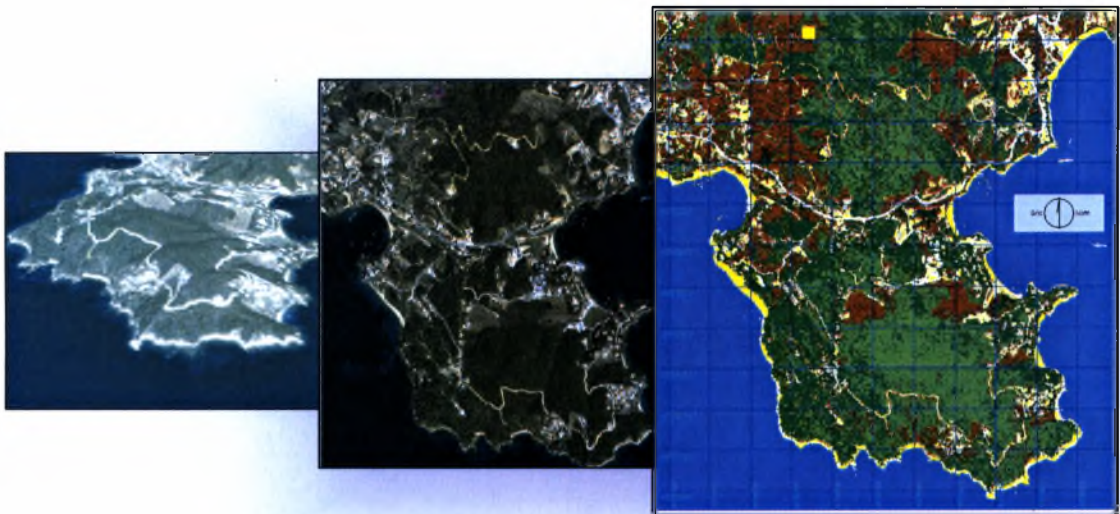


# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ  
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΧΩΡΟΤΑΞΙΑΣ  
ΠΟΛΕΟΔΟΜΙΑΣ ΚΑΙ ΠΕΡΙΦΕΡΕΙΑΚΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΗΣ

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ:

*Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων ασαφούς λογικής και  
νευρωνικών δικτύων στην ταξινόμηση καλύψεων γης.  
Εφαρμογή στη Σκιάθο.*



ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ:

**ΛΑΛΟΥ ΑΘΑΝΑΣΙΑ**

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ:

**ΠΕΡΑΚΗΣ Κ.**

ΒΟΛΟΣ, Φεβρουάριος 2008



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

Αριθ. Εισ.: 6153/1  
Ημερ. Εισ.: 20-03-2008  
Δωρεά: Συγγραφέα  
Ταξιθετικός Κωδικός: ΠΤ – ΜΧΠΠΑ  
2008  
ΛΑΛ

*Στην οικογένεια μου,*

---

**ΠΕΡΙΛΗΨΗ**

Τόσο τα νευρωνικά δίκτυα όσο και τα ασαφή (fuzzy) συστήματα αποτελούν προσπάθειες να ενσωματώσουν την ‘ανθρώπινη λογική’ σε παραδοσιακές διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων, παρόλο που η υλοποίηση της ιδέας αυτής προσεγγίζεται από διαφορετικές οπτικές πλευρές. Στην παρούσα εργασία γίνεται προσπάθεια παρουσίασης των δύο μεθόδων και εφαρμογής τους ως εργαλεία ταξινόμησης στην τηλεπισκόπηση. Χρησιμοποιώντας δορυφορική εικόνα IKONOS για το έτος 2007, έγινε εφαρμογή των δύο παραπάνω μεθόδων σε περιοχή της Σκιάθου. Έπειτα από σύγκριση των αποτελεσμάτων προέκυψαν ορισμένα συμπεράσματα, βασικότερο από τα οποία αποτελεί η συνένωση των δύο μεθόδων με προϊόν τα neuro-fuzzy συστήματα. Τα συστήματα αυτά προσφέρουν συνήθως μια πιο δυνατή λύση από ότι κάθε μια από τις τεχνολογίες που συνδυάστηκαν για να προκύψουν.

**Λέξεις κλειδιά:** Νευρωνικό δίκτυο, Τηλεπισκόπηση, Ταξινόμηση, IKONOS, Neuro-fuzzy σύστημα, Fuzzy σύστημα.

---

**ABSTRACT**

Both neural network and fuzzy systems are attempts to bring ‘human intelligence’ into traditional data processing tasks, although the implementation is approached from different perspectives. The description of the aforementioned methods along with their application as classification tools in remote sensing, are presented in this thesis. The two above techniques are applied to the satellite image IKONOS taken at the year 2007, and more specifically to the area of Skiathos. The resultant results were compared and we concluded to many worth mentioning remarks. The need of some system that will combine the advantages of the two above technologies was the most important one. Such systems already exists in the literature and are known as neuro - fuzzy systems.

**Keywords:** Neural network, Remote Sensing, Classification, IKONOS, Neuro-fuzzy system, Fuzzy system.

---

**ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

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

Αρχικά θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή της εργασίας κ. Περάκη Κωνσταντίνο για την επιλογή του θέματος και για τις συμβουλές και υποδείξεις του καθ' όλη τη διάρκεια εκπόνησης της εργασίας. Επίσης θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου στον κ. Φαρασλή Ιωάννη για τις τεