτονική νευρωνικών δικτύων, λαμβάνοντας υπόψη το ίδιο σύστημα ταξινόμησης, τις ίδιες δειγματοληπτικές περιοχές και τα ίδια δεδομένα εισόδου. Επίσης, απώτερος σκοπός είναι η χρησιμοποίηση των ταξινομήσεων ως δεδομένο εισόδου για την ανάπτυξη περιβαλλοντικών χωρικών δεικτών.

Ειδικότερα αντικειμενικοί στόχοι της εργασίας είναι 1) η ποσοτική σύγκριση των ταξινομήσεων που εφαρμόστηκαν από διαφορετικούς ταξινομητές 2) η ποιοτική σύγκριση αυτών χρησιμοποιώντας οπτική φωτοερμηνεία και εισάγοντας νέους ποσοτικούς δείκτες και 3) ο υπολογισμός και η ανάπτυξη περιβαλλοντικών χωρικών

Ειδικότερα αντικειμενικοί στόχοι της εργασίας είναι 1) η ποσοτική σύγκριση των ταξινομήσεων που εφαρμόστηκαν από διαφορετικούς ταξινομητές 2) η ποιοτική σύγκριση αυτών χρησιμοποιώντας οπτική φωτοερμηνεία και εισάγοντας νέους ποσοτικούς δείκτες και 3) ο υπολογισμός και η ανάπτυξη περιβαλλοντικών χωρικών δεικτών σύμφωνα με το μοντέλο DPSIR που προτείνει η Ευρωπαϊκή υπηρεσία Περιβάλλοντος με τη συμβολή δεικτών τοπίου.

1.2 Ανάλυση τεχνικών και προβλημάτων ταξινόμησης

Ένα από τα βασικά συστατικά της ταξινόμησης αποτελεί ο αλγόριθμος της ταξινόμησης. Οι πρώτοι αλγόριθμοι ταξινόμησης οι οποίοι έχουν προταθεί βασίζονταν σε στατιστικές παραμέτρους των δεδομένων εισόδου, δηλαδή των καναλιών των δορυφορικών εικόνων, οι οποίοι χρησιμοποιούν αναλυτικά εργαλεία από την θεωρία των πιθανοτήτων για την κατηγοριοποίηση των αντικειμένων. Τέτοιου είδους αλγόριθμοι είναι οι k Nearest - Neighborhood, Maximum Likelihood Classifiers (MLC), Bayesian (Duda and Hart, 1973) κ.α., και παραμένουν από τους πιο διαδεδομένους στο πεδίο της δορυφορικής τηλεπισκόπησης (Zenko et al., 1987) λόγω της ευκολίας υπολογισμού τους και της διαθεσιμότητάς τους από πλήθος εμπορικών λογισμικών ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων.

Παρόλα αυτά, λόγω του σαφή και απότομου τρόπου καθορισμού των καλύψεων γης και ειδικότερα της κατηγορίας της βλάστησης στην οποία ανήκει ένα pixel ('hard' classification) και της πολυπλοκότητας του προβλήματος (αναμεμειγμένα είδη βλάστησης, μέγεθος εικονοστοιχείου, κλιματολογικές αλλαγές, καιρικές συνθήκες, ανομοιογένεια ειδών βλάστησης, κλίση εδάφους), οι κλασικές στατιστικές τεχνικές δεν παρουσιάζουν ικανοποιητική επίδοση ταξινόμησης. Επίσης μία από τις μεγαλύτερες δυσκολίες στη χαρτογράφηση και ταξινόμηση των ημιφυσικών οικοσυστημάτων έγκειται στην άτακτη μίξη των τύπων κάλυψης εδάφους, η οποία προκαλεί προβλήματα στις παραδοσιακές μεθόδους ταξινόμησης, λόγω της έλλειψης 'καθαρών' εικονοστοιχείων (pure pixels) και δυνατότητα αντιστοίχισης. Για την αντιμετώπιση της ασάφειας στην ταξινόμηση ενός pixel, αρκετοί ερευνητές χρησιμοποίησαν τις αρχές της ασαφούς λογικής (fuzzy logic). Η χρήση ασαφών συστημάτων σε προβλήματα ταξινόμησης οδήγησε στην ανάπτυξη νέων, πιο αποτελεσματικών ασαφών αλγορίθμων ταξινόμησης ('soft' classification), όπως ο Fuzzy C-Means Clustering, Fuzzy Maximum Likelihood κ.τ.λ., με ικανοποιητικά αποτελέσματα (Bardossy and Samaniego, 2002, Wang, 1990).

Σημαντικό επίσης βήμα στην δορυφορική τηλεπισκόπηση έγινε με την εφαρμογή διαφόρων μοντέλων νευρωνικών δικτύων μετά τα τέλη της δεκαετίας του '80, όπως μεθόδων Back-Propagation MLP (Serpico and Roli, 1995), ART Neural Networks (Baraldi and Parmiggiani, 1995) και RBF Neural Networks (Keramitzoglou et al., 2006), ενώ λιγότερη εφαρμογή έχουν τύχει τα δίκτυα Hamming (Lippman, 1987) και Carpenter/Grossberg (Cohen et al., 1983), τα οποία χρησιμοποιούνται για μη επιβλεπόμενες μεθόδους. Η ταξινόμηση των δορυφορικών δεδομένων με νευρωνικά δίκτυα ακολουθούν εντελώς διαφορετική οδό από την στατιστική ταξινόμηση ή από έμπειρα συστήματα γιατί η επεξεργασία που λαμβάνει χώρα σχετίζεται με ιδιότητες της αρχιτεκτονικής του δικτύου και όχι από στατιστικές παραμέτρους και λογικούς

κανόνες. Παρόλο που τα νευρωνικά δίκτυα παρουσιάζουν καλύτερα αποτελέσματα, παραμένει το πρόβλημα της επιλογής της δομής τους, της ύπαρξης μεγάλου αριθμού παραμέτρων των μοντέλων που προκύπτουν, μεγάλων σφαλμάτων ταξινόμησης στην φάση ελέγχου (low classification rate) και συνεπώς χαμηλής ικανότητας γενίκευσης (generalization capability). Γι' αυτό το λόγο έχουν προταθεί διάφορες τροποποιήσεις που αποσκοπούν στη βελτίωση του αποτελέσματος και της ταχύτητας των νευρωνικών δικτύων όπως η εισαγωγή της παραμέτρου momentum στο δίκτυο Back- Propagation (Tso and Mather 2003, Σταθάκης 2003).

Μία από αυτές τις τροποποιήσεις των νευρωνικών δικτύων είναι ο συγκερασμός τα τελευταία χρόνια των πλεονεκτημάτων από την ασαφή λογική και τη δημιουργία ασαφών νευρωνικών δικτύων. Λόγω όμως αυτής της νέας τάσης η διεθνής βιβλιογραφία έχει να επιδείξει, μέχρι σήμερα, πολύ περιορισμένα βήματα προς αυτή την κατεύθυνση (Lin et al., 2000).

Η ακρίβεια του αποτελέσματος της ταξινόμησης και ειδικότερα στα νευρωνικά δίκτυα επηρεάζεται άμεσα από τον όγκο και την ποιότητα των δεδομένων εισόδου τα οποία συνήθως αποτελούν τα κανάλια καταγραφής της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας του δορυφόρου. Η χρήση όμως των λογισμικών τηλεπισκόπησης και γενικότερα των ηλεκτρονικών υπολογιστών δίνει τη δυνατότητα για την αύξηση των δεδομένων εισόδου χρησιμοποιώντας επιπλέον γεωγραφικά δεδομένα ή πληροφορία που προκύπτει από τα ήδη υπάρχοντα κανάλια. Ειδικότερα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τοπογραφικές παράμετροι όπως είναι το υψόμετρο και η κλίση του εδάφους. Επίσης μπορούν να συμμετέχουν στην ταξινόμηση και άλλες θεματικές πληροφορίες όπως η γεωλογία και η εδαφολογία της περιοχής οι οποίες όμως δεν μπορούν να συμπεριληφθούν στη ταξινόμηση με στατιστικές παραμέτρους λόγω του ότι αποτελούν ασυνεχή δεδομένα. Από την άλλη πλευρά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως δεδομένα εισόδου ενδιάμεσα στάδια ανάλυσης της εικόνας που στηρίζονται σε επιπλέον φασματική και χωρική πληροφορία των καναλιών. Τέτοιου είδους δεδομένα αποτελούν φασματικοί δείκτες βλάστησης όπως ο NDVI (Tucker et. al., 1973) ο γραμμικός μετασχηματισμός Tasseled Cap (Kauth and Thomas 1976), απλά χωρικά φίλτρα, τα φίλτρα Co-occurrence που βασίζονται στον *grey level co-occurrence matrix*, *GLCM* (Haralick et.al., 1992) και οι κυματοειδείς συναρτήσεις, *wavelets* (Lin et.al, 2000),

Σε πολλές περιπτώσεις κρίνεται πολύ χρήσιμη η συμβολή αυτών των δεδομένων στην ταξινόμηση ειδικά στις ραντάρ εικόνες όπου υπάρχει μόνο ένα επίπεδο εισόδου. Για παράδειγμα ο Kuntz and Siegert (1998), χρησιμοποίησαν στατιστικά φίλτρα διακύμανσης σε εικόνα ERS για τη χαρτογράφηση δασών στην Ινδία ενώ οι Alexandridis et. al., (2008) ακολούθησαν την ίδια μεθοδολογία για την χαρτογράφηση των μυδοκαλλιεργειών που απαντώνται στο Δέλτα του Αξιού στη Βόρειο Ελλάδα. Επίσης, ένα άλλο δεδομένο που χρησιμοποιείται στην ταξινόμηση είναι ο δείκτης βλάστησης NDVI ειδικά για προβλήματα ταξινόμησης καλλιεργειών (Cohen and Soshany 2003).

Στα παραπάνω παραδείγματα εμφανίζεται ότι η δράση των παραπάνω τεχνικών βελτιώνει την ακρίβεια της ταξινόμησης, παρόλα αυτά υπάρχει ένα όριο μετά το πέρας του οποίου η ακρίβεια παραμένει αμετάβλητη ή ακόμη και μειώνεται φαινόμενο το οποίο είναι γνωστό με το όνομα Hughes (Foody et. al., 1997, Benediktson et.al., 1997).

Αυτό έχει ως συνέπεια τη χρονοβόρα διαδικασία της ταξινόμησης με αποτέλεσμα να έχουν προταθεί διάφοροι τρόποι για την μείωση των δεδομένων εισόδου.

Ο πιο απλός, αλλά επίπονος και χρονοβόρος τρόπος, είναι η διαδικασία επανάληψης της ταξινόμησης με διαφορετικό σετ δεδομένων (trial and error process) και ο έλεγχος της ακρίβειας του αποτελέσματος (Tso and Mather 2003).

Ένας άλλος τρόπος είναι η συμπίεση των δεδομένων σε νέα δεδομένα αριθμητικά λιγότερα όπου η συσχέτισή τους είναι μηδενική. Αυτή η τεχνική ονομάζεται Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis, PCA) και εφαρμόζεται σε τρία στάδια: τον υπολογισμό της διακύμανσης και συνδιακύμανσης των δεδομένων εισόδου, τον υπολογισμό των ιδιοτιμών (eigenvalues) και την μετατροπή των συντεταγμένων του χώρου σε νέες χρησιμοποιώντας τις ιδιοτιμές αυτές. Αυτή η τεχνική εφαρμόζεται συνήθως όταν υπάρχουν πολλές διαχρονικές εικόνες μιας περιοχής όπου το αποτέλεσμα της ταξινόμησης δεν είναι ένας θεματικός χάρτης με κάλυψεις/χρήσεις γης αλλά κλάσεις που αντιπροσωπεύουν αλλαγές αυτών. Μία τέτοια προσπάθεια έγινε από τους Hayes και Sader (2001) οι οποίοι συγκρίνανε την ανάλυση κυρίων συνιστωσών με άλλες τεχνικές ανίχνευσης αλλαγών, για την αποψίλωση των τροπικών δασών και την αναγέννηση της βλάστησης στη Γουατεμάλα και βρήκαν ότι η μέθοδος παρείχε την υψηλότερη ακρίβεια που έφτανε στο 85%, ενώ ο Sunar (1998) σύγκρινε την υπέρθεση εικόνων, την αφαίρεση εικόνων, την ανάλυση κυρίων συνιστωσών και την μέθοδο της μετά-ταξινόμησης (post-classification technique) στην ανίχνευση αλλαγών στην περιοχή Iketeli της Κωνσταντινούπολης, και κατέληξε στο ότι η ανάλυση κυρίων συνιστωσών και μέθοδος της μετά- ταξινόμησης (post-classification) ανέδειξαν διαφορές που αποδίδονται σε αλλαγές αλλά κάθε μέθοδος είχε τη συνεισφορά της ανάλογα με το περιεχόμενο της πληροφορίας.

Εκτός από την PCA έχουν προταθεί και άλλες μέθοδοι συμπίεσης των δεδομένων όπως η Maximum Noise Fraction (MNF), η οποία παίρνει υπόψη της και τον θόρυβο που υπάρχει στα κανάλια τον οποίο πρώτα αφαιρεί και έπειτα ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως και στην PCA. Η χρήση της MNF χρησιμοποιείται κυρίως σε περιπτώσεις όπου υπάρχουν υπερφασματικά δεδομένα από αεροπλάνα όπως το AVIRIS (Harshanyi and Chang, 1994) ή από δορυφόρους όπως ο Hyperion (Datt et.al., 2003) λόγω της μεγάλης συσχέτισης και του εγγενούς θορύβου των καναλιών που είναι ευαίσθητα στην ίδια περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

Ένας τρίτος τρόπος για την μείωση των δεδομένων εισόδου είναι η εφαρμογή κριτηρίων διαχωριστικότητας με βάση τα δεδομένα εκπαίδευσης για την επιλογή ενός υποσυνόλου των δεδομένων όπου η διαχωριστικότητα είναι η μέγιστη μεταξύ όλων των κλάσεων. Υπάρχουν διάφορα κριτήρια διαχωριστικότητας με πιο σημαντικά το κριτήριο του *Transform Divergence* και το κριτήριο των *Jeferries – Matusita, JM* (Swain and Davis, 1978). Σύμφωνα με το Jensen (1996), ο δείκτης Transform Divergence όπως και ο δείκτης JM, παρουσιάζουν μία εκθετική μείωση όταν οι αποστάσεις μεταξύ των κλάσεων μεγαλώνουν. Οι τιμές του Transform Divergence κυμαίνονται από 0 έως 2000 όπου οι τιμές μεταξύ 1900 έως 2000, υποδεικνύουν ότι οι κλάσεις είναι διαχωρίσιμες. Ο δείκτης JM παρουσιάζει μεγαλύτερη συμπεριφορά κορεσμού, ωστόσο ο χρόνος υπολογισμού είναι μεγαλύτερος από τον Transform Divergence.

Τέλος, τη δυνατότητα επιλογής του κατάλληλου υποσυνόλου δεδομένων μπορούν να δώσουν και τα νευρωνικά δίκτυα με κατάλληλες βελτιώσεις, όπως τα δίκτυα Kohonen (1989), όπου η δομή τους (Self – Organised) τα επιτρέπει να χωρίζουν τα δείγματα σε αυτά που μπορούν εύκολα να ταξινομηθούν και σε αυτά που χρειάζονται περαιτέρω διερεύνηση. Τα τελευταία μπορούν να εκπαιδεύσουν περαιτέρω το νευρωνικό δίκτυο χρησιμοποιώντας διάφορους αλγόριθμους, όπως ο learning vector quantisation (LVQ), για να αυξηθεί η αναγνώριση των κλάσεων της ταξινόμησης (Pal et. al., 1993, Kangas et.al., 1990)

Ένα άλλο χαρακτηριστικό των δορυφορικών δεδομένων που επηρεάζει το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι και η κλίμακα μέτρησης που συσχετίζεται με το μέγεθος του εικονοστοιχείου. Μεγάλο μέγεθος εικονοστοιχείου υποδηλώνει μεγαλύτερη πιθανότητα για ‘μικτά’ εικονοστοιχεία που πιθανότατα αντιπροσωπεύουν περισσότερες από μία καλύψεις γης ενώ μικρό μέγεθος εικονοστοιχείου υποδηλώνει λεπτομερής ακρίβεια άρα και μεγάλο αριθμό κλάσεων στο σύστημα ταξινόμησης ο οποίος μειώνει την ακρίβεια του αποτελέσματος. Επομένως η επιλογή του απεικονιστή με την κατάλληλη κλίμακα αποτελεί σημαντική παράμετρο για την ταξινόμηση και εξαρτάται από την εκάστοτε έρευνα η οποία γίνεται και το αποτέλεσμα το οποίο επιθυμείται (Raptis et al., 2003). Γι’ αυτό άλλωστε δεν είναι αναμενόμενο μία μόνο κλίμακα μέτρησης να χρησιμοποιείται σε όλες τις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης (Forshaw et al., 1983).

Μία άλλη κατηγορία τεχνικών για την αύξηση της ακρίβειας της ταξινόμησης αποτελεί η σύζευξη αριθμών ταξινομήσεων (Fusion Classification) όπου πολλές ταξινομήσεις μπορούν να συνδυαστούν και με ένα κριτήριο απόφασης να δημιουργήσουν μία νέα τελική ταξινόμηση. Οι Kunchava et.al (2003) προτείνει μεταξύ άλλων 19 τέτοιες τεχνικές, που αναφέρονται σε ανελαστικούς και ελαστικούς ταξινομητές, και οι οποίες λαμβάνουν υπόψη τις αρχικές δειγματοληπτικές περιοχές και τον τρόπο με τις οποίες κάθε ταξινόμηση τις ταξινομεί. Οι πιο σημαντικές από αυτές είναι η επιλογή της επικρατούσας τιμής (majority voting), η γνώση της συμπεριφοράς των ταξινομήσεων απέναντι στα δεδομένα πεδίου (*Behaviour Knowledge Structure, B.K.S.*) η ασαφής ολοκλήρωση (*Fuzzy Integral F.I.*) κ.α.

Οι Lin et. al. (2000) συνδυάζουν τέτοιου είδους ταξινομήσεις αλλά όχι από διαφορετικούς ταξινομητές, αλλά από τον ίδιο σε διαφορετική ομάδα δεδομένων. Ειδικότερα, υπολογίζουν διάφορα φασματικά και χωρικά δεδομένα που προκύπτουν από την αρχική εικόνα και πάνω σε αυτά και ξεχωριστά, εφαρμόζουν τον ίδιο αλγόριθμο ταξινόμησης. Το αποτέλεσμα της τελικής ταξινόμησης τους, συγκρίθηκε με το αποτέλεσμα του παραμετρικού ταξινομητή της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Classifier) όπου βρέθηκε ότι η ακρίβεια αυξήθηκε κατά 2.5%.

Βέβαια η ακρίβεια της ταξινόμησης επηρεάζεται και από το σύστημα ταξινόμησης το οποίο χρησιμοποιείται κάθε φορά (Oetter et.al., 1995), δηλαδή τον αριθμό των κλάσεων και τις κλάσεις οι οποίες χρησιμοποιούνται, και κατά πόσο αυτές μπορούν να διαχωριστούν στο φασματικό χώρο. Ένα από τα προβλήματα ταξινόμησης αποτελεί και η ταξινόμηση καλλιεργείων (crop classification) όπου στο σύστημα ταξινόμησης (Classification Scheme) συμμετέχουν οι καλλιέργειες της εκάστοτε περιοχής έρευνας οι οποίες παρουσιάζουν μικρή φασματική διαχωριστική ικανότητα με αποτέλεσμα την μικρή ακρίβεια ταξινόμησης. Τέτοιου είδους προβλήματα για την ταξινόμηση των καλλιεργείων αντιμετωπίζονται συνήθως με τη χρήση διαχρονικών δορυφορικών

εικόνων (Dutta et. al., 1994,) μέσα σε μία καλλιεργητική περίοδο ώστε να αυξάνεται η διαχωριστικότητα των καλλιεργειών λόγω των διαφορετικών φαινολογικών σταδίων που εμφανίζουν μέσα σε αυτή.

Όλα τα παραπάνω προβλήματα και οι προτάσεις οι οποίες έχουν πραγματοποιηθεί από τους ερευνητές έχουν κατά πρώτο λόγο την αύξηση της ακρίβειας του παραγόμενου θεματικού χάρτη. Η ακρίβεια των θεματικών χαρτών ξεκίνησε από νωρίς να απασχολεί την επιστημονική κοινότητα λόγω της ανάγκης εύρεσης της πηγής των λαθών και της προσπάθειας αφαίρεσης τους. Ο υπολογισμός της ακρίβειας της ταξινόμησης δεν ήταν πάντοτε ο ίδιος αλλά διέφερε κατά χρονικούς περιόδους.

Ο Congalton (1994) κάνοντας μία ιστορική αναδρομή διακρίνει τέσσερα στάδια για τον τρόπο εκτίμησης της ακρίβειας. Το πρώτο στάδιο αναφέρεται στην απροσδιόριστη χωρικά εκτίμηση (non-site specific assessment), όπου η εκτίμηση πραγματοποιούνταν με τον υπολογισμό των εκτάσεων των κλάσεων και συγκρινόταν με τις εκτάσεις των καλύψεων γης όπως υπήρχαν σε δεδομένα αναφοράς (reference data). Επίσης πραγματοποιούνταν και οπτική εκτίμηση του αποτελέσματος μεταξύ της ταξινομημένης εικόνας και του χάρτη αναφοράς για τη διάκριση και σύγκριση των σχημάτων των πολυγώνων έτσι όπως προήλθαν από την ταξινόμηση. Αυτού του είδους όμως η εκτίμηση εμφανίζει προφανείς περιορισμούς, με αποτέλεσμα η διεθνής επιστημονική κοινότητα να στραφεί σε μία χωρική εκτίμηση της ακρίβειας (site-specific assessment) όπου αναγνωριζόταν ένας αριθμός σημείων στο θεματικό χάρτη και ακριβώς οι ίδιες θέσεις στα δεδομένα αναφοράς και υπολογιζόταν η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης (Overall Accuracy) εκφρασμένη σε ποσοστιαία αναλογία. Το τρίτο στάδιο της εκτίμησης συμπεριλαμβάνει και τον πίνακα λαθών (*Error Matrix*), ο οποίος είναι ένας τετραγωνικός πίνακας $n \times n$ όπου n ο αριθμός των κλάσεων. Οι στήλες του πίνακα απεικονίζουν τα δεδομένα αναφοράς και οι γραμμές τα ταξινομημένα δεδομένα. Η διαγώνιος του πίνακα παρουσιάζει τα δεδομένα αναφοράς που ταξινομήθηκαν στη σωστή κατηγορία και το άθροισμά τους προς το συνολικό αριθμό του δείγματος αντιπροσωπεύει την συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης. Είναι φανερό δηλαδή ότι η ανάλυση του πίνακα λαθών δε δείχνει μόνο τη συνολική ακρίβεια της ταξινόμησης, αλλά και την κατανομή των λαθών της ταξινόμησης η οποία απεικονίζεται στα μη διαγώνια στοιχεία του πίνακα. Τα λάθη αυτά μπορούν να διακριθούν σε δύο κατηγορίες τα λάθη πρόσθεσης (commission errors), δείγματα δηλαδή που έχουν συμπεριληφθεί σε λάθος κατηγορίες, και τα λάθη παράλειψης (omission errors), δείγματα που έχουν παραλειφθεί από την σωστή κατηγορία. Λόγω αυτών των δύο κατηγοριών έχουν δημιουργηθεί και οι δείκτες ακρίβειας του χρήστη (User's accuracy), ο οποίος υπολογίζει τα λάθη πρόσθεσης, και ακρίβειας της ταξινόμησης ή παραγωγού (Producer's accuracy), ο οποίος υπολογίζει τα σφάλματα παράλειψης για κάθε κλάση. Το τέταρτο και τελευταίο στάδιο είναι σχετικά νέο και βασίζεται σε στατιστικούς δείκτες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για τον προσδιορισμό αν το αποτέλεσμα της ταξινόμησης είναι σημαντικό ή τυχαίο. Ένας από αυτούς τους δείκτες είναι και ο Kappa (K) όπου αποτελεί μία πολυμεταβλητή ανάλυση και χρησιμοποιείται για το στατιστικό προσδιορισμό, εάν ένας 'πίνακας λαθών – error matrix' είναι σημαντικά διαφορετικός από ένα άλλο (Congalton and Green, 1999). Το αποτέλεσμα της εφαρμογής της "Kappa" ανάλυσης είναι ο συντελεστής 'KHAT'. Ο συντελεστής αυτός βασίζεται στην διαφορά μεταξύ της 'πραγματικής' σύμπτωσης του πίνακα λαθών και της τυχαίας σύμπτωσης

(Bishop et. al., 1975). Ένας άλλος στατιστικός δείκτης ο οποίος δείχνει τη σημαντικότητα της ταξινόμησης έναντι του τυχαίου αποτελέσματος είναι ο Z ο οποίος μπορεί να υπολογίσει και τη σημαντικότητα 2 ανεξάρτητων τιμών K όπου προήλθαν από διαφορετική ταξινόμηση.

Ο υπολογισμός όμως της ακρίβειας της ταξινόμησης δεν πραγματοποιείται συνήθως από τους ερευνητές με σωστό τρόπο. Για παράδειγμα ο Trodd (1995) αναλύοντας 84 ταξινομήσεις σε 25 διεθνείς εργασίες κατά την *‘εποχή του πίνακα λαθών’* βρήκε ότι μόνο το 60% τον χρησιμοποίησε ενώ μόλις το 48% παρουσίασε 2 ή περισσότερους ποσοτικούς δείκτες (συνολική ακρίβεια και K). Από την άλλη πλευρά, ο Foody επισημαίνει προβλήματα τα οποία παρουσιάζονται από την εκτίμηση της ακρίβειας της ταξινόμησης και απορρέουν από την στατιστική ανάλυση των σημείων που συμμετέχουν στην ακρίβεια των σημείων. Διακρίνει οκτώ κατηγορίες σφάλματων ή παραμέτρων που δεν λαμβάνονται υπόψη. Συγκεκριμένα αναφέρει ότι οι στατιστικοί δείκτες που χρησιμοποιούνται συνήθως εμπεριέχουν περιορισμούς όπως για παράδειγμα ο K δείκτης λόγω του ότι είναι ένας μη παραμετρικός δείκτης μπορεί να προκαλέσει υποεκτίμηση της ακρίβειας (Stehman and Czaplewski, 1998) για αυτό και προτείνει τη δημιουργία αναφοράς για τον τρόπο και τον υπολογισμό των δεικτών. Ένα ακόμη σημαντικό πρόβλημα είναι ο σχεδιασμός (sample design) και το μέγεθος του δείγματος (sample size). Θα πρέπει δηλαδή το δείγμα που επιλέγεται για την ταξινόμηση να είναι όσο το δυνατόν αντιπροσωπευτικότερο της περιοχής η οποία επρόκειτο να ταξινομηθεί. Ο μικρός αριθμός δείγματος μπορεί να παρουσιάζει μεγάλο θόρυβο που υποεκτιμά την ακρίβεια της ταξινόμησης ενώ όσον αφορά την κατανομή των σημείων που αντιπροσωπεύουν τις κλάσεις θα πρέπει να ακολουθεί την ποσοστιαία κατανομή αυτών σε έκταση. Έχουν προταθεί διάφορα σχεδιασμοί δειγματοληψίας με πιο σημαντική την τυχαία στρωματοποιημένη δειγματοληψία (random stratified sample), αν και οι Congalton και Green (1999) επισημαίνουν ότι αυτό δεν είναι απαραίτητο για κλάσεις οι οποίες φασματικά διαχωρίζονται εύκολα από τις υπόλοιπες κλάσεις όπως για παράδειγμα το νερό από κλάσεις που υποδηλώνουν την ύπαρξη βλάστησης.

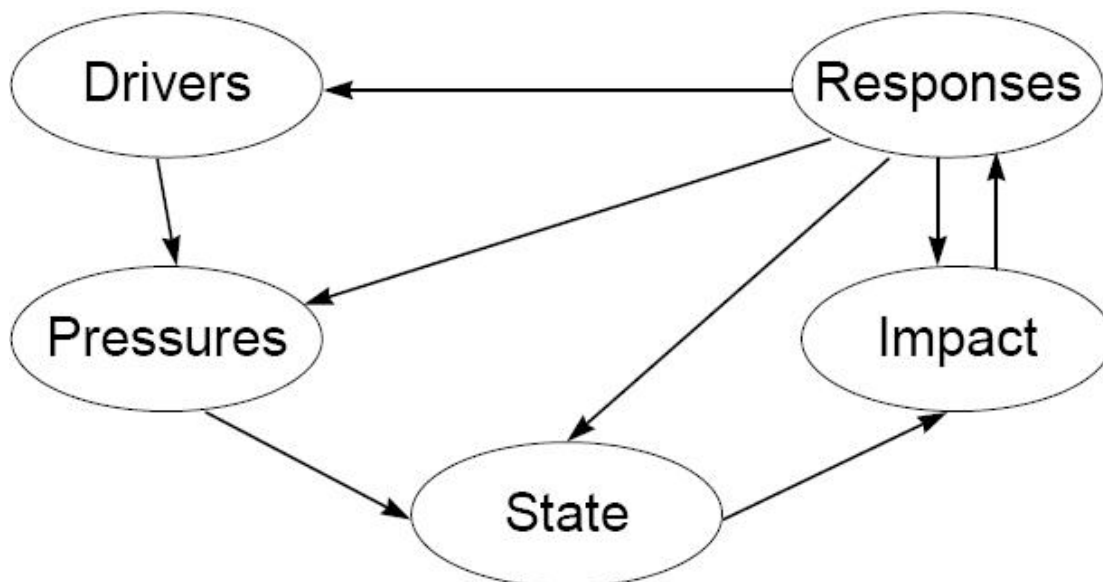
Μία άλλη σημαντική παράμετρος είναι η προέλευση των δεδομένων αναφοράς, δηλαδή αν αναφέρονται από εκτεταμένη εργασία πεδίου ή από φωτοερμηνεία της εικόνας και γνώσης της περιοχής από άλλους θεματικούς χάρτες. Είναι φανερό ότι στη δεύτερη περίπτωση οι πιθανότητες λάθους ετικετοποίησης του δείγματος είναι μεγαλύτερες πράγμα που οδηγεί σε εσφαλμένη εκτίμηση της ακρίβειας, οπότε οι Congalton και Green (1999) κατέληξαν ότι σε περίπτωση που δεν είναι δυνατή η λήψη όλου του δείγματος στο πεδίο ένα μέρος αυτού θα πρέπει να λαμβάνεται ώστε να υπολογίζεται και η εκτίμηση της ακρίβειας της φωτοερμηνείας. Άλλες παραμέτρους που αναφέρει ο Foody για την εκτίμηση της ακρίβειας είναι η χωρική κατανομή των λαθών, το μέγεθος αυτών η ανάλυση του πίνακα λαθών καθώς και η ανάλυση δεδομένων ανίχνευσης αλλαγών (change detection) με την μέθοδο της μετά-ταξινόμησης.

1.3 Ανάπτυξη δεικτών με χρήση τηλεπισκόπησης και γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών

Στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί κατά καιρούς πολλοί δείκτες για την παρακολούθηση φυσικών και ημι-φυσικών χερσαίων οικοσυστημάτων, που έχουν

σχέση με την ποιότητα των εδαφών και των υδάτων. Μία κατηγοριοποίηση των δεικτών είναι ανάλογα με την φύση του δείκτη που υπολογίζεται έχοντας μ' αυτόν τον τρόπο φυσικούς, χημικούς και βιολογικούς δείκτες.

Μία άλλη κατηγοριοποίηση των δεικτών αφορά τους δείκτες που βασίζονται στο μοντέλο που DPSIR που έχει προταθεί από την ευρωπαϊκή υπηρεσία περιβάλλοντος. Το DPSIR ή μοντέλο Κινητήριων δυνάμεων – Πίεσης – Κατάστασης – Επίπτωσης – Ανάδρασης αποτελεί ένα εννοιολογικό μοντέλο που βοηθά στην επιλογή και στην οργάνωση των παραγόντων που καθορίζουν τι πρέπει να μετρηθεί. Το DPSIR αποτελείται από μια αλυσίδα αιτιωδών δεσμών ανάμεσα στις Κινητήριες δυνάμεις, οι οποίες προκαλούν τις Πιέσεις σε μια δεδομένη Κατάσταση του περιβάλλοντος, με αποτέλεσμα την πρόκληση Επιπτώσεων, οι οποίες τελικά οδηγούν σε κοινωνικές-πολιτικές Αντιδράσεις για την αποκατάστασή τους, η οποία λειτουργεί ως ανάδραση στις Κινητήριες δυνάμεις, ή στην Κατάσταση ή απευθείας στις Επιπτώσεις, μέσω υιοθέτησης δράσεων αποκατάστασης (σχήμα 1.5)



Σχήμα 1.5.Απεικόνιση του DPSIR, της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος.

Το πλαίσιο DPSIR είναι χρήσιμο για την περιγραφή των σχέσεων μεταξύ των αιτιών και των συνεπειών των περιβαλλοντικών προβλημάτων και όπως αναφέρει ο Ζαλίδης (Ζαλίδης 2002), η αξία του συστήματος DPSIR είναι πρακτική και θεωρητική. Η πρακτική αξία έγκειται στο ότι οργανώνει εύχρηστους δείκτες ώστε οι υπεύθυνοι του συστήματος παρακολούθησης μπορούν πιο εύκολα να αναλύσουν τυχόν αιτιώδεις σχέσεις μεταξύ των διαφόρων δεδομένων του κύκλου DPSIR. Η θεωρητική αξία εντοπίζεται στην ανάδειξη της πολυπλοκότητας των περιβαλλοντικών προβλημάτων και δικαιολογεί την αξίωση για περισσότερες πηγές, ενώ παράλληλα, εδραιώνει τη θέση πως αν και η κατάσταση είναι πολύπλοκη, η οργάνωση της μπορεί να ελεγχθεί.

Επίσης οι Zalidis et. al., (2004a) βάση του μοντέλου DPSIR προτείνουν τη δημιουργία Ζωνών Ειδικού Λειτουργικού Ενδιαφέροντος (Zones of Specific Functional Interest) για τον υπολογισμό δεικτών, μειώνοντας με αυτόν τον τρόπο τα δεδομένα που

απαιτούνται για τον υπολογισμό αυτών στο ελάχιστο (Minimum Data Set). Επομένως μειώνεται το κόστος και ο χρόνος υπολογισμού των δεικτών.

Τα τελευταία χρόνια όλο και περισσότερο η επιστημονική κοινότητα στρέφεται στην ανάπτυξη *δεικτών τοπίου* (*landscape metrics*) για τον χαρακτηρισμό και την ανάλυση των οικοσυστημάτων οι οποίοι μπορούν να θεωρηθούν ως μία τρίτη κατηγοριοποίηση περιβαλλοντικών δεικτών. Αυτή η ανάγκη βρίσκει εφαρμογή κυρίως στα αστικά και περί-αστικά οικοσυστήματα τα οποία αποτελούν ένα μωσαϊκό βιοτικών και αβιοτικών τύπων καλύψεων γης που επηρεάζονται από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Οι δείκτες τοπίου αποτελούν την απαρχή για τη σύγκριση τέτοιων οικοσυστημάτων με μετρήσεις του σχήματος και τη διανομής ενδιαιτημάτων σε αυτά. Οι δείκτες τοπίου αποτελούν μαθηματικές εξισώσεις οι οποίες βασίζονται στη χωρική πληροφορία των πολυγώνων που εξάγεται από τους θεματικούς χάρτες φυσικών οικοσυστημάτων. Αυτές οι μαθηματικές σχέσεις προσπαθούν να αξιολογήσουν διάφορες ιδιότητες, δομές (δομικοί δείκτες) και λειτουργίες των οικοσυστημάτων (λειτουργικοί δείκτες) έμμεσα, όπως είναι ο πληθυσμός και το είδος των οργανισμών οι οποίοι βρίσκονται στα οικοσυστήματα, λαμβάνοντας υπόψη το είδος και τη χωρική συσχέτιση των ενδιαιτημάτων τα οποία απαντώνται σε αυτό.

Οι δείκτες τοπίου μπορούν να υπολογιστούν σε τρία επίπεδα. Σε επίπεδο ενδιαιτήματος (patch level), σε επίπεδο κλάσης (class level), δηλαδή τα ενδιαιτήματα ίδιου είδους, και σε επίπεδο τοπίου (landscape level). Έχουν αναπτυχθεί παρά πολλοί δείκτες τοπίου τα τελευταία χρόνια με αποτέλεσμα πολλοί από αυτούς τους δείκτες να παρουσιάζουν την ίδια ιδιότητα του οικοσυστήματος με άλλη μαθηματική σχέση. Για αυτό οι δείκτες τοπίου έχουν ταξινομηθεί σε διάφορες κατηγορίες όπως έκτασης (area metrics), χωρικής κατανομής (distribution), ποικιλίας (diversity metrics), κατάτμησης (fragmentation metrics) και ορίων μεταξύ των ενδιαιτημάτων (edge metrics).

Η τηλεπισκόπηση μπορεί να προσφέρει και να συμβάλει στη δημιουργία και υπολογισμό δεικτών για την εκτίμηση της κατάστασης του περιβάλλοντος, μέσω των τεχνικών επεξεργασίας που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Τρεις είναι οι κύριες τεχνικές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν: *Η δημιουργία φασματικών δεικτών, η φωτοερμηνεία - ψηφιοποίηση καθώς και η ταξινόμηση.*

Ένας ευρέως διαδεδομένος φασματικός δείκτης είναι ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI) (Tucker et. al., 1979), ο οποίος δείχνει την κατάσταση της υγιούς βλάστηση. Συνήθως χρησιμοποιείται στην Παγκόσμια Εξίσωση απώλειας του Εδάφους (Universal Soil Loss Equation) έτσι όπως έχει οριστεί από τον Vishmeier (1978). Ο δείκτης NDVI χρησιμοποιείται για τον υπολογισμό του παράγοντα της εδαφοκάλυψης C της Εξίσωσης (Gitas et. al., 2004, Cyr et. al., 1995) με την παραδοχή ότι οι υψηλές τιμές του NDVI απεικονίζουν μεγαλύτερο ποσοστό εδαφοκάλυψης οπότε ο κίνδυνος απώλειας του εδάφους μειώνεται. Επιπλέον, από τον θεματικό χαρτογράφο TM του δορυφόρου Landsat μπορούν να παραχθούν φασματικοί γεωλογικοί δείκτες που εμφανίζουν τα υδροθερμικά πετρώματα και τις περιοχές οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή πετρωμάτων. Τέλος, με δεδομένα πεδίου και δορυφορικά προϊόντα SPOT 3 και Landsat 5 οι Populus et. al. (1995), συσχέτισαν δύο παραμέτρους της ποιότητας των υδάτων (ποσοστό ιζήματος και χλωροφύλλης) στον κόλπο Ciberon βορειοδυτικά της Σουμάτρα με τα κανάλια 2 και 3 του Θεματικού Χαρτογράφου (πράσινο και κόκκινο αντίστοιχα).

Εκτός όμως από τους φασματικούς δείκτες και η χαρτογράφηση των περιοχών με φωτοερμηνεία-ψηφιοποίηση και ταξινόμηση δορυφορικών δεδομένων μπορεί να συμβάλει στην παραγωγή δεικτών περιβαλλοντικής εκτίμησης, κυρίως με την εφαρμογή δεικτών τοπίου. Οι δείκτες τοπίου έχουν εφαρμοστεί σε τηλεπισκοπικά δεδομένα σε διαφορετικές κλίμακες χαρτογράφησης με σκοπό να δώσουν έμφαση στο χωρικό περιεχόμενο και την κατανομή των κλάσεων ταξινόμησης. (Stefanov and Netzband, 2005, Wu et. al., 2000, Turner et al., 1990).

Πολλές έρευνες έχουν πραγματοποιηθεί τα τελευταία χρόνια για να επιδείξουν τη χρησιμότητα αυτών των δεικτών για την εκτίμηση των αστικών και περί-αστικών δομών. (Rainis, 2003, Alberti and Waddell, 2000, Barnsley and Barr, 2000, Herold et al., 2002). Ειδικότερα οι Narumalani et.al, 2004 χρησιμοποίησαν τον *Mean Patch Fractal Dimension* για να διερευνήσουν διαχρονικές αλλαγές και ανθρωπογενείς δραστηριότητες σε Εθνικό Πάρκο της Αιόβα ενώ οι Greenhil et. al, (2003) χρησιμοποίησαν τον *Lanucarity Index* για τον χαρακτηρισμό περί-αστικών περιοχών ανάλογα με το ποσοστό φυσικής βλάστησης με δεδομένα IKONOS.

Η πληθώρα όμως αυτών των δεικτών οδηγεί στην ανάγκη για την επιλογή των κατάλληλων δεικτών που μπορούν να χαρακτηρίσουν το υπό έρευνα τοπίο ή οικοσύστημα. Λόγω της μεγάλης συσχέτισης αυτών έχουν γίνει προσπάθειες κυρίως με στατιστική ανάλυση για την επιλογή των κατάλληλων δεικτών που δεν συσχετίζονται μεταξύ τους (Herzog and Lausch, 1999, Riitters et al., 1995) σε μία η περισσότερες κλίμακες μέτρησης (Frohn and Hao, 2006). Οι Bock et. al., επισημαίνουν όμως ότι πρώτα πρέπει οι δείκτες τοπίου να κατηγοριοποιούνται και να διερευνάται η χρησιμότητά τους και έπειτα μετά την επιλογή κάποιων από αυτούς να εξετάζεται η περαιτέρω συσχέτισή τους.

2 ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ

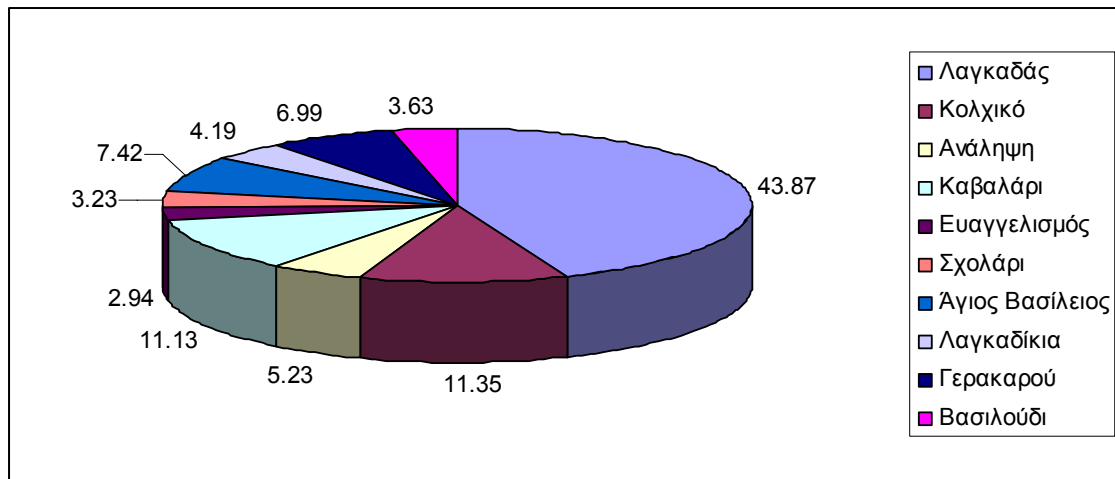
Η περιοχή μελέτης η οποία επιλέχθηκε για την εφαρμογή διαφορετικών μεθόδων ταξινομήσεων και ανάπτυξης περιβαλλοντικών χωρικών δεικτών, είναι η λίμνη Κορώνεια (40' 41" N, 23' 09" E), η οποία λόγω της οικολογικής της σημασίας προστατεύεται από σειρά νομοθεσιών και οδηγιών. Ειδικότερα βρίσκεται στην τεκτονική πλάκα της Βορείου Ελλάδας, στην Λεκάνη απορροής της Μυγδονίας (έκταση 280 Km²) και ανήκει στο Νομό Θεσσαλονίκης ενώ απέχει από την πόλη της Θεσσαλονίκης περίπου 35 Km. Η περιοχή μελέτης καλύπτει μία έκταση 134 Km² η οποία περιλαμβάνει τον υγρότοπο της Λίμνης Κορώνειας καθώς και τη γύρω αγροτική της περιοχή.

Η περιοχή έρευνας είναι γενικά επίπεδη με μέσο υψόμετρο 850 μέτρα και μέση κλίση 0.2% και βρίσκεται στη λεκάνη απορροής της Μυγδονίας και πιο συγκεκριμένα αποτελεί τμήμα μίας από των πέντε υπολεκανών της περιοχής.

Η περιοχή μελέτης καλύπτει τους τρεις ομόρους δήμους της δηλαδή το Δ. Λαγκαδά, το Δ. Εγνατία καθώς και το Δ. Κορώνειας και συνολικά 10 δημοτικά διαμερίσματα όπου τα τέσσερα από αυτά ανήκουν στο Δήμο Λαγκαδά. Η κύρια ασχολία των κατοίκων της ευρύτερης περιοχής είναι η γεωργία και η κτηνοτροφία .

Πίνακας 2.1. Στατιστικά στοιχεία των Δημοτικών Διαμερισμάτων που καλύπτουν την περιοχή μελέτης.

Δήμος	Δημοτικό Διαμέρισμα	Πληθυσμός	Ποσοστό (%)	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό (%)
Λαγκαδάς	Λαγκαδάς	7259	43.87	15027.57	12.87
Λαγκαδάς	Κολχικό	1878	11.35	10392.90	8.90
Λαγκαδάς	Ανάληψη	865	5.23	5943.90	5.09
Λαγκαδάς	Καβαλάρι	1842	11.13	25424.69	21.77
Εγνατία	Ευαγγελισμός	487	2.94	7418.40	6.35
Εγνατία	Σχολάρι	535	3.23	11751.84	10.06
Κορώνεια	Άγιος Βασίλειος	1228	7.42	14879.78	12.74
Κορώνεια	Λαγκαδίκια	693	4.19	8245.92	7.06
Κορώνεια	Γερακαρού	1157	6.99	9683.65	8.29
Κορώνεια	Βασιλούδι	601	3.63	8038.74	6.88
Σύνολο		16545	100	116807.39	100.00



Σχήμα 2.1. Ποσοστιαία κατανομή του πληθυσμού στα δημοτικά διαμερίσματα που συνορεύουν με τον υγρότοπο της Κορώνειας

2.1 Χλωρίδα και πανίδα

Πλούσια είναι η χλωρίδα και πανίδα της περιοχής. Ο υγρότοπος των λιμνών αποτελείται κυρίως από πλευστόφυτα (πλέουν στην επιφάνεια του νερού), βενθόφυτα (ρίζωμένα στον πυθμένα), καλάμια και βούρλα. Περιμετρικά της λίμνης αναπτύσσονται πλατάνια, ιτιές, λεύκες, σκλήθρα, και αναρριχώμενα φυτά.

Στους κατοίκους της ευρύτερης περιοχής της λίμνης Κορώνειας καθώς και της λίμνης Βόλβης που βρίσκεται ανατολικά της, συγκαταλέγονται 19 είδη αμφιβίων και ερπετών, 34 είδη θηλαστικών και περισσότερα από 200 είδη πουλιών. Οι λίμνες και ιδιαίτερα η Βόλβη, αποτελούσαν κάποτε πλούσιους ιχθυότοπους. Σήμερα, τα ψάρια εξαφανίζονται από την Κορώνεια, ενώ η Βόλβη καταφέρει να διατηρεί ικανοποιητικούς, αν και συνεχώς μειούμενους πληθυσμούς. Ανάμεσα στα 24 είδη ψαριών που έχουν καταγραφεί στη Βόλβη συμπεριλαμβάνονται η λιπαριά, η γελάρτζα και το λακόψαρο, είδη που δεν συναντώνται σε κανένα άλλο μέρος του κόσμου. Η ουσιαστική διακοπή της σύνδεσης της Βόλβης με το Στρυμονικό μέσω του Ρήχιου ποταμού έχει οδηγήσει στη σχεδόν ολοκληρωτική εξαφάνιση του πληθυσμού των χελιών που παλιότερα ήταν άφθονα.

Ο υγροβιότοπος των δύο λιμνών προστατεύεται από μια σειρά διεθνείς συνθήκες και ρυθμιστικές πράξεις που προσδιορίζουν το καθεστώς ανάπτυξης και διαχείρισης της περιοχής, οι κυριότερες εκ των οποίων είναι:

- Υγροβιότοπος των λιμνών Κορώνειας και Βόλβης (Σύμβαση Ramsar, 1971)
- Ειδικά προστατευόμενη περιοχή (SPA, οδηγία 79/409 ΕΕ)
- Περιοχή κοινοτικού ενδιαφέροντος (οδηγία 92/43, Natura 2000-GR 1220001, GR-1220003)
- Προστασία της Μεσογείου από τη ρύπανση (Σύμβαση Βαρκελώνης)
- Διατήρηση της Ευρωπαϊκής άγριας ζωής και των φυσικών βιοτόπων (Σύμβαση της Βέρνης, 1983)

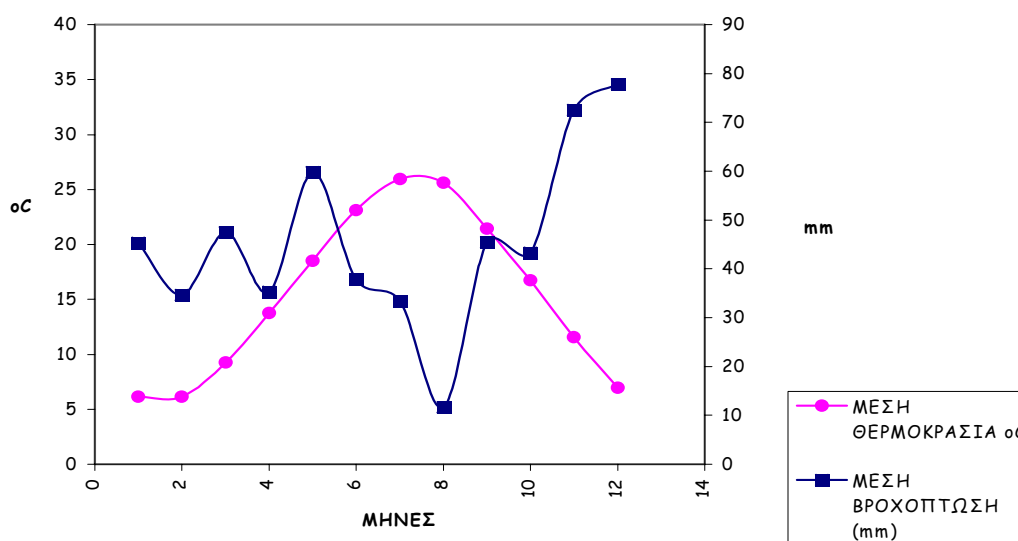
- Διατήρηση μεταναστευτικών ειδών αγρίων ζώων (Σύμβαση της Βόννης)

2.2 Γεωλογία

Η περιοχή δομείται από κρυσταλλοσχιστώδες υπόβαθρο έντονα ρηγματομένο, που τεκτονικά εντάσσεται στη Σερβομακεδονική μάζα, με εξαίρεση το δυτικό τμήμα της λεκάνης (υπολεκάνη Λαγκαδά) που αποτελεί το όριο μεταξύ Σερβομακεδονικής μάζας και ζώνης Αξιού. Υπάρχει σαφής τεκτονικός έλεγχος της λεκάνης η οποία είναι πληρωμένη με ιζήματα ηλικίας Μεσο-παλαιογενούς έως και πρόσφατα. Σημαντική είναι η εξάπλωση των πλειο-πλειστοκαινικών ιζημάτων, όπως προκύπτει από τους γεωλογικούς χάρτες της περιοχής.

2.3 Κλίμα

Στην ευρύτερη περιοχή της λίμνης Κορώνειας οι θερμότεροι και ξηρότεροι μήνες του έτους είναι ο Ιούλιος και ο Αύγουστος και το κλίμα είναι του κλιματικού τύπου Cas. Τα χαρακτηριστικά του τύπου αυτού είναι εύκρατο βροχερό κλίμα με μέση θερμοκρασία, του θερμότερου μήνα του έτους πάνω από 22 °C , και του ψυχρότερου 0 °C. Ενδεικτικά παρατίθεται το ομβροθερμικό διάγραμμα της περιοχής Λουτρών Απολλωνίας (σχήμα 2.2). Επίσης, η μέση βροχόπτωση είναι 455 mm με μέγιστη τιμή να παρατηρείται τον Δεκέμβριο και η μικρότερη το Αύγουστο (Mitraki et. al., 2004).



Σχήμα 2.2. Ομβροθερμικό διάγραμμα του σταθμού των Λουτρών Απολλωνίας

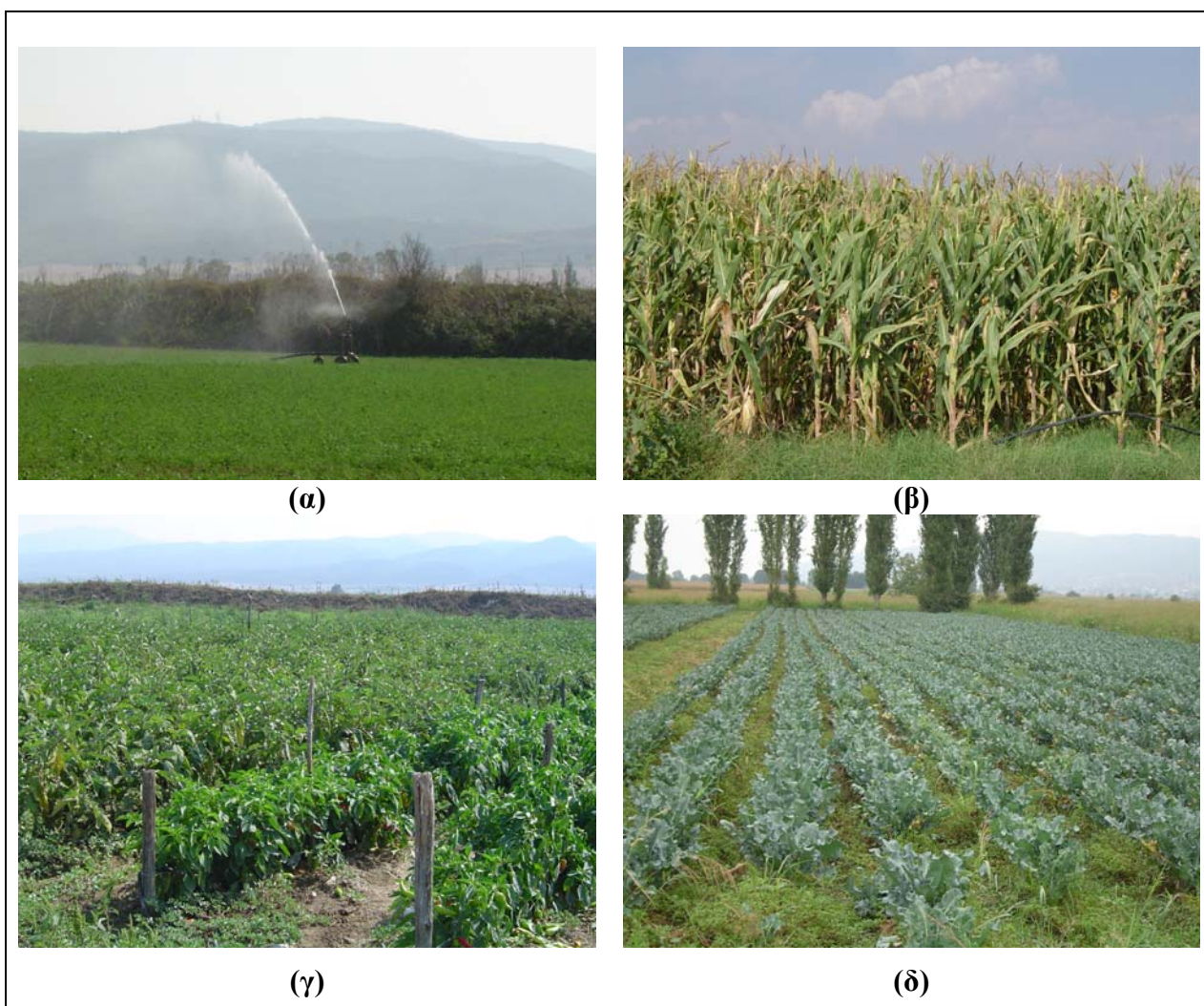
2.4 Αγροτική περιοχή

Γύρω από τη λίμνη Κορώνεια υπάρχει μία μεγάλη αγροτική έκταση η οποία είναι κυρίως αρδευόμενη και καλύπτεται κυρίως από καλαμπόκι και μηδική. Η άρδευση αυτών των καλλιεργειών γίνεται κυρίως από ιδιωτικές γεωτρήσεις με την μέθοδο του

καταιονισμού. Η άρδευση αυτών των καλλιέργειών αν και γίνεται από γεωτρήσεις επηρεάζει έμμεσα το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης και την ικανότητα αποθήκευσης νερού γιατί δεν βοηθά στον εμπλουτισμό της λίμνης με νερό από τα υπόγεια υδροφόρα στρώματα.. Εφαρμόζονται διάφοροι τρόποι άρδευσης στην περιοχή, αλλά κυρίως πραγματοποιείται με εκτοξευτήρα μεγάλης πίεσης.

Εκτός από αυτές τις δύο αρδευόμενες καλλιέργειες συναντώνται στην περιοχή και άλλες καλλιέργειες σε μικρότερη έκταση όπως καπνός, λαχανακομικές καλλιέργειες κ.α.. Επίσης υπάρχουν και αρκετές δενδρώδεις καλλιέργειες οπωροφόρων δέντρων όπως μηλιές και λίγα ελαιόδεντρα κυρίως νεαρής ηλικίας.

Επίσης εκτός από τις αρδευόμενες καλλιέργειες, στην περιοχή έρευνας απαντώνται και πολλοί αγροί με σιτηρά κυρίως κοντά στην προστατευμένη περιοχή Ramsar ενώ πολλοί αγροί είτε έχουν εγκαταλειφθεί είτε βρίσκονται σε αγρανάπαυση κυρίως μέσα στα όρια της προστατευμένης περιοχής και προς τη δυτική πλευρά της λίμνης



Σχήμα 2.3. Καλλιέργειες της αγροτικής περιοχής της Κορώνειας. (α) Καλλιέργεια μηδικής που αρδεύεται με καταιονισμό, (β) καλλιέργεια καλαμποκιού (γ) και δ) καλλιέργειες λαχανικών.

3 ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

3.1 Υλικά

3.1.1 Δεδομένα Τηλεπισκόπησης

Οι δορυφόροι παρατήρησης της γης έχουν διάφορα τεχνικά χαρακτηριστικά για την παραγωγή των εικόνων όπως η *χωρική* ή *φασματική*, η *ραδιομετρική* και η *διαχρονική* διακριτική ικανότητα και επεξηγήθηκαν στο πρώτο κεφάλαιο. Ένα όμως από τα πιο βασικά χαρακτηριστικά των δορυφορικών απεικονιστών είναι η χωρική διακριτική ικανότητα η οποία αναφέρεται στο μικρότερο τμήμα του εδάφους από το οποίο ο απεικονιστής καταγράφει την ανακλώμενη ή εκπεμπόμενη ενέργεια. Το μικρότερο αυτό τμήμα ονομάζεται εικονοστοιχείο ή pixel (picture element) και ανάλογα με το μέγεθος του οι δορυφόροι κατατάσσονται σε 4 κατηγορίες: *χαμηλής ευκρίνειας*, *μέσης διακριτικής ικανότητας*, *υψηλής* και *υπερ-υψηλής*.

Στην παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα υπέρ – υψηλής ευκρίνειας (Vety High Resolution, VHR) με μέγεθος εικονοστοιχείου ως 1 μέτρο για να διερευνηθεί πώς μπορούν να συνδράμουν στην ανάπτυξη χωρικών περιβαλλοντικών δεικτών σύμφωνα με το μοντέλο DPSIR (Driving Forces, Pressures, State, Impact Response). Τα τελευταία χρόνια έχουν τεθεί σε λειτουργία πολλά δορυφορικά συστήματα VHR τα οποία έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος επιστημών και εφαρμογών, όπως στη γεωλογία τη γεωπονία το κτηματολόγιο και την παρακολούθηση του φυσικού περιβάλλοντος. Μερικοί από αυτούς είναι ο ισραηλινός δορυφόρος EROS ο οποίος έχει μόνο παγχρωματικό απεικονιστή με 1.8 μέτρα μέγεθος εικονοστοιχείου και ο Quick Bird που διαθέτει διακριτική ικανότητα μικρότερη του 1 μέτρου, και συγκεκριμένα έχει 0,6 και 2,4 μέτρα διακριτική ικανότητα στο παγχρωματικό και στο πολυφασματικό αντίστοιχα, διαθέτοντας τέσσερα κανάλια στο πολυφασματικό (μπλε, πράσινο, κόκκινο, εγγύς υπέρυθρο). Επίσης, υπάρχει ο IKONOS που διαθέτει bundle εικόνες (παγχρωματικές και πολυφασματικές) με ένα μέτρο διακριτική ικανότητα στο παγχρωματικό και τέσσερα μέτρα στο πολυφασματικό όπου είναι ευαίσθητος στις ίδιες τέσσερις φασματικές ζώνες με τον Quick Bird. Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί, ότι στις αρχές του 2007 τέθηκε σε λειτουργία ο πρώτος VHR ραντάρ δορυφόρος TERRASAT της Infoterra που εδρεύει στην Γερμανία, που έχει τρία πολικά κανάλια μέχρι και με 1 μέτρο διακριτική ικανότητα (προϊόν Spotlight) στο κανάλι L των μικροκυμάτων, όπου παρουσιάζεται και η μικρότερη κροκίδωση (speckle) τέτοιων εικόνων.

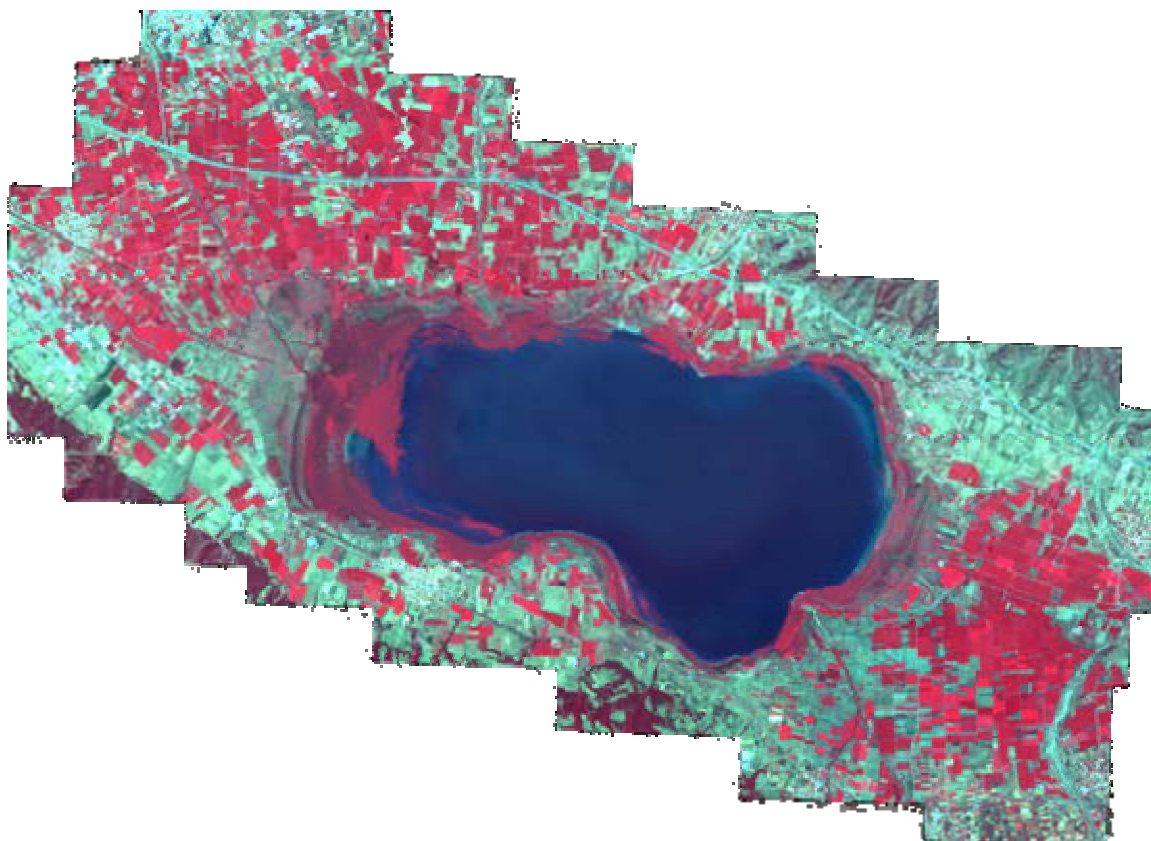
Από αυτούς τους δορυφόρους προτιμήθηκε ο IKONOS για τους εξής λόγους: 1) Διέθετε την μεγαλύτερη φασματική (4 κανάλια στο πολυφασματικό) και την ίδια ραδιομετρική ικανότητα με τις εικόνες Quick Bird. 2) Αν και έχει μικρότερη χωρική διακριτική ικανότητα από τον Quick Bird ενδείκνυνται περισσότερο για την ταξινόμηση επειδή δεν αποκαλύπτεται πολύ μεγάλη λεπτομέρεια η οποία πολλές φορές δρα ανασταλτικά στην ταξινόμηση μειώνοντας την ακρίβεια του αποτελέσματος 3) Οι εικόνες Quick bird καταλαμβάνουν μεγαλύτερο αποθηκευτικό χώρο στον ηλεκτρονικό υπολογιστή με αποτέλεσμα την πιο αργή επεξεργασία τους. 4) Το κόστος αγοράς των δεδομένων IKONOS είναι οικονομικότερο από τις εικόνες Quick Bird.

Μετά την επιλογή του δορυφορικού συστήματος IKONOS και κατά την προμήθειά του ορίστηκαν και οι κατάλληλες παράμετροι για την αγορά του οι οποίες έπρεπε να ληφθούν υπόψη ώστε να είναι χρήσιμο για τις απαιτήσεις των εργασιών που έπρεπε να λάβουν χώρα.

Πρώτα επιλέχθηκε το κατάλληλο επίπεδο (Level) επεξεργασμένης εικόνας το οποίο είναι το Level/B όπου στην εικόνα έχουν γίνει οι απαραίτητες ραδιομετρικές διορθώσεις λόγω σφαλμάτων του συστήματος ενώ έχει γίνει και γεωμετρική διόρθωση της εικόνας με μεγάλος RMS error όμως, (χωρική ακρίβεια περίπου 12,5 μέτρα). Έπειτα, ζητήθηκε η αγορά τόσο της παγχρωματικής, με ένα μέτρο διακριτική ικανότητα, όσο και της πολυφασματικής εικόνας (bundle) αφού το κόστος δε διαφέρει σημαντικά αλλά και γιατί είναι υποχρεωτικά αυτά τα δεδομένα για τη δημιουργία της pan-sharpen εικόνας (βλ. *πργ.* 3.2.1.1.2). Επίσης, η εικόνα προμηθεύτηκε με τη μεγαλύτερη δυνατή ραδιομετρική διακριτική ικανότητα δηλαδή με 11 bits όπου η ανίχνευση των διαφορών του ανακλώμενου ραδιομετρικού σήματος εμφανίζεται σε 2048 διαβαθμίσεις (2^{11}).

Εκτός από το προϊόν επεξεργασίας κατά την αγορά της εικόνας ορίστηκαν και τα κατάλληλα χωρικά όρια, καθώς και το χρονικό παράθυρο λήψης της εικόνας. Για την περιοχή κάλυψης της εικόνας αποφασίστηκε να υπερκαλύπτει τα όρια του υγρότοπου της λίμνης Κορώνειας και της προστατευμένης περιοχής σύμφωνα με το δίκτυο NATURA 2000, και να περιλαμβάνει την αγροτική περιοχή που βρίσκεται ανατολικά και κυρίως δυτικά της λίμνης, για την ανάπτυξη δεικτών αγροτικής πίεσης που επηρεάζουν την κατάσταση στον υγρότοπο. Επιπλέον, η λήψη των εικόνας έπρεπε να πραγματοποιηθεί κατά την περίοδο του καλοκαιριού όπου απεικονίζονται έντονα οι διαφοροποιήσεις στη βλάστηση, είτε αυτή είναι υγροτοπική ή αγροτική όπως μεταξύ αρδευόμενων και μη αρδευόμενων καλλιεργειών. Επίσης ζητήθηκε η εικόνα να μην καλύπτεται από σύννεφα σε ποσοστό μεγαλύτερο από 10% καθώς και η γωνία λήψης (viewing angle) της δορυφορικής εικόνας να μην υπερβαίνει τις 75° από το ναδίρ, γιατί οι πλάγιες λήψεις δημιουργούν διαφόρου είδους προβλήματα. Τέτοια προβλήματα είναι η οριοθέτηση των αγροτεμαχίων όταν περιμετρικά τους βρίσκονται δέντρα, αφού απεικονίζεται η προβολή τους επάνω στα αγροτεμάχια, και στη γεωαναφορά και ορθοδιόρθωση της εικόνας.

Λαμβάνοντας υπόψη όλα τα παραπάνω, λήφθηκε η εικόνα IKONOS (σχήμα 3.1) στις 7 Αυγούστου του 2005 καλύπτοντας μια περιοχή 134 Km^2 με 0% νεφοκάλυψη και $90,2^\circ$ γωνία λήψης (κάθετη λήψη).



Σχήμα 3.1. Η πολυφασματική εικόνα IKONOS (Ημερομηνία λήψης 7 Αυγούστου 2005) της περιοχής μελέτης με ψευδοέγχρωμη απεικόνιση (Η βλάστηση παρουσιάζεται με κόκκινο χρώμα)

3.1.2 Γεωγραφικά Δεδομένα

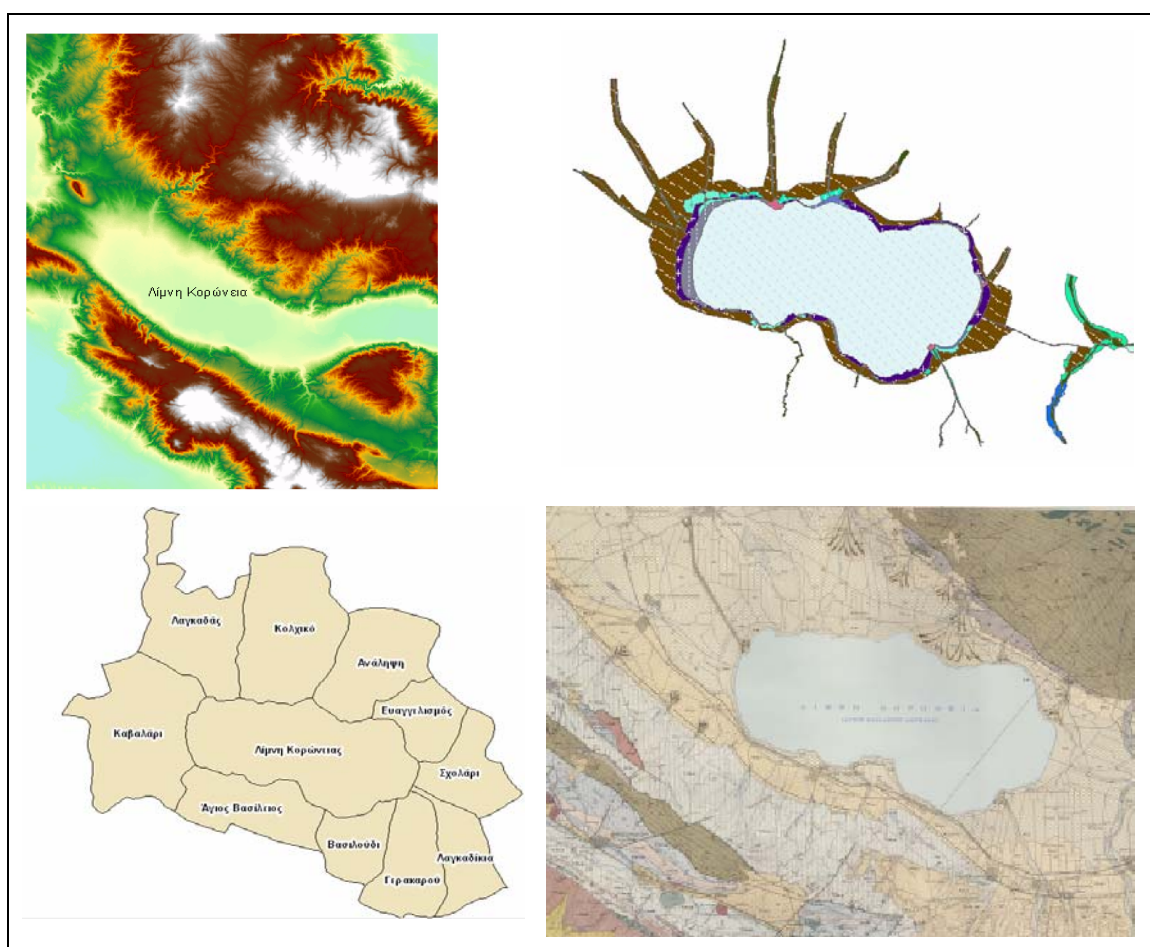
Εκτός από τη δορυφορική εικόνα, πλήθος άλλων γεωγραφικών διανυσματικών δεδομένων συλλέχθηκαν για την ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας και την ανάπτυξη χωρικών περιβαλλοντικών δεικτών. Ένα από αυτά, ήταν τα υψομετρικά σημεία (DTM) της περιοχής σε μορφή καννάβου με οριζόντια και κάθετη απόσταση 20 μέτρα για την παραγωγή του Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου (Digital Elevation Model, DEM) το οποίο δημιουργήθηκε με την Μέθοδο ANUDEM (Hutchinson 1991) με μέγεθος εικονοστοιχείου 10 μέτρα. Το DEM συνέβαλε στην ορθοδιόρθωση της εικόνας καθώς και στην εξαγωγή επιπλέον τοπογραφικών (χάρτης κλίσεων) και υδρογραφικών (υπολεκάνες απορροής) χαρακτηριστικών της περιοχής για τη δημιουργία των περιβαλλοντικών χωρικών δεικτών.

Επίσης χρησιμοποιήθηκε και ο επικαιροποιημένος χάρτης NATURA 2000 (Alexandridis et. al., 2006). Ο χάρτης προέκυψε με τη χρήση κατάλληλων φωτοερμηνευτικών κλειδών, όπως η αντίθεση η σκίαση η φωτεινότητα κ.α. (Συλλαίος, 2000), σε δορυφορική εικόνα ASTER λήψης 2003 καθώς και δειγματοληπτικών περιοχών στο πεδίο. Η ανάγκη της επικαιροποίησης του χάρτη οφείλεται στις δραματικές αλλαγές του υδροτόπου και κυρίως της αύξησης της έκτασης των καλαμώνων στην υδροτοπική περιοχή καθώς και στην μικρή κλίμακα παράγωγής του χάρτη NATURA που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του έργου «Αναγνώριση και

Περιγραφή των Τύπων Οικοτόπων σε Περιοχές Ενδιαφέροντος για τη Διατήρηση της Φύσης» (Φορέας Χρηματοδότησης: ΥΠΕΧΩΔΕ).

Ακόμη χρησιμοποιήθηκαν ασπρόμαυροι ορθοφωτοχάρτες της περιοχής του Υπουργείου Γεωργίας διανομής 1996 με 1 μέτρο χωρική διακριτική ικανότητα για την ορθοδιόρθωση της εικόνας. Επίσης, ένα άλλο σημαντικό δεδομένο για την εκτίμηση της κατάστασης του υγροτόπου ήταν η υδροπερίοδος δηλαδή τα όρια της έκτασης της υδάτινης επιφάνειας κατά την υψηλή στάθμη (Απρίλιος) και τη χαμηλή (Ιούλιος). Αυτά τα όρια προήλθαν μέσω φωτοερμηνείας και ψηφιοποίησης από δορυφορικές εικόνες SPOT 4 και ASTER χρησιμοποιώντας το εγγύς υπέρυθρο κανάλι των δορυφόρων στα πλαίσια του έργου GlobWetland (Φορέας Χρηματοδότησης: ΥΠΕΧΩΔΕ, Νομαρχιακή Αυτοδιοίκηση Θεσσαλονίκης). Η ψηφιοποίηση βασίστηκε στην εγγύς υπέρυθρη ακτινοβολία γιατί επηρεάζεται από την τραχύτητα της εξεταζόμενης επιφάνειας και την καθιστά ιδανική για τη διάκριση της οριογραμμής νερού-εδάφους ή νερού-βλάστησης.

Τέλος, χρησιμοποιήθηκε ο γεωλογικός χάρτης κλίμακας 1:50.000 του ΙΓΜΕ (φύλλο χάρτη Θέρμης), το αντίστοιχο τοπογραφικό φύλλο της ΓΥΣ, τα όρια των δημοτικών διαμερισμάτων της περιοχής και το Ψηφιακό Μοντέλο Βυθού (Digital Depth Model) της λίμνης Κορώνειας.



Σχήμα 3.2. Διαθέσιμα γεωγραφικά δεδομένα της περιοχής Πάνω αριστερά το DEM, κάτω αριστερά τα όρια των δημοτικών διαμερισμάτων, πάνω δεξιά ο χάρτης NATURA και κάτω δεξιά ο γεωλογικός χάρτης του ΙΓΜΕ 1:50.000.

3.1.3 Δειγματοληπτικές περιοχές

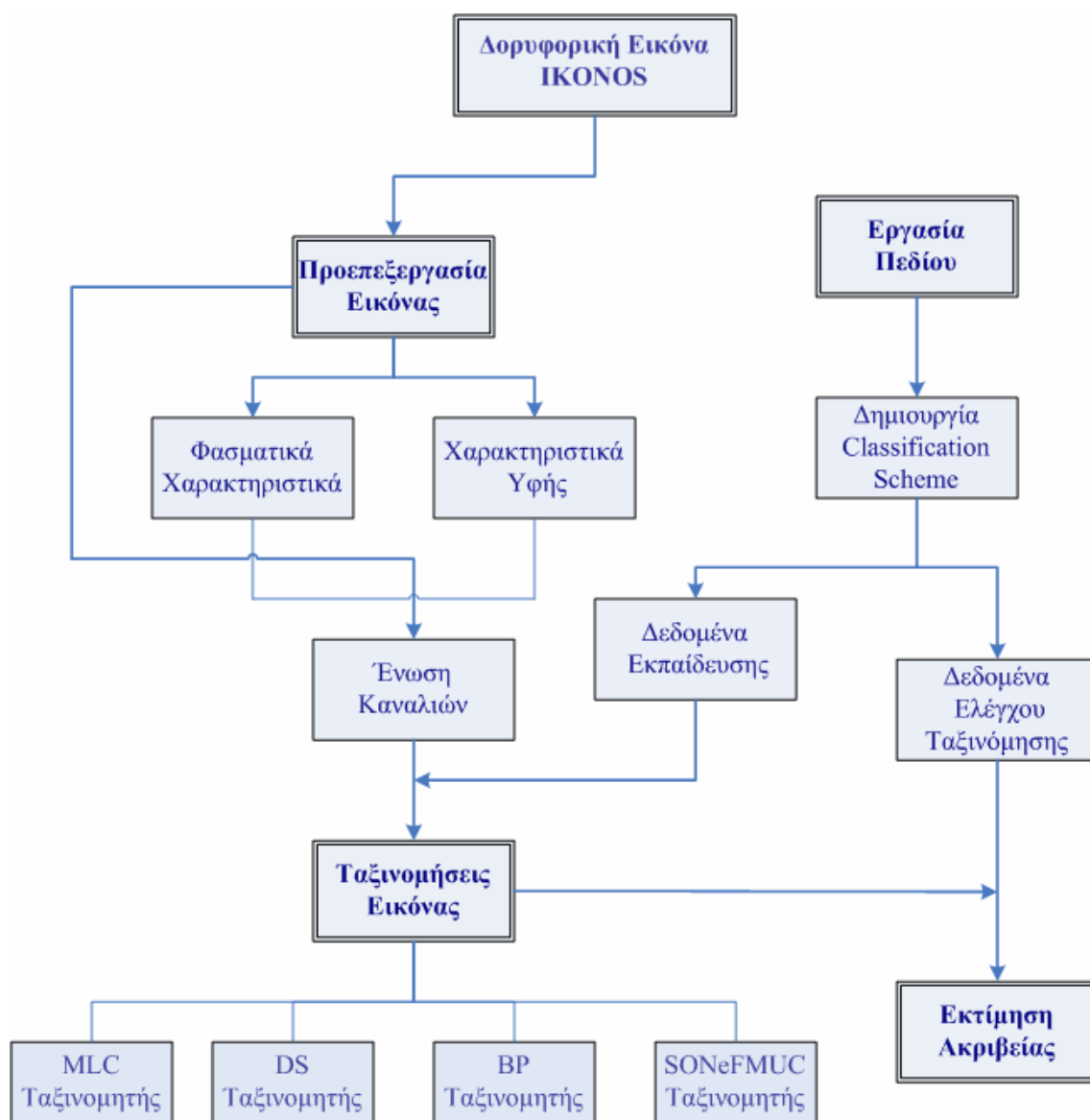
Στην περιοχή συλλέχθηκαν 3920 δειγματοληπτικές περιοχές για τις ταξινομήσεις της εικόνας με εργασία πεδίου. Ο τρόπος συλλογής αυτών των δεδομένων καθώς και η κατανομή αυτών παρουσιάζεται αναλυτικότερα στην παράγραφο 3.2.1.3.

3.2 Μεθοδολογία

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τη σύγκριση των ταξινομήσεων και την ανάπτυξη των περιβαλλοντικών χωρικών δεικτών, μπορεί να διακριθεί σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τους στόχους που έχουν τεθεί: 1) Στην ταξινόμηση των εικόνων και την ποσοτική και ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων (στόχοι 1 και 2) καθώς και 2) στην ανάπτυξη και υπολογισμό των δεικτών (στόχος 3). Για αυτό το λόγο παρακάτω όλες οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν παρουσιάζονται σε αυτές τις δύο κατηγορίες.

3.2.1 Μεθοδολογία για τις ταξινομήσεις των εικόνων και τη σύγκριση των αποτελεσμάτων

Κατά την ταξινόμηση της εικόνας ακολουθήθηκε η διαδικασία όπως αναπαρίσταται γραφικά στο σχήμα 3.3, όπου μετά την προμήθεια της εικόνας και πριν τη ταξινόμησή της, έπρεπε πρέπει να λάβουν χώρα κάποιες επεξεργασίες και βελτιώσεις της ώστε να χρησιμοποιηθούν στην τελική ταξινόμηση και να βελτιώσουν το αποτέλεσμα αυτής με τη συμβολή δεδομένων πεδίου τα οποία δημιούργησαν το σύστημα ταξινόμησης (Classification Scheme). Στα επόμενα υποκεφάλαια παρουσιάζονται αναλυτικά, ο τρόπος επιλογής και οι μέθοδοι που εφαρμόστηκαν.



Σχήμα 3.3. Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας για την ταξινόμηση και την εκτίμηση ακρίβειας των ταξινομήσεων

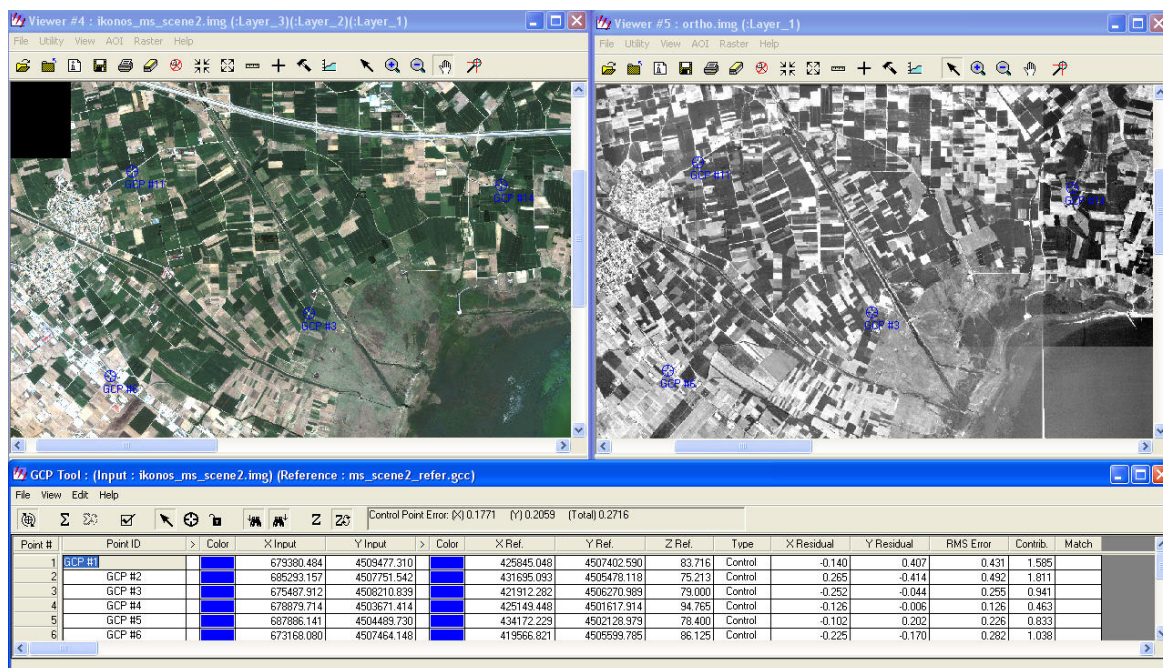
3.2.1.1 Προεπεξεργασία εικόνας

3.2.1.1.1 Διορθώσεις της εικόνας

Η πρώτη επεξεργασία της δορυφορικής εικόνας IKONOS, ήταν η διόρθωσή της. Οι διορθώσεις των δορυφορικών εικόνων μπορούν να χωριστούν στις γεωμετρικές και τις ραδιομετρικές. Οι γεωμετρικές διορθώσεις έχουν ως στόχο την εύρεση της ακριβούς γεωγραφικής θέσης των εικονοστοιχείων, λόγω των παραμορφώσεων εξαιτίας της κίνησης της γης, του δορυφόρου, της ατράκτου, των υψομετρικών διαφορών, της κύλισης και μετάπτωσης του δορυφόρου κ.α. Τα δορυφορικά δεδομένα παρουσιάζουν συστηματικά και τυχαία σφάλματα. Οι ορθοδιορθώσεις των εικόνων προσπαθούν και αυτές να εξαλείψουν αυτού του είδους τα σφάλματα, αλλά παίρνουν υπόψη τους και το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο της περιοχής (Digital Elevation Model, DEM). Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται για την ορθοδιόρθωση των εικόνων είναι διαφορετικά

για κάθε δορυφορικό σύστημα και λαμβάνουν διάφορες παραμέτρους υπόψη, όπως για παράδειγμα ο IKONOS λαμβάνει υπόψη ένα αρχείο συντεταγμένων (Rational Polynomial Coefficient, RPC) όπου δίδεται με αυτόν τον τρόπο μία γεωμετρική διόρθωση της εικόνας με μικρή χωρική ακρίβεια.

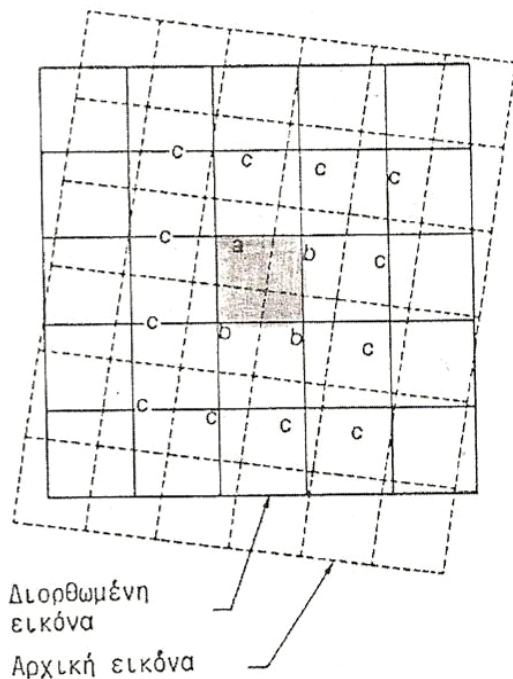
Η εικόνα IKONOS ορθοδιορθώθηκε λαμβάνοντας υπόψη αυτό το αρχείο, το DEM, καθώς και 13 συνολικά σταθερά σημεία επιφάνειας (Ground Control Points, GCPs), όπως είναι διασταυρώσεις δρόμων, γέφυρες κτλ. (σχήμα 3.4), τα οποία λήφθηκαν με ένα επίπεδο αναφοράς που είναι ήδη διορθωμένο γεωμετρικά όπως είναι οι ορθοφωτοχάρτες διανομής 1996. Τα σταθερά σημεία επιφάνειας κατανεμήθηκαν ομοιόμορφα σε όλο το εύρος της εικόνας και σε αριθμό ο οποίος υπερβαίνει τα 10 σημεία για πολυωνυμικό μετασχηματισμό 2^{ου} ή 3^{ου} βαθμού. Το συνολικό RMS error των GCPs ήταν για την πολυφασματική 2.4 μέτρα και για την πανχρωματική 1,1 μέτρα, όπου θεωρείται ικανοποιητικό για το μέγεθος εικονοστοιχείου που έχει ο δορυφόρος σε αυτά τα δύο συστήματα απεικόνισης. Για την ορθοδιόρθωση ακολουθήθηκε μετασχηματισμός δευτέρου βαθμού γιατί μεγαλύτερος βαθμός μετασχηματισμού εισάγει τοπικά τοπολογικά λάθη.



Σχήμα 3.4. Λήψη Σταθερών Σημείων Επιφάνειας (Ground Control Points, GCPs),

Η ορθοδιόρθωση της εικόνας έγινε με την εφαρμογή μιας μεθόδου επαναδειγματοληψίας (resampling method). Υπάρχουν τρεις μέθοδοι: της πλησιέστερης γειτονίας (Nearest Neighbor), της διγραμμικής παρεμβολής (Bilinear Interpolation) και της κυβικής παρεμβολής (Cubic Convolution). Με την πρώτη μέθοδο η τιμή λαμπρότητας ενός εικονοστοιχείου το οποίο βρίσκεται πλησιέστερα στο εικονοστοιχείο του τελικού διορθωμένου καννάβου (στο σχήμα 3.5 η τιμή α) μεταφέρεται σε αυτό. Η μέθοδος αυτή είναι απλή, γρήγορη και δεν μεταβάλλει τις τιμές των εικονοστοιχείων. Παραμορφώνει όμως χωρικά κατά μισό εικονοστοιχείο την εικόνα. Με τη δεύτερη

μέθοδο στο εικονοστοιχείο του καννάβου μεταφέρεται ο μέσος όρος των τιμών λαμπρότητας τεσσάρων εικονοστοιχείων τα οποία βρίσκονται πλησιέστερα στο υπόψη εικονοστοιχείο (σχήμα 3.5 τα εικονοστοιχεία α και b). Η μέθοδος αυτή απαιτεί περισσότερο χρόνο και δημιουργεί μια εικόνα με μικρότερη αντίθεση. Τέλος, με την τρίτη μέθοδο υπολογίζεται ο μέσος όρος 16 πλησιέστερων εικονοστοιχείων (στο σχήμα 3.5 η τιμή α, b και c) της αρχικής εικόνας. Η μέθοδος αυτή απαιτεί περισσότερο χρόνο αλλά η τελική εικόνα δεν παρουσιάζει την παραμόρφωση κατά την πρώτη μέθοδο, ούτε την μείωση της αντίθεσης κατά τη δεύτερη μέθοδο.



Σχήμα 3.5. Η διαδικασία γεωμετρικής διόρθωσης δορυφορικών εικόνων

Από αυτές τις μεθόδους χρησιμοποιήθηκε η μέθοδος της πλησιέστερης γειτονίας γιατί δεν επηρεάζει τις ραδιομετρικές τιμές των εικονοστοιχείων και είναι αρκετά γρήγορη άρα είναι πιο ρεαλιστική στην φωτοερμηνεία, ενώ η παραμόρφωση δεν παρουσιάζεται παρά μόνο σε πολύ μεγάλο ζουμ της εικόνας.

Ραδιομετρικές διορθώσεις δεν χρειάστηκαν να γίνουν γιατί η εικόνα προμηθεύτηκε στο επίπεδο 1B που είναι απαλλαγμένο από αυτές. Εκτός, από τις απλές ραδιομετρικές διορθώσεις, υπάρχουν και οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις οι οποίες προσπαθούν να διορθώσουν την τιμή λαμπρότητας των εικονοστοιχείων λόγω της διάχυσης της ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα. Στη συγκεκριμένη όμως περίπτωση δεν πραγματοποιήθηκε ατμοσφαιρική διόρθωση, γιατί δεν απαιτείται σε προβλήματα ταξινόμησης με μία μόνο δορυφορική εικόνα (single-date classification) επειδή το ενδεχόμενο λάθος στις ραδιομετρικές τιμές των εικονοστοιχείων εμφανίζεται τόσο στα δεδομένα εκπαίδευσης όσο και στα δεδομένα ελέγχου της ακρίβειας της ταξινόμησης (Song et. al. 2001, Kawata et.al, 1990).

3.2.1.1.2 Σύζευξη παγχρωματικής – πολυφασματικής εικόνας

Μετά την ορθοδιόρθωση ακολούθησε η δημιουργία της *pan-sharpen (fusion)* VHR εικόνας. Οι *pan-sharpen* δορυφορικές εικόνες, ουσιαστικά είναι εικόνες οι οποίες συνδυάζουν την χωρική πληροφορία από το πανχρωματικό κανάλι του δορυφορικού συστήματος και τη φασματική από τον πολυφασματικό απεικονιστή του δορυφόρου. Έτσι για παράδειγμα στην περίπτωση της IKONOS, παράχθηκε μία εικόνα για όλη την περιοχή μελέτης με 1 μέτρο χωρική διακριτική ικανότητα σε τέσσερις διαύλους του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (μπλε, πράσινο, κόκκινο και εγγύς υπέρυθρο). Η χρησιμότητα αυτού του προϊόντος ήταν σημαντική σε διάφορα στάδια της μεθοδολογίας όπως η διόρθωση των δεδομένων πεδίου, η ψηφιοποίηση των αγροτεμαχίων και ο διαχωρισμός της εικόνας σε δύο υπό-περιοχές, μέθοδοι οι οποίες αναλύονται σε επόμενα υποκεφάλαια.

Για τη σύζευξη παγχρωματικής – πολυφασματικής εικόνας υπάρχουν τρεις μέθοδοι που χρησιμοποιούνται: Η μέθοδος της πρώτης κύριας συνιστώσας, η μέθοδος μετατροπής Brovey και η μέθοδος Multiplicative. Με την πρώτη μέθοδο πραγματοποιείται η ανάλυση της πολυφασματικής εικόνας σε κύριες συνιστώσες και η πρώτη κύρια συνιστώσα (που αποτελεί ουσιαστικά την φωτεινότητα της πολυφασματικής εικόνας) χρησιμοποιείται για την εξισορρόπηση του ιστογράμματος της παγχρωματικής εικόνας, η οποία μετέπειτα αντικαθιστά την πρώτη συνιστώσα και ακολουθείται η αντίστροφη διαδικασία για τη παραγωγή τελικά της *fusion* εικόνας. Με τη δεύτερη μέθοδο ουσιαστικά αναλύονται αναλογικά οι δύο εικόνες και έπειτα συνδυάζονται. Η τρίτη μέθοδος είναι η πιο απλή και ουσιαστικά πολλαπλασιάζει τις τιμές των εικονοστοιχείων μεταξύ της πολυφασματικής εικόνας και της παγχρωματικής αφού αφαιρεθεί η «ένταση» (*Intensity*) από την εικόνα. Ειδικότερα ο Crispin (1987), αναφέρει ότι ο πολλαπλασιασμός σε σχέση με τις άλλες αριθμητικές πράξεις, δεν επηρεάζει τη χρωματική διαβάθμιση στο τελικό προϊόν. Από αυτές τις τρεις μεθόδους προτιμήθηκε η πρώτη, η οποία αν και είναι η πλέον χρονοβόρα, δεν επηρεάζει τη ραδιομετρία των εικονοστοιχείων.



Παγχρωματική (1 κανάλι, 1 μέτρο)



Πολυφασματική (4κανάλια, 4 μέτρα)



Πολυφασματική (4κανάλια, 1 μέτρο)

Σχήμα 3.6. Σύζευξη (pan – sharpen) πολυφασματικής και παγχρωματικής εικόνας

3.2.1.2 Υπολογισμός επιπλέον χαρακτηριστικών της εικόνας

Μετά την προεπεξεργασία της εικόνας ακολούθησε η δημιουργία νέων δεδομένων για την εικόνα, η συνεισφορά των οποίων ήταν η εισαγωγή τους στην ταξινόμηση της εικόνας για την αύξηση της ακρίβειας του παραγόμενου χάρτη. Υπάρχουν διάφορες τεχνικές επεξεργασίας της εικόνας, οι οποίες μπορούν να κατηγοριοποιηθούν σε τρεις ομάδες;

- τις τεχνικές διαχείρισης της αντίθεσης,
- τις τεχνικές χωρικών στοιχείων και,
- τις τεχνικές πολυφασματικών λόγων.

Από αυτές τις κατηγορίες χρησιμοποιήθηκαν 2 τεχνικές από την ανάλυση των πολυφασματικών λόγων (Tasseled Cap και IHS) και 4 χωρικά φίλτρα βασισμένα στον

grey level co-occurrence matrix όπως προτείνει ο Harallick (1992). Αυτές οι τεχνικές δημιούργησαν 22 νέα δεδομένα εισόδου (3 από τον Tasseled Cap, 3 από το IHS και $4 \times 4 = 16$ από τα co-occurrence φίλτρα) τα οποία με τα τέσσερα αρχικά κανάλια της εικόνας χρησιμοποιήθηκαν για την επιβλεπόμενη ταξινόμησης της περιοχής με αλγόριθμους που βασίζονται σε στατιστικούς παραμέτρους, στην ασαφή λογική και τα νευρωνικά δίκτυα.

3.2.1.2.1 Ο μετασχηματισμός Tasseled Cap

Ο μετασχηματισμός των Kauth και Thomas (1976), ή μετασχηματισμός Tasseled Cap, εν αντιθέσει με την Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών, είναι ένας γραμμικός μετασχηματισμός των πρωτογενών καναλιών της εικόνας με αποτέλεσμα την μετατροπή του πολυφασματικού χώρου σε νέα δεδομένα που έχουν σχέση με τη φωτεινότητα των αντικειμένων που απεικονίζονται (*brightness*), την ύπαρξη χλωροφύλλης (*greenness*), δηλαδή πόσο «πράσινη» είναι η βλάστηση, και την υγρασία του εδάφους (*wetness*).

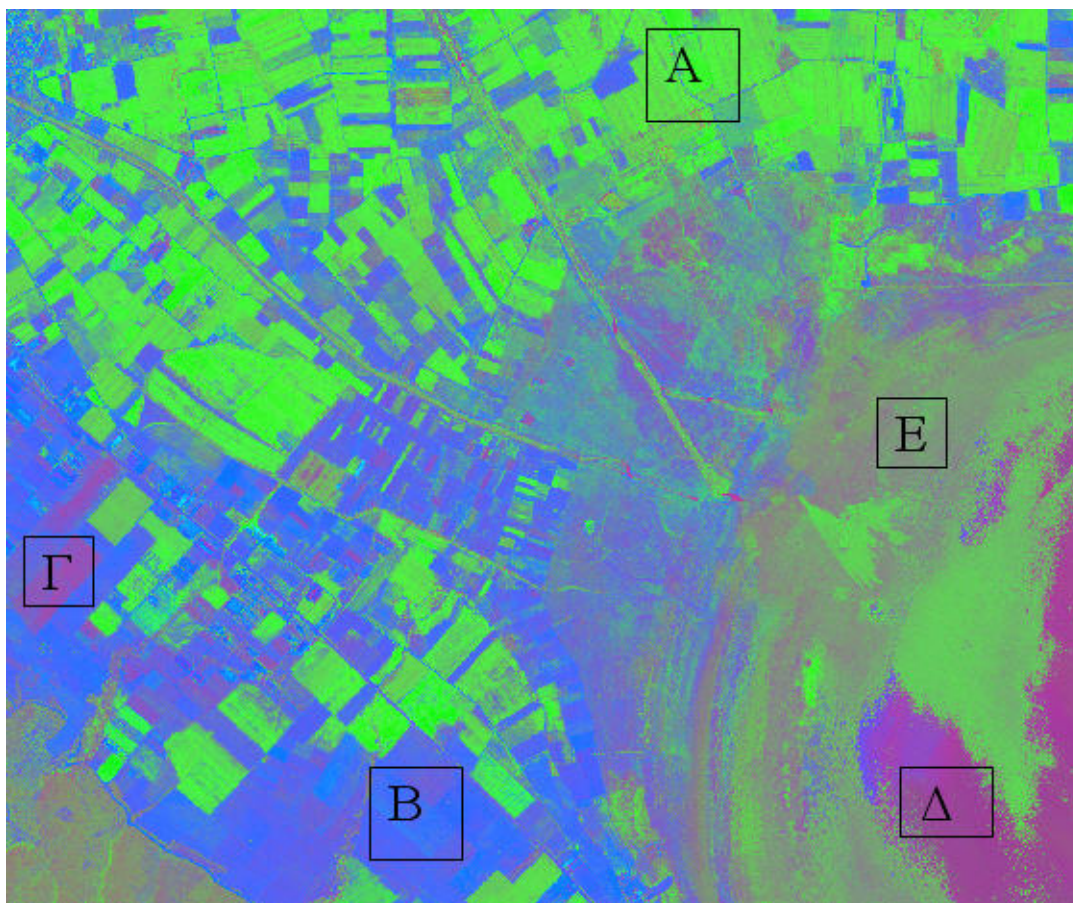
Η εφαρμογή του μετασχηματισμού αυτού έγινε πρώτα σε εικόνες του απεικονιστή MSS του LANDSAT 2 και έπειτα σε εικόνες του TM του LANDSAT 5, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα βάρη - συντελεστές για κάθε κανάλι της εικόνας.

Τα τελευταία χρόνια ο μετασχηματισμός Tasseled Cap εφαρμόστηκε και σε εικόνες IKONOS αφού πρώτα έγινε έλεγχος των βαρών σε δείγμα 195 εικόνων παγκοσμίως (Home 2003). Έτσι δημιουργήθηκε ο παρακάτω πίνακας (matrix), με τον οποίο πολλαπλασιάζονται τα τέσσερα κανάλια της εικόνας και δημιουργούνται τέσσερα νέα κανάλια, από τα οποία το πρώτο είναι η φωτεινότητα, το δεύτερο το πρασίνισμα, το τρίτο η υγρασία ενώ το τέταρτο αποτελεί θόρυβο του συστήματος.

Πίνακας 3.1 Τα στοιχεία του πίνακα πολλαπλασιάζονται με την εικόνα για τη δημιουργία της μετασχηματισμένης εικόνας Tasseled Cap

$$T = \begin{bmatrix} \beta & 0.326 & -0.311 & -0.612 & -0.650 \\ 0.509 & -0.356 & -0.312 & 0.719 \\ 0.560 & -0.325 & 0.722 & -0.223 \\ 0.567 & 0.829 & -0.081 & -0.031 \end{bmatrix}$$

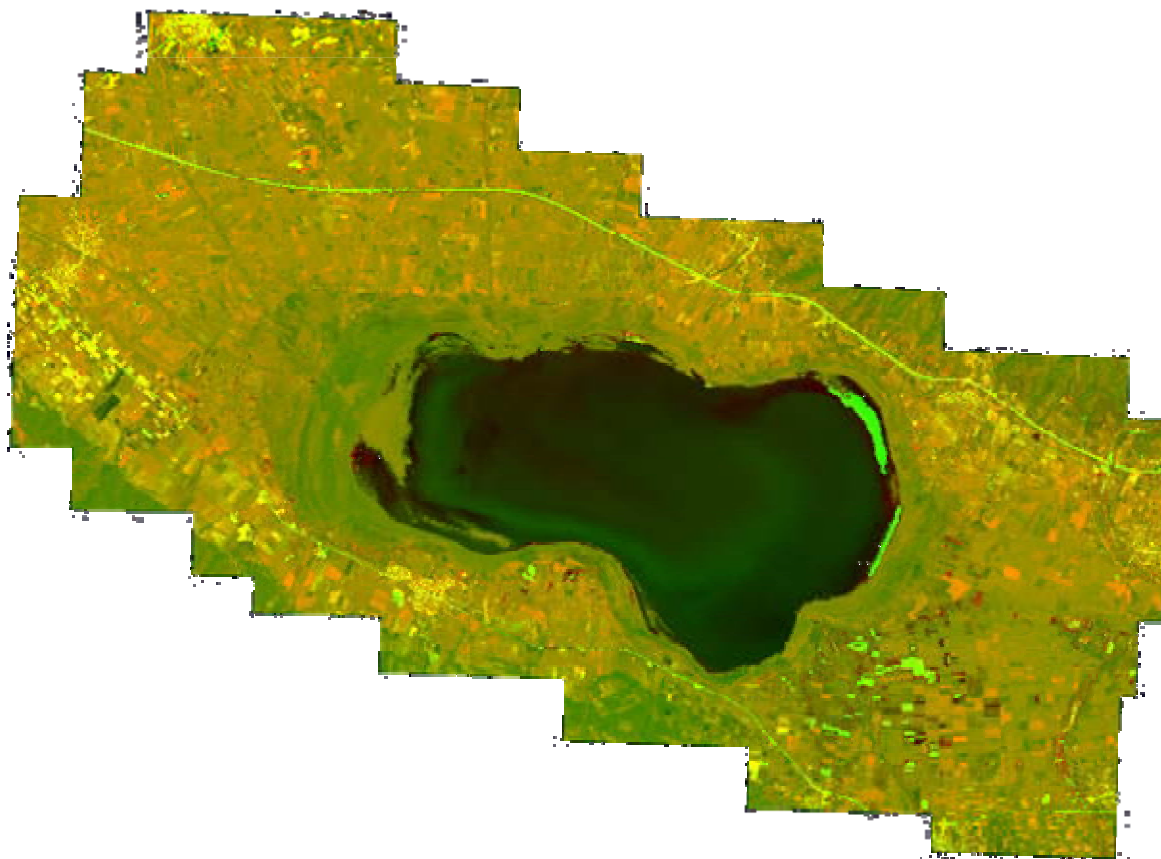
Στο παρακάτω σχήμα εμφανίζεται μία ψευδοέγχρωμη απεικόνιση του μετασχηματισμού Tasseled Cap της εικόνας IKONOS. Οι μπλε χρωματισμοί υποδηλώνουν φωτεινά αντικείμενα όπως κτίρια, δρόμοι, αλλά και αμμώδη εδάφη που μπορεί να καλλιεργούνται καθώς και θερισμένα χωράφια με σιτηρά, με πράσινο χρώμα εμφανίζονται φυσιογραφικά στοιχεία με βλάστηση, ενώ με κόκκινο χρώμα εμφανίζονται υδάτινες μάζες, υγρά εδάφη καθώς και περιοχές όπου υπάρχει βλάστηση αλλά είναι έντονη και η παρουσία του νερού.



Σχήμα 3.7. Μετασχηματισμός Tasseled Cap της εικόνας IKONOS. Στο πλαίσιο Α με το πράσινο εμφανίζονται καλλιέργειες όπου η βλάστηση είναι αναπτυγμένη, στο Β πλαίσιο με μπλε εμφανίζονται αγροτεμάχια με σιτάρι, στο πλαίσιο Γ με το μώβ χρωματισμό εμφανίζονται αγροτεμάχια με υγρό γυμνό έδαφος, στο πλαίσιο Δ με το κόκκινο χρώμα εμφανίζεται το νερό της λίμνης, ενώ στο πλαίσιο Ε με το κοκκινοπράσινο χρώμα εμφανίζεται η υγροτοπική βλάστηση

3.2.1.2.2 Ο μετασχηματισμός IHS

Εκτός από τον μετασχηματισμό των Kauth και Thomas υπάρχει και ο μετασχηματισμός Έντασης– Φωτεινότητας – Κορεσμού (*Intensity, Hue, Saturation, IHS*). Αυτός ο μετασχηματισμός προϋποθέτει τη χρησιμοποίηση τριών καναλιών από τα τέσσερα της εικόνας από τα οποία η ψευδοέγχρωμη απεικόνιση Κόκκινο – Πράσινο – Μπλε (Red, Green, Blue, RGB) μετατρέπεται σε IHS. Η *φωτεινότητα* αντιπροσωπεύει τη συνολική ποσότητα φωτός του κάθε χρώματος, η *ένταση* αποτελεί ιδιότητα του χρώματος η οποία εξαρτάται από το μήκος κύματος, ενώ ο *κορεσμός* δείχνει την «καθαρότητα» του χρώματος (Zhang and Hong, 2005). Τα κανάλια που χρησιμοποιήθηκαν ως RGB είναι τα κανάλια τέσσερα, τρία και δύο της IKONOS.



Σχήμα 3.8. Ο μετασχηματισμός IHS της εικόνας IKONOS

3.2.1.2.3 Η δημιουργία των *Co – occurrence* φίλτρων

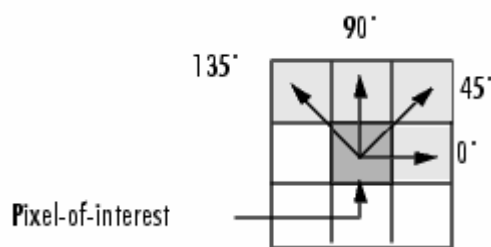
Μετά την εξαγωγή της επιπλέον φασματικής πληροφορίας, ακολούθησε η ανάλυση της πληροφορίας της υφής της εικόνας (texture), με τη χρησιμοποίηση των φίλτρων co-occurene. Για την καλύτερη κατανόηση της διαδικασίας παραγωγής αυτών των φίλτρων ακολουθεί το κάτωθι παράδειγμα.

Ας θεωρήσουμε ότι έχουμε μια απλή εικόνα με ένα κανάλι για ευκολία των υπολογισμών, π.χ.

0	0	1	1
0	0	1	1
0	2	2	2
2	2	3	3

Η παραπάνω εικόνα αποτελείται από 4x4 pixels, με 4 επίπεδα τιμών, 0,1,2,3. Το πρώτο βήμα είναι ο υπολογισμός του *Grey Level Co-occurrence Matrix (GLCM)*. Για να γίνει αυτό πρέπει να αποφασιστούν 2 παράμετροι, η απόσταση d και η γωνία θ (σχήμα 3.9). Το d υποδηλώνει την απόσταση πού θα ακολουθηθεί μεταξύ των εικονοστοιχείων και συνήθως λαμβάνεται η τιμή 1 (διπλανά εικονοστοιχεία). Όσον αφορά τη γωνία θ μπορεί να επιλεγθούν οι τιμές 0° , 45° , 90° και 135° (σχήμα 3.9). Μετά τον καθορισμό αυτών των παραμέτρων ακολουθεί ο υπολογισμός του πίνακα GLCM ο οποίος φανερώνει τη

συχνότητα εμφάνισης όλων των δυνατών συνδυασμών των τιμών των pixel σύμφωνα με την απόσταση και τη γωνία που έχουν επιλεγθεί.



Σχήμα 3.9. Οι γωνίες για απόσταση $d=1$. Για $d=2$ θα λαμβανόταν υπόψη το παραδιπλανό και όχι το διπλανό pixel.

Σύμφωνα με τον πίνακα 2 Οι GLCM πίνακες για $d=1$, και $\theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ αντίστοιχα είναι οι εξής:

0°	j=0	j=1	j=2	j=3
i=0	2	2	1	0
i=1	0	2	0	0
i=2	0	0	3	1
i=3	0	0	0	1

45°	J=0	j=1	j=2	j=3
i=0	2	1	0	0
i=1	0	1	0	0
i=2	0	2	2	0
i=3	0	0	1	0

90°	j=0	j=1	j=2	j=3
i=0	3	0	0	0
i=1	0	2	0	0
i=2	2	2	1	0
i=3	0	0	2	0

135°	J=0	j=1	j=2	j=3
i=0	1	0	0	0
i=1	1	1	0	0
i=2	3	1	0	0
i=3	0	0	2	0

Σχήμα 3.10. Τα GLCM για γωνίες $\theta = 0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$

Το τρίτο βήμα είναι ο υπολογισμός των φίλτρων. Ο Haralick προτείνει 14, και στην προκειμένη περίπτωση χρησιμοποιήθηκαν τέσσερα. Για τον υπολογισμό τους κανονικοποιείται ο πίνακας GLCM και για $\theta = 0^\circ$, λαμβάνεται ο πίνακας 3.2.

Πίνακας 3.2. Η κανονικοποίηση του GLCM για $\theta = 0^\circ$

0°	j=0	j=1	j=2	j=3
i=0	0,16667	0,16667	0,083333	0
i=1	0	0,16667	0	0
i=2	0	0	0,25	0,083333
i=3	0	0	0	0,083333

Τα 4 χαρακτηριστικά που υπολογίστηκαν είναι η *Αντίθεση* (*Contrast*) το *Angular Second Moment*, η *Συσχέτιση* (*Correlation*) και η *Ομογένεια* (*Homogeneity*) και δίνονται από τους παρακάτω τύπους:

$$Contrast = \sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^G |i-j|^2 p(i,j) \quad (\text{Σχέση 3.1})$$

$$Angular\ Second\ Moment = \sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^G p(i,j)^2 \quad (\text{Σχέση 3.2})$$

$$Correlation = \sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^G \frac{(i-\mu)(j-\mu)p(i,j)}{\sigma^2} \quad (\text{Σχέση 3.3})$$

$$Homogeneity = \sum_{i=1}^G \sum_{j=1}^G \frac{p(i,j)}{1+|i-j|} \quad (\text{Σχέση 3.4})$$

Όπου G είναι ο αριθμός των gray levels, i αναφέρεται στη γραμμή του GLCM, j στη στήλη και p(i,j) είναι το στοιχείο του GLCM.

Για τον παραπάνω πίνακα βγαίνουν οι τιμές:

Contrast = 0.5833

Correlation = 0.797

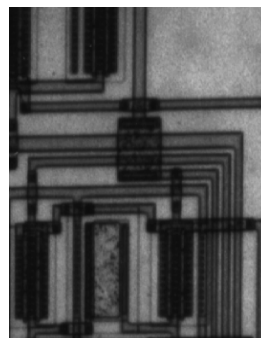
Angular Second Moment = 0.1667

Homogeneity = 0.8194

Στο παραπάνω παράδειγμα θεωρήσαμε μια εικόνα, μόνο με 16 εικονοστοιχεία. Για μεγαλύτερες εικόνες, χρησιμοποιείται ένα κινούμενο παράθυρο $n \times n$ εικονοστοιχείων. Για την κατανόηση της πληροφορίας που δίνουν τα co-occurrence χαρακτηριστικά παρουσιάζονται δύο εικόνες στο παρακάτω σχήμα.



Εικόνα 1



Εικόνα 2

Για αυτές τις δύο εικόνες υπολογίστηκαν τα τέσσερα χαρακτηριστικά και βρέθηκαν οι ακόλουθες τιμές:

Πίνακας 3.3. Ο υπολογισμός των co-occurrence φίλτρων των δύο εικόνων

Εικόνα 1	Εικόνα 2
Contrast: 0.1677 Correlation: 0.9633 Angular Second Moment: 0.3987 Homogeneity: 0.9450	Contrast: 0.1746 Correlation: 0.9490 Angular Second Moment: 0.1680 Homogeneity: 0.9138

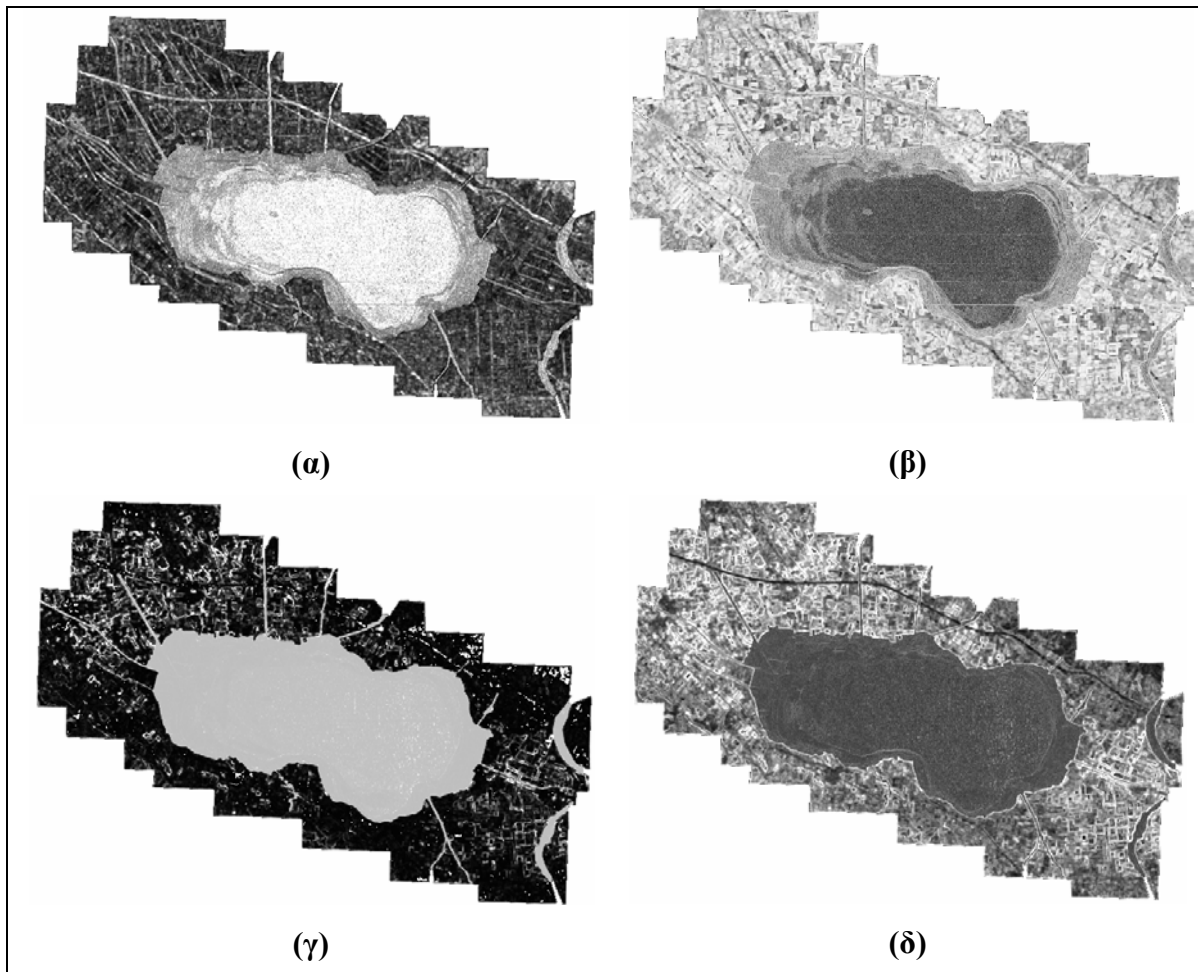
Η Αντίθεση (Contrast) δείχνει την ποικιλία των χρωμάτων μέσα στην εικόνα. Στην πρώτη εικόνα έχουμε κατά βάση 2 χρώματα (μαύρο-ασημί) ενώ στη δεύτερη περισσότερη ποικιλία γι' αυτό και λίγο μεγαλύτερη τιμή.

Η Συσχέτιση (Correlation) έχει σχέση με τη συσχέτιση των ραδιομετρικών τιμών των εικονοστοιχείων μεταξύ τους. Πιο έντονη έχει η πρώτη.

Το Angular Second Moment έχει σχέση με την ομοιομορφία. Η πρώτη είναι πιο ομοιόμορφη.

Η Ομοιογένεια (Homogeneity) έχει σχέση με το πόσο κοντά είναι οι τιμές των pixels της εικόνας μεταξύ τους.

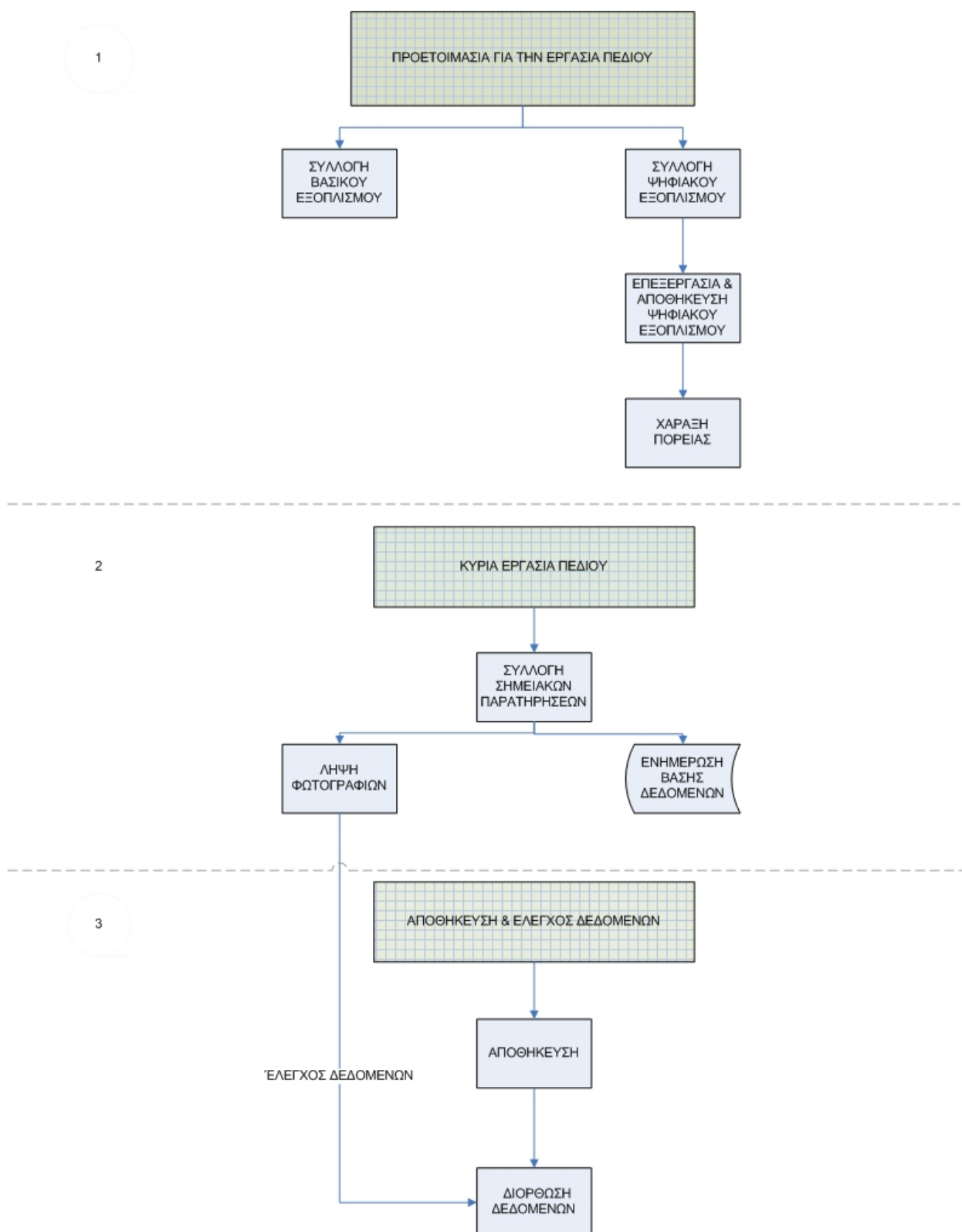
Για τη δορυφορική εικόνα παράχθηκαν αυτά τα τέσσερα χαρακτηριστικά για κάθε ένα από τα τέσσερα κανάλια με απόσταση 1, γωνία 0° και μέγεθος κινούμενου παραθύρου 23x23. Στο σχήμα που ακολουθεί απεικονίζονται τα φίλτρα που παράχθηκαν για το τρίτο κανάλι της εικόνας.



Σχήμα 3.11. Τα co-occurrence φίλτρα του τρίτου καναλιού της εικόνας, α) η αντίθεση, β) η συσχέτιση γ) το Angular Second Moment και δ) η ομοιογένεια

3.2.1.3 Εργασία πεδίου

Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας εκτός από τα ίδια τα δορυφορικά δεδομένα της τηλεπισκόπησης απαιτείται και η λήψη επισκοπικών δεδομένων με εργασία υπαίθρου, η οποία και πραγματοποιήθηκε στα μέσα Σεπτεμβρίου του 2005 σαράντα περίπου ημέρες μετά από την λήψη της δορυφορικής εικόνας. Η εργασία πεδίου που έλαβε χώρα μπορεί να χωριστεί σε 3 στάδια: 1) Το στάδιο της προετοιμασίας των δεδομένων, 2) Το στάδιο της συλλογής των παρατηρήσεων στο πεδίο και 3) το στάδιο της αποθήκευσης και ελέγχου (σχήμα 3.12).



Σχήμα 3.12. Αναπαράσταση της μεθοδολογίας για τη λήψη των δεδομένων πεδίου

3.2.1.3.1 Προετοιμασία για τη συλλογή δεδομένων πεδίου

Στο στάδιο αυτό συγκεντρώθηκε ο κατάλληλος εξοπλισμός και επεξεργάστηκε κατάλληλα η δορυφορική εικόνα. Πιο συγκεκριμένα, σε υπολογιστή παλάμης (Palm top) με κατάλληλο λογισμικό, αποθηκεύτηκε η δορυφορική εικόνα σε ψευδοέγχρωμη απεικόνιση αφού πρώτα συμπίεστηκε σε μορφή MrSid που ακολουθεί ένα αλγόριθμο πυραμοειδούς συμπίεσης για εξοικονόμηση χώρου, χωρίς όμως να χάσει η εικόνα την οπτική ποιότητά της, και ο οποίος ήταν συνδεδεμένος με GPS ακρίβειας αντίστοιχης των υπόλοιπων δεδομένων, για τη λήψη της χωρικής θέσης των σημείων. Επίσης, στον εξοπλισμό υπήρχε ψηφιακή φωτογραφική μηχανή για τη λήψη φωτογραφιών από κάθε σημείο παρατήρησης, ψηφιακό μαγνητόφωνο για την καταγραφή ηχητικών παρατηρήσεων, καθώς και μεταφερόμενος υπολογιστής (LapTop) για τη δημιουργία αντιγράφων ασφαλείας (backup). Ακόμη, υπήρχε οδικός χάρτης της περιοχής, καθώς και κιάλια για μακροσκοπικές παρατηρήσεις σε δυσπρόσιτα μέρη.

Στη συνέχεια, με τη χρήση της δορυφορικής εικόνας και οδικού χάρτη της περιοχής χαράχθηκε η κατάλληλη πορεία που έπρεπε να ακολουθηθεί για τη λήψη αντιπροσωπευτικού δείγματος σημείων από όλες τις περιοχές ενώ με τη χρήση της δορυφορικής εικόνας εντοπίστηκαν σημεία τα οποία έπρεπε απαραίτητα να συλλεχθούν διότι δεν ήταν δυνατή η αναγνώριση των καλύψεων γης με τις συνήθεις κλειδες φωτοερμηνείας.

3.2.1.3.2 Συλλογή παρατηρήσεων στο πεδίο

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιήθηκε η λήψη των σημείων τα οποία συνδέονταν μέσω βάσης δεδομένων με τις αντίστοιχες φωτογραφίες και ηχητικές παρατηρήσεις του μαγνητοφώνου. Αναλυτικότερα, με τη χρήση του κατάλληλου λογισμικού του υπολογιστή παλάμης και του GPS, ταυτίστηκαν σημεία της εικόνας με τα σημεία που παρατηρήθηκαν στο πεδίο δημιουργώντας ένα γεωγραφικό επίπεδο πληροφοριών, όπου εκτός από τις συντεταγμένες του σημείου υπήρχαν τρία ακόμη πεδία: Το πεδίο που αναφέρεται στην κάλυψη γης του σημείου, το πεδίο που αναγράφει τον κωδικό για τη φωτογραφία (αν έχει ληφθεί) και ένα πεδίο για τις ηχητικές παρατηρήσεις (αν έχουν γίνει).

3.2.1.3.3 Έλεγχος και επεξεργασία

Στο στάδιο αυτό αποθηκεύονταν ανά τακτά χρονικά διαστήματα τα δεδομένα που συλλέχθηκαν το πεδίο. Αρχικά αποθηκεύτηκαν τα σημεία, οι φωτογραφίες και οι ηχητικές παρατηρήσεις στο μεταφερόμενο υπολογιστή ενώ αργότερα με εργασία γραφείου, πραγματοποιήθηκε ο έλεγχος αυτών με τη βοήθεια και της δορυφορικής εικόνας, αφού είναι πιθανόν κατά τη διάρκεια λήψης των σημείων, αυτά να μην τοποθετήθηκαν σωστά. Έτσι, όπου κρίθηκε απαραίτητο, έγινε η μετακίνηση, διόρθωση ή διαγραφή τους.



Σχήμα 3.13. Φωτογραφίες από την εργασία υπαίθρου. Στην πάνω δεξιά γίνεται λήψη σημείων με τη χρήση του palm top, στην πάνω αριστερά παρατήρηση του υγρότοπου με κιάλια, στη κάτω δεξιά παρατήρηση της εκτυπωμένης δορυφορικής εικόνας από το αυτοκίνητο και στην κάτω αριστερά χρήση του φορητού υπολογιστή για άμεση αποθήκευση των δεδομένων.

3.2.1.3.4 Γενικές Παρατηρήσεις

Ο σκοπός της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε για τη συλλογή των δεδομένων πεδίου είχε ως σκοπό να μειώσει λάθη που μπορούν να παρατηρηθούν στις δειγματοληπτικές περιοχές, όπως επισημαίνει ο Foody (2002) ώστε να μην υπάρχουν λάθη και στην εκτίμηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων που έγιναν στην περιοχή. Έτσι, τα δεδομένα προήλθαν από παρατήρηση στο πεδίο και όχι από φωτοερμηνεία, ενώ η λήψη πραγματοποιήθηκε λίγες μέρες μετά την προμήθεια της δορυφορικής εικόνας. Ακόμη καλύφθηκε όλη η περιοχή μελέτης και λήφθηκαν πολλά σημεία από όλες τις καλύψεις γης που απαντώνται στην περιοχή, που βοηθά και στην σωστή κατανομή των σημείων στις διάφορες κλάσεις. Βέβαια, παρατηρήθηκαν διάφορα προβλήματα κατά την εργασία πεδίου όπως η έλλειψη φορτιστή μπαταρίας αυτοκινήτου του Palm top με αποτέλεσμα την καθυστέρηση για μία ώρα περίπου για την επαναφόρτισή του, οι κακές καιρικές συνθήκες κατά τη δεύτερη μέρα και η δυσβατότητα της περιοχής σε σημεία κυρίως του υγρότοπου με αποτέλεσμα η πρόσβαση να μην πραγματοποιείται οδικώς. Τα προβλήματα όμως αυτά περισσότερο προκάλεσαν χρονική καθυστέρηση στην εργασία παρά επηρέασαν την ποιότητα του αποτελέσματος της.

3.2.1.4 Δημιουργία του Classification Scheme

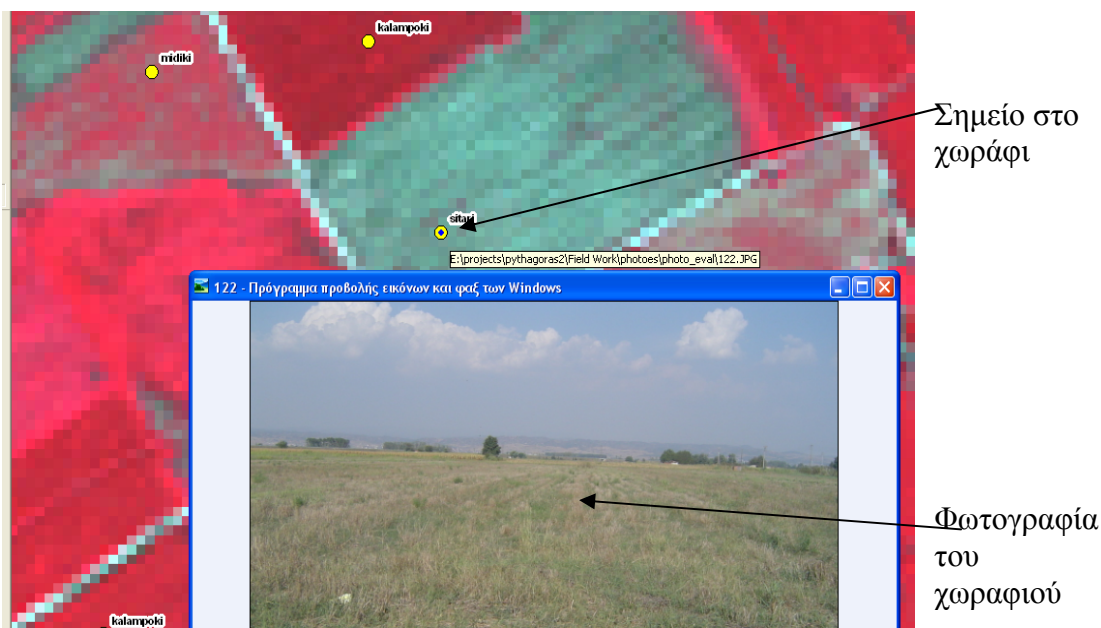
Μετά την εργασία πεδίου και τη συλλογή δειγματοληπτικών περιοχών ακολούθησε η δημιουργία του συστήματος ταξινόμησης της εικόνας (Classification Scheme) δηλαδή, οι κλάσεις στις οποίες θα ταξινομηθεί η δορυφορική εικόνα.

Για τη δημιουργία ενός Classification Scheme για την ταξινόμηση μιας δορυφορικής εικόνας απαιτούνται κάποιες προϋποθέσεις. Θα πρέπει λοιπόν:

1. Οι κλάσεις που θα δημιουργηθούν να καλύπτουν τον σκοπό της ταξινόμησης (Για παράδειγμα στη Κορώνεια η ανάπτυξη περιβαλλοντικών δεικτών, οι οποίοι θα παρουσιάζουν την πίεση που ασκείται στον υγρότοπο και της κατάστασής του)
2. Οι κλάσεις οι οποίες δημιουργούνται να είναι όσο το δυνατόν ταυτόσημες με ήδη υπάρχοντα συστήματα ταξινόμησης (Corine, Natura, Medwet, Ramsar κ.α)
3. Οι φασματικές κλάσεις οι οποίες θα δημιουργηθούν να είναι όσο το δυνατόν πιο διαχωρίσιμες σύμφωνα με τις παραμέτρους των αλγορίθμων που θα χρησιμοποιηθούν
4. Στην περιοχή μελέτης που καλύπτει η εικόνα να μην υπάρχουν άλλες κλάσεις οι οποίες δεν έχουν συμπεριληφθεί στο Classification Scheme.

Κατά τη δημιουργία του συστήματος ταξινόμησης τα σημεία που αναγνωρίστηκαν στο πεδίο ελέγχθηκαν πάλι μέσω του λογισμικού GIS ενώ, παράλληλα, συνδέθηκαν (hyperlink) οι φωτογραφίες και οι ηχητικές παρατηρήσεις με τα σημεία παρατήρησης (σχήμα 3.14). Έπειτα, ακολούθησε η φωτοερμηνεία των σημείων και των φωτογραφιών που λήφθηκαν και η κατηγοριοποίηση του κάθε σημείου σε μία κλάση συμπληρώνοντας έναν κωδικό στη βάση δεδομένων των σημείων.

Ο κωδικός αυτός αποτελείται από 2 αλφαριθμητικούς χαρακτήρες. Ο πρώτος είναι γράμμα και αναφέρεται στην περιοχή (π.χ. αν είναι κατηγορία του υγρότοπου ή της αγροτικής περιοχής, ή κάτι διαφορετικό) ενώ ο δεύτερος είναι αριθμός και αναφέρεται ειδικότερα στην κλάση στην οποία θα ταξινομηθεί η εικόνα. Ένα πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι μπορούσε να προστεθεί και τρίτο ψηφίο υποδεικνύοντας υποκλάσεις της ταξινόμησης (για παράδειγμα ανεπτυγμένο καλαμπόκι, μη ανεπτυγμένο) οι οποίες σε μερικούς αλγόριθμους ταξινόμησης είναι επιθυμητό να δημιουργηθούν. Βέβαια, έπειτα αυτές οι υποκλάσεις με μεθόδους επαναταξινόμησης, μπορούν να ενωθούν πάλι στην κύρια κλάση.



Σχήμα 3.14. Υπέρθεση σημείων στη δορυφορική εικόνα IKONOS σε ψευδοέγχρωμη απεικόνιση και σύνδεση με τις φωτογραφίες πεδίου για την καλύτερη εκτίμηση και επιβεβαίωση των σημείων που συλλέχθηκαν καθώς και για τη δημιουργία του Classification Scheme.

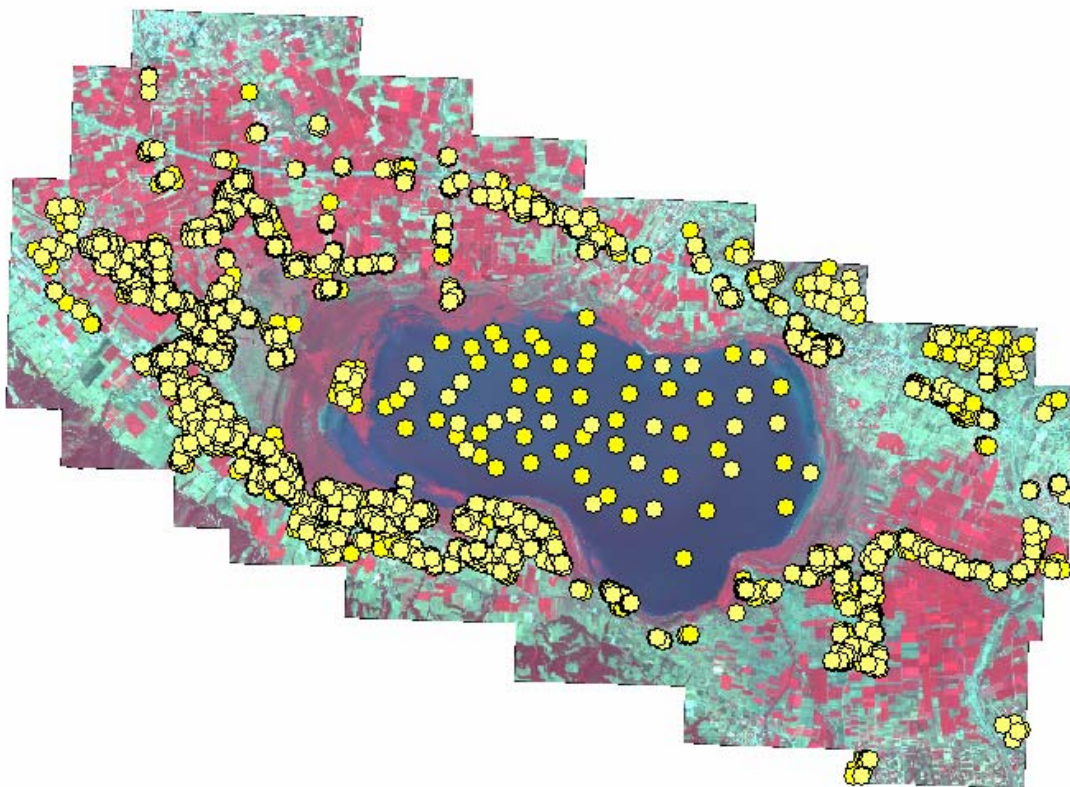
Συνολικά λήφθηκαν 715 δειγματοληπτικά σημεία από τα οποία 627 ταξινομήθηκαν σε 13 κλάσεις συνολικά (πίνακας 3.4). Από αυτές τις δεκατρείς κλάσεις, έξι αναφέρονται στις καλλιέργειες (κωδικοί με γράμμα Α), πέντε στους τύπους οικοτόπων (κωδικοί με γράμμα Υ) και 2 επιπλέον κατηγορίες που αναφέρονται σε κλάσεις οι οποίες δεν είναι αγροτικές ούτε υδροτοπικές (κωδικοί με γράμμα Ε). Οι κλάσεις οι οποίες δημιουργήθηκαν αποτυπώνονται στον πίνακα 3.4, καθώς και ο αριθμός και το ποσοστό των σημείων που συλλέχθηκαν ανά κλάση.

Ειδικότερα για τις κλάσεις Α4, Α5 και Α6, έγινε συγχώνευση ειδών καλλιεργειών σε αυτές τις κλάσεις γιατί καλύπτουν τις απαιτήσεις για τη δημιουργία του Classification Scheme, όπως ήδη αναφέρθηκε, δηλαδή είναι κατηγορίες που μπορούν να συμμετάσχουν στην ανάπτυξη δεικτών και έχουν όμοια φασματική συμπεριφορά (π.χ. στην κατηγορία Α5 υπάρχουν αγροτεμάχια με πιπεριές μελιτζάνες κρεμμύδια κ.α.). Κάτι ανάλογο συμβαίνει και με την κατηγορία Υ4 όπου υπάρχουν διάφορα δέντρα όπως λεύκες ακακίες, κ.α.

Έπειτα ακολούθησε η πυκνωση των σημείων ελέγχου λαμβάνοντας συνολικά 3920 σημεία τα οποία διαχωρίστηκαν σε δύο ομάδες: το 70% αποτέλεσε τα σημεία εκπαίδευσης (traininig sites) των αλγορίθμων ταξινόμησης και το 30% τα σημεία ελέγχου της ακρίβειας της ταξινόμησης (test sites). Ο διαχωρισμός έγινε τυχαία στρωματοποιημένα (random stratified) όπου ως στρώμα χρησιμοποιήθηκαν οι κλάσεις της ταξινόμησης

Πίνακας 3.4 Κατανομή των σημείων που συλλέχθηκαν στο πεδίο στις 13 κλάσεις του Classification Scheme

Κωδικός Classification Scheme	Κλάση ταξινόμησης	Κλάση CORINE	Κλάση Natura	Αριθμός σημείων	Ποσοστό %
A1	Μηδική	221	1020	130	20,73
A2	Σιτηρά	211	1020	145	23,13
A3	Καλαμπόκι	212	1020	124	19,78
A4	Δενδρώδεις Καλλιέργειες	222	1020	20	3,19
A5	Λαχανώδεις καλλιέργειες	241	1020	22	3,51
A6	Αγροαπάυση – Εγκαταλειμμένοι αγροί	243	1022	29	4,63
Y1	Καλαμώνες	411	72A0	45	7,18
Y2	Τάμαριξ	421	92D0	19	3,03
Y3	Υγρολίβαδο	421	6420	60	9,57
Y4	Δέντρα	-	92A0	18	2,87
Y5	Νερό	51	3190 & 3280	2	0,32
E1	Χορτολοιβαδικές και θαμνώδεις εκτάσεις	32	-	8	1,28
E2	Αστική χρήση	11	1050	5	0,80
Σύνολο				627	100



Σχήμα 3.15. Η κατανομή των σημείων πεδίου στη δορυφορική εικόνα

3.2.1.5 Διαχωρισμός της εικόνας στην IKONOS στην υγροτοπική και αγροτική περιοχή

Λόγω του μεγάλου αριθμού κλάσεων και της πιθανότητας αλληλοεπικάλυψης των φασματικών υπογραφών που έχει ως συνέπεια την μικρή ακρίβεια της ταξινόμησης (Oetter et. al., 2001), η περιοχή χωρίστηκε σε δύο ζώνες: την υγροτοπική με τις πέντε κλάσεις και την αγροτική με τις υπόλοιπες κλάσεις. Συγκεκριμένα, με τη συμβολή της *pan – sharpen* εικόνας, των φωτογραφιών που λήφθηκαν από το πεδίο καθώς και του επικαιροποιημένου χάρτη με τους τύπους οικοτόπων στην ειδική περιοχή προστασίας NATURA 2000 στη λίμνη Κορώνεια αναγνωρίστηκε και ψηφιοποιήθηκε ο υγρότοπος της περιοχής.

Ειδικότερα, ψηφιοποιήθηκε, βάση φωτοερμηνείας της δορυφορικής εικόνας, ο υγρότοπος της περιοχής και ως δεύτερο βήμα ακολούθησε η διόρθωση της ψηφιοποίησης με βάση τα δεδομένα πεδίου. Τέλος, ακολούθησε περαιτέρω διόρθωση σε περιοχές που δεν υπήρχαν δεδομένα πεδίου με τη χρήση του χάρτη NATURA, από τον οποίο εξήχθησαν τα όρια της υγροτοπικής βλάστησης σύμφωνα με την εργασία των Μαντζαβέλα κ.α... (1995).

Στην υγροτοπική περιοχή περιλαμβάνονται οι πέντε προαναφερθείσες κλάσεις, ενώ στην υπόλοιπη αγροτική κυρίως περιοχή υπάρχουν οι υπόλοιπες κλάσεις (καλλιέργειες, χορτολειαδικές εκτάσεις και αστική χρήση). Επομένως, με κάθε αλγόριθμο

ταξινόμησης πραγματοποιήθηκαν δύο ταξινομήσεις: Μία στην αγροτική περιοχή με οχτώ κλάσεις και μία στην υδροτοπική με πέντε κλάσεις.

3.2.1.6 Εφαρμογή μεθόδων ταξινόμησης

Μετά την επεξεργασία της εικόνας, της λήψης των σημείων και τη δημιουργία του Classification Scheme, ακολούθησε το επόμενο στάδιο της ταξινόμησης όπου ήταν η εφαρμογή των αλγορίθμων ταξινόμησης (ταξινομητές). Επιλέχθηκαν τέσσερις διαφορετικοί ταξινομητές οι οποίοι ανήκουν σε διαφορετική κατηγορία ταξινομητών. Συγκεκριμένα, επιλέχθηκαν ταξινομητές που είτε στηρίζονται σε στατιστικούς παραμέτρους ή νευρωνικά δίκτυα, είτε αποφασίζουν με τρόπο ελαστικό (Fuzzy), είτε με τρόπο ανελαστικό για την κλάση που ανήκει κάθε εικονοστοιχείο. Έτσι δημιουργήθηκε ο πίνακας 3.5, ο οποίος δείχνει τις τέσσερις υποκατηγορίες ταξινομητών που εξετάζονται, και την επιλογή του ταξινομητή που χρησιμοποιήθηκε από κάθε υποκατηγορία. Η ανάλυση αυτών των αλγορίθμων ταξινόμησης παρουσιάζεται παρακάτω για την κατανόηση της φιλοσοφίας τους, τις παραμέτρους που πρέπει να ληφθούν υπόψη, καθώς και για τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματά τους κατά την εφαρμογή.

Πίνακας 3.5 Οι αλγόριθμοι ταξινόμησης που χρησιμοποιήθηκαν και η κατηγορία που ανήκουν

Κατηγορίες Ταξινομητών	Στατιστικοί Ταξινομητές	Νευρωνικά Δίκτυα
Ανελαστικοί Ταξινομητές	Maximum Likelihood (MLC)	Back Propagation (BP)
Ελαστικοί Ταξινομητές (Fuzzy)	Dempster – Shafer (DS)	SONeFMUC

3.2.1.6.1 Ταξινομητής Μέγιστης Πιθανοφάνειας (*Maximum Likelihood*)

Η μέθοδος της Μέγιστης Πιθανοφάνειας (*Maximum Likelihood Classifier, MLC*) είναι μία παραμετρική μέθοδος και αποφασίζει ανελαστικά (hard) για το ποια κλάση ανήκει ένα εικονοστοιχείο και αποτελεί μία παραδοσιακή μέθοδο ταξινόμησης η οποία χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα στη διεθνή βιβλιογραφία γιατί είναι εύκολη να χρησιμοποιηθεί και είναι διαθέσιμη σε όλα τα εμπορικά λογισμικά τηλεπισκόπησης. Επίσης σε σχέση με άλλες μεθόδους ταξινόμησης της ίδιας κατηγορίας ταξινομητών (Minimum Distance to Mean, Mahalanobis κ.α.), υπερτερεί γιατί στηρίζεται στην θεωρία του Bayes και παίρνει υπόψη της τη διακύμανση και την συνδιακύμανση των δεδομένων εισόδων των φασματικών υπογραφών. Η διακύμανση αποτελεί το μέσο τετράγωνο των διαφορών μεταξύ των τιμών των εικονοστοιχείων και των μέσων όρων σε ένα κανάλι, ενώ η συνδιακύμανση είναι το αποτέλεσμα των διαφορών των τιμών των εικονοστοιχείων σε δύο διαφορετικά κανάλια από τους αντίστοιχους μέσους όρους τους. Η εξίσωση της Maximum Likelihood δίνεται από τον τύπο:

$$Dc = \ln(a_c) - [0,5 \ln(|Cov_c|)] - [0,5 (X - M_c)^T (Cov_c^{-1}) (X - M_c)] \quad (\text{Σχέση 3.5})$$

Όπου:

D_c = η σταθμική απόσταση (πιθανοφάνεια)

c = μία συγκεκριμένη κλάση

a_c = η εκ προοιμίου πιθανότητα ότι το εικονοστοιχείο βρίσκεται στην κλάση c

Cov_c = ο πίνακας συνδιακύμανσης για την κλάση c

$|Cov_c|$ = η ορίζουσα του πίνακα συνδιακύμανσης

Cov_c^{-1} = ο αντίστροφος του πίνακα συνδιακύμανσης

X = το διάνυσμα τιμών του εικονοστοιχείου προς ταξινόμηση

M_c = το μέσο διάνυσμα για την κλάση c

$(X-M_c)^T$ = ο ανάστροφος του πίνακα $X-M_c$

$\ln$ = ο νεπέριος λογάριθμος

Τα πλεονεκτήματα της MLC είναι ότι: 1) θεωρείται η πιο ακριβής μέθοδος από τους ανελαστικούς ταξινομητές όταν τα εικονοστοιχεία σε κάθε κανάλι της εικόνας ακολουθούν την κανονική κατανομή 2) παίρνει υπόψη τη διακύμανση των κλάσεων χρησιμοποιώντας τον πίνακα συνδιακύμανσης. Από την άλλη πλευρά τα μειονεκτήματά της είναι: 1) Αποτελεί μία παραμετρική μέθοδο που σημαίνει ότι θα πρέπει να υπάρχει κανονική κατανομή των τιμών των εικονοστοιχείων σε κάθε κανάλι και 2) όταν έχουν ληφθεί ανομοιογενή δείγματα σε μία κλάση τότε στον πίνακα συνδιακύμανσης παρατηρούνται μεγάλες τιμές με αποτέλεσμα το D_c να ελαττώνεται και πολλά εικονοστοιχεία να ταξινομούνται λάθος σε αυτή την κλάση (overestimation). Επομένως, για την καλύτερη ταξινόμηση με την MLC θα πρέπει οι περιοχές εκπαίδευσης να αποτελούν ομοιογενή δείγματα.

3.2.1.6.2 Ταξινομητής Dempster - Shafer

Ο Dempster-Shafer (DS) αποτελεί έναν ελαστικό παραμετρικό ταξινομητή ο οποίος σε αντίθεση με άλλους ταξινομητές της ίδιας κατηγορίας (π.χ. Fuzzy K – Means, Bayess) επιδέχεται και την ύπαρξη άλλων κλάσεων, οι οποίες θα μπορούσαν να ονομαστούν σαν μία κλάση «άγνωστη» η οποία δεν έχει οριστεί από τον αναλυτή. Αυτό οφείλεται στην τροποποιημένη εξίσωση του Bayess που υιοθετεί η θεωρία των Dempster-Shafer. Έτσι ο αλγόριθμός που χρησιμοποιεί αυτή η μέθοδος είναι:

$$C(h|e) = \frac{p(e|h) p(h)}{\max(p(e|h_i) p(h_i))} \quad (\text{Σχέση 3.6})$$

όπου $C(h/e)$ η ομοιότητα (*commonality*) της υπόθεσης h . Μιλούμε για ομοιότητα και όχι πιθανότητα, επειδή η μέθοδος Dempster-Shafer κανονικοποιεί τις τιμές σχετικά με τη μέγιστη τιμή η οποία μπορεί να εμφανίζεται οπουδήποτε στην εικόνα. Η θεωρία δηλαδή είναι ότι κάπου στην εικόνα υπάρχει ένα εικονοστοιχείο με ομοιότητα 0 και ένα με ομοιότητα 1 για κάθε κλάση.

Μετά λοιπόν από τη δημιουργία των ομοιοτήτων, αυτές ιεραρχούνται από τη μεγαλύτερη τιμή έως τη μικρότερη για τον μετέπειτα υπολογισμό των Βασικών Πιθανοτήτων (Basic Probability Assignments, BPA).

Έτσι αν έχουμε σε ένα εικονοστοιχείο 3 κλάσεις A,B,Γ με ομοιότητες 0,7, 0,4 και 0,2 αντίστοιχα θα έχουμε:

$$A = 0,7$$

$$B = 0,4$$

$$\Gamma = 0,2$$

Έπειτα υπολογίζονται οι BPI:

$$A = 0,7 - 0,4 = 0,3$$

$$AB = 0,4 - 0,2 = 0,2 \text{ (η πιθανότητά να είναι η κλάση A ή η B ή μίγμα των δύο κλάσεων)}$$

$$AB\Gamma = 0,2 - 0 = 0,2 \text{ (η πιθανότητα να είναι ή κάθε κλάση χωριστά ή συνδυασμός των δύο ή μίγμα και των τριών)}.$$

Οι BPA για τις υπόλοιπες κλάσεις είναι 0 (εκτός της άγνοιας). Η BPA εκφράζει τον βαθμό υποστήριξης για μόνο μία κλάση (για παράδειγμα η κλάση BA δεν εκφράζει την υποστήριξη για την B ή την A). Επίσης πρέπει να σημειωθεί ότι προστέθηκε και μία ακόμη κλάση με ομοιότητα 0 για τον καθορισμό της BPA για την ABΓ. Αυτή η υπόθεση αντιπροσωπεύει μία κλάση η οποία δεν έχει οριστεί μέσω των περιοχών εκπαίδευσης.

Έπειτα υπολογίζεται η εμπιστοσύνη - πεποίθηση (belief) των κλάσεων προσθέτοντας διαδοχικά τις BPA. Συνολικά θα έχουμε:

$$A = 0,3$$

$$B = 0,3 + 0,2 = 0,5$$

$$\Gamma = 0,3 + 0,2 + 0,2 = 0,7$$

Συνεπώς η εμπιστοσύνη για τις «μοναδιαίες» κλάσεις είναι ίδια με τη βασική πιθανότητα. Έπειτα μπορεί να υπολογιστεί και η αληθοφάνεια (plausibility) για κάθε κλάση η οποία δείχνει τον βαθμό όπου η κλάση δεν διαψεύδεται από τις υπόλοιπες κλάσεις. Δηλαδή ισούται με 1 μείον τις πεποιθήσεις των υπόλοιπων κλάσεων. Η διαφορά μεταξύ της αληθοφάνειας και της εμπιστοσύνης, για μία κλάση, μας δίνει το διάστημα αληθοφάνειας αυτής (interval plausibility).

Έτσι με την Dempster – Shafer μπορούν να δημιουργηθούν 3 ομάδες εικόνων που μπορούν να μας δώσουν περισσότερες πληροφορίες για την κάθε κλάση άρα και για την καλύτερη ταξινόμηση της εικόνας. Το αρνητικό είναι, όμως, ο μεγάλος χρόνος

υπολογισμού και ο τεράστιος όγκος των δεδομένων, πράγμα που δυσκολεύει τη διαχείρισή τους, ενώ όπως είναι φανερό, απαιτείται και μεγάλος χώρος αποθήκευσης.

Επίσης, σε σχέση με την Bayesian, που θεωρείται ένας ταξινομητής εμπιστοσύνης (confidence) επειδή στηρίζεται πολύ στις περιοχές εκπαίδευσης, η Dempster – Shafer θεωρείται ένας παρά πολύ συντηρητικός ταξινομητής γιατί αναγνωρίζει ότι μία ή περισσότερες κλάσεις θεωρούνται άγνωστες.

Μετά την εφαρμογή, της ταξινόμησης DS ακολούθησε η ‘ανελαστικοποίηση’ (harden) των δεδομένων που δημιουργήθηκαν. Αυτή η διαδικασία ολοκληρώθηκε σε δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο ‘ανελαστικοποιήθηκαν’ τα δεδομένα εμπιστοσύνης δημιουργώντας τρεις θεματικούς χάρτες. Στον πρώτο θεματικό χάρτη τα εικονοστοιχεία ταξινομούνταν στην κλάση που παρουσιαζόταν η μεγαλύτερη εμπιστοσύνη, στο δεύτερο ταξινομούνταν στην κλάση που παρουσιαζόταν η δεύτερη μεγαλύτερη εμπιστοσύνη, ενώ στο τρίτο ταξινομούνταν στην κλάση που παρουσιαζόταν η τρίτη μεγαλύτερη εμπιστοσύνη. Στο δεύτερο στάδιο, οι τρεις θεματικοί χάρτες ‘ενώθηκαν’ (Fusion) χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο Behaviour Knowledge Based, BKS (Kuncheva et. al., 2001).. Ο αλγόριθμος BKS χρησιμοποιεί τα δεδομένα εκπαίδευσης και παρατηρεί σε διάστημα $[1, n+2]$, όπου n ο αριθμός των ταξινομήσεων, τη δομή η οποία ακολουθείται από τις ταξινομήσεις για την αναγνώριση των κλάσεων. Έτσι, αποφασίζει την καλύτερη δομή των δεδομένων ταξινόμησης που αντιπροσωπεύεται από τα δεδομένα εκπαίδευσης.

3.2.1.6.3 Ταξινόμητής Back Propagation

Ο πιο διάσημος αλγόριθμος νευρωνικών δικτύων που χρησιμοποιείται με σύνδεση βαρών σε ένα πολυστρωματικό χώρο (Multi Layer Perceptron), είναι ο Back Propagation (BP), ο οποίος αποτελείται από δύο βήματα: της έμπροσθης και πίσω κίνησης - propagation. Κατά τη διάρκεια της εκπαίδευσης τροφοδοτείται στο πρώτο επίπεδο (επίπεδο εισόδου) και οι ενέργειες των νευρώνων ενημερώνονται διαρκώς στο εξωτερικό επίπεδο το οποίο αποτελεί και την ετικετοποίηση (label) του κάθε εικονοστοιχείου για τη δημιουργία του θεματικού χάρτη. Όταν τελειώσει η πρώτη φορά όπου το νευρωνικό δίκτυο θα τρέξει από το πρώτο επίπεδο στο τελευταίο οι ενέργειες των νευρώνων θα συγκριθούν με τις αναμενόμενες και οι διαφορές οι οποίες θα υπάρξουν θα αποτελέσουν το λάθος του δικτύου (network error). Το λάθος αυτό θα καταταξιωθεί σε όλα τα βάρη τα οποία έχουν χρησιμοποιηθεί ξεκινώντας από το τελευταίο και πηγαίνοντας προς τα πίσω στο πρώτο. Η διαδικασία αυτή επαναλαμβάνεται μέχρι το δίκτυο να εκπαιδευτεί με τα δεδομένα εκπαίδευσης και ‘μάθει’ (learn), τα χαρακτηριστικά των κλάσεων (network training).

Κατά τη διάρκεια της έμπροσθης διαδικασίας οι ενέργειες (activities) των νευρώνων ενημερώνονται διαρκώς, επίπεδο με επίπεδο, για τη δημιουργία συνάρτησης στους νευρώνες του εξωτερικότερου επιπέδου. Ας θεωρήσουμε x_i τη συνολική είσοδο του νευρώνα j , η οποία αναπαρίσταται ως εξής

$$x_i = \sum_j a_i w_{ij} \quad (\text{Σχέση 3.7})$$

Όπου a_i είναι η ενέργεια του νευρώνα i και w_{ji} το βάρος της σύνδεσης από τον νευρώνα i στον j . Όταν υπολογίζεται η τιμή x_i μεταφέρεται ως δεδομένο εξόδου στο επόμενο επίπεδο χρησιμοποιώντας μία συνάρτηση η οποία είναι συνήθως μία σιγμοειδής συνάρτηση της μορφής:

$$a_i = f(x_i) = \frac{1}{1 + \frac{1}{\exp(\frac{x_i}{T})}} \quad (\text{Σχέση 3.8})$$

Όπου T η 'θερμοκρασία' (η οποία ισούται συνήθως με 1) και η οποία μετατρέπει την καμπύλη της συνάρτησης σε πιο απότομη κλίση ($T < 1$) ή σε η σε πιο ομαλή ($T > 1$). Μετά τον υπολογισμό των ενεργειών σε ένα επίπεδο υπολογίζονται οι ενέργειες του επόμενου επιπέδου.

Στην προς τα πίσω κίνηση του αλγόριθμου τα βάρη στους νευρώνες αλλάζουν από το εξωτερικό επίπεδο προς το επίπεδο εισόδου. Ο σκοπός της ενημέρωσης των βαρών είναι η μείωση του λάθους του δικτύου. Για τη μείωση χρησιμοποιείται το κριτήριο του μέσου τετραγωνικού σφάλματος το οποίο δίνεται από τη σχέση:

$$E(w) = \frac{1}{2} \sum_{j,k} (a_{j,k} - o_{j,k})^2 \quad (\text{Σχέση 3.9})$$

Όπου w η ομάδα των βαρών στο δίκτυο, $a_{j,k}$ είναι ο j νευρώνας στο εξωτερικό επίπεδο που έχει οριστεί από το k δείγμα εκπαίδευσης, και $o_{j,k}$ είναι η επιθυμητή τιμή στο εξωτερικό επίπεδο του νευρώνα j χρησιμοποιώντας το k σημείο εκπαίδευσης. Ένας αριθμός μεθόδων έχουν χρησιμοποιηθεί για να υπολογιστεί η ελάχιστη τιμή του $E(w)$. Η πιο διαδεδομένη είναι η εξής:

$$w_{ji}^{n+1} = w_{ji}^n - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ji}^n} \quad (\text{Σχέση 3.10})$$

Όπου w_{ji} είναι το βάρος που συνδέεται με τους νευρώνες i και j .

η ο ρυθμός εκμάθησης του νευρωνικού δικτύου (learning rate) ο οποίος είναι ένας μικρός θετικός αριθμός και

dE/dw_{ij} είναι ο βαθμός στο σημείο w_{ij} , ο οποίος μπορεί να εκφραστεί ως την αλλαγή του λάθους E λόγω της αλλαγής του βάρους w_{ij} . Οι αρχικές τιμές των βαρών είναι συνήθως μικροί τυχαίοι αριθμοί.. Η σχέση 3.10 μπορεί να αναπτυχθεί:

$$\frac{\partial E}{\partial w_{ji}^n} = \frac{\partial E}{\partial a_j} \frac{\partial a_j}{\partial x_j} \frac{\partial x_j}{\partial w_{ji}} = f'(x_j) a_i = \delta_j a_i \quad (\text{Σχέση 3.11})$$

Όπου $f'(x_j)$ είναι η πρώτη παράγωγος της σιγμοειδούς συνάρτησης, a_i η ενέργεια του νευρώνα i , και δ_j το λάθος που αναφέρεται στην τιμή του νευρώνα j . Αν ο νευρώνας j αποτελεί το επίπεδο εξόδου οι τιμές του νευρώνα του δ_j ορίζονται από την εξίσωση

$$\delta_j = (a_j - o_j) f'(x_j) \quad (\text{Σχέση 3.12})$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις 3.10 και 3.12 μπορούν να ενημερωθούν τα βάρη W_{ij} για το $j =$ επίπεδο εξόδου. Για τα άλλα επίπεδα το δ_j υπολογίζεται ως εξής:

$$\delta_j = \left(\sum_k \delta_k w_{kj} \right) f'(x_j) \quad (\text{Σχέση 3.13})$$

Όπου το k εκφράζει τον νευρώνα όπου λήφθηκε η τιμή από τον νευρώνα j . Δηλαδή αν ο νευρώνας j ανήκει στο n -επίπεδο τότε το K είναι ο αριθμός των νευρώνων στο $n+1$ επίπεδο. Ο συνδυασμός των σχέσεων 3.10, 3.11 και 3.13 καθορίζει τις τιμές όλων των βαρών κατά την πίσω κίνηση του αλγορίθμου. Αυτός ο κανόνας είναι γνωστός ως ο γενικευμένος κανόνας δ (Δέλτα). Μερικές φορές υπεισέρχεται στη εξίσωση και όρος του *momentum* (ξ) στην εξίσωση 4 η οποία παίρνει την μορφή:

$$w_{ji}^{n+1} = w_{ji}^n - \eta \frac{\partial E}{\partial w_{ji}^n} + \xi (w_{ji}^n - w_{ji}^{n-1}) \quad (\text{Σχέση 3.14})$$

Όπου $0 < \xi < 1$. Ο όρος αυτός χρησιμοποιείται για να αποφευχθούν λάθη ταλάντευσης κατά τη διάρκεια της εύρεσης της ελάχιστης τιμής του λάθους, και για την επιτάχυνση της διαδικασίας εκπαίδευσης του δικτύου.

Από την ανάλυση του δικτύου Back-Propagation είναι εμφανές ότι εξαρτάται από διάφορους παράγοντες όπως είναι τα δείγματα εκπαίδευσης, η δομή του δικτύου (αριθμός επίπεδων και νευρώνων) καθώς και από παραμέτρους που υπάρχουν στο δίκτυο (ρυθμός εκμάθησης, momentum).

Όλοι αυτοί οι παράγοντες επηρεάζουν την τελική ακρίβεια της ταξινόμησης λόγω της δυσκολίας του βέλτιστου συνδυασμού αυτών των παραγόντων για τη δημιουργία ιδεατού δικτύου σε κάθε πρόβλημα ταξινόμησης.

Για αυτό το λόγο στη διεθνή βιβλιογραφία έχουν προταθεί κατά καιρούς τρόποι για την προσπάθεια βέλτιστων δομών του δικτύου. Για παράδειγμα ο Kanvoglou (2001) προτείνει τη χρησιμοποίηση ενός τουλάχιστον κρυφού επιπέδου εκμάθησης, ενώ υποστηρίζει ότι ο αριθμός των νευρώνων επηρεάζει σημαντικά τη δυνατότητα του δικτύου να γενικεύσει τα δεδομένα εκπαίδευσης. Μικρός αριθμός νευρώνων δεν μπορεί να εκπαιδεύσει το δίκτυο σύμφωνα με τα δεδομένα εκπαίδευσης (γνωστό ως πρόβλημα *underfitting*) ενώ μεγάλος αριθμός μπορεί να δημιουργήσει στο χώρο αυστηρά καθορισμένα όρια από τα δεδομένα εκπαίδευσης γνωστό ως πρόβλημα *υπερεκπαίδευσης (overfitting)*. Επιπλέον οι Kanelloroylos and Wilkinson (1997) προτείνουν τουλάχιστον 2 κρυφά επίπεδα όταν οι κλάσεις είναι περισσότερες από 20 και ο αριθμός των νευρώνων στο δεύτερο επίπεδο θα πρέπει είναι διπλάσιος από το πρώτο. Ο Sarle (2000) προτείνει τρόπους για τον καθορισμό του αριθμού των νευρώνων βασισμένος σε διαφορετικές τιμές παραγόντων, όπως ο αριθμός των κλάσεων, το μέγεθος του δείγματος εκπαίδευσης το πρόβλημα διαχωρισμού των κλάσεων που συμμετέχουν, ο θόρυβος των δεδομένων που υπάρχει και τύπος της εξίσωσης ενέργειας που χρησιμοποιείται. Ο Garson (1998) προτείνει μετά από μία σειρά επιτυχών αποτελεσμάτων, ότι ο αριθμός των νευρώνων μπορεί αν καθοριστεί από την τιμή $Np(r(N_1 + N_o))$, όπου Np ο αριθμός των δειγμάτων, N_1 ο αριθμός των δεδομένων εισόδου (κανάλια), N_o ο αριθμός των κλάσεων και r ένας θετικός ακέραιος αριθμός που δηλώνει την παρουσία θορύβου στην εικόνα. Μπορεί να λάβει τιμές από 5 (δεν υπάρχει θόρυβος) έως και την τιμή 10 (παρουσία θορύβου στην εικόνα), αλλά και τιμές υψηλότερες που φτάνουν στο εκατό, οι μικρότερες που φτάνουν στο 2 μπορούν να χρησιμοποιηθούν.

Ο ρυθμός εκμάθησης καθώς και το momentum είναι άλλοι δύο παράμετροι που πρέπει να οριστούν. Αν ο ρυθμός εκμάθησης είναι πολύ μικρός τότε η διαδικασία εκπαίδευσης του δικτύου γίνεται χρονοβόρα. Με τη χρησιμοποίηση ενός μεγάλου αριθμού προσπαθειών ο Kanvoglou (2001) κατέληξε ότι ο ρυθμός εκμάθησης πρέπει να λαμβάνει τιμές κοντά στην τιμή 0.02 όταν δε χρησιμοποιείται το momentum, ενώ όταν χρησιμοποιείται η τιμή πρέπει να είναι 0,01 έως 0,02 ενώ η τιμή του momentum πρέπει να λαμβάνει τιμές από 0.5 έως 0.6.

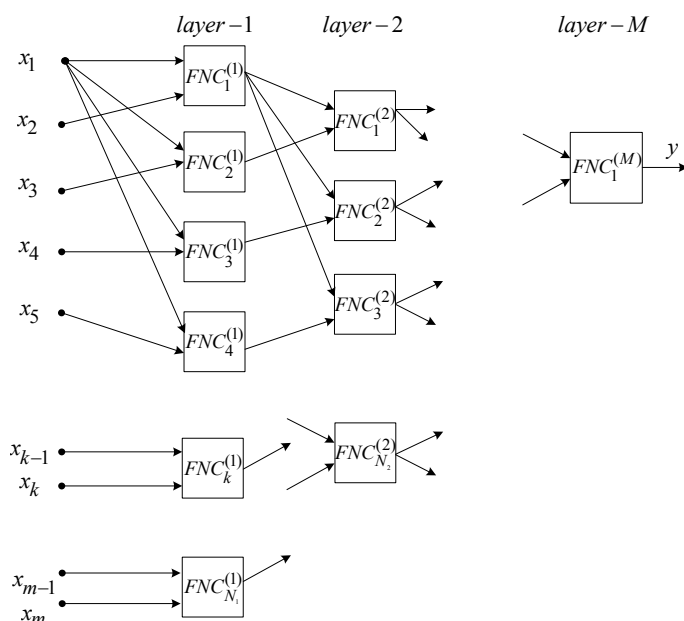
Τέλος, η εκπαίδευση του νευρωνικού δικτύου αποτελεί μία επαναληπτική διαδικασία για αυτό πρέπει να οριστεί και ο αριθμός των επαναλήψεων. Για αυτό οι Tso and Mather επισημαίνουν ότι ένας μεγάλος αριθμός επαναλήψεων προκαλούν γενίκευση του δικτύου το οποίο μαθαίνει πολύ καλά τα χαρακτηριστικά του δικτύου και δεν ανταποκρίνεται στην ταξινόμηση των υπολοίπων εικονοστοιχείων.

3.2.1.6.4 Ασαφές νευρωνικό δίκτυο SONEFMUC

Το ασαφές νευρωνικό δίκτυο SONEFMUC (Self Organizing Neuro-Fuzzy Multilayered Classifier) (Mitrakis et. al., 2008) αποτελεί μια νέα δομή δικτύου για την αντιμετώπιση προβλημάτων ταξινόμησης. Συνδυάζει βασικές αρχές των ασαφών πολυωνυμικών

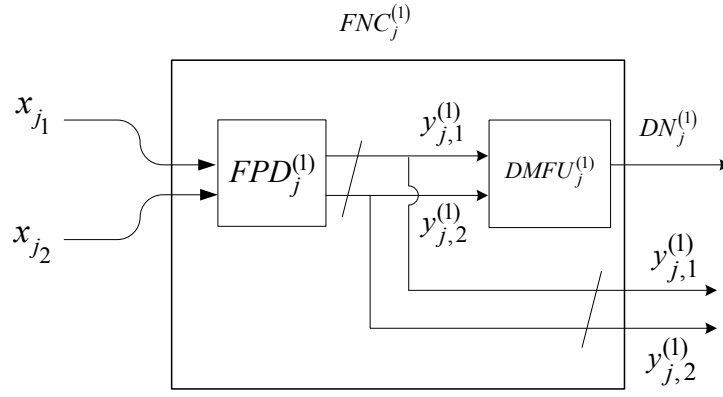
νευρωνικών δικτύων (Fuzzy, Polynomial Neural Networks, FPNN), των μεθόδων συνδυασμού αποφάσεων ταξινομητών (Fuser Classifiers) και των γενετικών αλγορίθμων.

Η δομή του δικτύου δεν είναι προαποφασισμένη όπως στην περίπτωση των γνωστών πολυστρωματικών νευρωνικών δικτύων (MLP) όπου στην κατηγορία αυτή ανήκει ο Back Propagation, αλλά καθορίζεται με βάση τη φιλοσοφία της μεθόδου Group Method of Data Handling (GMDH), όπου ξεκινώντας από το στρώμα των εισόδων (features) προστίθενται στρώματα μέχρι το ποσοστό επιτυχίας σε δείγματα που το δίκτυο δεν έχει εκπαιδευτεί (validation set) να βρίσκεται μέσα στις προδιαγραφές που έχει θέσει ο αναλυτής. Επιπλέον, η GMDH μέθοδος επιλύει και το πρόβλημα της επιλογής των κατάλληλων εισόδων που μπορούν να προσφέρουν την μεγαλύτερη δυνατότητα διαχωρισμού δειγμάτων (feature selection).



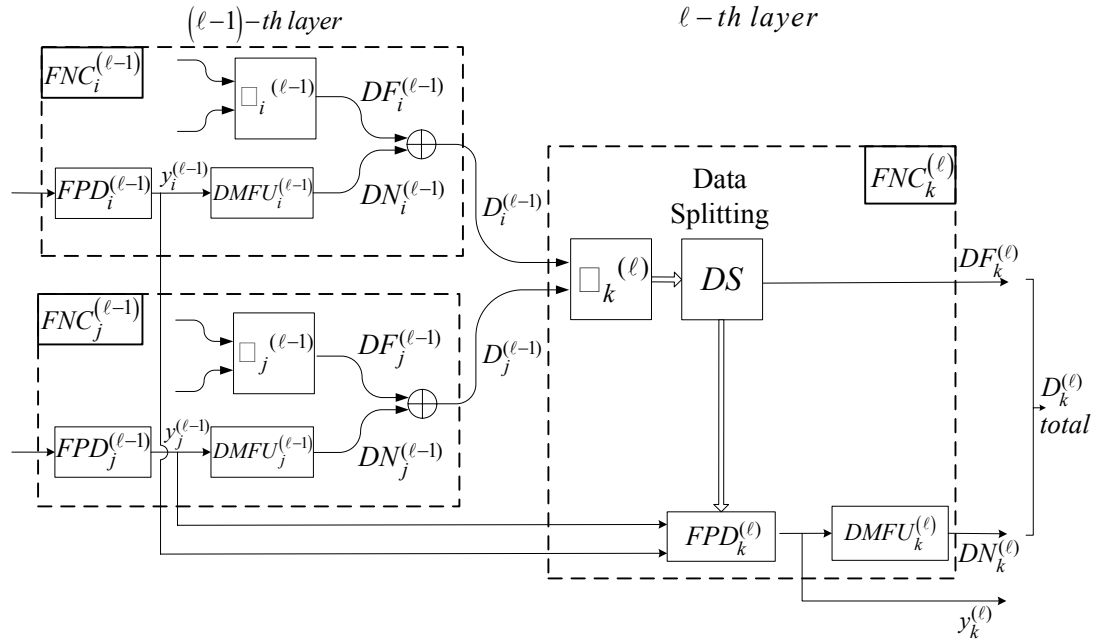
Σχήμα 3.16. Η γενική μορφή του δικτύου SONEFMUC

Αναλυτικότερα, το πρώτο επίπεδο ή στρώμα του δικτύου, μετά το επίπεδο εισόδου (π.χ. τα κανάλια της εικόνας) αποτελείται από στοιχειώδεις ασαφείς νευρωνικούς ταξινομητές (Fuzzy Neuro Classifiers, FNC) οι οποίοι αποτελούνται με τη σειρά τους από δύο μέρη. Το πρώτο υλοποιείται από ένα ασαφές σύστημα τύπου TSK (Takagi and Sugeno, 1985) το οποίο χρησιμοποιεί Gaussian συναρτήσεις συμμετοχής και θεωρείται σαν ένας στοιχειώδης ταξινομητής (element classifier). Αυτή η μονάδα του νευρώνα ονομάζεται Fuzzy Partial Description (FPD), και διαθέτει δύο εξόδους που δίνουν τιμές στο διάστημα $[0,1]$. Ο νευρώνας συμπληρώνεται από τη μονάδα συστήματος ελαστικής απόφασης (Decision Making Fuzzy Unit, DMFU) η οποία ακολουθεί κάθε FPD (σχήμα 3.17) και δημιουργεί ένα διάνυσμα M διαστάσεων όπου M ο αριθμός των κλάσεων με τιμές στο διάστημα $[0,1]$ όπου υποδεικνύουν την εμπιστοσύνη σε κάθε κλάση.



Σχήμα 3.17. Παράδειγμα της δομής ενός νευρώνα του πρώτου επιπέδου του δικτύου SONEFMUC. Ο νευρώνας αποτελείται από δύο εισόδους, δύο εξόδους και δύο μονάδες: FPD και DMFU

Το δεύτερο στρώμα συνδυάζει την πληροφορία από δύο νευρώνες FNC του προηγούμενου επιπέδου και αποτελείται από τρία μέρη: Το FPD, το DMFU και το F (σχήμα 3.18). Το F συμβολίζει έναν fusion ταξινομητή, ο οποίος συνδυάζει την πληροφορία από κάθε νευρώνα FNC του προηγούμενου επιπέδου και δημιουργεί το διάλυμα D. Το D συμβολίζει την τελική απόφαση για την κλάση που ανήκει το κάθε δείγμα. Επιπρόσθετα, ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιείται για τη διάκριση των δειγμάτων σε αυτά που ταξινομούνται σωστά και σε ικανοποιητικό βαθμό από τα μητρικά (parents) FNC και σε αυτά που απαιτείται επιπλέον διερεύνηση από την μονάδα FPD του τρέχοντα νευρώνα του τρέχοντα επιπέδου. Αυτή η διαδικασία δίνει τη δυνατότητα για έναν μηχανισμό διαίρεσης των δεδομένων (*data splitting mechanism*) ώστε η μονάδα FPD να επικεντρωθεί στον διαχωρισμό των δειγμάτων που είναι δύσκολα να ταξινομηθούν.



Σχήμα 3.18. Η δομή του δικτύου στο L-1 και στο L στρώμα

Οι παράμετροι του δικτύου χωρίζονται σε αυτές που υπολογίζονται με συστηματικό και βέλτιστο τρόπο, και αυτές που χρήζουν απόφασης από τον αναλυτή. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι παράμετροι των ασαφών συναρτήσεων συμμετοχής των FPD και τα βάρη των κανόνων οι οποίες καθορίζονται χρησιμοποιώντας τις αρχές της K-means μεθόδου, και της Recursive Least Squares (RLSE) αντίστοιχα. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν η μορφή των κανόνων της ασαφούς μονάδας FPD (γραμμικός ή διακριτός), ο αριθμός των ασαφών συνόλων σε κάθε είσοδο του FPD (δύο ή τρεις) και ο τύπος της fusion μεθόδου (min, fuzzy integral, decision templates, weighted average κ.α.) (Kuncheva et. al., 2001).

Όπως και στην μέθοδο DS έτσι και εδώ ακολουθήθηκε η ανελαστικοποίηση του παραγόμενου αποτελέσματος του ταξινομητή SONEFMUC, όπου τα εικονοστοιχεία ταξινομήθηκαν στην κλάση με την μεγαλύτερη εμπιστοσύνη όπως προέκυψε στο τελευταίο στρώμα.

3.2.1.7 Εκτίμηση Ακρίβειας Ταξινόμησης

Το τελευταίο στάδιο των ταξινομήσεων αποτέλεσε η εκτίμηση της ακρίβειας αυτών. Όπως αναφέρθηκε στο πρώτο κεφάλαιο υπάρχουν τέσσερα χρονικά στάδια (‘εποχές’) για την εκτίμηση της ακρίβειας θεματικών χαρτών που στηρίζονται στην απλή ποιοτική εκτίμηση του αποτελέσματος (non site assessment) και στην ποσοτική εκτίμηση με την ανάλυση του πίνακα λαθών (Confusion Matix).

Στην προκειμένη περίπτωση, η εκτίμηση της ακρίβειας πραγματοποιήθηκε με αυτούς τους δύο τρόπους ενώ επιχειρήθηκε και η ποσοτικοποίηση της ποιότητας του θεματικού χάρτη χρησιμοποιώντας μία τροποποιημένη εξίσωση του δείκτη τοπίου Shannon Eveness Index.

Ειδικότερα, για την ποσοτική εκτίμηση λήφθηκαν υπόψη τέσσερις στατιστικές παραμέτρους: Η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης, η ανάλυση K, το Z-test καθώς και η ακρίβεια παραγωγού και χρήστη για κάθε κλάση όπως απορρέουν από τον πίνακα λαθών. Για τον υπολογισμό αυτών των παραμέτρων λήφθηκαν υπόψη τα δεδομένα πεδίου που δεν συμμετείχαν στην εκπαίδευση των αλγορίθμων ταξινόμησης (test sites) και τα οποία ήταν 795 για την αγροτική περιοχή και 381 για την υγροτοπική περιοχή.

Για την ποιοτική εκτίμηση της ακρίβειας επιλέχθηκαν 2 υποπεριοχές από όλη την εικόνα (μία για την αγροτική και μία για την υγροτοπική). Αναλυτικότερα, η εικόνα διαιρέθηκε σε ένα μεγάλο αριθμό υποπεριοχών όπου λαμβάνοντας υπόψη τον αριθμό των κλάσεων που συμμετέχουν σε αυτές εφαρμόστηκε το κριτήριο της επιλογής της υποπεριοχής που εμφανίζει τον μεγαλύτερο αριθμό κλάσεων, ώστε να υπάρχει όσο το δυνατόν, πιο αντιπροσωπευτικό δείγμα για την ποιοτική εκτίμηση.

Βέβαια, η ποιοτική εκτίμηση δεν παύει να χαρακτηρίζεται από υποκειμενική κρίση του αναλυτή. Γι’ αυτό το λόγο, στην παρούσα εργασία επιχειρείται η αντικειμενικοποίηση της ποιοτικής εκτίμησης υπολογίζοντας ποσοτικούς δείκτες που απεικονίζουν την ποιότητα και ειδικότερα την ομοιομορφία ταξινόμησης μέσα στα αγροτεμάχια. Η ποσοτικοποίηση αυτή στηρίχθηκε στον τροποποιημένο Shannon Eveness Index (Modified Shannon Eveness’ Index, MSHEI). Ο Shannon Eveness’ Index αποτελεί έναν δείκτη τοπίου (landscape metric) που απεικονίζει τη ποικιλομορφία στην περιοχή και υπολογίζεται από τον τύπο:

$$SHEI = \frac{-\sum_i^m (p_i \ln p_i)}{\ln m} \quad (\text{Σχέση 3.15})$$

Όπου:

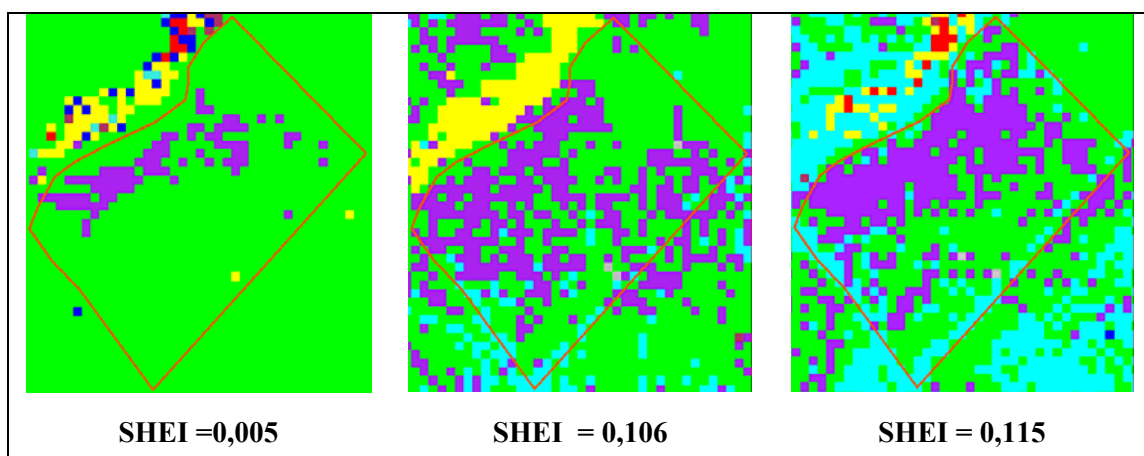
SHEI = Shannon's Evenness Index

P_i = Η αναλογία της έκτασης του κάθε οικοτόπου σε κάθε οικοσύστημα

m= Ο αριθμός των τύπων ενδιαιτημάτων.

Οι τιμές του δείκτη μπορούν να κυμανθούν στο διάστημα [0,1], όπου οι υψηλές τιμές απεικονίζουν μεγάλη ποικιλία και ισοκατανομή ενδιαιτημάτων, ενώ τιμές κοντά στο μηδέν υποδεικνύουν χαμηλή ποικιλομορφία και την τάση για την επικράτηση ενός μόνο τύπου ενδιαιτήματος (ομοιομορφία ταξινόμησης).

Αυτός ο δείκτης εφαρμόστηκε στις ταξινομημένες εικόνες της αγροτικής περιοχής αφού πρώτα ψηφιοποιήθηκαν τα αγροτεμάχια της περιοχής με τη χρήση της pan-sharpen εικόνας για καλύτερη χωρική ακρίβεια. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση μας υπολογίστηκε ο δείκτης σε κάθε αγροτεμάχιο σε κάθε μία από τις 4 ταξινομημένες εικόνες. Το προσδοκώμενο αποτέλεσμα θα ήταν σε κάθε αγροτεμάχιο η τιμή του SHEI να λάβει τιμές ίση με 0 αφού σε κάθε αγροτεμάχιο εφαρμόζεται μόνο μία καλλιέργεια. Παρόλα αυτά, τα εικονοστοιχεία ενός αγροτεμαχίου, και με τις τέσσερις ταξινομήσεις, τις περισσότερες φορές ταξινομούνται σε περισσότερες από μία κλάσεις μειώνοντας την ποιότητα της ταξινόμησης. Αυτό το αποτέλεσμα, έχει ως συνέπεια την αύξηση του SHEI όπου οι μεγαλύτερες τιμές εμφανίζουν μικρότερη ποιότητα στην ταξινόμηση (σχήμα 3.19).



Σχήμα 3.19. Διάφορες τιμές του SHEI για το υπερτιθέμενο αγροτεμάχιο (κόκκινο χρώμα) σε ταξινομημένες εικόνες. Οι μικρότερες τιμές υποδηλώνουν την ταξινόμησή του σε μία καλλιέργεια.

Για να συμβαδίζει η ποιότητα των ταξινομήσεων με τον δείκτη SHEI προτείνεται ο Modified Shannon Evenness' Index (MSHEI) ο οποίος δίνεται από τον τύπο:

$$MSHEI = 1 - SHEI \quad (\text{Σχέση 3.16})$$

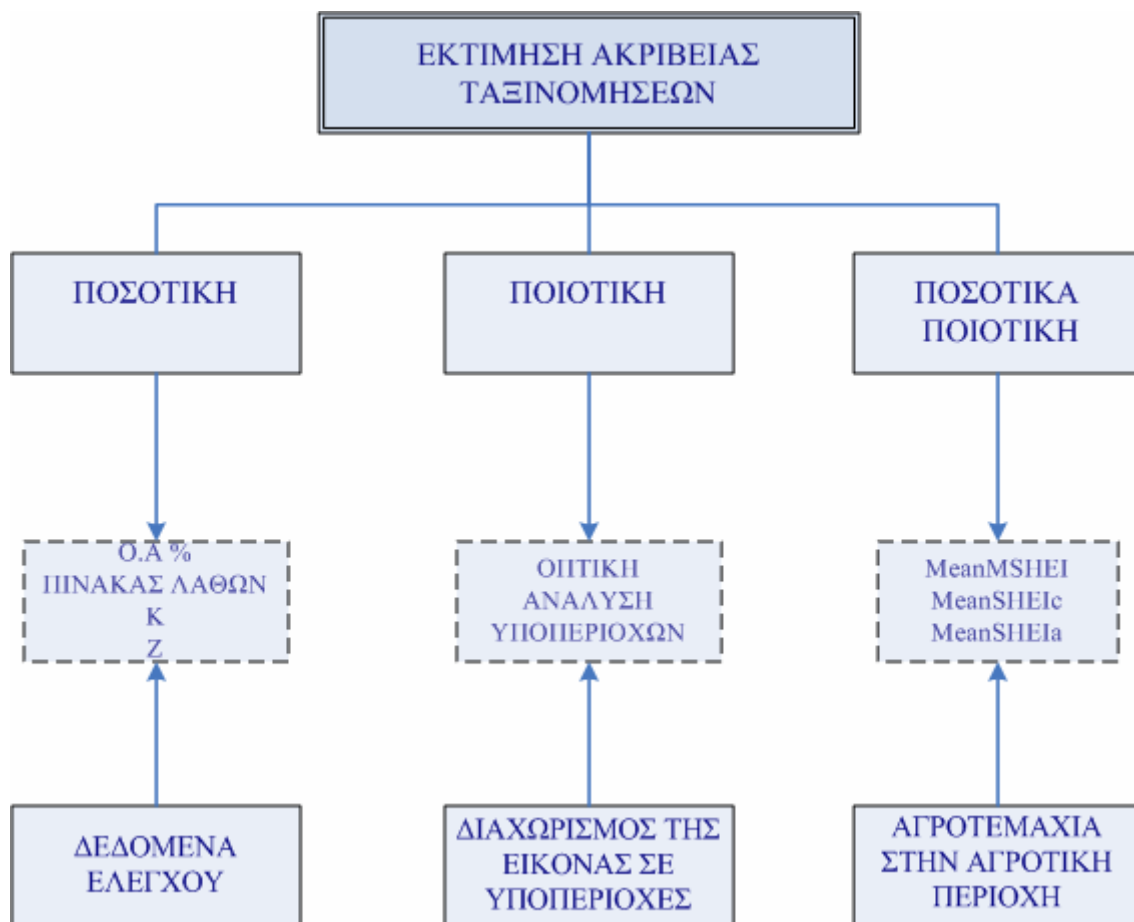
Όπου η ομοιομορφία της ταξινόμησης σε ένα αγροτεμάχιο είναι καλύτερη όσο μεγαλύτερη είναι η τιμή του MSHEI. Έτσι υπολογίστηκε για κάθε αγροτεμάχιο (συνολικά 7645 αγροτεμάχια), ο δείκτης MSHEI και για τις 4 ταξινομήσεις και έπειτα υπολογίστηκε η μέση τιμή του δείκτη για κάθε ταξινόμηση (*Mean MSHEI*). Ο *Mean MSHEI* δείχνει σε ένα βαθμό την μέση ομοιομορφία των ταξινομήσεων των αγροτεμαχίων σε μία περιοχή παρόλα αυτά δεν μπορεί από μόνος του να χρησιμοποιηθεί ώστε να βγουν ασφαλή συμπεράσματα για την ποιότητα των ταξινομήσεων. Για αυτό το λόγο, βρέθηκαν οι μέσοι όροι του MSHEI ανά έκταση των αγροτεμαχίων και ανά καλλιέργεια (*Mean MSHEI_{area}*, και *Mean MSHEI_{crop}*, αντίστοιχα), ώστε να παρατηρηθούν, αν υπάρχουν διαφορές στην ποιότητα των ταξινομήσεων ανάλογα με την έκταση του αγροτεμαχίου και ανάλογα με την καλλιέργεια που ταξινομείται ως επί το πλείστον.

Ειδικότερα, για το *Mean MSHEI_{area}* τα αγροτεμάχια χωρίστηκαν σε 9 κλάσεις των 5 στρεμμάτων (αγροτεμάχια 0 έως 5 στρέμματα, 5 έως 10, 10 έως 15 κ.ο.κ.) ενώ για το *Mean MSHEI_{crop}*, αφού πρώτα ετικετοποιήθηκαν τα αγροτεμάχια στην καλλιέργεια που εμφανίζεται τις περισσότερες φορές στα εικονοστοιχεία (κριτήριο επικρατούσας τιμής), επιλέχθηκαν τα αγροτεμάχια στα οποία η καλλιέργεια που ορίστηκε είναι ίδια και στις τέσσερις ταξινομήσεις. Έπειτα με την μέθοδο Ανάλυσης της διακύμανσης (Analysis of Variance, ANOVA), έγινε ο έλεγχος των δεικτών *Mean MSHEI*, *Mean MSHEI_{area}* και *Mean MSHEI_{crop}* για τις τέσσερις ταξινομήσεις στο αν αυτοί παρουσιάζουν στατιστικά σημαντικές διαφορές μεταξύ τους με επίπεδο εμπιστοσύνης $\alpha = 95\%$.

Η ανάλυση που ακολουθήθηκε, για την ποιοτική εκτίμηση της ομοιομορφίας του αποτελέσματος των ταξινομήσεων, παρουσιάζει πολλές ομοιότητες με την ποσοτική εκτίμηση. Για παράδειγμα ο δείκτης *Mean MSHEI*, εκφράζει κάτι ανάλογο με την συνολική ακρίβεια της (O.A%) ταξινόμησης αφού με έναν αριθμό ουσιαστικά απεικονίζεται η ποιοτική και η ποσοτική ακρίβεια αντίστοιχα. Επειδή όμως αυτό δεν είναι αρκετό για ασφαλή συμπεράσματα, στην ποσοτική εκτίμηση αναλύεται ο *πίνακας λαθών* ενώ η ομοιομορφία αναλύεται στο *Mean MSHEI_{crop}* και στο *Mean MSHEI_{area}*. Τέλος, η ανάλυση Khat καθώς και το Z είναι ανάλογα με την ANOVA, όπου διερευνάται ουσιαστικά η σημαντικότητα των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν.

Εκτός όμως από τις ομοιότητες παρουσιάζουν και μία σημαντική διαφορά. Η **ποσοτική εκτίμηση της ομοιομορφίας δρα ως ένα επικουρικό εργαλείο** για την συνολική εκτίμηση των παραγόμενων θεματικών χαρτών που προέρχονται από ταξινόμηση δορυφορικών δεδομένων και δεν μπορούν από μόνες τους να βγάλουν συμπεράσματα για την ακρίβεια αυτών. Εν αντιθέσει, η ποσοτική εκτίμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μεμονωμένα έστω και αν υπάρχει περίπτωση υπερεκτίμησης ή υποεκτίμησης του αποτελέσματος.

Η εκτίμηση της ομοιομορφίας εφαρμόστηκε μόνο στην αγροτική περιοχή και στα αγροτεμάχια αυτής και όχι στην υδροτοπική περιοχή. Στην υδροτοπική περιοχή, θα μπορούσαν να ληφθούν υπόψη οι τύποι οικοτόπων του επικαιροποιημένου χάρτη NATURA, αλλά οι κατηγορίες που παρουσιάζονται στο χάρτη δεν αποτελούν μοναδιαίες καλύψεις γης αλλά αντιθέτως, παρατηρείται πολλές φορές μίξη αυτών με αποτέλεσμα οι χαμηλές τιμές του *MSHEI* να μην οφείλονται σε λάθος ταξινομημένα εικονοστοιχεία αλλά στην χωρική κατανομή των κατηγοριών των καλύψεων γης μέσα στον οικότοπο. Έτσι συνολικά η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την ακρίβεια των ταξινομήσεων αναπαρίσταται γραφικά στο παρακάτω σχήμα.



Σχήμα 3.20. Γραφική αναπαράσταση της μεθοδολογίας που χρησιμοποιήθηκε για την εκτίμηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων

3.2.2 Μεθοδολογία για την ανάπτυξη και υπολογισμό χωρικών δεικτών

Το δεύτερο μέρος της μεθοδολογίας αποτελείται από την ανάπτυξη των περιβαλλοντικών χωρικών δεικτών και τον υπολογισμό τους σύμφωνα με τα αποτελέσματα της ταξινόμησης. Ειδικότερα, λαμβάνοντας υπόψη την ταξινόμηση που έδωσε τα καλύτερα ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα καθώς και τα υπόλοιπα διαθέσιμα γεωγραφικά δεδομένα δημιουργήθηκαν δείκτες με γνώμονα το μοντέλο

DPSIR, που παρουσιάζουν την πίεση που ασκείται στον υγρότοπο της λίμνης Κορώνειας καθώς και δείκτες που αξιολογούν τις ιδιότητες και κατ' επέκταση τις λειτουργίες του.

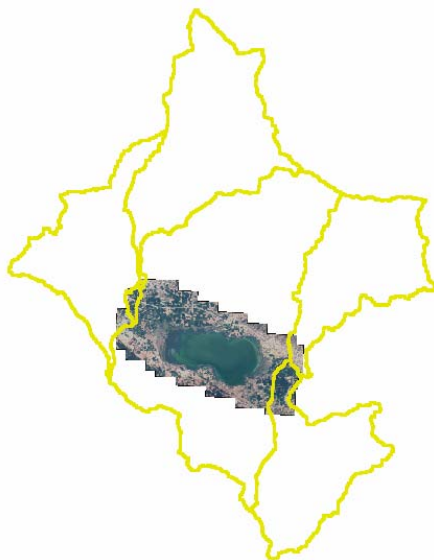
Για την καλύτερη κατανόηση της μεθοδολογίας η οποία εφαρμόστηκε, παρουσιάζεται στην αρχή, η δημιουργία νέων παραγόμενων προϊόντων, τα οποία συντέλεσαν στη δημιουργία νέων περιβαλλοντικών χωρικών δεικτών, ενώ ακολουθεί η ανάπτυξη αυτών. Ειδικότερα, αναπτύχθηκαν τρεις δείκτες πίεσης που προέρχονται από δύο κινητήριες δυνάμεις: τη γεωργία (δείκτες λίπανσης και άρδευσης) και την αστική χρήση (δείκτης οικιστικής πίεσης) ενώ για τον υγρότοπο υπολογίστηκαν δείκτες που επηρεάζουν συγκεκριμένες ιδιότητες και λειτουργίες.

3.2.2.1 Προεπεξεργασία δεδομένων

Πολλά από τα απαιτούμενα δεδομένα για την ανάπτυξη των δεικτών προϋποθέτουν διάφορα τοπογραφικά και υδρολογικά χαρακτηριστικά τα οποία μπορούν εύκολα να εξαχθούν από λογισμικά γεωγραφικής ανάλυσης με τη χρήση του Ψηφιακού Μοντέλου Αναγλύφου.

Μερικά από αυτά τα χαρακτηριστικά που δημιουργήθηκαν είναι ο χάρτης κλίσεων, το υδρογραφικό δίκτυο και οι κύριες υπολεκάνες της Μυγδονίας. Η ανάλυση των τοπογραφικών στοιχείων (κλίσεις, προσανατολισμός κλίσεων, κ.α.) πραγματοποιείται αυτόματα με τη χρήση κατάλληλων αλγορίθμων ενώ η δημιουργία των υδρολογικών χαρακτηριστικών προϋποθέτει τη δημιουργία ενδιάμεσων προϊόντων όπως η διεύθυνση της ροής (*Flow Direction*), περιοχών συγκέντρωσης νερού (*Flow Accumulation*) και ο εντοπισμός σημείων στράγγισης (*Drainage Points*). Χρησιμοποιώντας κατάλληλα εργαλεία (Jenson and Domingue, 1988) δημιουργήθηκε αρχικά το μοντέλο ροής, το οποίο απεικονίζει την υποθετική διαδρομή της ροής του ύδατος λόγω της βαρύτητας σε κάθε σημείο της περιοχής μελέτης. Στη συνέχεια, δημιουργήθηκε το μοντέλο συγκέντρωσης ροής, το οποίο απεικονίζει σε κάθε σημείο τη συγκέντρωση του ύδατος λόγω απορροής από τις ανάντη περιοχές. Με κατάλληλη επεξεργασία των παραπάνω μοντέλων προέκυψε το κύριο υδρογραφικό δίκτυο της περιοχής μελέτης, το οποίο αναπαριστά το φυσικό στραγγιστικό δίκτυο.

Όσον αφορά την παραγωγή του υδρογραφικού δικτύου, επειδή χρησιμοποιήθηκε μόνο το ανάγλυφο της περιοχής, ήταν αναμενόμενο να παρουσιαστούν ανακρίβειες στις επίπεδες πεδινές περιοχές, ή στις περιοχές όπου υπήρχε ανθρώπινη παρέμβαση για διευθέτηση της φυσικής ροής των υδάτων απορροής. Επομένως, μετά την αυτόματη δημιουργία του υδρογραφικού δικτύου της περιοχής, ακολούθησε η διόρθωση της γεωγραφικής του θέσης χρησιμοποιώντας τη πολυφασματική δορυφορική εικόνα IKONOS. Τελευταίο στάδιο της υδρογραφικής ανάλυσης ήταν η εξαγωγή της λεκάνης απορροής και των υπολεκανών αυτής, όπου ανήκει ο υγρότοπος της Κορώνειας. Στο σχήμα 3.20 παρουσιάζονται οι υπολεκάνες απορροής τη κύριας λεκάνης της Μυγδονίας όπου η δορυφορική εικόνα βρίσκεται κατά κύριο λόγο μόνο σε μία από αυτές.



Σχήμα 3.21. Οι υπολεκάνες της λίμνης Μυγδονίας υπερτιθέμενες στη εικόνα IKONOS. Η εικόνα καλύπτει ως επί το πλείστον μία υπολεκάνη απορροής

Όσον αφορά την αγροτική περιοχή, με τη χρήση της *pan-sharpen* εικόνας για καλύτερη γεωμετρική ακρίβεια, ψηφιοποιήθηκαν τα αγροτεμάχια. Μετά τη ψηφιοποίηση, με γεωγραφική ανάλυση των αγροτεμαχίων και της ταξινομημένης εικόνας το κάθε αγροτεμάχιο ετικετοποιήθηκε (*labelled*) σε μία από τις έξι καλλιέργειες ή είδος καλλιεργειών που απαντώνται στην περιοχή με το κριτήριο της επικρατούσας τιμής. Δηλαδή υπολογιζόταν για κάθε αγροτεμάχιο πόσα εικονοστοιχεία του αντιστοιχούσαν από την ταξινομημένη εικόνα σε κάθε κλάση, και το αγροτεμάχιο έπαιρνε την τιμή της κλάσης η οποία εμφανιζόταν πιο συχνά στην ταξινόμηση.

Από την άλλη πλευρά, στην υγροτοπική περιοχή υπολογίστηκαν διάφοροι **δείκτες τοπίου** οι οποίοι συντέλεσαν στην εκτίμηση ιδιοτήτων του υγροτόπου και κατ' επέκταση την αξιολόγηση των λειτουργιών του. Ειδικότερα υπολογίστηκε ο Shanon Evenness Index για τη βιοποικιλότητα, ο Interspesion Juxtaposition Index (I.J.I), για την κατανομή των ενδιαιτημάτων, το ποσοστό φυτοκάλυψης, και το ποσοστό της υγροτοπικής βλάστησης. Επίσης τα όρια της υγροτοπικής περιοχής συνεισέφεραν στη δημιουργία του *χάρτη D* ο οποίος είναι ένας χάρτης καννάβου με τέσσερα μέτρα μέγεθος εικονοστοιχείου και στις 'τιμές κατωφλίου' (*cell values*) παρουσιάζει την απόσταση της αγροτικής περιοχής από τον υγρότοπο.

3.2.2.2 Ανάπτυξη χωρικού δείκτη πίεσης άρδευσης

Ο πρώτος δείκτης που υπολογίστηκε είναι ο δείκτης πίεσης άρδευσης των καλλιεργειών της περιοχής. Η άρδευση επηρεάζει κυρίως έμμεσα το υδατικό ισοζύγιο της λίμνης γιατί η άρδευση δεν πραγματοποιείται απευθείας από τη λίμνη, αλλά από ιδιωτικές γεωτρήσεις που μειώνει την αποθηκευτική λειτουργία των υπογείων υδροφόρων οριζόντων και την αναπλήρωση του νερού στη λίμνη (Zalidis et. al., 2004b). Οι παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν την άρδευση είναι το είδος της καλλιέργειας, οι

κλιματικές συνθήκες, το έδαφος, η κλίση της περιοχής, ο τρόπος άρδευσης και η απόσταση από τον υγρότοπο.

Όσον αφορά το κλίμα, το έδαφος και τον τρόπο άρδευσης στην περιοχή μελέτης, αυτοί παραμένουν σταθεροί διότι σε όλη την περιοχή επικρατεί το ίδιο ξηροθερμικό κλίμα, ο ίδιος τύπος εδάφους, έτσι όπως προκύπτει και από την ανάγνωση του γεωλογικού χάρτη (εδάφη από λιμναίες αποθέσεις) ενώ, ο τρόπος άρδευσης πραγματοποιείται κυρίως με διάφορες μορφές καταιονισμού (κυρίως εκτοξευτήρα μεγάλης πίεσης), ο οποίος παρουσιάζει παρόμοιες απώλειες νερού.

Επομένως, ο δείκτης άρδευσης μπορεί να υπολογιστεί από τα γεωγραφικά δεδομένα των αγροτεμαχίων της περιοχής που είναι ετικετοποιημένα με το είδος της καλλιέργειας που υπάρχει σύμφωνα με την ταξινομημένη εικόνα, την κλίση του εδάφους S έτσι όπως υπολογίστηκε από το DEM, η οποία επηρεάζει τις απώλειες σε νερό κυρίως λόγω αύξησης της επιφανειακής απορροής, καθώς και με το χάρτη D .

Για τον υπολογισμό της επίδρασης της καλλιέργειας στο δείκτη άρδευσης χρησιμοποιήθηκε ως δείκτης ο φυτικός συντελεστής των καλλιεργειών K_C , όπως προτείνεται από τον Οργανισμό Γεωργίας και Τροφίμων (Food Agriculture Organization, FAO) και όπως υπολογίστηκε για κάθε καλλιέργεια από την συνδυασμένη μέθοδο των Penmmann – Monteith. Ειδικότερα, ετικετοποιήθηκαν οι κλάσεις με το K_C του τρίτου σταδίου των καλλιεργειών, δηλαδή του σταδίου καρποφορίας των καλλιεργειών, όπου οι ανάγκες σε νερό είναι οι μέγιστες. Μ' αυτόν τον τρόπο, ο δείκτης άρδευσης θέλει να δείξει την μέγιστη πίεση που μπορεί να ασκηθεί στην περιοχή από την καλλιέργεια που εφαρμόζεται στο κάθε αγροτεμάχιο.

Θα πρέπει να τονιστεί, ότι εκτός από την πίεση που ασκείται στον υγρότοπο από κάθε αγροτεμάχιο λόγω της καλλιέργειας όπου έχει εγκατασταθεί, δέχεται πίεση λόγω του σχήματος του και της γειτνίασης με άλλα αγροτεμάχια. Για παράδειγμα σε ένα αγροτεμάχιο ακανόνιστου σχήματος οι απώλειες της άρδευσης είναι μεγαλύτερες από ότι σε ένα αγροτεμάχιο κανονικού σχήματος ίδιας έκτασης. Επιπρόσθετα, ένα αγροτεμάχιο δέχεται μεγαλύτερη πίεση όταν περιτριγυρίζεται από αγροτεμάχια που έχουν εγκατασταθεί εντατικές και υδροβόρες καλλιέργειες. Αυτό συμβαίνει, λόγω κυρίως του τρόπου άρδευσης στα όρια των αγροτεμαχίων.

Για τον υπολογισμό αυτού του είδους πίεσης για κάθε αγροτεμάχιο από τα γειτονικά του χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης τοπίου **Edge Contrast Index (ECON)**, οποίος δίνεται από τον τύπο:

$$ECON = \frac{\sum_{k=1}^m (p_{i,j,k} * d_{i,k})}{p_{i,j}} * 100 \quad (\text{Σχέση 3.17})$$

Όπου:

p_{ijk} = Το μήκος της πλευράς του αγροτεμαχίου ij που συνορεύει με γειτονικό αγροτεμάχιο καλλιέργειας k .

d_{ik} = Η ανομοιότητα μεταξύ των καλλιεργειών (edge contrast weight) b i και k .

p_{ij} = Η περίμετρος του αγροτεμαχίου ij .

Οι τιμές του **ECON** βρίσκονται στο διάστημα [0,100] και υψηλές τιμές δηλώνουν μεγάλη επιρροή μεταξύ δύο γειτονικών ενδιαιτημάτων (edge effect), ενώ μικρές τιμές υποδηλώνουν μικρή επιρροή. Ο ECON ως δείκτης τοπίου, έχει χρησιμοποιηθεί σε διάφορες εφαρμογές για τον χαρακτηρισμό οικοσυστημάτων, όπως για παράδειγμα οι Wiens (1976) προτείνουν ότι οι μικροκλιματικές αλλαγές (π.χ. άνεμος, ηλιοφάνεια κ.τ.λ.) είναι πιθανόν να επεκτείνονται σε ενδιαιτήματα με μεγάλες τιμές αντίθεσης από ότι σε ενδιαιτήματα με μικρές τιμές. Επίσης, ο βαθμός της αντίθεσης μπορεί να επηρεάζει την ικανότητα επιβίωσης της πανίδας και χλωρίδας του ενδιαιτήματος, γιατί υποδεικνύει έμμεσα την ικανότητα των οργανισμών να χρησιμοποιούν ως πηγές τροφοδοσίας τα γειτονικά ενδιαιτήματα (Dunning et al. 1992).

Στην περίπτωση όμως της δημιουργίας του δείκτη άρδευσης ο ECON χρησιμοποιείται για την αντίθεση των αγροτεμαχίων με τα γειτονικά του ώστε να υποδειχθεί η πίεση η άρδευσης σε αυτά από τα γειτονικά τους. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, θα πρέπει πρώτα να οριστεί η ανομοιότητα d_{ik} μεταξύ του αγροτεμαχίου με τις καλλιέργειες των γειτονικών αγροτεμαχίων. Για την ανομοιότητα λήφθηκαν οι τιμές K_c των γειτονικών καλλιεργειών. Επομένως οι υψηλές τιμές του ECON δείχνουν μεγάλη πίεση από τα διπλανά αγροτεμάχια γιατί εφαρμόζονται υδροβόρες καλλιέργειες. Επίσης Ο ECON αυξάνει με το ακανόνιστο σχήμα των αγροτεμαχίων, αφού η περίμετρος του είναι μεγαλύτερη για συγκεκριμένη έκταση από αγροτεμάχια με σχήματα κανονικά (π.χ. τετράγωνα).

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, αναπτύχθηκε χωρικά ο δείκτης πίεσης της άρδευσης στην περιοχή (**Irrigation Pressure Index, I.P.I**) όπως φαίνεται στη σχέση 3.18.

$$I.P.I. = 0.95 * K_c * S * R + 0.05 * ECON_{irr} \quad (\text{Σχέση 3.18})$$

Όπου:

K_c = Τα αγροτεμάχια όπως έχουν οριστεί με την τιμή K_c

S = Ο χάρτης κλίσεων σε ποσοστό

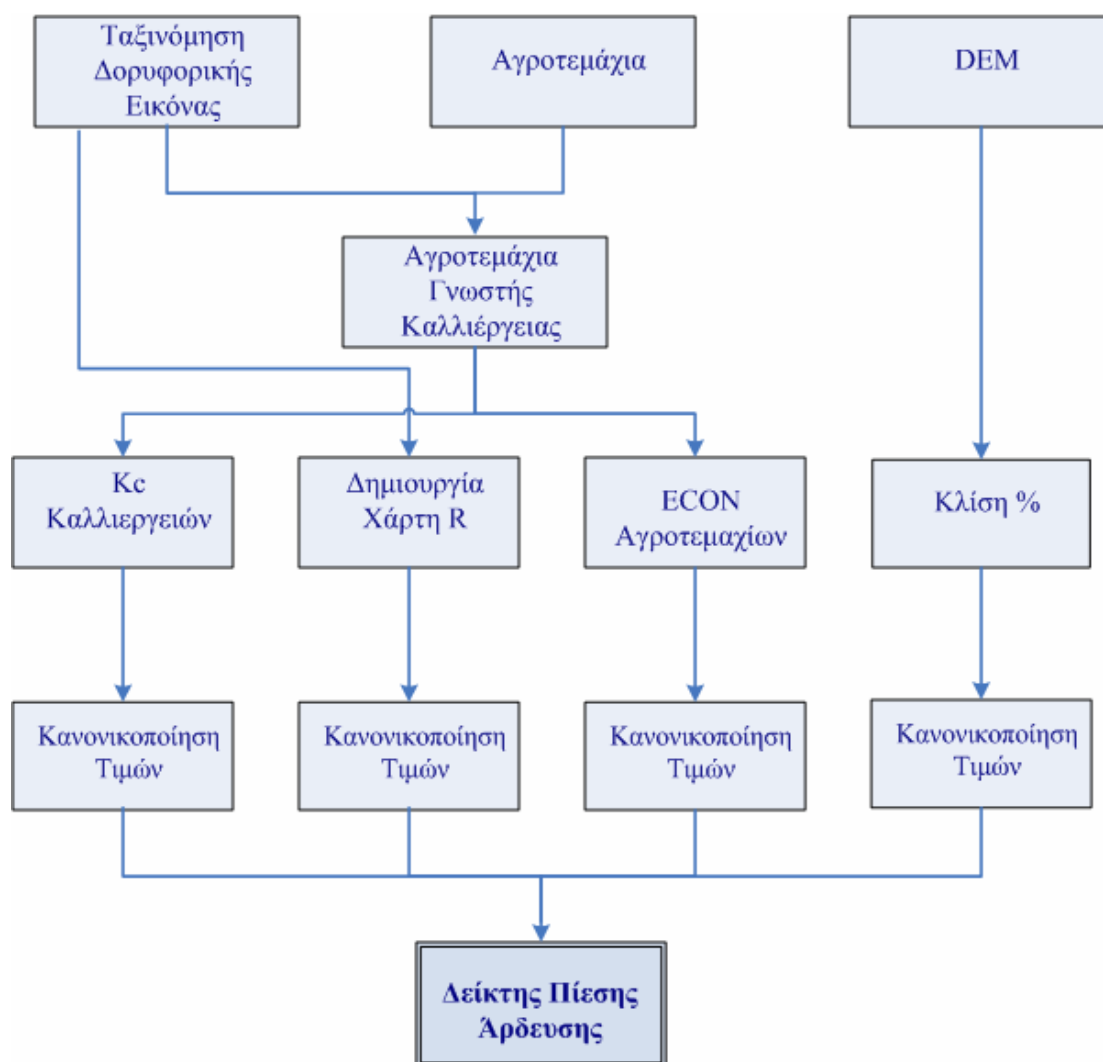
R = $1/D$ όπου D , ο χάρτης που δείχνει την απόσταση από τον υγρότοπο

$ECON_{irr}$ = Ο *Edge Contrast Index* των αγροτεμαχίων που δείχνει την πίεση άρδευσης από τα γειτονικά αγροτεμάχια

Δηλαδή, η πίεση είναι μεγαλύτερη όσο περισσότερο υδροβόρα είναι η καλλιέργεια, όσο μεγαλύτερη είναι η κλίση, όσο πιο κοντά βρίσκεται στον υγρότοπο το αγροτεμάχιο και όταν συνορεύει με γειτονικά αγροτεμάχια που καλλιεργούνται από υδροβόρες καλλιέργειες. Ο πρώτος προσθετός του δείκτη ($0.95 * K_c * S * R$), δείχνει την πίεση που ασκείται από το κάθε αγροτεμάχιο ενώ ο δεύτερος προσθετός την πίεση που ασκείται από κάθε αγροτεμάχιο σε σχέση με τα γειτονικά του. Οι σταθεροί όροι 0.95 και 0.05

λήφθηκαν για να δείξουν τον ποσοστό με το οποίο οι δύο προσθετέοι συμμετέχουν στον υπολογισμό του δείκτη. Για την αποφυγή υπολογισμού των μονάδων μετρήσεων της πίεσης, όλοι οι επιμέρους παράγοντες κανονικοποιήθηκαν σε κλίμακα 0 έως 1 όπου οι τιμές κοντά στο 0 δείχνουν μικρή συνεισφορά των παραγόντων στην πίεση και οι τιμές 1 μεγάλη επίδραση. Επομένως, και ο I.P.I βρίσκεται στο διάστημα $[0,1]$, όπου οι υψηλές τιμές υποδεικνύουν μεγάλη πίεση λόγω της άρδευσης στη λίμνη της Κορώνειας.

Όλη η ανάλυση και ο υπολογισμός του δείκτη έγινε με τη χρήση άλγεβρας χαρτών καννάβου (Grid Map Algebra). Μετά τον υπολογισμό του δείκτη ακολούθησε η κατηγοριοποίηση των τιμών σε τέσσερις κλάσεις, οι οποίες δείχνουν την εν λόγω πίεση σε ποιοτική κλίμακα *μικρή, μεσαία, μεγάλη, πολύ μεγάλη*. Τέλος, χρησιμοποιώντας τα όρια των δημοτικών διαμερισμάτων στην περιοχή δημιουργήθηκε ο χάρτης που απεικονίζει την μέση τιμή του I.P.I σε αυτά. Η συνολική μεθοδολογία που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη απεικονίζεται στο σχήμα 3.22



Σχήμα 3.22. Διάγραμμα ροής της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε για τον υπολογισμό του δείκτη I.P.I.

3.2.2.3 Ανάπτυξη χωρικού δείκτη πίεσης λίπανσης

Κάτι ανάλογο με την άρδευση πραγματοποιήθηκε και για το δείκτη λίπανσης και κυρίως για τη νιτρική λίπανση, η οποία επηρεάζει τη λίμνη της Κορώνειας δημιουργώντας συνθήκες ευτροφισμού και την αύξηση των καλαμώνων μειώνοντας παράλληλα την υδάτινη επιφάνεια. Η λίπανση των καλλιεργειών εν αντιθέσει με την άρδευση, εξαρτάται από πολύ περισσότερους παράγοντες οι οποίοι είναι δύσκολο να υπολογιστούν, όπως το είδος του λιπάσματος, ο τρόπος και ο χρόνος εφαρμογής η δραστηριότητα καθώς και οι συγκεκριμένες απαιτήσεις και προτιμήσεις των αγροτών της περιοχής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη μεγάλη δυσκολία ανάπτυξης και υπολογισμού ενός συνολικού δείκτη λίπανσης, γιατί θα πρέπει να κρατείται ημερολόγιο εργασιών από τους αγρότες δημιουργώντας μια βάση δεδομένων για τη λίπανση κάθε χωραφιού.

Παρόλα αυτά, δημιουργήθηκε ένας απλούστερος δείκτης λίπανσης (**Fertilization Pressure Index, FPI**) που βασίζεται στις ανάγκες των καλλιεργειών σε αζωτούχο λίπανση στον ελληνικό χώρο. Ο δείκτης αυτός είναι ανάλογος με το δείκτη που χρησιμοποιήθηκε για την άρδευση και η κύρια διαφορά του είναι ότι στη θέση του K_c , υπεισέρχεται ο παράγοντας N_c . Ο N_c δείχνει τις ανάγκες των καλλιεργειών σε αζωτούχο λίπανση εκφρασμένες σε μονάδες αζώτου (Θερίος, 1996), ενώ με τη χρήση αυτού του δείκτη (για τον υπολογισμό της ανομοιότητας, d_{ik}) υπολογίστηκε εκ νέου ένας νέος Edge Contrast Index, ο $ECON_{fer}$. Επίσης στον F.P.I. δεν συμμετείχε ο χάρτης κλίσεων αφού η κλίση δεν επηρεάζει την αζωτούχο λίπανση. Έτσι, υπολογίστηκε ο F.P.I. από τον τύπο:

$$F.P.I. = 0.95 * N_c * R + 0.05 * ECON_{fer} \quad (\text{Σχέση 3.19})$$

Όπως και στον I.P.I, έτσι και στον F.P.I. ακολουθήθηκε η ίδια διαδικασία. Δηλαδή, η κανονικοποίηση των τιμών των επιμέρους παραγόντων, η επαναταξινόμηση των τιμών σε μία ποιοτική κλίμακα τεσσάρων κατηγοριών και ο υπολογισμός της μέσης τιμής του F.P.I. σε κάθε Δημοτικό Διαμέρισμα.

Στον παρακάτω πίνακα απεικονίζονται οι τιμές K_c και N_c των καλλιεργειών που λήφθηκαν υπόψη για τον υπολογισμό των δεικτών.

Πίνακας 3.6. Οι τιμές K_c και N_c των καλλιεργειών

Είδος Καλλιέργειας	Τιμή K_c	Τιμή N_c
Μηδική	0.8	3
Σιτάρι	0.1	12
Καλαμπόκι	0.7	24
Δενδρώδεις Καλλιέργειες	0.5	20
Λαχανοκομικές	0.9	9
Καλλιέργειες		
Αγρανάπαυση	0	0

3.2.2.4 Ανάπτυξη χωρικού δείκτη πίεσης οικιστικής ανάπτυξης

Εκτός από τη γεωργία, πίεση στον υγρότοπο ασκείται και οικιστικά από τις οικιακές και επαγγελματικές ασχολίες και ανάγκες των κατοίκων της περιοχής μελέτης και για αυτό δημιουργήθηκε και ο δείκτης οικιστικής πίεσης στην περιοχή μελέτης. Ο δείκτης αυτός προσπαθεί να υπολογίσει την πίεση που ασκείται από κάθε οικισμό στον υγρότοπο λαμβάνοντας υπόψη του τον πληθυσμό και την έκτασή του καθώς και την απόσταση από τον υγρότοπο. Ο πληθυσμός επηρεάζει την κατάστασή του υγροτόπου μέσω των αστικών λυμάτων καθώς και μέσα από τις επαγγελματικές ασχολίες του, όπως είναι η αλιεία και το κυνήγι, ενώ η έκταση του οικισμού δείχνει την οικιστική ανάπτυξη της περιοχής και την όχληση του περιβάλλοντος μέσω θορύβου, ατμοσφαιρικών ρύπων κ.α. Επίσης, αυτές οι δυο παράμετροι αυξάνουν σε βαθμό όσο πιο κοντά βρίσκεται ο οικισμός στον υγρότοπο. Έτσι, υπολογίστηκε ο δείκτης οικιστικής πίεσης (*Urban, Pressure Index, U.P.I.*)

$$U.P.I. = P * A * R$$

(Σχέση 3.20)

Όπου P, ο πληθυσμός του οικισμού και A, η έκτασή του. Στην περιοχή μελέτης απαντώνται εννέα οικισμοί εννέα δημοτικών διαμερισμάτων, όπως αυτές ταξινομήθηκαν από τη δορυφορική εικόνα. Επειδή πολλοί όμως από αυτούς βρίσκονταν στα χωρικά όρια της λήψης της εικόνας, χρησιμοποιήθηκε το τοπογραφικό φύλλο χάρτη της περιοχής Θέρμης κλίμακας 1: 50.000 για την ψηφιοποίηση και ολοκλήρωση των πολυγώνων των οικισμών. Όσον αφορά τον πληθυσμό, αυτός βρέθηκε σύμφωνα με την απογραφή του 2001 από την Εθνική Στατιστική Υπηρεσία Ελλάδος.

Όπως και στους δείκτες αγροτικής πίεσης (*I.P.I.* και *F.P.I.*), έτσι και στο δείκτη *U.P.I.*, πραγματοποιήθηκε κανονικοποίηση των τιμών των επιμέρους παραγόντων. Εν αντιθέσει όμως με τους άλλους δύο δείκτες αγροτικής πίεσης, στον *U.P.I.* δεν πραγματοποιήθηκε επαναταξινόμηση των τιμών αφού ο δείκτης υπολόγισε μία διαφορετική τιμή για κάθε δημοτικό διαμέρισμα.

3.2.2.5 Εκτίμηση κατάστασης των λειτουργιών του υγροτόπου

Στην υγροτοπική περιοχή δεν επιχειρήθηκε μοντελοποίηση κάποιου δείκτη όπως πραγματοποιήθηκε στην αγροτική περιοχή, αλλά έγινε ταύτιση δεικτών που εξήχθησαν από την ταξινομημένη δορυφορική εικόνα και από τα υπόλοιπα γεωγραφικά δεδομένα με βασικές ιδιότητες του υγροτόπου, οι οποίες με τη σειρά τους επηρεάζουν τις λειτουργίες του υγροτόπου (Smith et al., 1995, Marble 1992, Adamus et al., 1987).

Η συνολική μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για την αξιολόγηση των λειτουργιών του υγροτόπου με βάση δεδομένα γεωγραφικής υπόστασης, εμφανίζεται στο σχήμα 3.23 και αναλύεται στα ακόλουθα βήματα

Βήμα 1^ο. Σύνδεση ιδιοτήτων του υγροτόπου με γεωγραφικά δεδομένα τα οποία μπορούν να τους υπολογίσουν.

Βήμα 2^ο. Υπολογισμός δεικτών από τα γεωγραφικά δεδομένα, για την εκτίμηση των ιδιοτήτων.

Βήμα 3^ο. Θέσπιση ορίων των τιμών των δεικτών όπου οι ιδιότητες μπορούν να επιτελέσουν τις λειτουργίες του υγροτόπου.

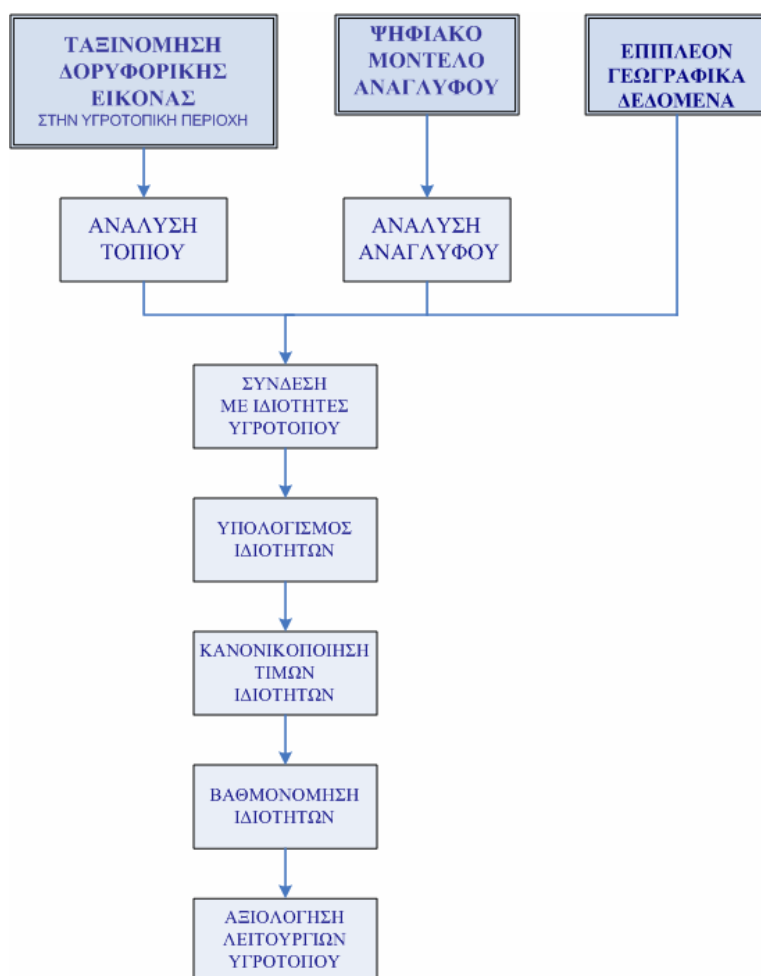
Βήμα 4^ο. Κανονικοποίηση των ορίων των τιμών σε κλίμακα 0 έως 1.

Βήμα 5^ο. Αντιστοίχιση των τιμών των δεικτών όπως υπολογίστηκαν από τα γεωγραφικά δεδομένα στην κλίμακα 0 έως 1.

Βήμα 6^ο. Εισαγωγή βαρών και κανόνων στις ιδιότητες του υγροτόπου που έχουν σχέση με το ποσοστό που επηρεάζουν την κάθε λειτουργία του υγροτόπου.

Βήμα 7^ο. Ποσοτικός υπολογισμός των λειτουργιών του υγροτόπου σε σχέση με τους βαθμονομημένους δείκτες των ιδιοτήτων τους.

Βήμα 8^ο. Αξιολόγηση των λειτουργιών του υγροτόπου χρησιμοποιώντας μία ποιοτική κλίμακα 4 κατηγοριών (κακή, μέτρια, καλή πολύ καλή). Ειδικότερα, το διάστημα [0,1] όπου βρίσκεται η τιμή της κάθε λειτουργίας, χωρίζεται σε 4 ίσα διαστήματα και γίνεται αντιστοίχιση της τιμής της λειτουργίας με την ποιοτική κλίμακα.



Σχήμα 3.23. Σχεδιάγραμμα της μεθοδολογίας για την εκτίμηση των ιδιοτήτων και την αξιολόγηση των λειτουργιών του υγροτόπου με βάση γεωγραφικά δεδομένα.

Παρακάτω παρουσιάζονται, οι λειτουργίες και οι ιδιότητες των λειτουργιών του υγροτόπου, καθώς και ο τρόπος υπολογισμού των ιδιοτήτων αναλύοντας ουσιαστικά τα βήματα 1,2 και 6. Τα υπόλοιπα βήματα της μεθοδολογίας που εφαρμόστηκε, παρουσιάζονται στο *Κεφάλαιο των Αποτελεσμάτων*, όπου γίνεται η αξιολόγηση των λειτουργιών του υγροτοπικού συμπλέγματος της Κορώνειας βάση της διαθέσιμης γεωγραφικής πληροφορίας.

Λειτουργία: Εμπλουτισμός υπογείων υδροφορέων

Μία από τις λειτουργίες του υγροτόπου είναι ο εμπλουτισμός των υπόγειων υδροφορέων, όπου εξαρτάται από τις εξής ιδιότητες:

Υπόστρωμα: Είναι ευνόητο ότι αν το υπόστρωμα είναι πρακτικά αδιαπέρατο δεν θα παρατηρηθεί αυτή η λειτουργία έστω και αν όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι ευνοϊκοί. Ο δείκτης αυτός υπολογίστηκε από την ανάγνωση του γεωλογικού χάρτη όπου φάνηκε η αδιαπεράτοτητα του υποστρώματος. Οι τιμές που μπορεί να πάρει αυτός ο δείκτης είναι από 0 (αδιαπέρατο υπόστρωμα) έως 1 (εντελώς διαπερατό στρώμα).

Τύπος υγροτόπου: Υγροστασιακοί λιμναίοι, τύποι και ποταμοί έχουν μεγαλύτερη πιθανότητα να επιτελέσουν αυτή τη λειτουργία από ό,τι οι εκβολικοί και οι παρακτιακοί τύποι. Αυτός ο δείκτης λαμβάνει τιμές από 0 (παρακτιακοί τύποι) έως 1 (υγροστασιακοί τύποι) και υπολογίζεται από το Βαθυμετρικό Ψηφιακό Μοντέλο και τη δορυφορική εικόνα, όπου ο υγρότοπος της Κορώνειας κατατάσσεται σε μία από αυτές τις πέντε κατηγορίες.

Στόμιο εκροής του νερού του υγροτόπου: Ευνοείται από έλλειψη στομίου εκροής νερού προς άλλα οικοσυστήματα, κάτι που υπολογίζεται οπτικά από το υδρογραφικό δίκτυο και τη θέση του υγροτόπου στην λεκάνη απορροής της Μυγδονίας. Συγκεκριμένα, η οπτική εκτίμηση δείχνει την παρουσία ή την απουσία στομίου εκροής και η απουσία παίρνει τιμή 1 και η παρουσία τιμή 0.

Τροποποίηση Πλημμυρικών Φαινομένων

Μία άλλη λειτουργία του υγρότοπου είναι η τροποποίηση των πλημμυρικών φαινομένων που εξαρτάται εξίσου από τις πέντε ιδιότητες (Συντελεστής για κάθε ιδιότητα 0.2) που περιγράφονται παρακάτω.

Τύπος υγροτόπου: Μεγαλύτερη αποθηκευτική ικανότητα πλημμυρικού νερού έχουν οι λίμνες και τα έλη, όπου παίρνουν τιμές 1 σε σχέση με τα υγροστασιακά συστήματα. Ο υπολογισμός αυτού του δείκτη έγινε σε συμφωνία με την ίδια ιδιότητα για τη λειτουργία του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων.

Στόμιο εκροής του νερού του υγροτόπου: Από τη μια πλευρά, η απουσία στομίου ευνοεί την αποθήκευση πλημμυρικού νερού. Από την άλλη πλευρά, η παρουσία κατάλληλου στομίου ευνοεί τη βραδεία ροή του νερού προς τα κατάντη του υγροτόπου. Η τιμή της ιδιότητας αυτής, υπολογίστηκε όπως αναφέρθηκε και στην προηγούμενη λειτουργία, με τη διαφορά όμως ότι αναστρέφονται οι προαναφερθείσες τιμές

Θέση υγροτόπου: Πιο αποτελεσματικοί είναι οι υγρότοποι που βρίσκονται στα υψηλότερα σημεία της λεκάνης απορροής, όπου εκδηλώνονται τα πλημμυρικά φαινόμενα., μία ιδιότητα η οποία υπολογίζεται από το DEM της περιοχής και την ταξινομημένη εικόνα. Ειδικότερα, υπολογίζεται ο λόγος του χαμηλότερου υψόμετρου της λεκάνης απορροής ως προς το μέσο υψόμετρο του υγροτόπου, όπως ψηφιοποιήθηκε από τη δορυφορική εικόνα, και λαμβάνει τιμές από 0 έως 1, όπου οι υψηλές τιμές υποδηλώνουν ότι η λειτουργία δεν ευνοείται από αυτή την ιδιότητα.

Βλάστηση του υγροτόπου: Η βλάστηση στον υγρότοπο ευνοεί την τροποποίηση των πλημμυρικών φαινομένων. Υπολογίζεται από την ταξινομημένη εικόνα χρησιμοποιώντας τις εκτάσεις που αντιπροσωπεύουν τη βλάστηση, ως προς τη συνολική έκταση του υγροτόπου. Λαμβάνει τιμές από 0 έως 100 και οι υψηλές τιμές υποδηλώνουν ότι επιτελείται η λειτουργία.

Ποσοστό φυτοκάλυψης του υγροτόπου: Το ποσοστό φυτοκάλυψης υπολογίστηκε με βάση την ταξινομημένη εικόνα, όπου υπολογίστηκε το ποσοστό των καλαμώνων ως προς τη συνολική υγροτοπική βλάστηση. Όπως και στην προηγούμενη ιδιότητα έτσι και εδώ οι τιμές που μπορεί να λάβει ο δείκτης είναι από 0 έως 100% και οι υψηλές τιμές δηλώνουν ότι αυτή η λειτουργία επιτελείται.

Παγίδευση ιζημάτων και τοξικών ουσιών

Η τρίτη λειτουργία που μελετάται είναι η παγίδευση ιζημάτων και τοξικών ουσιών, όπου επηρεάζεται εξίσου από έξι συνολικά ιδιότητες.

Τύπος υγροτόπου: Οι ρέοντες υγρότοποι μεταφέρουν μεν μεγάλες ποσότητες ιζημάτων, αλλά παγίδευση των ιζημάτων μπορεί να συμβεί μόνο σε μια ζώνη εκατέρωθεν της κοίτης τους (όταν υπάρχει η κατάλληλη τοπογραφική διαμόρφωση) και φυσικά στις υδατοσυλλογές στις οποίες εκβάλλουν. Υπολογίστηκε όπως και στις δύο προηγούμενες λειτουργίες.

Στόμιο εκροής νερού του υγροτόπου: Μικρή ή μηδενική εκροή νερού από τον υγρότοπο ευνοεί τη λειτουργία, διότι όσο περισσότερος ο χρόνος παραμονής του νερού στον υγρότοπο τόσο περισσότερο θα ευνοηθεί η καθίζηση. Υπολογίστηκε όπως και στη λειτουργία του εμπλουτισμού των υπόγειων υδροφορέων.

Θέση υγροτόπου: Υγρότοποι προφυλαγμένοι από ισχυρούς ανέμους υφίστανται μικρότερη ανάδευση του νερού τους, άρα και λιγότερη εκ νέου αιώρηση των ιζημάτων που έχουν καθιζάνει. Υπολογίστηκε όπως και στη προηγούμενη λειτουργία, αλλά η κανονικοποίηση της τιμής της πραγματοποιήθηκε με αναστροφή των ορίων.

Ταχύτητα νερού. Υπολογίστηκε από τη μέση κλίση της περιοχής. Κλίσεις από 0 έως 2% ευνοούν την ταχύτητα του νερού άρα και τη λειτουργία της παγίδευσης ιζημάτων και τοξικών ουσιών. Μεγαλύτερες κλίσεις όμως μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα λόγω τυρβώδους ροής του νερού.

Κατανομή βάθους νερού. Υπολογίστηκε από το ψηφιακό βαθυμετρικό μοντέλο της περιοχής. Ειδικότερα υπολογίστηκε ο λόγος της έκτασης του ρηχού νερού (έως 30 cm) σε σχέση με το συνολικό. Οι τιμές του δείκτη λαμβάνονται από 0 έως 100 και οι υψηλές τιμές ευνοούν τη λειτουργία.

Κατανομή Ενδιατημάτων: Όσο η χωρική κατανομή των ενδιατημάτων και ιδιαίτερα των καλαμώνων είναι μεγαλύτερη, τόσο καλύτερα επιτελείται η λειτουργία. Αυτή η ιδιότητα υπολογίζεται από το δείκτη τοπίου I.J.I. (Interspersion Juxtaposition Index), ο οποίος δείχνει για κάθε ενδιαίτημα σε τι βαθμό και αριθμό βρίσκεται με τα εγγύτερα ενδιαίτηματα. Λαμβάνει τιμές από 0 έως 100 και οι υψηλές τιμές υποδηλώνουν τη μεγαλύτερη χωρική κατανομή των ενδιατημάτων. Δίνεται από τον τύπο:

$$I.J.I = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{k=i+1}^m \left[\left(\frac{e_{ik}}{E} \right) * \ln \left(\frac{e_{ik}}{E} \right) \right]}{\ln(0.5[m(m-1)])} * 100 \quad (\text{Σχέση 3.21})$$

Όπου:

e_{ik} = Το συνολικό μήκος της κοινής πλευράς μεταξύ δύο ενδιατημάτων i και k.

E = η περίμετρος του ενδιαιτήματος i

m = Ο αριθμός των ενδιατημάτων

Απομάκρυνση–Μετασχηματισμός Θρεπτικών Ουσιών

Η τέταρτη λειτουργία είναι η απομάκρυνση και μετασχηματισμός των θρεπτικών ουσιών από τον υγρότοπο. Υπολογίζεται από 7 ιδιότητες. Μία από αυτές (Υπόστρωμα του υγροτόπου) δεν υπολογίστηκε λόγω έλλειψης δεδομένων, οπότε η αξιολόγηση έγινε από τις υπόλοιπες εξι με την παραδοχή ότι επηρεάζουν εξίσου τη λειτουργία

Υπόστρωμα του υγροτόπου: Το καταλληλότερο υπόστρωμα για την απομάκρυνση του αζώτου είναι εκείνο που περιέχει υψηλή περιεκτικότητα σε οργανική ύλη ενώ για την απομάκρυνση του φωσφόρου εκείνο που περιέχει υψηλή περιεκτικότητα σε ανόργανα υλικά. τα οποία περιέχουν πολύ αργίλιο, ασβέστιο ή σίδηρο.

Βλάστηση του υγροτόπου: Η παρουσία φυτών ευνοεί καταρχήν τη λειτουργία, διότι ευνοείται η επιβράδυνση της ροής του εισρέοντος νερού και η παγίδευση των ιζημάτων που περιέχουν άζωτο και φωσφόρο ή που έχουν προσροφημένες ενώσεις αζώτου και φωσφόρου. Επίσης, ευνοεί τη λειτουργία, διότι τα φυτά προσλαμβάνουν πολύ άζωτο και φωσφόρο. Τέλος, τα φυτά είναι υπόστρωμα για τους μικροοργανισμούς. Μέσω των μικροοργανισμών μετασχηματίζονται πολλές ουσίες. Υπολογίστηκε όπως και στη λειτουργία της τροποποίησης πλημμυρικών φαινομένων

Ποσοστό φυτοκάλυψης: Την ίδια συμπεριφορά με την προηγούμενη ιδιότητα όπως και στη λειτουργία της παγίδευσης ιζημάτων. Υπολογίστηκε όπως και στη λειτουργία της τροποποίησης πλημμυρικών φαινομένων.

Ταχύτητα νερού: Έως ένα σημείο η ταχύτητα νερού ευνοεί τη λειτουργία αυτή. Υπολογίστηκε όπως και στη λειτουργία της τροποποίησης πλημμυρικών φαινομένων.

Ποσοστό της λεκάνης απορροής που καλύπτει ο υγρότοπος: Όσο μικρότερο το ποσοστό τόσο περισσότερες θρεπτικές ουσίες θα εισέλθουν ανά τετραγωνικό μέτρο επιφάνειας του υγροτόπου. Υπολογίστηκε από τη διαίρεση της υγροτοπικής έκτασης, που βρέθηκε από τη δορυφορική εικόνα, με την έκταση της λεκάνης απορροής που βρέθηκε από την ανάλυση του αναγλύφου.

Υδροπερίοδος: Η μόνιμη κατάκλιση ευνοεί περισσότερο τη λειτουργία. Υπολογίστηκε από την υδροπερίοδο, έτσι όπως βρέθηκε από την ανάλυση διαχρονικών δορυφορικών εικόνων σύμφωνα με το πρόγραμμα GlobWetland. Συγκεκριμένα, εκτιμήθηκε ο λόγος της έκτασης, η οποία είναι μόνιμα κατακλυσμένη, προς την έκταση των υδάτινων σωμάτων κατά την υψηλή στάθμη.

Ανακύκλωση νερού: Όσο λιγότερο νερό εκφεύγει από τον υγρότοπο τόσο περισσότερο ευνοείται η λειτουργία. Εκτιμήθηκε από την παρουσία του υδρογραφικού δικτύου και από την ύπαρξη στομίου εκροής εκτός του υγρότοπου.

Στήριξη Τροφικών Πλεγμάτων

Η τελευταία λειτουργία, αλλά ίσως και η πιο σημαντική για τα μεσογειακά οικοσυστήματα που αξιολογήθηκε, είναι η στήριξη των τροφικών πλεγμάτων. Εξαρτάται από έξι ιδιότητες του υγρότοπου, όπου οι συμμετοχή των δύο τελευταίων λαμβάνεται υπόψη κατά 20% και των υπόλοιπων τεσσάρων κατά 15%.

Κατανομή βάθους νερού: Όσο πιο ομοιόμορφη είναι η κατανομή του βάθους του νερού τόσο καλύτερα επιτελείται η λειτουργία. Υπολογίστηκε από το ψηφιακό μοντέλο βάθους της λίμνης όπου εκτιμήθηκε η ομοιομορφία του βάθους.

Ταχύτητα νερού: Υπολογίστηκε με τον ίδιο τρόπο όπως και στις δύο προηγούμενες λειτουργίες

Υδροπερίοδος: Υπολογίστηκε όπως και στην προηγούμενη λειτουργία μόνο που εδώ είναι επιθυμητό να υπάρχουν μεγάλες εκτάσεις περιοδικά κατακλυσμένες. Γι' αυτό, υπολογίστηκε ο λόγος της έκτασης που είναι περιοδικά κατακλυσμένη ως προς την έκταση της υψηλής στάθμης του νερού.

Ανακύκλωση Νερού: Υπολογίστηκε όπως και στην προηγούμενη λειτουργία

Βιοποικιλότητα: Η Βιοποικιλότητα ευνοεί τη λειτουργία. Υπολογίστηκε από τη ταξινομημένη εικόνα και τον δείκτη τοπίου *Shannon Evenness Index* (βλ. σχέση 3.15), ο οποίος λαμβάνει τιμές από 0 έως 1 και δείχνει την ποικιλία των ενδιαιτημάτων καθώς και την κατανομή των κλάσεων ενδιαιτημάτων μέσα στον υγρότοπο, όπου υψηλές τιμές δείχνουν και μεγάλη ποικιλία οικοτόπων.

Ποιότητα νερού: Υπολογίστηκε από δειγματοληπτικά αποτελέσματα της μέτρησης του PH της λίμνης. Τέθηκαν όρια τιμής PH όπου ο υδρόβιος πληθυσμός μπορεί να ζήσει. Τα όρια αυτά λήφθηκαν από την Κ.Υ.Α. 46399/4352/1986 και είναι για τιμές PH από 6 – 9.

Ανακεφαλαιώνοντας όλα τα παραπάνω, δημιουργήθηκε ο πίνακας 3.7 όπου δείχνει τις ιδιότητες και τις λειτουργίες του υγρότοπου καθώς και πως αυτές υπολογίστηκαν.

Πίνακας 3.7 Δείκτες και δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό των ιδιοτήτων του υγρότοπου

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥ				
	Εμπλουτισμός Υπόγειων υδροφορέων	Τροποποίηση Πλημμυρικών Φαινομένων	Παγίδευση Ιζημάτων Τοξικών ουσιών	Απομάκρυνση- Μετασχηματισμός Θρεπτικών Ουσιών	Στήριξη Τροφικών Πλεγμάτων
Υπόστρωμα	Γεωλογικός χάρτης / Παρουσία ή όχι αδιαπ. Στρώματος				
Τύπος Υγροτόπου	Ταξινομημένη εικόνα/χαρακτη- ρισμός νερού	Ταξινομημένη εικόνα/χαρακτη- ρισμός νερού	Ταξινομημένη εικόνα/χαρακ- τηρισμός νερού		
Στόμιο Εκροής	Υδρογραφικό δίκτυο/ ναι ή όχι	Υδρογραφικό δίκτυο/ ναι ή όχι	Υδρογραφικό δίκτυο/ ναι ή όχι		
Θέση Υγροτόπου		DEM/ταξινομη- μένη εικόνα	DEM		
Υγροτοπική Βλάστηση		Ταξινομημένη εικόνα /Εκταση υγροτ. Βλ. προς εκτ. υγροτόπου		Ταξινομημένη εικόνα /Εκταση υγροτ. Βλ. προς εκτ. υγροτόπου	
Ποσοστό φυτοκάλυψης		Ταξινομημένη εικόνα /Εκταση καλ. προς εκτ. Υγρ. βλάστησης		Ταξινομημένη εικόνα /Εκταση καλ. προς εκτ. Υγρ. βλάστησης	
Ταχύτητα νερού			Κλίση	Κλίση	Κλίση
Κατανομή Ενδιατημάτων			Ταξινομημένη εικόνα / I.J.I.		
Κατανομή βάθους νερού			DDM/ποσοστ ό νερου με βάθος έως 50%		DDM/ Ομοιομορφία ή όχι
Ποσοστό Υγρ/Λεκ.				DEM και Ταξινομημενη εικόνα/ ποσοστό Υγρ/λεκ	
Υδροπερίοδος				Διαχρονικές δορυφορικές εικόνες/ % Μόνιμα κατακλυσμένη έκταση προς έκταση υψηλής στάθμης	Διαχρονικές δορυφορικές εικόνες/ % Περιοδικά κατακλυσμένη έκταση υψηλής στάθμης
Ανακύκλωση Νερού				Υδρογραφικό δίκτυο/ παρουσία στομίου εκροής	Υδρογραφικό Δίκτυο/ παρουσία βλάστησης
Βιοποικιλότητα					Ταξινομημένη εικόνα / Shannon Evenness Index
Ποιότητα νερού					Δειγματοληψία νερού/PH

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ – ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Τα αποτελέσματα όπως και η μεθοδολογία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: τη σύγκριση των τεσσάρων ταξινομήσεων και τον υπολογισμό των περιβαλλοντικών δεικτών.

Ειδικότερα, η σύγκριση των ταξινομήσεων περιλαμβάνει τρία στάδια: την ποσοτική εκτίμηση με τα δεδομένα πεδίου, όπου τέσσερις στατιστικοί παράμετροι υπολογίζονται (Συνολική ακρίβεια, K ανάλυση, Z ανάλυση, και πίνακας λαθών), την ποιοτική εκτίμηση και τη ποσοτικά ποιοτική εκτίμηση στην αγροτική περιοχή με τη συμβολή των ψηφιοποιημένων αγροτεμαχίων και του δείκτη MSHEI. Από την άλλη πλευρά, ο υπολογισμός των δεικτών περιλαμβάνει τη δημιουργία των χαρτών των δεικτών πιέσεων, τα στατιστικά αποτελέσματα των δεικτών και την αξιολόγηση των λειτουργιών του υδροτόπου της λίμνης Κορώνειας.

4.1 Σύγκριση ταξινομήσεων

Μετά την εφαρμογή των ταξινομήσεων παρήχθησαν οι θεματικοί χάρτες για την υδροτοπική και την αγροτική περιοχή. Όσον αφορά τις παραμέτρους οι οποίοι λήφθηκαν για κάθε αλγόριθμο ταξινόμησης, αυτοί παρουσιάζονται παρακάτω.

Για το νευρωνικό δίκτυο BP της υδροτοπικής περιοχής επιλέχθησαν 2 ενδιάμεσα επίπεδα (ή στρώματα) με 11 και 12 νευρώνες. Ο ρυθμός εκμάθησης ήταν 0.015 και το momentum 0.05 ενώ ο αριθμός επαναλήψεων 10000. Για τη αγροτική περιοχή επιλέχθησαν πάλι 2 ενδιάμεσα επίπεδα με 14 νευρώνες το καθένα, ενώ ο ρυθμός εκμάθησης ήταν 0.02 χωρίς να χρησιμοποιηθεί το momentum. Αυτά τα χαρακτηριστικά χρησιμοποιήθηκαν μετά από διαδοχικές επαναλήψεις με κριτήριο τη μέγιστη ακρίβεια του δικτύου από τα δεδομένα εκπαίδευσης, το οποίο υπολογιζόταν μετά το πέρας των επαναλήψεων. Τελικά, χρησιμοποιήθηκαν τα παραπάνω χαρακτηριστικά με ακρίβεια του δικτύου να φτάνει στα 66.27% και 64.28% για την υδροτοπική και την αγροτική περιοχή, αντίστοιχα.

Από την άλλη πλευρά, στο ασαφές νευρωνικό δίκτυο SONEFMUC έπρεπε να οριστεί η εξίσωση της FPD μονάδας, ο αριθμός των ασαφών κανόνων και η μέθοδος της απόφασης των στοιχειωδών ταξινομήσεων (fuser). Έτσι, για την υδροτοπική περιοχή αποφασίστηκε η μονάδα FPD να αποτελείται από κανόνες TSK με τρεις ασαφείς κανόνες (fuzzy sets), ενώ ο fuser ήταν ο fuzzy integral. Για την αγροτική περιοχή επιλέχθηκαν πέντε ασαφείς κανόνες, ενώ ο fuser ήταν ο *min*. Τα στρώματα της ταξινόμησης ήταν πέντε για την υδροτοπική περιοχή και έξι για την αγροτική.

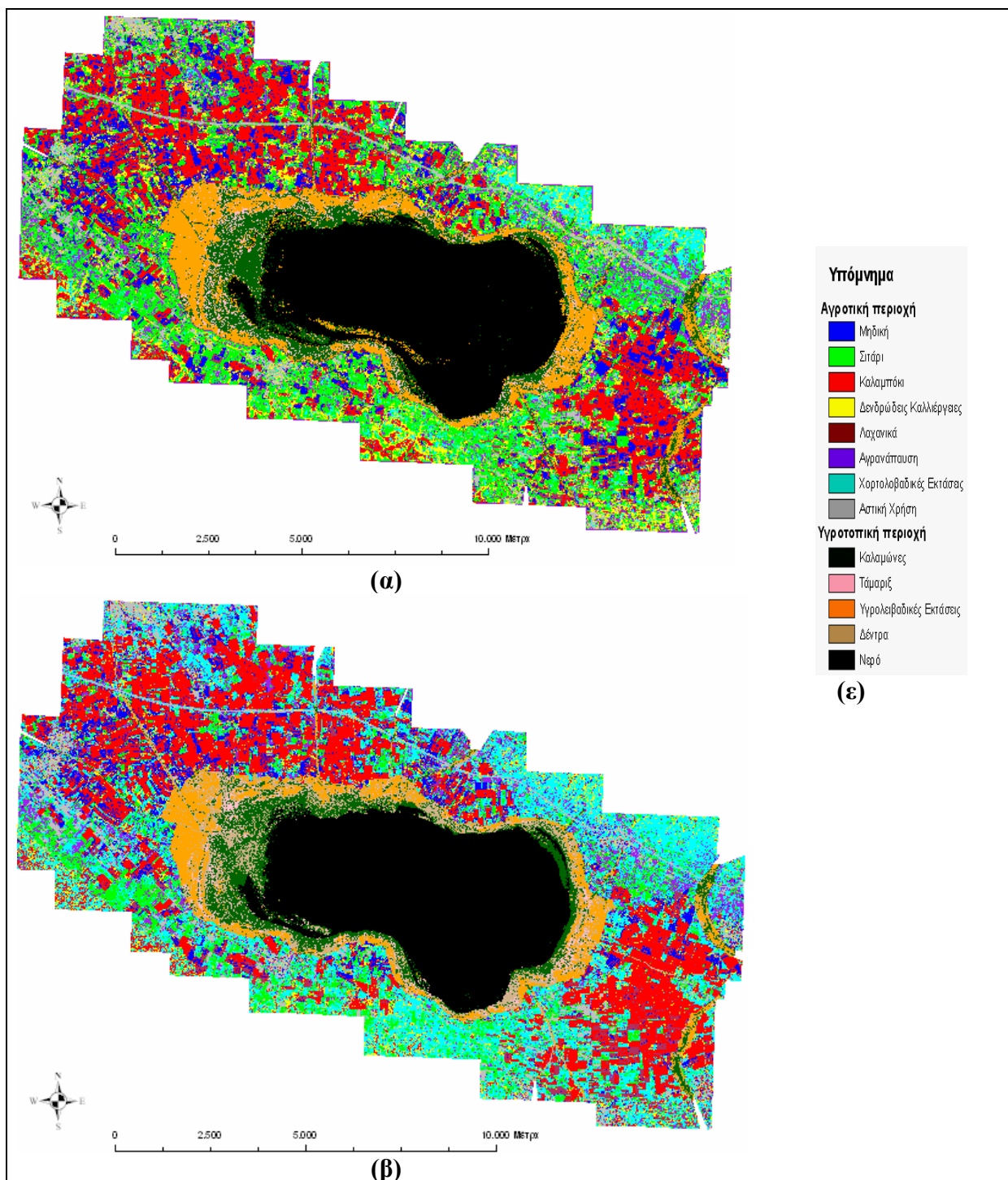
Τέλος, στους στατιστικούς ταξινομητές δεν απαιτήθηκε καμία παράμετρος εκτός από την εκ προοιμίου πιθανότητα για κάθε κλάση. Επειδή όμως αυτή δεν ήταν γνωστή, όλες οι κλάσεις συμμετείχαν με την ίδια εκ προοιμίου πιθανότητα.

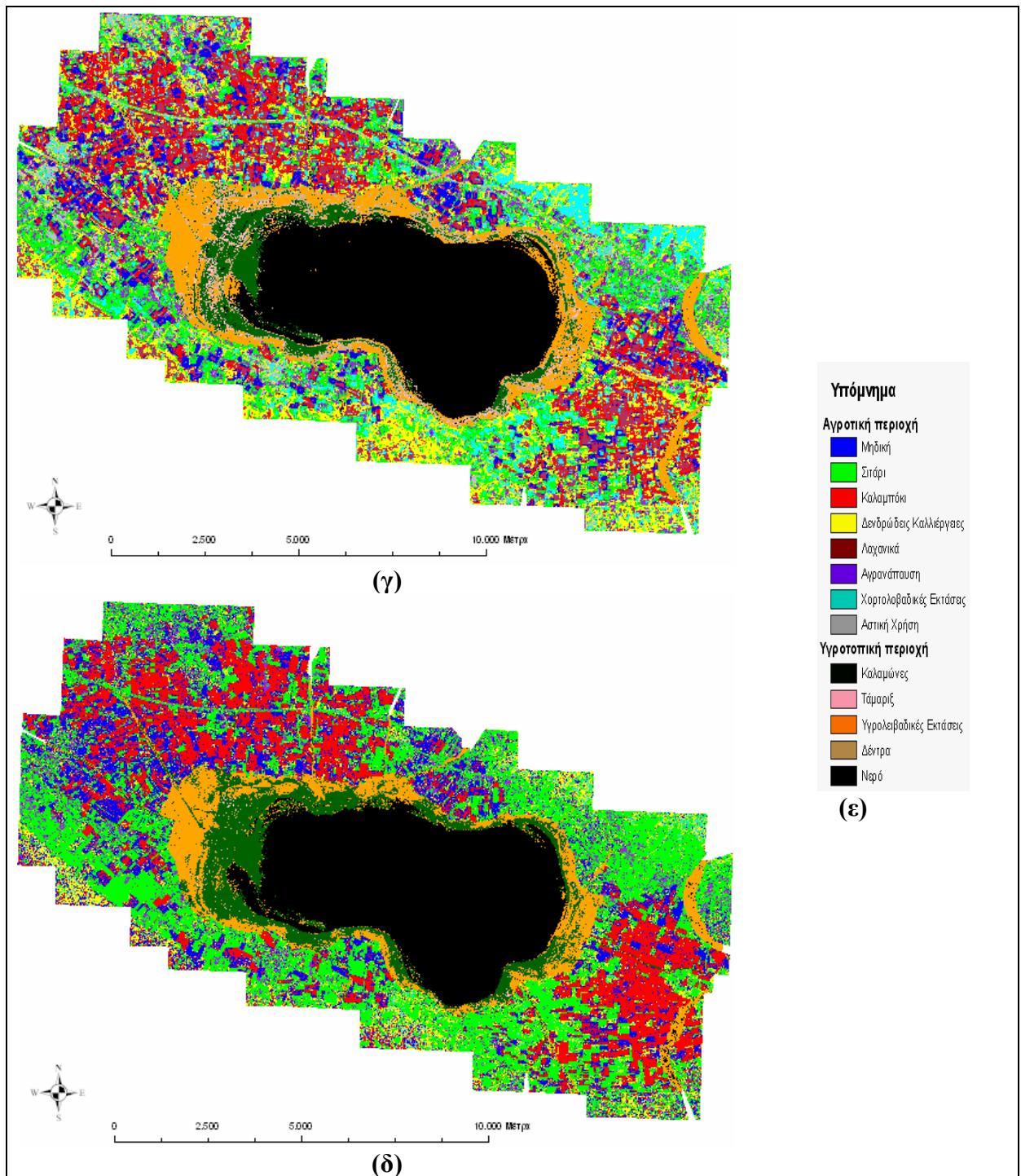
Η εκπαίδευση των δεδομένων με την μέθοδο SONEFMUC έδωσε την επιπλέον δυνατότητα για την επιλογή εκείνων των εισόδων που μπορούν καλύτερα να ταξινομήσουν την εικόνα, και συγκεκριμένα για τον υγρότοπο επιλέχθηκαν οχτώ εισοδοί (τα κανάλια 1-3 της εικόνας το greenness και το brightness από το Tasseled

Cap η φωτεινότητα και η ένταση από τον μετασχηματισμό IHS και το φίλτρο Angular Second Moment του τρίτου καναλιού). Όσον αφορά την αγροτική περιοχή, επιλεχθήκαν 12 είσοδοι οι οποίοι ήταν τα τέσσερα κανάλια της εικόνας, τα τρία δεδομένα του μετασχηματισμού Tasseled Cap, η ένταση και η φωτεινότητα από το IHS, η συσχέτιση από το πρώτο κανάλι, η ομοιογένεια του τρίτου καναλιού και το φίλτρο Angular Second Moment του τέταρτου καναλιού.

Η επιλογή των κατάλληλων εισόδων όμως δεν προβλέπεται από τους υπόλοιπους ταξινομητές. Παρόλα αυτά, για τους στατιστικούς ταξινομητές εξετάστηκε πριν την ταξινόμηση η διαχωριστικότητα των φασματικών υπογραφών με το κριτήριο των Jefferies – Matusita. Σύμφωνα με αυτό το κριτήριο, εξεταζόταν η μέγιστη διαχωριστικότητα των φασματικών υπογραφών για συνδυασμούς 2,3,4 ...έως και των 26 δεδομένων εισόδου και τελικά βρέθηκε ότι η μέγιστη διαχωριστικότητα και στην υγροτοπική και στην αγροτική περιοχή εμφανίζεται με τη συμμετοχή όλων των δεδομένων (η διαχωριστικότητα ήταν 1392 στην αγροτική ζώνη και 1407 στην υγροτοπική, με μέγιστή τιμή αυτού του δείκτη 1414). Αυτό σημαίνει, ότι τελικά η ταξινόμηση πραγματοποιήθηκε σε όλα τα δεδομένα εισόδου.

Μετά τις ταξινομήσεις με τους τέσσερις αλγόριθμους στις δύο ζώνες, ακολούθησε η δημιουργία μωσαϊκού των ζωνών για κάθε ταξινόμηση. Το χαρτογραφικό αποτέλεσμα των ταξινομήσεων αναπαρίσταται στο σχήμα 4.1.





Σχήμα 4.1. Οι τέσσερις ταξινομήσεις των εικόνων. (α) η ταξινόμηση με την MLC, (β) η ταξινόμηση με την DS, (γ) η ταξινόμηση με την BP, (δ) η ταξινόμηση με τη SONEMUC και (ε) το υπόμνημα

4.1.1 Ποσοτικές μετρήσεις

4.1.1.1 Υγρότοπος

Με τη χρήση 381 σημείων που δε συμμετείχαν ως σημεία εκπαίδευσης των ταξινομητών, πραγματοποιήθηκε η ποσοτική εκτίμηση της ακρίβειας των ταξινομήσεων στον υγρότοπο, παράγοντας με αυτόν τον τρόπο τους πίνακες λαθών (*Confusion Matrix*) 4.1 έως 4.4.

Με τη χρήση αυτών υπολογίστηκε η ολική ακρίβεια της ταξινόμησης (Overall accuracy %, O.A.%), η ανάλυση K καθώς και το Z της ταξινόμησης. Επίσης, με τη χρήση του πίνακα λαθών υπολογίστηκε η ακρίβεια του παραγωγού για κάθε κλάση (Producer's accuracy, P.A.%), όπου οι χαμηλές τιμές υποδηλώνουν υποεκτίμηση της ταξινόμησης και η ακρίβεια του χρήστη (User's Accuracy, U.A.%), όπου οι χαμηλές τιμές δείχνουν την υπερεκτίμηση της κάθε κλάσης.

Από την ανάγνωση της O.A. εμφανίζεται ότι την μεγαλύτερη ακρίβεια την παρέχει το SONEFMUC με 89.5%, με διαφορά 4 ποσοστιαίες μονάδες περίπου από τη δεύτερη μέθοδο την MLC, η οποία παρουσιάζει ακρίβεια 85.82%. Από την άλλη πλευρά, μικρή ακρίβεια υπάρχει με το δίκτυο BP, όπου φτάνει μόλις στο 74%, έχοντας μάλιστα πολύ χαμηλή τιμή του K που παρόλα αυτά δείχνει μία μέση εκτίμηση του αποτελέσματος. Αναλύοντας τις τιμές του K όλες οι μέθοδοι βρίσκονται στο διάστημα [0.4, 0.8], που ο Connalton (1994) προτείνει ότι η ταξινόμηση υποδεικνύει μια μέση σημαντικότητα, εκτός από την μέθοδο SONEFMUC που η τιμή είναι μεγαλύτερη από 0.8, γεγονός που υποδηλώνει μια σαφή ακρίβεια για το αποτέλεσμα της ταξινόμησης.

Υπολογίζοντας το συντελεστή Z, αυτός εμφανίζεται όπως αναμενόταν μεγαλύτερος της τιμής 1,96, που αποτελεί το κριτικό όριο για το αν η κάθε ταξινόμηση είναι σημαντική από την τυχαία ταξινόμηση των εικονοστοιχείων σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Εκτός όμως από το Z της κάθε ταξινόμησης υπολογίστηκε το Z-test ανά δύο ταξινομήσεις για να γίνει σύγκριση των πινάκων λαθών και αν αυτοί διαφέρουν σημαντικά σε επίπεδο εμπιστοσύνης 95%. Τα αποτελέσματα του Z-test εμφανίζονται στον πίνακα 4.5, όπου η μέθοδος SONEFMUC παρουσιάζει στατιστική σημαντικότητα απέναντι στις άλλες τρεις μεθόδους, οι οποίες μεταξύ τους δε διαφέρουν σημαντικά εκτός της BP με τη DS.

Επιπλέον, αναλύοντας τους πίνακες λαθών, είναι εύκολο να παρατηρήσει κάποιος ότι οι διαφορές στις στατιστικές παραμέτρους οφείλονται κυρίως στην κλάση των καλαμώνων και κατά δεύτερο λόγο, στην κλάση των τάμαριξ και των δέντρων. Ειδικότερα, η SONEFMUC ταξινομεί καλύτερα τους καλαμώνες αφού δεν τους υποεκτιμά (P.A. 90.27%) σε σχέση με τους άλλους ταξινομητές και ιδίως με τις μεθόδους DS, και BP όπου υπάρχει μεγάλη υποεκτίμηση των καλαμώνων, οι οποίοι ταξινομούνται λάθος στις υπόλοιπες κατηγορίες του συστήματος ταξινόμησης, εκτός της κατηγορίας του νερού, με το μεγαλύτερο ποσοστό αυτών να ταξινομείται λανθασμένα στην κατηγορία των δέντρων. Από την άλλη πλευρά, μικρότερη υπερεκτίμηση της κατηγορίας των καλαμώνων παρουσιάζει η μέθοδος DS με 97.18% ακρίβεια του χρήστη και τη μικρότερη η MLC.

Στην κλάση των τάμαριξ παρουσιάζονται μικρές γενικά ακρίβειες με μεγαλύτερη ακρίβεια παραγωγού να εμφανίζεται στην μέθοδο DS. Αυτό συμβαίνει γιατί στις

ταξινομήσεις με την MLC και τη SONEFMUC η κατηγορία μπερδεύεται με την κλάση των καλαμώνων, ενώ στις τις άλλες δύο μεθόδους με την κλάση των δέντρων, κάτι φυσιολογικό αν αναλογιστεί κανείς ότι αυτές οι δύο κλάσεις αντιπροσωπεύουν δέντρα.

Οι υγρολειβαδικές εκτάσεις ταξινομούνται ικανοποιητικά σε όλες τις ταξινομήσεις, τόσο από άποψη ακρίβειας παραγωγού όσο και από άποψη ακρίβειας χρήστη. Η μικρή υποεκτίμηση οφείλεται κυρίως στην κλάση των δέντρων, όπως εμφανίζεται στις μεθόδους ταξινόμησης BP και DS, ενώ ακόμα μικρότερη είναι η υπερεκτίμηση για τις κλάσεις των τάμαριζ και των δέντρων.

Στην κλάση των δέντρων εμφανίζονται δύο κατηγορίες ταξινομήσεων. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν η MLC και η SONEFMUC οι οποίες υποεκτιμούν την κλάση αυτή (P.A.33.3%), αλλά δεν ταξινομούν εικονοστοιχεία λανθασμένα σε αυτήν. Στη δεύτερη κατηγορία βρίσκονται οι δύο άλλοι ταξινομητές, οι οποίοι υπερεκτιμούν σε μεγάλο βαθμό την κατηγορία των δέντρων προσφέροντας πολύ μικρές ακρίβειες χρήστη εις βάρος κυρίως των καλαμώνων αλλά και των τάμαριζ.

Τέλος, όλες οι ταξινομήσεις ταξινομούν με τη μέγιστη ακρίβεια την κλάση του νερού κάτι που θεωρούνταν αναμενόμενο λόγω της φασματικής διαχωριστικότητας που διαθέτει με τις υπόλοιπες κλάσεις, οι οποίες αντιπροσωπεύουν διαφορετικά είδη βλάστησης.

Πίνακας 4.1. Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο MLC

MLC	Πίνακας Λαθών Ταξινόμησης Υγροτοπικής Περιοχής						
	Καλαμώνες	Ταμαριζ	Υγρολείβαδα	Δέντρα	Νερό	PA (%)	UA (%)
Καλαμώνες	89	10	8	6	0	78.76	78.76
Ταμαριζ	18	16	1	0	0	51.61	45.71
Υγρολείβαδα	6	5	198	0	0	95.65	94.74
Δέντρα	0	0	0	3	0	33.33	100.0
Νερό	0	0		0	21	100.0	100.0
Δεδομένα Αναφοράς	113	31	207	9	21		

Overall Accuracy=85.82%, Khat=0.67, Z-score=23.14

Πίνακας 4.2 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο DS

DS	Πίνακας Λαθών Ταξινόμησης Υγροτοπικής Περιοχής						
	Καλαμώνες	Ταμαριζ	Υγρολείβαδα	Δέντρα	Νερό	PA (%)	UA (%)
Καλαμώνες	69	2	0	0	0	61.06	97.18
Ταμαριζ	7	21	4	0	0	67.74	65.63
Υγρολείβαδα	3	2	183	0	0	88.41	97.34
Δέντρα	34	6	20	9	0	100.00	13.04
Νερό	0	0	0	0	21	100.00	100.00
Δεδομένα Αναφοράς	113	31	207	9	21		

Overall Accuracy=79,53 Khat=0.69, Z-score=24.183

Πίνακας 4.3 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο BP

Back							
Propagation							
	Πίνακας Λαθών Ταξινόμησης Υγροτοπικής Περιοχής						
	Καλαμώνες	Ταμαριξ	Υγρολείβαδα	Δέντρα	Νερό	PA (%)	UA (%)
Καλαμώνες	52	9	2	1	0	46.02	81.25
Ταμαριξ	9	6	1	0	0	19.35	37.50
Υγρολείβαδα	2	3	195	0	0	94.20	97.50
Δέντρα	50	13	9	8	0	88.89	10.00
Νερό	0	0	0	0	21	100.0	100.0
Δεδομένα Αναφοράς	113	31	207	9	21		
Overall Accuracy=74.01%, Khat=0.60, Z-score=20.13							

Πίνακας 4.4 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο SONEFMUC

SONeFMUC							
Πίνακας Λαθών Ταξινόμησης Υγροτοπικής Περιοχής							
	Καλαμώνες	Ταμαριξ	Υγρολείβαδα	Δέντρα	Νερό	PA (%)	UA (%)
Καλαμώνες	102	12	7	3	0	90.27	82.26
Ταμαριξ	7	17	2	3	0	54.84	58.62
Υγρολείβαδα	4	1	198	0	0	95.65	97.54
Δέντρα	0	1	0	3	0	33.33	100.0
Νερό	0	0	0	0	21	100.0	100.0
Δεδομένα Αναφοράς	113	31	207	9	21		
Overall Accuracy=89.5%, Khat=0.83, Z-score=33.14							

Πίνακας 4.5 Οι τιμές του Z-test μεταξύ των ταξινομήσεων στην υγροτοπική περιοχή

	MLC	BP	DS	SONeFMUC
MLC				
BP	1.770			
DS	0.388	2.177*		
SONeFMUC	3.94*	5.862*	3.569*	

* Στατιστικώς σημαντικές σε βαθμό εμπιστοσύνης 95%

4.1.1.2 Αγροτική περιοχή

Ανάλογη ποσοτική εκτίμηση του αποτελέσματος των ταξινομήσεων πραγματοποιήθηκε και στην αγροτική περιοχή με τη συμβολή 795 δειγματοληπτικών σημείων, παράγοντας με αυτόν τον τρόπο τους πίνακες λαθών όπως φαίνονται στους πίνακες 4.6 έως 4.9.

Αναλυτικότερα, όπως στην υγροτοπική περιοχή έτσι και εδώ την μεγαλύτερη Ο.Α. παρουσιάζει το δίκτυο SONEFMUC με 74.21% με τη διαφορά με τις άλλες ταξινομήσεις να ξεκινά από 2.5 περίπου μονάδες (MLC) και να φτάνει στις 12 μονάδες (BP). Αυτού του είδους οι διαφορές παρατηρήθηκαν και στην υγροτοπική περιοχή, αλλά στην προκειμένη περίπτωση υπάρχει μία σημαντική διαφορά: η μικρότερη γενικά

συνολική ακρίβεια των ταξινομήσεων που δεν υπερβαίνει το 75%. Αυτό οφείλεται κυρίως σε δύο λόγους: Πρώτα, στο μεγαλύτερο αριθμό κλάσεων (8 στην αγροτική ζώνη, 5 στον υγρότοπο της λίμνης) και κατά δεύτερο λόγο, στη φασματική ταυτότητα των κλάσεων οι οποίες αντιπροσωπεύουν είδη βλάστησης τα οποία δύσκολα διαχωρίζονται.

Αυτά τα στοιχεία είχαν αντίκτυπο και στις υπόλοιπες στατιστικές παραμέτρους της εκτίμησης της ακρίβειας. Για παράδειγμα, το K της SONEFMUC, αν και το υψηλότερο από όλες τις ταξινομήσεις, φθάνει το 0.67 τιμή που υποδεικνύει μία μέση συμφωνία της ταξινόμησης ως προς την τυχαία ταξινόμηση. Επίσης, με τη χρησιμοποίηση του Z-test (Πίνακας 4.10) δεν παρουσιάζονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ των ταξινομήσεων SONEFMUC, MLC και DS, αν και οι τρεις έχουν στατιστικώς σημαντική διαφορά με την BP. Βέβαια, όπως και στον υγρότοπο, παρατηρείται σε όλες τις ταξινομήσεις ότι το Z-score είναι κατά πολύ μεγαλύτερο από την τιμή 1,96, κάτι που σημαίνει ότι οι ταξινομήσεις διαφέρουν από την τυχαία ταξινόμηση.

Εκτός όμως από τις συνολικές στατιστικές παραμέτρους, χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να προκύψουν για τις δυνατότητες των ταξινομητών μέσα από την ανάλυση των πινάκων λαθών. Λαμβάνοντας υπόψη τις τρεις πρώτες κλάσεις, οι οποίες αποτελούν και τις κυρίαρχες κλάσεις του συστήματος ταξινόμησης, αφού το μεγαλύτερο ποσοστό των αγροτεμαχίων καλλιεργείται με μηδική, σιτηρά και καλαμπόκι, παρατηρείται ότι το SONEFMUC παρουσιάζει μία μέση ακρίβεια παραγωγού 82.6%, πολύ μεγαλύτερη από τις υπόλοιπες κλάσεις οι οποίες τις υποεκτιμούν και ιδίως της BP. Η μικρή ακρίβεια οφείλεται στην μεγάλη υποεκτίμηση της μηδικής, όπου εικονοστοιχεία ετικετοποιούνται στις υπόλοιπες κλάσεις που αντιπροσωπεύουν καλλιέργειες. Στη μικρή συνολική ακρίβεια της BP συμβάλλει και η μικρή ακρίβεια παραγωγού στο σιτάρι όπου πολλά σημεία αναφοράς ταξινομούνται λανθασμένα ως αγρανάπαυση και χορτολειαδικές εκτάσεις. Το φαινόμενο αυτό παρατηρείται και στην DS όπου η σχέση είναι αμφίδρομη, δηλαδή στις κατηγορίες της αγρανάπαυσης και των χορτολειαδικών εκτάσεων τα εικονοστοιχεία ταξινομούνται ως σιτάρι.

Θα πρέπει όμως να επισημανθεί και η ακρίβεια του χρήστη σε αυτές τις κατηγορίες, όπου παρατηρείται μία υπερεκτίμηση αυτών με τη SONEFMUC σε σχέση με τις άλλες ταξινομήσεις, γεγονός που υποδηλώνει ότι η μέθοδος αυτή ενεργεί υπέρ των κυρίαρχων κλάσεων.

Στις δενδρώδεις καλλιέργειες παρατηρείται μία περίπου ίδια κατάσταση όσον αφορά την ακρίβεια του παραγωγού, αλλά η BP κυρίως και η DS παρουσιάζουν μεγάλα σφάλματα πρόσθεσης εις βάρος των κλάσεων μηδικής και καλαμποκιού. Κάτι ανάλογο παρατηρείται και με την κατηγορία των λαχανικών.

Η αγρανάπαυση παρουσιάζει γενικά χαμηλές τιμές ακρίβειας παραγωγού σε όλες τις ταξινομήσεις, όπου τα σφάλματα παράλειψης οφείλονται στην κατηγορία των σιτηρών. Εκτός όμως από σφάλματα παράλειψης, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, παρουσιάζονται και σφάλματα πρόσθεσης στην κλάση του σιταριού, τα οποία όμως περιορίζονται με την μέθοδο SONEFMUC.

Στις χορτολειαδικές εκτάσεις, μεγαλύτερη υποεκτίμηση παρουσιάζει η μέθοδος SONEFMUC, κάτι που οφείλεται στο ότι, εικονοστοιχεία της κατηγορίας αυτής ταξινομούνται λάθος ως σιτάρι, ενώ παράλληλα την μικρότερη υποεκτίμηση την παρουσιάζει η MLC.

Επιπλέον, η αστική χρήση δείχνει να ταξινομείται σε ικανοποιητικό βαθμό από όλες τις ταξινομήσεις και ειδικότερα με την MLC.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, μπορεί να ειπωθεί ότι η ταξινόμηση με τη SONEFMUC έδωσε συγκριτικά καλύτερα αποτελέσματα από τις υπόλοιπες κατηγορίες λόγω του ότι ταξινόμησε με μεγαλύτερη ακρίβεια τις κυρίαρχες κλάσεις, έστω και αν παρουσιάστηκαν σφάλματα πρόσθεσης σε αυτές. Επίσης, η μικρότερη ακρίβεια που παρατηρείται στις άλλες τρεις ταξινομήσεις οφείλεται κυρίως στην ανάμιξη των κλάσεων της μηδικής, του καλαμποκιού, των δενδρωδών καλλιεργειών και των λαχανικών, καθώς και στην ανάμιξη των κλάσεων του σιταριού με την αγρανάπαυση και τις χορτολειαδικές εκτάσεις.

Πίνακας 4.6. Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο MLC

MLC	Πίνακας Λαθών Ταξινόμησης Αγροτικής Περιοχής									
	Μηδική	Σιτάρι	Καλαμπόκι	Δενδρ. Καλ.	Λαχανικά	Αγρ.απ.	Χορτ.	Εκτ. Ασ.	χρ PA (%)	UA (%)
Μηδική	119	7	5	0	4	0	0	0	59.20	88.15
Σιτάρι	25	162	3	6	4	19	4	0	77.14	72.65
Καλαμπόκι	27	0	144	2	5	0	0	0	81.36	80.90
Δενδρ. Καλ.	12	7	15	34	6	3	1	0	80.95	43.59
Λαχανικά	18	3	10	0	22	0	0	0	47.83	41.51
Αγρ.απ.αυση	0	23	0	0	5	38	3	0	63.33	55.07
Χορτ. Εκτ.	0	3	0	0	0	0	19	0	70.37	86.36
Αστική	0	5	0	0	0	0	0	32	100.0	86.49
Δεδομένα	201	210	177	42	46	60	27	32		

Αναφοράς

Overall Accuracy=71.7%, Khat=0.65, Z-score=33.69

Πίνακας 4.7 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο DS

DS	Πίνακας Λαθών Ταξινόμησης Αγροτικής Περιοχής									
	Μηδική	Σιτάρι	Καλαμπόκι	Δενδρ. Καλ.	Λαχανικά	Αγροναπ.	Χορτ. Εκτ.	Αστ.	χρ PA (%)	UA (%)
Μηδική	116	4	4	2	3	0	0	0	57.71	89.92
Σιτάρι	13	148	2	1	2	12	0	0	70.48	83.15
Καλαμπόκι	23	0	144	2	3	0	0	0	81.36	83.72
Δενδρ. Καλλ.	19	4	17	31	5	4	0	0	73.81	38.75
Λαχανικά	20	3	10	1	24	0	0	0	52.17	41.38
Αγροναπασή	7	27	0	0	8	36	3	0	60.00	44.44
Χορτ. Εκτ.	3	20	0	5	0	4	24	0	88.89	42.86
Αστική	0	4	0	0	1	4	0	32	100.00	78.05
Δεδομένα	201	210	177	42	46	60	27	32		

Overall Accuracy=69.81%, Khat=0.64, Z-score=3321

Πίνακας 4.8 Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο BP

BP	Πίνακας Λαθών Ταξινόμησης Αγροτικής Περιοχής									
	Μηδική	Σιτάρι	Καλαμπόκι	Δενδρ. Καλ.	Λαχανικά	Αγροναπ.	Χορτ. Εκτ.	Αστ.	χρ PA (%)	UA (%)
Μηδική	111	3	16	1	1	0	0	0	55.22	84.09
Σιτάρι	21	151	2	1	3	17	5	4	71.90	74.02
Καλαμπόκι	18	0	110	5	4	0	0	0	62.15	80.29
Δενδρ. Καλλ.	17	10	25	33	10	5	3	0	78.57	32.04
Λαχανικά	25	4	20	2	20	1	0	0	43.48	27.78
Αγροναπασή	6	20	0	0	7	30	2	1	50.00	45.45
Χορτ. Εκτ.	3	20	4	0	0	3	17	1	62.96	35.42
Αστική Χρήση	0	2	0	0	1	4	0	26	81.25	78.79
Δεδομένα	201	210	177	42	46	60	27	32		

Overall Accuracy=62.64%, Khat=0.55, Z-score=27.35

Πίνακας 4.9. Πίνακας λαθών στην υγροτοπική περιοχή με την μέθοδο SONEFMUC

SONEFMUC	Πίνακας Λαθών Ταξινόμησης Αγροτικής Περιοχής									
	Μηδική	Σιτάρι	Καλαμπόκι	Δενδρ. Καλ.	Λαχανικά	Αγροναπ.	Χορτ. Εκτ.	Αστ.	χρ PA (%)	UA (%)
Μηδική	149	8	23	3	12	3	2	0	74.13	74.50
Σιτάρι	18	190	2	5	4	23	14	2	90.48	73.64
Καλαμπόκι	21	1	147	8	11	0	1	0	83.05	77.78
Δενδρ. Καλλ.	6	1	2	21	2	1	1	0	50.00	61.76
Λαχανικά	5	1	3	2	15	0	0	0	32.61	57.69
Αγροναπασή	2	8	0	1	2	33	2	2	55.00	66.00
Χορτ. Εκτ.	0	1	0	2	0	0	7	0	25.93	70.00
Αστική Χρήση	0	0	0	0	0	0	0	28	87.50	100.0
Δεδομένα	201	210	177	42	46	60	27	32		

Overall Accuracy=74.21%, Khat=0.67, Z-score=34.83

Πίνακας 4.10 Οι τιμές του Z-test μεταξύ των ταξινομήσεων στην αγροτική περιοχή

	MLC	BP	DS	SONeFMUC
MLC				
BP	3.683*			
DS	0.60	3.118*		
SONeFMUC	0.721	4,398*	1,32	

* Στατιστικώς σημαντικές σε βαθμό εμπιστοσύνης 95%

4.1.2 Ποιοτική σύγκριση

Μετά την ποσοτική σύγκριση, ακολουθεί η ποιοτική σύγκριση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων με οπτική εκτίμηση του αποτελέσματος βάσει των παραγομένων θεματικών χαρτών.

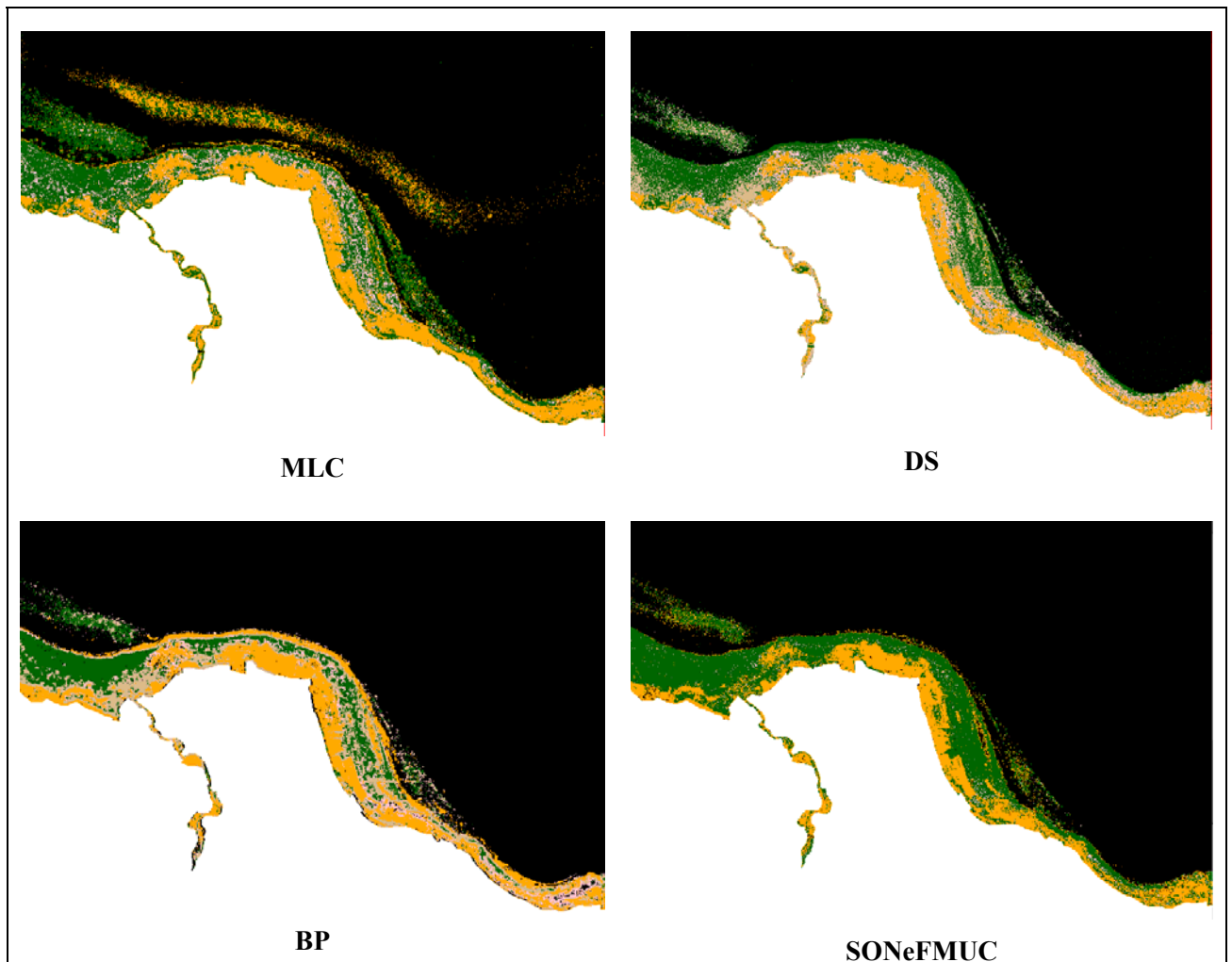
4.1.2.1 Υγρότοπος

Επιλέγοντας μία υποπεριοχή του υγροτόπου της Κορώνειας, έγινε οπτικά η εκτίμηση του αποτελέσματος των ταξινομήσεων. Συγκεκριμένα επιλέχθηκε μία υποπεριοχή νότια της λίμνης όπου εμφανίζονται τα αποτελέσματα των ταξινομήσεων στο σχήμα 4.2.

Από την απεικόνιση αυτής της περιοχής εμφανίζεται μία πολύ καλή ταξινόμηση με την μέθοδο SONeFMUC, όπου σωστά η περιοχή ταξινομείται σωστά σε καλαμώνες (πράσινο χρώμα), υγρολειαδικές εκτάσεις (πορτοκαλί) και νερό (μαύρο). Επίσης, η MLC δείνει και την παρουσία τάμαριζ στην περιοχή (ροζ απόχρωση), κάτι το οποίο είναι σωστό εν μέρει αλλά υπερεκτιμά αυτήν την κατηγορία.

Το ίδιο πρόβλημα εντοπίζεται και στις άλλες δύο κατηγορίες και μάλιστα σε πολύ μεγαλύτερο βαθμό από ότι στην MLC, κυρίως εις βάρος των υγρολειαδικών εκτάσεων. Η BP από τη μεριά της δείχνει δημιουργεί ομογενείς περιοχές με τις κλάσεις, αλλά υπερεκτιμά την παρουσία των καλαμώνων

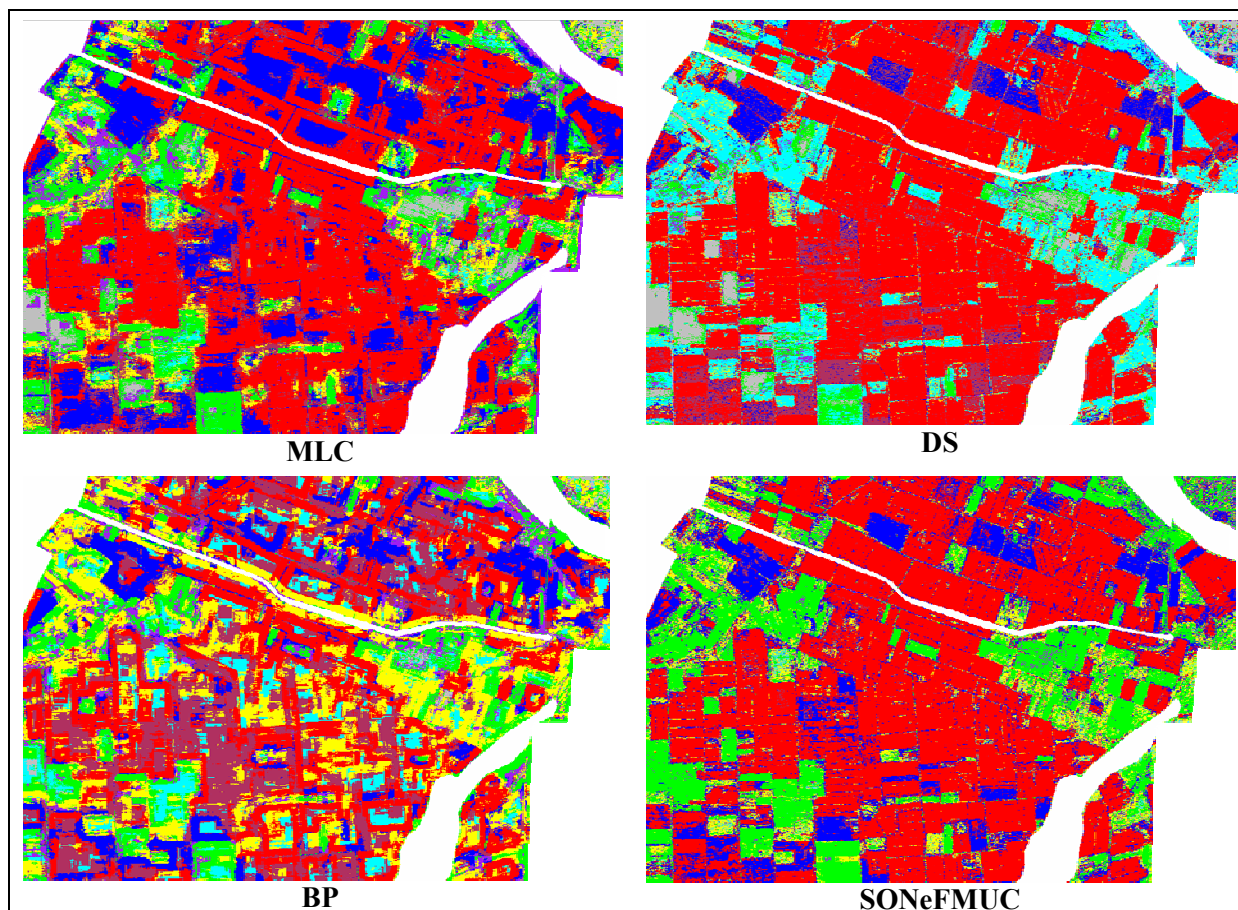
Τέλος, η MLC αν και παρουσιάζει αρκετά ικανοποιητικό αποτέλεσμα, ταξινομεί λάθος εικονοστοιχεία μέσα στο νερό ως υγρολειαδικές εκτάσεις, με αποτέλεσμα να υποεκτιμά την κλάση του νερού κάτι που δεν φαίνεται στον πίνακα λαθών της ταξινόμησης. Αυτό οφείλεται πιθανώς στη ρηχότητα του νερού σε εκείνη την περιοχή, όπου ουσιαστικά υπάρχει μίξη νερού και χαμηλής βλάστησης, γεγονός που δε βοηθά τον ταξινομητή MLC να ταξινομήσει σωστά τα εικονοστοιχεία.



Σχήμα 4.2. Απεικόνιση νότια του υγροτόπου με τις τέσσερις ταξινομήσεις

4.1.2.2 Αγροτική περιοχή

Ανάλογη διαδικασία πραγματοποιήθηκε και στην αγροτική περιοχή για την ποιοτική εκτίμηση των αποτελεσμάτων των ταξινομήσεων επιλέγοντας μία περιοχή νοτιοανατολικά της περιοχής μελέτης, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.3, όπου παρουσιάζεται έντονη γεωργική δραστηριότητα με μεγάλα αγροτεμάχια.



Σχήμα 4.3. Απεικόνιση νοτιοανατολικά της αγροτικής περιοχής με τις τέσσερις ταξινομήσεις

Συγκρίνοντας οπτικά τις τέσσερις ταξινομήσεις, χρήσιμα συμπεράσματα μπορούν να εξαχθούν. Κατά πρώτο λόγο, οι ταξινομήσεις με τις ελαστικές μεθόδους δείχνουν να παρουσιάζουν μία καλύτερη ποιότητα, αφού είναι ευκρινή τα αγροτεμάχια καθώς και ο τρόπος που ταξινομούνται. Στην μέθοδο DS, παρατηρείται μία πιο σαφής εικόνα των αγροτεμαχίων, παρόλα αυτά όμως παρατηρείται και το γεγονός, ότι αγροτεμάχια ταξινομούνται λάθος ως χορτολειαδικές εκτάσεις (κυανό χρώμα), ενώ έπρεπε να ταξινομηθούν ως σιτάρι (πράσινο χρώμα).

Τέτοια λάθη δεν υπάρχουν στην SONEFMUC, αλλά μέσα στα αγροτεμάχια εμφανίζονται, αν και σε μικρό βαθμό, περισσότερα λάθος εικονοστοιχεία. Στην μέθοδο MLC, αν και είναι εμφανή τα αγροτεμάχια καθώς και η κατηγορία που εντέλει ανήκουν, παρουσιάζουν και αυτά λάθος ταξινομημένα εικονοστοιχεία, τα οποία όμως αποτελούν συνήθως ομάδες εικονοστοιχείων σε αντίθεση με τη SONEFMUC, η οποία παρουσιάζει διάσπαρτα λάθος ταξινομημένα εικονοστοιχεία μέσα στα αγροτεμάχια.

Τέλος, η BP εμφανίζει μία κακή ποιότητα της ταξινόμησης, όπου τα όρια των αγροτεμαχίων ταξινομούνται σε άλλη κατηγορία από το εσωτερικό του. Αυτό οφείλεται κυρίως στα χωρικά φίλτρα που χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου και κυρίως στα φίλτρα της αντίθεσης (contrast), όπου η χωρική πληροφορία στα όρια των αγροτεμαχίων είναι διαφορετική από ότι στο εσωτερικό, με αποτέλεσμα να μειώνει τη θεματική ακρίβεια του παραγόμενου χάρτη.

4.1.3 Ποσοτικά ποιοτική σύγκριση (Δείκτης Ομοιομορφίας)

Το τρίτο στάδιο της εκτίμησης της ακρίβειας της ταξινόμησης αναφέρεται στον τρόπο ποσοτικοποίησης του προηγούμενου σταδίου και ειδικότερα στα αγροτεμάχια της αγροτικής περιοχής.

Εφαρμόζοντας λοιπόν το δείκτη MSHEI σε 7645 αγροτεμάχια για κάθε μία ταξινόμηση, υπολογίστηκε ο μέσος όρος ο οποίος δείχνει την ομοιομορφία της ταξινόμησης των αγροτεμαχίων. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ταξινόμηση με τη γενικώς καλύτερη ομοιομορφία είναι με την μέθοδο SONEFMUC, όπου η μέση τιμή του MSHEI ανέρχεται σε 0.900, ακολουθεί η DS με 0.887, η MLC με 0.883 και η BP με 0.871.

Για να διερευνηθεί αν αυτοί οι μέσοι όροι είναι στατιστικώς σημαντικοί έγινε ανάλυση της διακύμανση των τιμών (ANOVA), όπου βρέθηκε ότι τα αποτελέσματα είναι στατιστικώς σημαντικά μεταξύ τους γεγονός που οφείλεται βασικά στον μεγάλο αριθμό του δείγματος. Τα αποτελέσματα της ANOVA παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.11. Στατιστικά αποτελέσματα της ANOVA για το δείκτη MSHEI

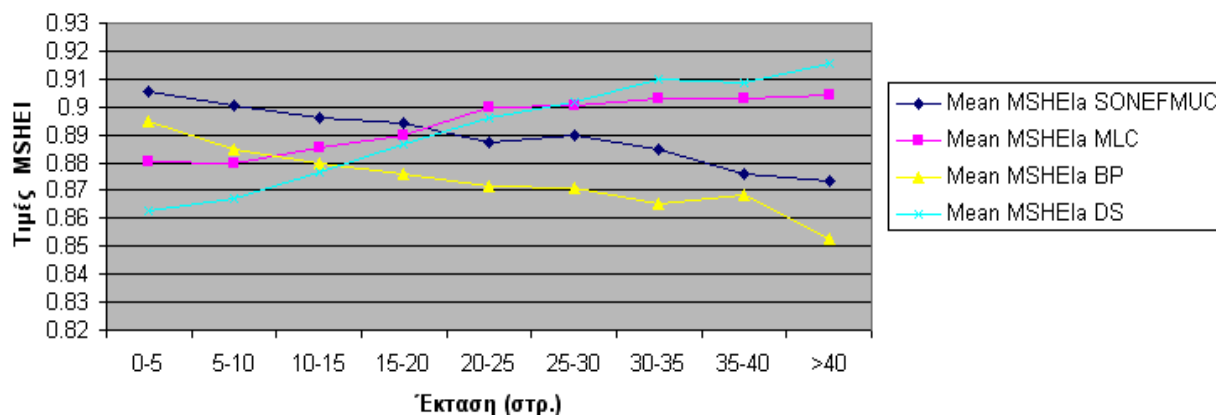
I ταξιν.	J Ταξιν.	M.O	T.A	Μέση Διαφορά (I – J)	Λάθος Τυπικής Απόκλισης	Σημαντικότητα (Significance)
SONeFMUC	MLC	0.9004	0.4770	0.0171	0.00073	0.0000*
	DS			0.0137	0.00073	0.0000*
	BP			0.2990	0.00073	0.0000*
MLC	SONeFMUC	0.8833	0.4336	-0.0171	0.00073	0.0000*
	DS			-0.0034	0.00073	0.0000*
	BP			0.0128	0.00073	0.0000*
DS	SONeFMUC	0.8867	0.4341	-0.0137	0.00073	0.0000*
	MLC			0.0034	0.00073	0.0000*
	BP			0.162	0.00073	0.0000*
BP	SONeFMUC	0.8705	0.4627	-0.2990	0.00073	0.0000*
	MLC			-0.0128	0.00073	0.0000*
	DS			-0.0162	0.00073	0.0000*

* Η διαφορά των ταξινομήσεων είναι σημαντική για επίπεδο εμπιστοσύνης 95%

Μετά την ανάλυση της ANOVA για όλα τα αγροτεμάχια, ακολούθησε η επιμέρους ανάλυση της ποιότητας των αγροτεμαχίων υπολογίζοντας τον μέσο MSHEI ανά κλάσεις εκτάσεων ($\text{Mean MSHEI}_{\text{area}}$) και το μέσο MSHEI ανά καλλιέργεια ($\text{Mean MSHEI}_{\text{crop}}$)

Όσον αφορά τον $\text{Mean MSHEI}_{\text{area}}$, τα αγροτεμάχια χωρίστηκαν σε κλάσεις των πέντε στρεμμάτων και υπολογίστηκε ο μέσος όρος. Τα αποτελέσματα του $\text{Mean MSHEI}_{\text{area}}$ απεικονίζονται γραφικά στο σχήμα 4.4. Από την παρατήρηση του σχήματος, εμφανίζεται ότι τα αγροτεμάχια ταξινομούνται πιο ομοιόμορφα με την μέθοδο SONEFMUC όταν η έκταση είναι ως 20 στρέμματα. Στα μεγαλύτερα αγροτεμάχια υπερέχουν οι στατιστικές μέθοδοι ταξινόμησης και μετά τα 30 στρέμματα εμφανίζεται η τάση να ταξινομεί πιο ομοιόμορφα τα αγροτεμάχια η DS. Τα νευρωνικά δίκτυα ταξινομούν καλύτερα τα μικρά αγροτεμάχια αλλά η BP κυρίως έχει πολύ μικρή ποιότητα στα αγροτεμάχια άνω των 20 στρεμμάτων.

Αυτό το αποτέλεσμα πιθανότατα έχει σχέση με την υπερεκπαίδευση των δικτύων από τα δεδομένα εκπαίδευσης, κάτι το οποίο δεν γίνεται με τους στατιστικούς ταξινομητές.

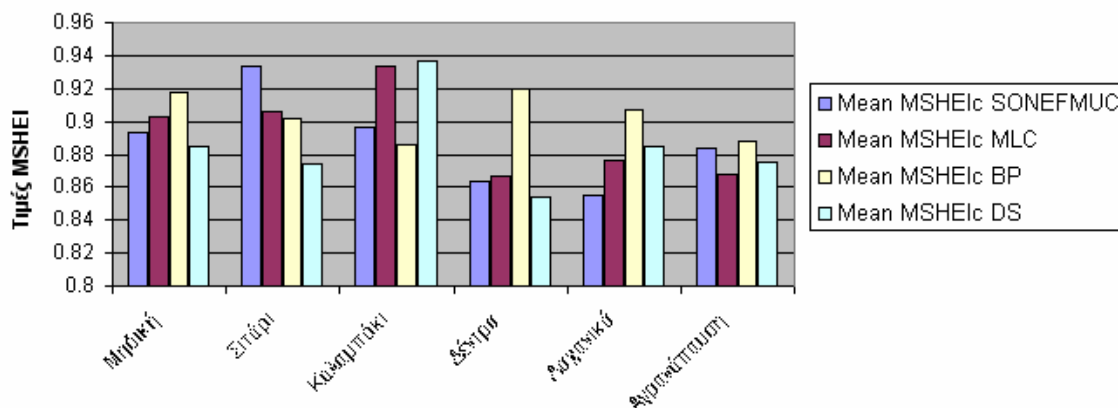


Σχήμα 4.4. Ο $\text{Mean MSHEI}_{\text{area}}$ στις τέσσερις ταξινομήσεις

Εκτός όμως από το $\text{Mean MSHEI}_{\text{area}}$ υπολογίστηκε και ο $\text{Mean MSHEI}_{\text{crop}}$. Για τον υπολογισμό αυτού του δείκτη τα αγροτεμάχια χωρίστηκαν ανά καλλιέργεια ανάλογα με την τιμή της κλάσης που επικρατεί σε αυτά. Για να είναι συγκριτικά τα αποτελέσματα η σύγκριση πραγματοποιήθηκε μόνο στα αγροτεμάχια τα οποία ετικετοποιήθηκαν με την ίδια καλλιέργεια σε όλες τις ταξινομήσεις.

Τα αποτελέσματα του δείκτη εμφανίζονται στο σχήμα 4.5. Εν αντιθέσει με το $\text{Mean MSHEI}_{\text{area}}$, στην προκειμένη περίπτωση εμφανίζεται ο BP να παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή σε τέσσερις από τις έξι κλάσεις. Αυτό οφείλεται κυρίως στο γεγονός ότι στα αγροτεμάχια που συμφωνούν για την καλλιέργεια όλες οι ταξινομήσεις, ο BP έχει την ιδιότητα να ταξινομεί με τον ίδιο τρόπο τα όρια των αγροτεμαχίων κάτι το οποίο δεν γίνεται με τις άλλες μεθόδους. Βέβαια, οι τρεις από τις τέσσερις αυτές καλλιέργειες απαντώνται σε μικρές εκτάσεις σε σχέση με τη συνολική αγροτική έκταση, ενώ μικρός είναι και ο αριθμός αγροτεμαχίων αυτών.

Επίσης, εμφανίζεται η MLC να παρουσιάζει μία γενικά καλή ποιότητα σε όλες τις καλλιέργειες, καθώς στις πέντε από αυτές εμφανίζει τη δεύτερη υψηλότερη τιμή Mean MSHEI_{crop}. Η SONEFMUC παρουσιάζει την υψηλότερη τιμή στα σιτηρά, γεγονός που έρχεται σε συμφωνία και με την ανάλυση του πίνακα λαθών στην ταξινόμηση στην αγροτική περιοχή, όπου παρουσίαζε υψηλή ακρίβεια του χρήστη.



Σχήμα 4.5 Ο Mean MSHEI_{crop} στις τέσσερις ταξινομήσεις

Από τα παραπάνω, εμφανίζεται μία γενικώς καλύτερη ποιότητα με τη SONEFMUC, αλλά θα πρέπει να τονιστεί ότι η ποιότητα και η ομοιομορφία ταξινόμησης ενός αγροτεμαχίου υπερσχύει με μεθόδους στατιστικούς όταν πρόκειται για μεγάλης έκτασης, καθώς και ότι η BP μέθοδος παρουσίασε ικανοποιητικά αποτελέσματα για τις μη κυρίαρχες κλάσεις του συστήματος ταξινόμησης.

Τέλος, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η ανάλυση της διακύμανσης πραγματοποιήθηκε για το δείκτη MSHEI τόσο ανά καλλιέργεια, όσο και ανά κλάσεις εκτάσεων. Τα αποτελέσματα έδειξαν, ως επί το πλείστον, ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους μέσους όρους που εξήχθησαν, γεγονός που οφείλεται στο μεγάλο δείγμα τιμών που υπήρχε επομένως και στην μεγάλη παραλλακτικότητα του δείγματος.

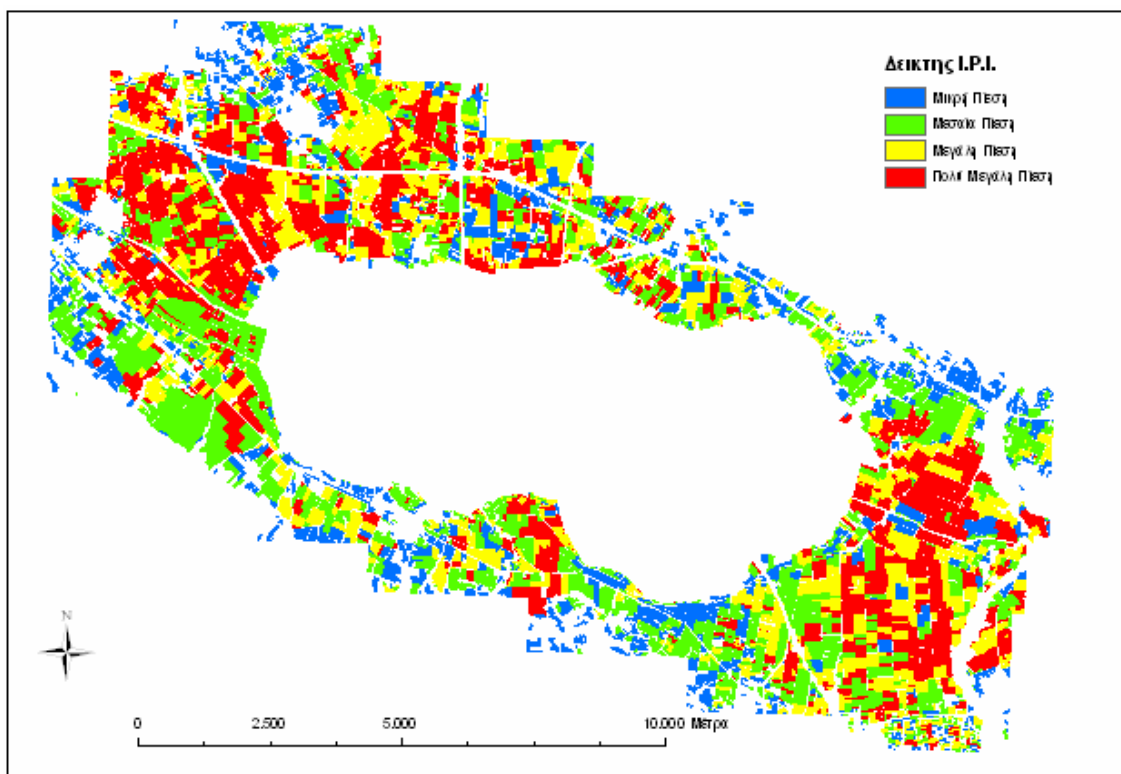
4.2 Υπολογισμός περιβαλλοντικών δεικτών

Μετά τη σύγκριση των ταξινομήσεων, ακολούθησε ο υπολογισμός των περιβαλλοντικών δεικτών όπως αυτοί αναπτύχθηκαν στο κεφάλαιο της μεθοδολογίας. Για τον υπολογισμό αυτών όμως, απαραίτητο δεδομένο ήταν η ταξινόμηση της εικόνας IKONOS. Αναλύοντας λοιπόν όλα τα παραπάνω, επιλέχθηκε η ταξινόμηση με την μέθοδο SONEFMUC, η οποία έδωσε συγκριτικά καλύτερα ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα από τις άλλες μεθόδους, τόσο στην αγροτική περιοχή όσο και στον υγρότοπο της Κορώνειας

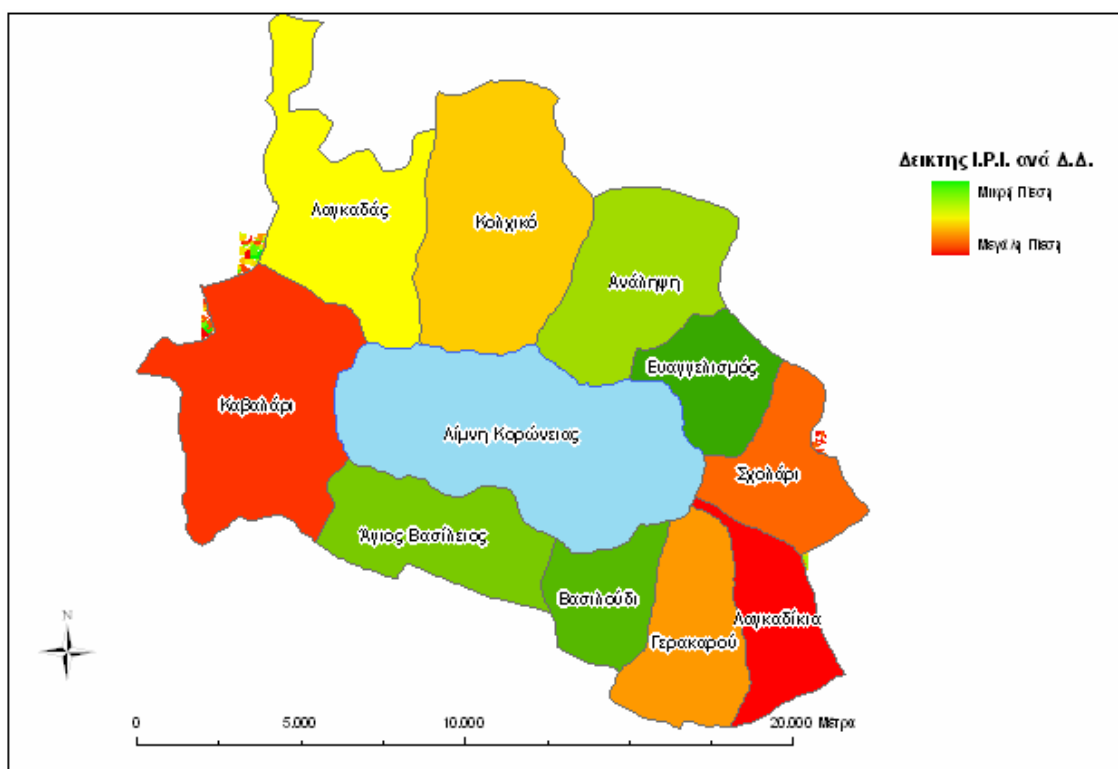
4.2.1 Δείκτες πίεσης

4.2.1.1 Θεματικοί χάρτες

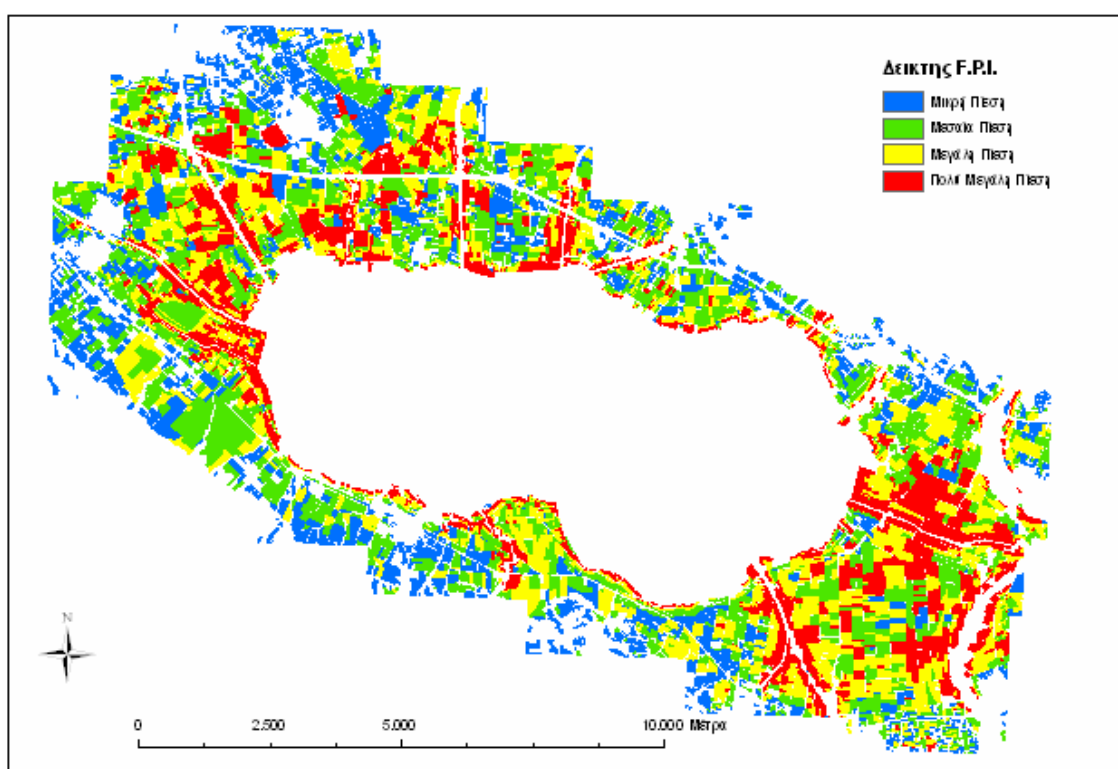
Με βάση τις σχέσεις 3.18, 3.19 και 3.20 και με τη χρήση της ταξινομημένης εικόνας IKONOS με την μέθοδο SONEFMUC, παρήχθησαν οι θεματικοί χάρτες των δεικτών I.P.I., F.P.I και U.P.I.. Συγκεκριμένα, για τους αγροτικούς δείκτες πίεσης (I.P.I., F.P.I) δημιουργήθηκε και οπτικοποιήθηκε το αποτέλεσμα με δύο τρόπους. Πρώτα, επαναταξινομήθηκαν (reclassify) οι τιμές και δημιουργήθηκε μία ποιοτική κλίμακα μέτρησης της πίεσης που ασκείται στην περιοχή. Ο δεύτερος τρόπος οπτικοποίησης ήταν η εύρεση της μέσης τιμής των δεικτών για κάθε δημοτικό διαμέρισμα και με κατάλληλη διαβάθμιση χρωμάτων εμφανίζεται η πίεση που ασκείται από την αγροτική δραστηριότητα των οικισμών. Τέλος, ο δείκτης U.P.I. οπτικοποιήθηκε με την ίδια διαβάθμιση χρώματος για να εντοπιστούν οι οικισμοί που επιφέρουν την μεγαλύτερη πίεση στον υγρότοπο της Κορώνειας. Οι θεματικοί χάρτες που παρήχθησαν εμφανίζονται παρακάτω.



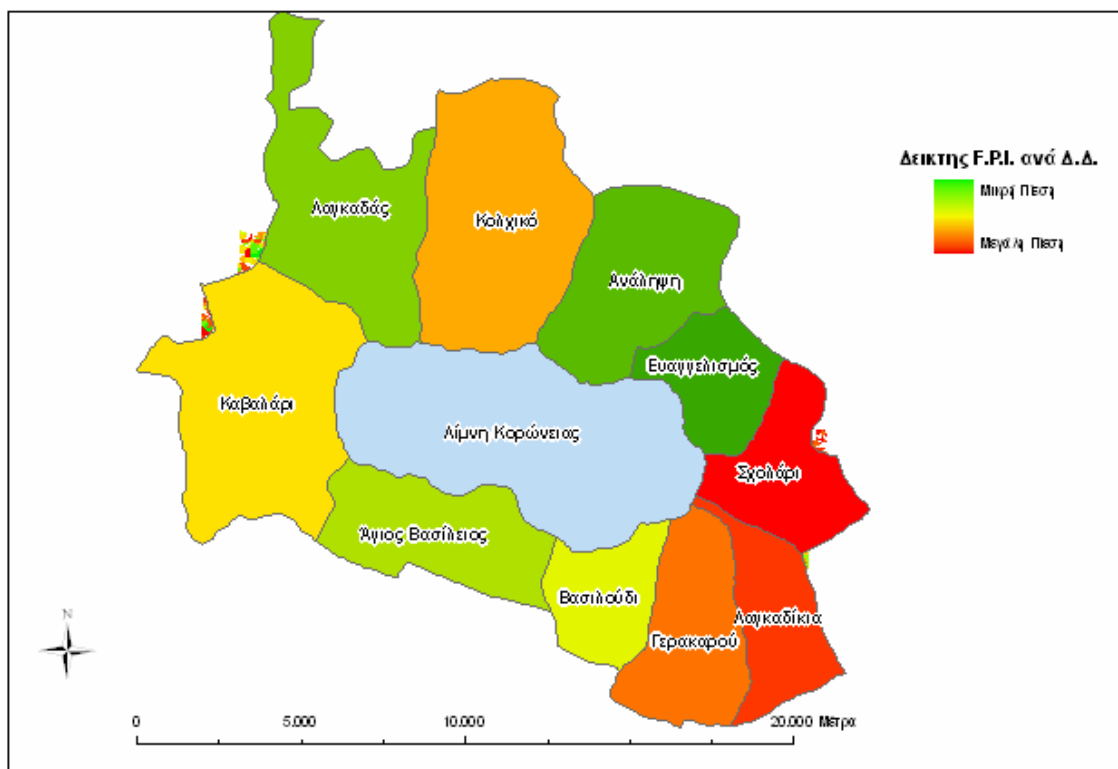
Χάρτης 4.1 Ο δείκτης I.P.I. σε ποιοτική κλίμακα 4 κατηγοριών



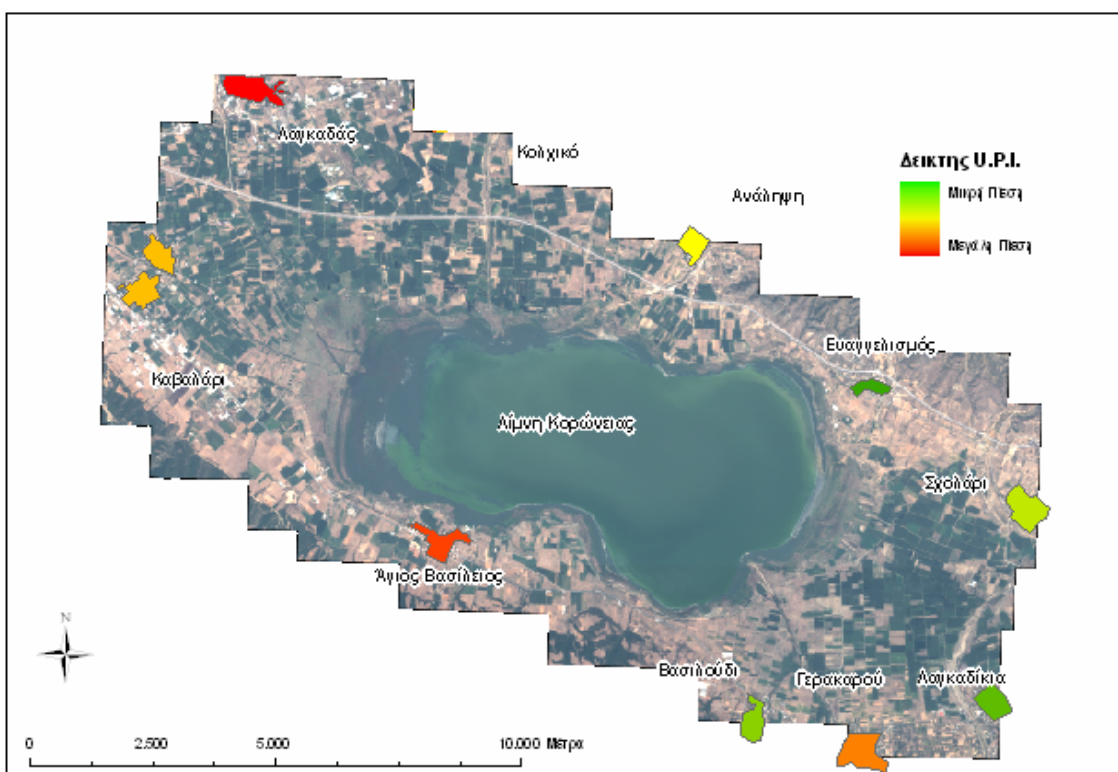
Χάρτης 4.2. Οι μέσες τιμές του δείκτη I.P.I. ανά Δημοτικό διαμέρισμα



Χάρτης 4.3 Ο δείκτης F.P.I. σε ποιοτική κλίμακα 4 κατηγοριών



Χάρτης 4.4. Οι μέσες τιμές του δείκτη F.P.I. ανά Δημοτικό διαμέρισμα



Χάρτης 4.5. Ο Δείκτης U.P.I. ανά οικισμό. Υπόβαθρο η δορυφορική εικόνα IKONOS με φυσικά χρώματα.

4.2.1.2 Στατιστικά αποτελέσματα

Μετά την παραγωγή των θεματικών χαρτών ακολουθεί η παρουσίαση των στατιστικών αποτελεσμάτων αυτών. Όσον αφορά το δείκτη I.P.I., υπολογίστηκε η έκταση και το ποσοστό που καλύπτει η κάθε κλάση του δείκτη από τον χάρτη 4.1 και τα αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.12.

Από τα αποτελέσματα του δείκτη, εμφανίζεται ότι μεγάλη και πολύ μεγάλη πίεση στην περιοχή λόγω άρδευσης εμφανίζει το 57,5%, γεγονός που οφείλεται στις μεγάλες εκτάσεις μηδικής και καλαμποκιού, οι οποίες καλλιεργούνται από τους παραγωγούς στην περιοχή. Επίσης, ένας άλλος λόγος που εντοπίζεται μεγάλη πίεση είναι λόγω του σχήματος των αγροτεμαχίων, στα δυτικά της λίμνης.

Επιπρόσθετα, χρησιμοποιώντας τον χάρτη 4.2 αναζητήθηκαν τα δημοτικά διαμερίσματα που παρουσιάζουν την μεγαλύτερη πίεση. Την μεγαλύτερη πίεση την ασκεί το Δημοτικό Διαμέρισμα Λαγκαδίκια, το οποίο βρίσκεται δυτικά τη λίμνης, λόγω της μεγάλης αγροτικής έκτασης η οποία υπάρχει στην περιοχή, όπου και καλλιεργούνται αγροτεμάχια με καλαμπόκι. Επίσης, και στην ευρύτερη περιοχή καλλιεργούνται αγροτεμάχια με καλαμπόκι, όποτε και τα όμορα Δημοτικά Διαμερίσματα του Σχολαρίου και του Ευαγγελισμού παρουσιάζουν μεγάλη τιμή του δείκτη I.P.I. Μία μέση τιμή παρουσιάζεται στο Δημοτικό διαμέρισμα του Λαγκαδά. Αυτό οφείλεται γιατί από τη μία πλευρά υπάρχει μεγάλη έκταση με αγροτεμάχια, αλλά από την άλλη πολλά αυτά βρίσκονται μακριά από τον υγρότοπο, ενώ σε λοφώδεις αγροτικές περιοχές που απαντώνται στο Δημοτικό Διαμέρισμα συνήθως καλλιεργούνται σιτηρά. Μικρές τιμές του δείκτη I.P.I. εμφανίζονται στο Δημοτικό Διαμέρισμα του Αγίου Βασιλείου, όπου αν και οι αγροτικές εκτάσεις είναι πολύ κοντά στον υγρότοπο, αυτές καλλιεργούνται με σιτηρά και ένα ποσοστό μόνο από μηδική.

Πίνακας 4.12 Αποτελέσματα του Δείκτη I.P.I.

Δείκτης I.P.I.		
Κατηγορία	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό (%)
<i>Μικρή</i>	13564.80	17.59
<i>Μεσαία</i>	19215.76	24.91
<i>Μεγάλη</i>	19194.78	24.88
<i>Πολύ Μεγάλη</i>	25162.45	32.62
Σύνολο	77137.79	100.00

Η ίδια διαδικασία χρησιμοποιήθηκε και για το δείκτη λίπανσης, όπου τα στατιστικά αποτελέσματα παρουσιάζονται στον πίνακα 4.13. Όπως και στην άρδευση, έτσι και στη λίπανση εμφανίζεται μεγάλη και πολύ μεγάλη πίεση, η οποία δεν οφείλεται μόνο στην παρουσία της μηδικής και του καλαμποκιού, αλλά και στην παρουσία των δενδρώδων καλλιεργειών και των λαχανικών. Η επίδραση των τελευταίων είναι σημαντική, όχι μόνο επειδή απαιτούν μεγάλες ποσότητες λίπανσης, αλλά γιατί συνήθως εφαρμόζονται σε μικρά αγροτεμάχια με μεγάλη περίμετρο και δίπλα σε άλλες καλλιεργείες που απαιτούν λίπανση με αποτέλεσμα την μεγάλη τιμή του επιμέρους δείκτη $ECON_{fer}$.

Το δημοτικό διαμέρισμα που ασκεί την μεγαλύτερη πίεση λόγω λίπανσης είναι το Σχολάρι λόγω της καλλιέργειας της μηδικής και ακολουθούν τα διαμερίσματα που είναι νότια αυτού. Μέση πίεση ασκείται από τα διαμερίσματα του Καβαλαρίου και από το Βασιλούδι. Από το Βασιλούδι η πίεση προέρχεται λόγω της εγγύτητας με τον υγρότοπο και των λαχανικών που καλλιεργούνται, ενώ από το Καβαλάρι λόγω της μεγάλης αγροτικής έκτασης με μηδική. Μικρή πίεση εμφανίζει ο Ευαγγελισμός, όπου το ποσοστό της γεωργικής γης είναι μικρό και ο Λαγκαδός λόγω της μεγάλης απόστασης από τον υγρότοπο.

Πίνακας 4.13 Αποτελέσματα του Δείκτη F.P.I.

Δείκτης F.P.I.		
Κατηγορία	Έκταση (στρ.)	Ποσοστό (%)
Μικρή	16818.96	21.80
Μεσαία	20396.03	26.44
Μεγάλη	21996.62	28.52
Πολύ Μεγάλη	17927.30	23.24
Σύνολο	77138.91	100.00

Σε αντίθεση με τους δύο προηγούμενους δείκτες αγροτικής πίεσης, ο δείκτης αστικής πίεσης U.P.I. υπολογίστηκε για κάθε οικισμό της περιοχής μελέτης λαμβάνοντας μία συγκεκριμένη τιμή, οι οποίες τοποθετήθηκαν κατά αύξουσα σειρά για να παρουσιαστεί ποιος από αυτούς τους οικισμούς ασκεί τη μεγαλύτερη οικιστική πίεση.

Σύμφωνα λοιπόν με τα αποτελέσματα του χάρτη 4.5, εμφανίζεται το Δ.Δ. του Λαγκαδά να ασκεί τη μεγαλύτερη πίεση αν και απέχει μεγάλη απόσταση από τη λίμνη (περίπου 10 Km), λόγω της μεγάλης έκτασης και του πληθυσμού που έχει. Μεγάλη πίεση ασκεί και το Δ.Δ. Αγίου Βασιλείου, εξαιτίας της πολύ μικρής απόστασής του από τη λίμνη, αλλά και γιατί είναι ένα από τους πολυπληθέστερους οικισμούς της περιοχής. Από την άλλη πλευρά, μικρή πίεση ασκείται από τον οικισμό του Ευαγγελισμού του Δήμου Εγνατίας, επειδή τόσο ο πληθυσμός όσο και η έκταση του είναι η μικρότερη όλων των οικισμών της περιοχής.

4.2.2 Εκτίμηση κατάστασης υγροτόπου

Μετά τον υπολογισμό των δεικτών πίεσης ακολούθησε η εκτίμηση της κατάστασης του υγροτόπου μέσω της αξιολόγησης των λειτουργιών του, οι οποίες εξαρτώνται από ιδιότητες που υπολογίστηκαν με τη χρήση της ταξινομημένης εικόνας IKONOS με την μέθοδο SONEFMUC. Ειδικότερα, η ταξινομημένη εικόνα μέσω δεικτών τοπίου συνέβαλε στον υπολογισμό βασικών ιδιοτήτων, όπως της βιοποικιλότητας με το δείκτη Shannon Evenness Index, της κατανομής των ενδιατημάτων με τον Interspersion Juxtaposition Index, καθώς και της βλάστησης του υγροτόπου ως ποσοστό της

συνολικής έκτασης αυτού. Βέβαια, εκτός από την ταξινομημένη εικόνα επιπλέον γεωγραφικά δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν, όπως η κλίση για την εκτίμηση της ταχύτητας του νερού στον υγρότοπο.

Για την εκτίμηση των ιδιοτήτων του υγρότοπου υπολογίστηκαν οι επιμέρους δείκτες των ιδιοτήτων που συντέλεσαν στη δημιουργία των τελικών δεικτών αυτών. Στον πίνακα 4.14 εμφανίζονται τα αποτελέσματα αυτών.

Πίνακας 4.14 Υπολογισμός επιμέρους δεικτών για την εκτίμηση των ιδιοτήτων του υγρότοπου

Επιμέρους δείκτες	Τιμή
Υπόστρωμα	Αδιαπέρατο
Τύπος Υγρότοπου	Λίμνη – υγροτοπικό σύμπλεγμα
Στόμιο εκροής	απουσία
Έκταση Καλαμώνων	10787 στρ.
Έκταση Υγροτοπικής Βλάστησης	22383 στρ.
Έκταση Υγρότοπου	52693 στρ.
Μόνιμα κατακλυσμένη έκταση	35.588 στρ.
Περιοδικά κατακλυσμένη έκταση	2.671 στρ.
Έκταση υδάτινων σωμάτων κατά την υψηλή στάθμη	38259 στρ.
Μέση Κλίση	0.6%
Μέσο Υψόμετρο Υγροτόπου	64 μέτρα
Χαμηλότερο Υψόμετρο Λεκάνης απορροής	62 μέτρα
Έκταση Λεκάνης Απορροής	780324 στρ.
Έκταση ρηχού νερού λίμνης	15%
Κατανομή Βάθους νερού	ομοιόμορφο
Βιοποικιλότητα	0,453
I.J.I.	58,2%
PH	8,8

Με βάση αυτές τις τιμές υπολογίστηκαν οι τιμές των ιδιοτήτων όπως φαίνεται στον πίνακα 4.15

Πίνακας 4.15. Εκτίμηση ιδιοτήτων υγροτόπου

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥ				
	Εμπλουτισμός Υπόγειων υδροφορέων	Τροποποίηση Πλημμυρικών Φαινομένων	Παγίδευση Ιζημάτων Τοξικών ουσιών	Απομάκρυνση– Μετασχηματισμός Θρεπτικών Ουσιών	Στήριξη Τροφικών Πλεγμάτων
Υπόστρωμα	0 (0 -1)				
Τύπος Υγροτόπου	0.9 (0 -1)	0.9 (0-1)	0.9 (0-1)		
Στόμιο Εκροής	1 (0 -1)	0 (0 -1)	1 (0 -1)		
Θέση Υγροτόπου		0.97 (0 -100)	0.97 (100-0)		
Υγροτοπική Βλάστηση		42,48% (0- 100)		42,48% (0-100)	
Ποσοστό φυτοκάλυψης		48.2 % (0- 100)		48.2 % (0-100)	
Ταχύτητα νερού			0.6% (0 -2)	0.6% (0 -2)	0.6% (0 -2)
Κατανομή Ενδιατημάτων			58.2 (0 - 100)		
Κατανομή βάθους νερού			14% (0 - 100)		1
Ποσοστό Υγρ/Λεκ.				6.75% (100- 0)	
Υδροπερίοδος				67.54% (0 -100).	5.06% (0 - 100)
Ανακύκλωση Νερού				0 (0 -1)	0 (0 -1)
Βιοποικιλότητα					0.453 (0-1)
Ποιότητα νερού					8.8 (6 -9)

Έπειτα ακολούθησε η κανονικοποίηση των τιμών αυτών σύμφωνα με τα όρια των τιμών που φαίνονται μέσα σε παρένθεση στον πίνακα 4.5. Εφαρμόστηκε η γραμμική κανονικοποίηση των τιμών όπου χρειαζόταν (δε χρειάστηκε στις περιπτώσεις όπου τα όρια ήταν στο διάστημα [0,1]). Θα πρέπει να σημειωθεί ότι τα όρια του PH δηλώνουν τα επιτρεπτά όρια για τη διαβίωση των ιχθύων, οπότε η optimum τιμή είναι 7,5 όπου εκατέρωθεν αυτής μειώνεται η ικανότητα της ιδιότητας της ποιότητας του νερού να επιτελέσει τη λειτουργία της στήριξης των τροφικών πλεγμάτων

Μετά την κανονικοποίηση των τιμών ακολούθησε η αξιολόγηση των λειτουργιών. Ειδικά για την πρώτη λειτουργία, τέθηκε το κριτήριο αν υπάρχει αδιαπέρατο υπόστρωμα. Επειδή υπάρχει αδιαπέρατο στρώμα δεν απαιτείται η χρησιμοποίηση των επιμέρους ιδιοτήτων γιατί η λειτουργία αξιολογείται ως κακή. Στις υπόλοιπες λειτουργίες τέθηκαν βάρη στις επιμέρους ιδιότητες από τις οποίες εξαρτώνται και το συνολικό άθροισμα έδωσε μία ποσοτική εκτίμηση της κατάστασης του υγροτόπου σε κλίμακα 0-1. Χωρίζοντας αυτή την κλίμακα σε 4 ίσα διαστήματα ([0, 0.25], [0.25, 0.5], [0.5, 0.75], [0.75, 1]), υπολογίστηκε σε πιο μεσοδιάστημα βρίσκεται η κάθε λειτουργία και αξιολογήθηκε ποιοτικά σε μία διαβάθμιση τεσσάρων ποιοτικών κλάσεων. Συγκεκριμένα σε *κακή* (τιμή λειτουργίας στο διάστημα [0, 0.25]), *μέτρια* (τιμή [0.25, 0.5]), *καλή* (τιμή [0.5, 0.75]) και *πολύ καλή* (τιμή [0.75, 1]). Στον πίνακα που ακολουθεί φαίνεται η τελική αξιολόγηση των λειτουργιών του υγροτόπου, όπως αυτή πραγματοποιήθηκε με δείκτες που απορρέουν από την ταξινόμηση της εικόνας IKONOS με την μέθοδο SONEFMUC, καθώς και άλλων δεδομένων (σε παρένθεση τα βάρη που χρησιμοποιήθηκαν).

Πίνακας 4.16. Τελική αξιολόγηση των λειτουργιών του υγροτόπου. Παρουσιάζονται οι κανονικοποιημένες τιμές των ιδιοτήτων και σε παρένθεση τα βάρη τους.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥ	ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΕΣ ΥΓΡΟΤΟΠΟΥ				
	Εμπλουτισμός Υπόγειων υδροφορέων	Τροποποίηση Πλημμυρικών Φαινομένων	Παγίδευση Ιζημάτων Τοξικών ουσιών	Απομάκρυνση– Μετασχηματισμός Θρεπτικών Ουσιών	Στήριξη Τροφικών Πλεγμάτων
Υπόστρωμα	0				
Τύπος Υγροτόπου	0.9	0.9 (0.2)	0.9 (0.167)		
Στόμιο Εκροής	1	0 (0.2)	1 (0.167)		
Θέση Υγροτόπου		0 (0.2)	1 (0.167)		
Υγροτοπική Βλάστηση		0.42 (0.2)		0.42 (0.167)	
Ποσοστό φυτοκάλυψης		0.48 (0.2)		0.48 (0.167)	
Ταχύτητα νερού			0.3 (0.167)	0.3 (0.167)	0.3 (0.15)
Κατανομή Ενδιατημάτων			0.58 (0.167)		
Κατανομή βάθους νερού			0.14 (0.167)		1 (0.15)
Ποσοστό Υγρ/Λεκ.				0.925 (0.167)	
Υδροπερίοδος				0.67 (0.167)	0.05 (0.15)
Ανακύκλωση Νερού				1 (0.167)	1 (0.15)
Βιοποικιλότητα					0.453 (0.2)
Ποιότητα νερού					0.13 (0.2)
Αξιολόγηση	0 (κακή)	0.36 (μέτρια)	0.65 (καλή)	0.63 (καλή)	0.47 (μέτρια)

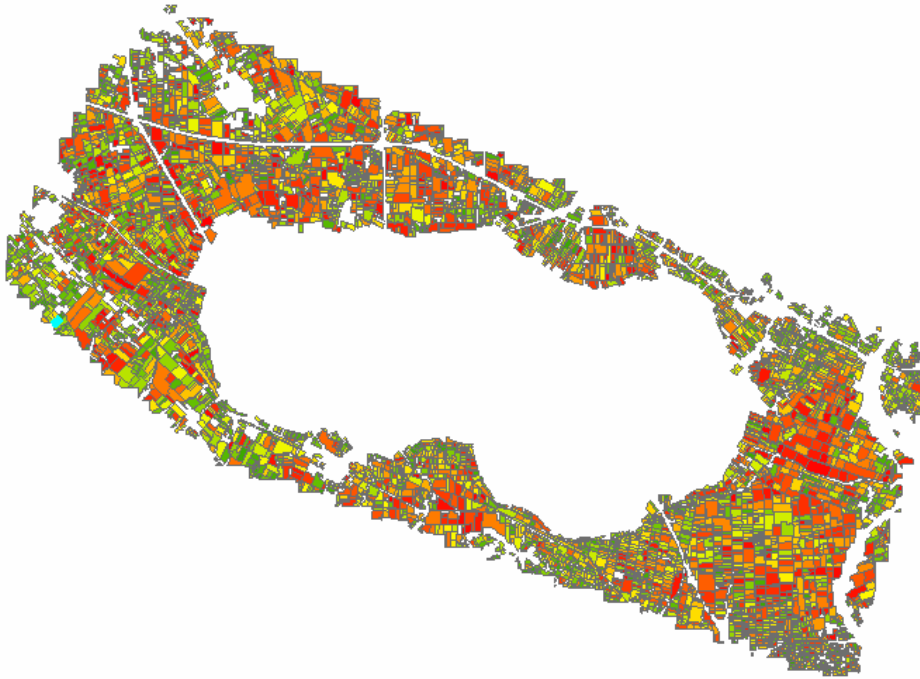
Από την αξιολόγηση των λειτουργιών του υγροτόπου εμφανίζεται ότι δύο λειτουργίες επιτελούνται σε αρκετά καλό βαθμό, δύο σε μέτριο βαθμό και μία δεν επιτελείται καθόλου (εμπλουτισμός υπόγειων υδροφορέων), λόγω του αδιαπέρατου υποστρώματος. Οι δύο που επιτελούνται σε μέτριο βαθμό είναι η τροποποίηση των πλημμυρικών φαινομένων και η στήριξη των τροφικών πλεγμάτων. Η μέτρια λειτουργία της πρώτης οφείλεται στο ότι απουσιάζει κάποιο στόμιο εκροής για τη λίμνη καθώς και του ότι βρίσκεται ο υγρότοπος στο χαμηλότερο σημείο της λεκάνης απορροής. Όσον αφορά τη δεύτερη λειτουργία, παρουσιάζει μία μέτρια κατάσταση, γιατί οι δύο βασικές της ιδιότητες της παρουσιάζουν πολύ χαμηλή τιμή (βιοποικιλότητα και ποιότητα νερού). Από την άλλη πλευρά, δύο λειτουργίες, η παγίδευση ιζημάτων και τοξικών ουσιών και η απομάκρυνση και μετασχηματισμός θρεπτικών ουσιών, επιτελούνται σε καλό βαθμό. Η καλή λειτουργία της παγίδευσης των ιζημάτων οφείλεται κυρίως στον τύπο και τη θέση του υγροτόπου, ενώ η ταχύτητα του νερού και το βάθος δρουν ανασταλτικά. Μεγαλύτερες τιμές αυτών των ιδιοτήτων θα μπορούσαν αξιολογήσουν τη λειτουργία αυτή έως πολύ καλή. Επιπλέον, η λειτουργία της απομάκρυνσης και του μετασχηματισμού των θρεπτικών ουσιών δείχνει να επιτελείται σε καλό βαθμό λόγω όλων των ιδιοτήτων που την απαρτίζουν, εκτός της ταχύτητας του νερού.

4.3 Συζήτηση

Τα ποσοτικά και ποιοτικά αποτελέσματα της ταξινόμησης έδειξαν ότι το ασαφές νευρωνικό δίκτυο SONEFMUC παρουσίασε καλύτερη εφαρμογή στην ταξινόμηση της εικόνας IKONOS και στις δύο υποπεριοχές που χρησιμοποιήθηκε. Τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα κυρίως στην υδροτοπική περιοχή, όπου και το πρόβλημα της ταξινόμησης που απορρέει από το Classification Scheme (αριθμός κλάσεων και φασματική διαχωριστικότητα αυτών), είναι σαφώς μικρότερο.

Παρόλα αυτά, δεν σημαίνει ότι οι υπόλοιπες μέθοδοι ταξινόμησης υστερούν σημαντικά σε σχέση με τη SONEFMUC, αλλά μάλιστα σε μερικά επιμέρους σημεία, είτε στατιστικά είτε οπτικά, δείχνουν να υπερέχουν.

Όσον αφορά την ποσοτικοποίηση της ποιότητας της ταξινόμησης στην αγροτική ζώνη χρησιμοποιώντας το δείκτη ομοιομορφία MSHEI, θα πρέπει να τονιστεί ότι δρα κυρίως επικουρικά στην αξιολόγηση της ταξινόμησης. Επίσης, απαραίτητο δεδομένο αυτής της μεθόδου σύγκρισης, είναι τα ψηφιοποιημένα αγροτεμάχια της περιοχής, δεδομένο που πολλές φορές δεν είναι διαθέσιμο, αλλά και είναι χρονοβόρο να παραχθεί. Σε τέτοιες περιπτώσεις, μπορεί να προταθεί η ψηφιοποίηση ενός μέρους των αγροτεμαχίων και η εφαρμογή του MSHEI σε αυτά. Για την επιλογή όμως των υπό ψηφιοποίηση αγροτεμαχίων θα πρέπει να τεθούν κάποια κριτήρια, όπως η χωρική τους κατανομή στην περιοχή μελέτης, η ψηφιοποίηση μικρών και μεγάλων αγροτεμαχίων σε έκταση, καθώς και η ψηφιοποίηση αγροτεμαχίων που αντιπροσωπεύουν διαφορετικές καλλιέργειες πράγμα που μπορεί να εφαρμοστεί με κλειδες φωτοερμηνείας της εικόνας. Επίσης, μπορεί να επισημανθεί ότι ο δείκτης *Mean MSHEI* μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως κριτήριο απόφασης για το τέλος ή όχι της διαδικασίας της ταξινόμησης θέτοντας ένα όριο στην τιμή *Mean MSHEI*. Τέλος, μπορεί να παραχθεί θεματικός χάρτης με τις τιμές του MSHEI για τα αγροτεμάχια της περιοχής (σχήμα 4.6), ώστε να εντοπισθούν περιοχές που παρουσιάζεται κυρίως η μικρή ποιότητα της ταξινόμησης και όπου μπορούν να ληφθούν επιπλέον περιοχές εκπαίδευσης, αν αυτό είναι δυνατόν.



Σχήμα 4.6. Η τιμή του δείκτη MSHEI των αγροτεμαχίων σύμφωνα με την ταξινόμηση. Οι χαμηλές τιμές του δείκτη (κόκκινο χρώμα) υποδηλώνουν μικρή ποιότητα ταξινόμησης. Ένας τρόπος αύξησης είναι η συλλογή δεδομένων εκπαίδευσης από αυτά τα αγροτεμάχια.

Ακόμη, η ποσοτικοποίηση της ποιότητας των ταξινομήσεων περιορίστηκε στην αγροτική περιοχή και δεν εφαρμόστηκε στην υγροτοπική, λόγω του ότι δεν θα μπορούσαν να βγουν ασφαλή συμπεράσματα χρησιμοποιώντας το δείκτη NATURA 2000.

Η χρησιμοποίηση της SONEFMUC ως δεδομένο εισόδου για την ανάπτυξη των περιβαλλοντικών χωρικών δεικτών αποφασίστηκε λόγω της καλύτερης επίδοσης που εμφάνισε για όλες τις κλάσεις του συστήματος ταξινόμησης, στοιχείο σημαντικό για τον υπολογισμό των επιμέρους περιβαλλοντικών δεικτών. Πολλές φορές όμως, σε διάφορες έρευνες που απαιτούν την ταξινόμηση δορυφορικών δεδομένων δεν απαιτείται η ακρίβεια όλων των κλάσεων αλλά μέρος αυτών. Σε τέτοιες περιπτώσεις, η επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ταξινόμησης μπορεί να γίνει από τα επιμέρους αποτελέσματα της ταξινόμησης και κυρίως του πίνακα λαθών.

Ένα στοιχείο που δεν λήφθηκε υπόψη κατά τη σύγκριση είναι ο χρόνος υπολογισμού των αλγορίθμων ταξινόμησης. Στην προκειμένη περίπτωση ο τελικός χάρτης αποτελεί έναν θεματικό χάρτη καλύψεων - χρήσεων γης, όπου συνήθως απαιτείται περισσότερο η ακρίβεια παρά η ταχύτητα. Υπάρχουν περιπτώσεις όμως, όπως η ταξινόμηση μετεωρολογικών δεδομένων, που απαιτείται πολλές φορές η ταχύτητα παραγωγής του χάρτη, γεγονός που συνδέεται με τα τεχνικά χαρακτηριστικά του αλγορίθμου ταξινόμησης και τη διαθεσιμότητά του σε λογισμικό και υλικό. Παρόλα αυτά δεν θα πρέπει να υποεκτιμάται ο παράγοντας της ακρίβειας, για αυτό οι Campbell et. al. (1990) προτείνουν την πρόβλεψη μεθόδων μείωσης του χρόνου επεξεργασίας, και που συντελέστηκε με τον ταξινομητή SONEFMUC χρησιμοποιώντας την μέθοδο GMDH.

Εμφανίζεται λοιπόν η ανάγκη για τη δημιουργία μίας τελικής αναφοράς (reporting), όπως επισημαίνει ο Foody (2002), για την επιλογή της κατάλληλης μεθόδου ταξινόμησης για περαιτέρω έρευνα. Αυτή η τελική έκθεση μπορεί να βασίζεται στα τεχνικά χαρακτηριστικά των ταξινομήσεων καθώς και στην ακρίβεια τους, δηλαδή σε μία σειρά από παραμέτρους. Αυτοί οι παράμετροι παρουσιάζονται συνοπτικά στον παρακάτω πίνακα.

Πίνακας 4.17. Παράμετροι ταξινόμησης

Τεχνικά χαρακτηριστικά	Ακρίβεια		
	Ποσοτική	Ποιοτική	Ποσοτικά Ποιοτική
Χρόνος υπολογισμού	O. A %	Οπτική εκτίμηση	MSHEI
Διαθεσιμότητα λογισμικού	K	Έλεγχος εκτάσεων	Επιμέρους δείκτες MSHEI
Απαιτούμενες Παράμετροι	Z		
Δυνατότητα επιλογής δεδομένων εισόδου	Πίνακας λαθών		

Επίσης, στο παρόν κεφάλαιο παρουσιάστηκαν και αναλύθηκαν τα αποτελέσματα των χωρικών περιβαλλοντικών δεικτών που αναπτύχθηκαν και υπολογίστηκαν για την περιοχή της Λίμνης Κορώνειας, χρησιμοποιώντας γεωγραφικά δεδομένα και κατάλληλα εργαλεία γεωγραφικής ανάλυσης,

Ειδικότερα, παρουσιάζεται μεγάλη πίεση στην περιοχή λόγω της άρδευσης και της λίπανσης κυρίως του καλαμποκιού και της μηδικής, δύο καλλιεργειών που καλύπτουν μεγάλο ποσοστό της περιοχής μελέτης. Η μεγαλύτερη πίεση ασκείται ανατολικά της λίμνης, στα Δ.Δ. του Σχολαρίου και των Λαγκαδίκων. Βέβαια, αυτό δε σημαίνει ότι τα υπόλοιπα Δ.Δ. δεν ασκούν και αυτά μεγάλη πίεση, αλλά αυτή μπορεί να διαφέρει από την πηγή ή την κινητήρια δύναμη που την προκαλεί. Για παράδειγμα, το Δ.Δ. του Λαγκαδά, αν και η γεωργική πίεση που ασκεί τόσο μέσω της λίπανσης όσο και μέσω της άρδευσης είναι μικρή, από οικιστικής ανάπτυξης ασκεί τη μεγαλύτερη λόγω του μεγάλου πληθυσμού και της έκτασής του.

Αυτές οι πιέσεις έχουν άμεσο αντίκτυπο στην κατάσταση του υδροτόπου και κυρίως στην επιτέλεση της λειτουργίας της στήριξης των τροφικών πλεγμάτων μέσω της κακής ποιότητας του νερού καθώς και στη μικρή βιοποικιλότητα του υδροτόπου.

Στους παραπάνω δείκτες οι οποίοι υπολογίστηκαν, αν και δείχνουν την πίεση και την κατάσταση σύμφωνα με το μοντέλο DPSIR, θα πρέπει να ληφθούν και οι περιορισμοί

τους οποίους έχουν, έτσι ώστε να χρησιμοποιούνται κατάλληλα για την αξιολόγηση της περιοχής και στην υποστήριξη λήψης αποφάσεων. Ένας από αυτούς τους παράγοντες είναι ότι δεν λαμβάνονται υπόψη παράμετροι, οι οποίοι θα μετέτρεπαν χωρικά το αποτέλεσμα του δείκτη, όπως για παράδειγμα στην άρδευση οι παράγοντες του εδάφους και του κλίματος. Για αυτό το λόγο, ο υπολογισμός των δεικτών σε άλλες περιοχές μελέτης μπορεί να τροποποιηθεί λαμβάνοντας υπόψη αυτούς τους παράγοντες. Ωστόσο, υπάρχουν δεδομένα, όπως για τη λίπανση το είδος, ο τρόπος και χρόνος εφαρμογής του λιπάσματος, όπου είναι δύσκολο έως αδύνατο να συλλεχθούν γιατί προϋποθέτουν την δημιουργία ημερολογίου εργασιών από τους αγρότες. Επίσης, οι δείκτες αναφέρονται σε συγκεκριμένη χρονική περίοδο, όπως οι δείκτες αγροτικής πίεσης αναφέρονται για το έτος 2005 όπου υπάρχει μία συγκεκριμένη κατανομή των καλλιεργειών με αποτέλεσμα να απαιτείται ανά τακτά χρονικά διαστήματα ο υπολογισμός του, έτσι ώστε να εμφανίζεται η χρονική διακύμανση του δείκτη.

Από την άλλη πλευρά, ο υπολογισμός τέτοιων δεικτών φέρει και συγκριτικά πλεονεκτήματα. Πρώτον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν εύκολα γιατί δεν απαιτούν πολλές παραμέτρους για τον υπολογισμό τους και τα γεωγραφικά δεδομένα που ζητούν είναι εύκολο να βρεθούν και να υπολογιστούν (κυρίως δορυφορικά δεδομένα και δεδομένα ανάγλυφου). Επίσης, οι δείκτες πίεσης, λόγω της κανονικοποίησης των τιμών των επιμέρους παραγόντων πριν τον τελικό υπολογισμό τους, έδωσαν τη δυνατότητα να υπολογιστούν χωρίς να απαιτούνται μονάδες μέτρησης για αυτούς. Επιπρόσθετα, οι δείκτες αυτοί αν και εμφανίζουν ποσοτικά αποτελέσματα, κύριος σκοπός τους είναι η δημιουργία ενός ποιοτικού αποτελέσματος για τον εντοπισμό περιοχών με μεγάλη πίεση. Σε αυτές τις περιοχές μπορεί να πραγματοποιηθεί περαιτέρω διερεύνηση για τους πλέον σημαντικούς παράγοντες οι οποίοι ασκούν την πίεση, γεγονός που μπορεί να βοηθήσει τις τοπικές αρχές και φορείς στη λήψη κατάλληλων μέτρων διαχείρισης για τη μείωση του κάθε φαινομένου.

Στον υγρότοπο από την άλλη πλευρά, αν και έχουν γίνει προσπάθειες για τη σύνδεση γεωγραφικών δεδομένων με ιδιότητες των υγροτόπων (Alexandridis et. al., 2006), καθώς και για τη λήψη αποφάσεων όσον αφορά τη διαχείριση του νερού (Zacharias et. al., 2003) εφαρμόστηκε μία ολοκληρωμένη μεθοδολογία για την εκτίμηση των ιδιοτήτων και την αξιολόγηση των λειτουργιών του υγροτοπικού συμπλέγματος της Κορώνειας. Αυτή η μεθοδολογία στηρίζεται σε τρία βασικά συστατικά: Στις ιδιότητες και λειτουργίες του υγρότοπου, όπως προτείνονται για τις υγροτοπικές περιοχές της Μεσογείου, η σύνδεσή τους με γεωγραφικά δεδομένα, καθώς και η μαθηματική προσέγγιση για τον υπολογισμό αυτών.

Ένας επιπλέον στόχος της μεθοδολογίας που δημιουργήθηκε για την κατάσταση του υγρότοπου, είναι η όσο το δυνατόν πιο αντικειμενική εκτίμησή του, αν και η λήψη των ορίων των τιμών των ιδιοτήτων τις περισσότερες φορές προτείνεται μέσα από την εμπειρία του ερευνητή (Expert Opinion). Συνεπώς, για την ορθότερη κρίση του αποτελέσματος θα πρέπει να γίνεται αναφορά αυτών των ορίων που λήφθηκαν υπόψη, στοιχείο που βοηθά τους υπόλοιπους ερευνητές να αξιολογήσουν το αποτέλεσμα καθώς και να δημιουργήσουν τη δικιά τους μεθοδολογία για άλλες περιοχές μελέτης. Επίσης, αυτή η μεθοδολογία θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί και σε άλλα οικοσυστήματα ημί – φυσικά και δασικά με διαφορετικές ιδιότητες και λειτουργίες.

Τέλος, παρατηρήθηκε η συμβολή των δεικτών τοπίου στον υπολογισμό επιμέρους δεικτών, τόσο για την εκτίμηση της κατάστασης του υδροτόπου όσο και για την εκτίμηση των πιέσεων που ασκείται από την αγροτική περιοχή, αντικείμενο έρευνας το οποίο εμφανίζεται ελάχιστα διεθνή βιβλιογραφία.

5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Συνοψίζοντας όλα τα παραπάνω, μπορεί να ειπωθεί ότι η ταξινόμηση που στηρίχθηκε στο ασαφές νευρωνικό δίκτυο SONEFMUC πέτυχε μεγαλύτερη ποσοτική ακρίβεια ταξινόμησης, τόσο στην αγροτική περιοχή όσο και στην υγροτοπική. Ειδικότερα, στην υγροτοπική περιοχή τα αποτελέσματα ήταν καλύτερα φθάνοντας σε συνολική ακρίβεια 89.5%, ενώ το Z-test που εφαρμόστηκε έδειξε ότι το αποτέλεσμα είναι στατιστικώς σημαντικό σε σχέση με τις υπόλοιπες ταξινομήσεις. Επίσης, στον υγρότοπο πέτυχε την μεγαλύτερη ολική ακρίβεια (89.5%), ενώ μπόρεσε να ταξινομήσει καλύτερα τις κυρίαρχες κλάσεις.

Για την ποιοτική σύγκριση προτάθηκε ένας νέος ποσοτικός δείκτης, ο MSHEI, ο οποίος υποδεικνύει αν η ταξινόμηση των εικονοστοιχείων μέσα σε ένα αγροτεμάχιο γίνεται σε μία η περισσότερες κλάσεις, δηλαδή αν υπάρχει ομοιομορφία στην ταξινόμηση. Σε δείγμα 7645 αγροτεμαχίων το SONEFMUC επέδειξε την καλύτερη επίδοση με μέση τιμή του MSHEI να φτάνει το 0,900. Στα μεγάλα όμως αγροτεμάχια (άνω των 20 στρεμμάτων), υπερείχαν οι στατιστικές μέθοδοι ταξινόμησης, ενώ στις καλλιέργειες που απαντώνται σε μικρό ποσοστό υπερείχε το νευρωνικό δίκτυο BP.

Με τη συμβολή της ταξινόμησης με την μέθοδο SONEFMUC υπολογίστηκαν δείκτες πίεσης και κατάστασης του υγροτόπου της Κορώνειας. Ειδικότερα, τρεις νέοι δείκτες πίεσης (I.P.I., F.P.I., U.P.I.) προτάθηκαν, οι οποίοι εξαρτώνται από επιμέρους δείκτες, όπως ο δείκτης τοπίου Edge Contrast Index που πρώτη φορά χρησιμοποιείται σε αγρό-οικοσυστήματα. Οι αγροτικοί δείκτες (I.P.I., F.P.I.) εμφάνισαν τις μεγαλύτερες τιμές τους κυρίως νότιο-ανατολικά της Λίμνης, ενώ ο U.P.I. εμφάνισε την μεγάλη πίεση που ασκεί το Δ. Διαμέρισμα του Λαγκαδά λόγω της μεγάλης οικιστικής ανάπτυξης.

Επίσης, εφαρμόστηκε κατάλληλη μεθοδολογία για την εκτίμηση της κατάστασης του υγροτόπου της Κορώνειας μέσω της αξιολόγησης των λειτουργιών του με τη χρήση της ταξινομημένης εικόνας IKONOS, δεικτών τοπίου και γεωγραφικών δεδομένων. Βρέθηκε ότι η στήριξη των τροφικών πλεγμάτων, μία από τις κύριες λειτουργίες των μεσογειακών υγροτοπικών οικοσυστημάτων, επιτελείται, σε μέτριο βαθμό. Απώτερος σκοπός αυτής της μεθοδολογίας ήταν η δημιουργία μιας αντικειμενικότερης αξιολόγησης των λειτουργιών ποσοτικοποιώντας τις ιδιότητες από τις οποίες εξαρτώνται.

6 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Adamus PR, Clairain jr EJ, Smith RD & Young RE 1987. Wetland evaluation technique(WET); Vol. II, Methodology (Operational Draft Report). Environmental Laboratory, USArmy Engineer Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS.
- Alberti, M., and P Waddell, 2000. An integrated urban development and ecological simulation model. *Integrated Assessment*, 1, 215–227.
- Alexandridis, T.K., E. Lazaridou, C. Topaloglou, and G.C. Zalidis. 2008. The performance of satellite images in mapping aquacultures. *Journal of Ocean and Coastal Management*, *in press*
- Alexandridis, T., V. Takavakoglou, G. Zalidis, and T.L. Crisman, 2006, Remote sensing and GIS techniques for selecting a self-sustainable scenario for Lake Koronia. *Environmental Management*, *In press*.
- Alexandridis, T.K., E. Lazaridou, C. Topaloglou, and G.C. Zalidis. 2005. Remotely Sensed Baseline Data for Monitoring the Protected Wetland of Delta Axios-Loudias-Aliakmonas. *Fresenius Environmental Bulletin* 1151-1158
- Alexandridis, T., Th. Lazaridou, A. Tsirika and G. Zalidis, 2006. Using Earth Observation to update NATURA 2000 habitat map for Delta of Axios-Loudias-Aliakmonas in Greece. In *Proceedings of Globwetland Symposium*, 26-28 September, Frascati, Italy, published on CD.
- Atkinson, P. M. and A.R.L Tatnall,. 1997. Introduction: Neural networks ion remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 18, 699–709.
- Baraldi A. and F. Parmiggiani, 1995. A neural network for unsupervised categorization of multivalued input patterns: An application of satellite image clustering. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 33, 305-316.
- Bardossy A. and L. Samaniego, 2002. Fuzzy rule-based classification of remotely sensed imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing*, 40, 362-374.
- Barnsley, M. J., and S. L Barr, 2000. Monitoring urban land use by earth observation. *Surveys in Geophysics*, 21, 269–289.
- Benediktsson, J.A. and I. Kanellopoulos, , 1999. Classification of multisource and hyperspectral data based on decision fusion. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 37, 1367–1377.
- Bishop Y., S. Frienberg and P. Holland, 1975. Use of groundtruth to correct landcover area estimates from remotely sensed data. *International Journal Remote Sensing* 15, 1273-1282
- Bock M., G. Rossner, M. Wissen, K. Remm, T. Langanke, S. Lang, H. Klug, T. Blaschke and B. Vrscaj 2005. Spatial indicators for nature conservation from European to local scale. *Ecological Indicators* V.5 p.322–338.
- Campel W. and R. Cromp 1990. Evolution of an intelligent information fusion system. *Photogrametric Engineering and Remote Sensing*, 56, 867-870

- Chavez, P. S. Jr., Sides, S. C. and Anderson, J. A., 1991. Comparison of three different methods to merge multiresolution and multispectral data: Landsat TM and SPOT Panchromatic. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 57, 295–303.
- Chilar J., Q. Xiao, J. Chen, J. Beaubien, K. Fung and R. Latifovic, 1998. Classification by progressive generalization: a new automated methodology for remote sensing multichannel data. *International journal of remote sensing data*. 19, 2685-2704.
- Cohen M.A. and S. Grsossberg, 1983. Absolute stability of global pattern information and parallel memory storage by competitive Neural Networks. *IEEE Transactions on systems, man and cybenetics* 13,5, 815-826.
- Cohen Y. and M. Shoshany 2003 A national knowledge-based crop recognition in Mediterranean environment. *International Journal of Remote Sensing*
- Congalton, R. G. 1994. Accuracy assessment of remotely sensed data: future needs and directions. In: *Proceedings of Pecora 12 land information from space-based systems*. Bethesda: ASPRS., 383– 388.
- Congalton R.G. and K. Green, 1999. *Assesing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. Boca Raton: Lweis Publishers
- Crippen, R. E. 1987. The Regression Intersection Method of Adjusting Image Data for Band Ratioing. *International Journal of Remote Sensing* 8, 137-155.
- Cyr L., F. Bonn and Al. Pesant, 1995. Vegetation indices derived from remote sensing for an estimation of soil protection against water erosion. *Ecological Modelling*, 79, 277-285.
- Datt B., McVicar T.R., Van Niel T.G., Jupp D.L.B. and Pearlman J. 2003. Preprocessing EO-1 Hyperion Hyperspectral Data to Support the Application of Agricultural Indexes. *IEEE Transactions of Geosience and Remote Sensing*, 6, 1246-1259.
- Duda O. R. and E. P. Hart, 1973. *Pattern Classification and Scene Analysis*, Wiley Ed.
- Dunning, J. B., B. J. Danielson and H. R. Pulliam. 1992. Ecological processes that affect populations in complex landscapes. *Oikosystem* 65, 169-175.
- Dutta S., S.A. Sharma, A.P. Khera, Ajai, M. Yadav R.S. Hooda, K.E. Mothikumar and M.L. Manchanda 1994. Accuracy assessment in cotton acreage estimation using Indian remote sensing satellite data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 49 21-26.
- Foody G.M., 2002. Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing of Environment*, 80, 185– 201.
- Foody G.M. and M.K. Aora, 1997 An evaluation of some factors affecting the accuracy of classification by an artificial neural network. *International Journal Remote Sensing* 18, 937 – 953.
- Forshaw, M.R.B., Haskell, A., Miller, P.F., Stanley and D.J., Townshend, 1983. SPatial resolution of remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing* 4(3), 497–520.
- Frohn R.C. and Y. Hao 2006. Landscape metric performance in analyzing two decades of deforestation in the Amazon Basin of Rondonia, Brazil. *Remote Sensing of Environment* 100, 237 – 251.

- Garson G.D., 1998. Neural networks: An introductory guide for social scientists. London, Sage Publications.
- Gitas I., M. Nikolaou., G. Silleos and N. Karapetsas 2004. Erosion risk assessment and its impact in the agricultural environment using high resolution images and GIS. In Proceedings of 2nd International Conference of Information Systems and Innovative Technologies In Agriculture, Food and Environment, Thessaloniki Greece, 1, 332-338.
- Greenhill D.R., L.T. Ripke, A.P. Hitchman, Gr.A. Jones, and Gr.G. Wilkinson, 2003. Characterization of suburban areas for land use planning using landscape ecological indicators derived from IKONOS-2 Multispectral Imagery. IEEE Transactions On Geoscience and Remote Sensing, 41, 2015-2021.
- Haralick, R. M. and L.G. Shapiro, 1992. Robot and computer vision: vol. 1 Boston: Addison-Wesley 457-462.
- Harshanyi J.C. and C.I. Chang, 1994. Hyperspectral Image classification and dimensionality reduction: An orthogonal subspace projection approach. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 32, 779-785.
- Hayes, D. J., and S.A. Sader, 2001,. Comparison of change detection techniques for monitoring tropical forest clearing and vegetation regrowth in a time series. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67, 1067-1075.
- Herold, M., J. Scepan, and K.C. Clarke, 2002. The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. Environment and Planning A, 34, 1443- 1458.
- Herzog, F. and A. Lausch, 1999. Prospects and limitations of the application of landscape metrics for landscape monitoring. In: Maudsley, M., Marshall, J. (Eds.), Heterogeneity in Landscape Ecology: Pattern and Scale. Aberdeen, IALE, UK, pp. 41-50.
- Horne, J. H., 2003, A tasseled cap transformation for IKONOS images. In Proceedings of ASPRS Annual Conference, 5-9 May 2003, Anchorage, Alaska.
- Hutchinson, M. F., 1988. Calculation of hydrologically sound digital elevation models. In Third International Symposium on Spatial Data Handling, 17-19 August, Sydney, (Ohio: International Geographical Union), pp. 117-133.
- Jenson S.K. and J.O. Domingue, 1988. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 54, 11, 1593-1600.
- Jensen, J. R. 1996. Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective. 2d ed. Englewood Cliffs.
- Kanellopoulos I. and G.C. Wilkinson 1997. Strategies and best practice for neural network image classification. International Journal of Remote Sensing 18, 711-725.
- Kangas J.A., T.K. Kohonen and J.T. Laakonsen, 1990. Variants of self – organising maps. IEEE Transactions on Neural Networks.
- Καρτέρης Μ., 1998. Δασική αεροφωτογραφία. University Studio Press, Θεσσαλονίκη..
- Kauth, R. J. and G. S. Thomas, 1976. The Tasseled Cap – A graphical description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. In

- Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, 29 June–1 July 1976, West Lafayette, Indiana, (New York: Institute of Electrical and Electronics Engineering), 4B41–4B51.
- Kavzoglu T., 2001. An investigation of the design and use of feed-forward artificial neural networks in the classification of remotely sensed images. Ph.D. thesis, School of Geography, University of Nottingham.
- Kawata, Y., A. Ontani, T., Kusaka, and S. UENO, 1990. Classification accuracy for the MOS – 1 MESSR data before and after the atmospheric correction. IEEE Transactions on Geoscience Remote Sensing, 28, 755–760.
- Keramitsoglou, I., H. Sarimveis, C. T. Kiranoudis, and N. Sifakis, 2005. Radial basis function neural networks classification using very high spatial resolution satellite imagery: an application to the habitat area of Lake Kerkini (Greece). International Journal of Remote Sensing, 26, 1861–1880.
- Kohonen T., 1989. Self – Organisation and Associative Memory. New York, John Wiley and Sons.
- Kuncheva, L. I., J.C. Bezdek, and R. P. W. DUIN, 2001. Decision templates for multiple classifier fusion: an experimental comparison. Pattern Recognition, 34, 299–314.
- Kuntz, S. and F. Siegert, 1998. Analysis of RADARSAT images for tropical rainforest monitoring: A comparison with ERS-1/2 data. ADRO Symposium, Montreal, Canada.
- Li, X. and A.G.O. Yeh, 1998. Principal component analysis of stacked multi-temporal images for the monitoring of rapid urban expansion in the Pearl River Delta. International Journal of Remote Sensing, 19, 1479–1500.
- Lillesand Th.M. and R.W. Kiefer, 1994. Remote sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons, New York.
- Lin T.C., C.Y.Lee and C.H. Pu. 2002. Satellite Sensor Image Classification Using Cascaded Architecture of Neural Fuzzy Network. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 38, 1033–1043.
- Lipmann R.P. 1987. An introduction to computing with neural nets. IEEE ASSP Magazine 4-22.
- Μαντζαβέλας Α., Γ. Ζαλίδης, Π.Λ. Γεράκης και Σ. Ντάφης (Συντονιστές Εκδόσεως), 1995. Κριτήρια αναγνώρισης περιοχών ως υγροτόπων. Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων - Υγροτόπων (EKBY), Θεσσαλονίκη.
- Marble, A. 1992. A Guide to Wetland Functional Design. Lewis Publishers, Chelsea.
- Mastorocostas P.A., B.J. Theocharis and G.A. Bakirtzis, 1999. Fuzzy Modeling for Short Term Load Forecasting using the Orthogonal Least Squares Method. IEEE Trans. Power Systems, 14, 29–36.
- Mitraki, C., T.L. Crisman, and Zalidis, G., 2004. Lake Koronia: Shift from autotrophy to heterotrophy with cultural eutrophication and progressive water-level reduction. Limnologica, 34, 110–116.
- Mitrakis N., Ch. Topaloglou, Th. Alexandridis, J. Theocharis and G., Zalidis, 2008. A Novel Self-Organizing Neuro-Fuzzy Multilayered Classifier for Land Cover Classification of a VHR Image. International Journal of Remote Sensing, In press.

- Narumalani, D.R. Mishra and R.G. Rothwell 2004. Change detection and landscape metrics for inferring anthropogenic processes in the greater EFMO area. *Remote Sensing of Environment*, 91 478–489.
- Oetter, D. R., W.B. Cohen, M.K. Berterretche, T. K. Maersperger, and R.E. Kennedy, 2001. Land cover mapping in an agricultural setting using multiseasonal Thematic Mapper data. *Remote Sensing of Environment*, 76, 139–155.
- Pal N.R., J.C. Bezdec and C.K. Tsao, 1993. Generalised clustering networks and Kohonen's self organising scheme. *IEEE Transactions on Neural Networks*, 4, 549 – 557.
- Populus J., W. Hastuti, J M. Martin, Ol. Guelorget, B. Sumartono and A. Wibowo 1995. Remote sensing as a tool for diagnosis of water quality in Indonesian seas. *Journal of Ocean and Coastal Management*, 27, 197-215.
- Rainis, R. 2003. Application of GIS and landscape metrics in monitoring urban land use change. In N. M. Hashim, & R. Rainis (Eds.), *Urban ecosystem studies in Malaysia — A study of change* (pp. 267– 278). Parkland' Universal Publishers.
- Raptis V.S., R.A. Vaughan and G.G. Wright 2003. The effect of scaling on landcover classification from satellite data. *Computers & Geosciences* ,29, 705–714.
- Riitters, K.H., R.V. O'Neill, C.T. Hunsaker, J.D. Wickham, D.H. Yankee, S.P. Timmins, K.B. Jones and B.L. Jackson, 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* 10, 23–39.
- Riitters, K.H., R.V. O'Neill, C.T. Hunsaker, J.D. Wickham, D.H. Yankee, S.P. Timmins, K.B. Jones and B.L. , Jackson, 1995. A factor analysis of landscape pattern and structure metrics. *Landscape Ecology* 10, 23–39.
- Serpico B. S. and F. Roli, 1995. Classification of multisensor remote-sensing images by structured neural networks. *IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing*, 33, 562-578.
- Smith RD, A. Ammann, C. Bartoldus and M.M. Brinson 1995. An approach for assessing wetland functions using hydrogeomorphic classification, reference wetlands and functional indices. US Army Engineer Waterways Experiment Station, Wetlands Research Program Technical Report WRP DE-9, Vicksburg, MS.
- Stehman, S. V. and R. L. Czaplewski, 1998. Design and analysis for thematic map accuracy assessment: fundamental principles. *Remote Sensing of Environment*, 64, 331– 344.
- Song, C., C. E. Woodcock, K. C. Soto, M. P. Lenney, and S.A. Macomber, 2001. Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects. *Remote sensing of environment*, 75, 230–244.
- Sunar F., 1998. An analysis of changes in a multi-date data set: a case study in the Ikitelli area, Istanbul, Turkey. *International Journal of Remote Sensing*, 19, 225–235.
- Συλλαίος Ν.Γ., 1999. Εισαγωγή στην τηλεπισκόπηση και τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών. Γιαχούδη-Γιαπούλη, Θεσσαλονίκη.
- Σταθάκης Δ., 2003. Ταξινομήσεις χρήσεως γης χρησιμοποιώντας γεωπληροφορική. Διδακτορική διατριβή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

- Swain, P. H., and S. M. Davis. 1978. Remote Sensing: The Quantitative Approach. New York: McGraw Hill Book Company.
- Takagi T., and M. Sugeno, 1985, Fuzzy identifications and its application to modeling and control. IEEE Transactions On Systems, Man And Cybernetics, 15, 116–132.
- Trodd, N. M. (1995). Uncertainty in land cover mapping for modelling land cover change. In: Proceedings of RSS95 remote sensing in action, Nottingham: Remote Sensing Society ,1138– 1145.
- Tso B. and P.M. Mather 2003. Classification methods for remotely sensed data. London and New York, Taylor and Fransis.
- Tucker, C.J., 1979. Red and photographic infrared linear combinations monitoring vegetation. Remote Sensing of Environment, 8, 127-150.
- Turner, M. G. 1990. Spatial and temporal analysis of landscape patterns. Landscape Ecology, 4, 21-30.
- Θεριός Ι., 1996. Ανόργανη θρέψη και λιπάσματα. Εκδόσεις Δεδούση, Θεσσαλονίκη.
- Wang, F., 1990. Fuzzy supervised classification of remote sensing images. IEEE Transactions on Geosience and Remote Sensing, 28, 194–201.
- Wiens, J.A. 1976. Population responses to patchy environments. Ann. Rev. Ecol. Syst. 7, 81-120
- Wischmeier W., and D.. Smith 1978. Predicting rainfall erosion losses – a guide o conservation planning. Technical Report Agri Handbook No., 537, Science and Education Administration, USDA.
- Wu J., D.E. Jelinski, M. Luck, P.T. Tueller, 2000. Multiscale analysis of landscape heterogeneity: Scale variance and pattern metrics. Geographic Information Sciences, 6, 6 – 19.
- Zacharias I., E. Dimitriou and Th. Koussouris 2003. Developing sustainable water management scenarios by using thorough hydrologic analysis and environmental criteria. Journal of Environmental Management 69 401–412.
- Ζαλίδης Γ., 2002. Ρύπανση και υποβάθμιση εδαφών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Α.Π.Θ., Θεσσαλονίκη.
- Zalidis G., M. Tsiafouli, V. Takavakoglou, G. Bilas and N. Misopolinos, 2004. Selecting agri-environmental indicators to facilitate monitoring and assessment of EU agri-environmental measures effectiveness. Journal of Environmental Management, 70, 315-321.
- Zalidis, G.C., V. Takavakoglou and T. Alexandridis, 2004. Revised restoration plan of Lake Koronia. Aristotle University of Thessaloniki, Department of Agronomy, Laboratory of Applied Soil Science, Thessaloniki (in Greek, English summary).
- Zhang, Y. and G. Hong, 2005. An IHS and wavelet integrated approach to improve pan-sharpening visual quality of natural colour IKONOS and QuickBird images. *Information Fusion*, 6, 225–234.

Zenzo D. S., R. Bernstein, D. S. Degloria, and G. H. Kolsky, 1987. Gaussian maximum likelihood and contextual classification algorithms for multicrop classification. IEEE Transactions of Geoscience and Remote Sensing, 25, 805-814.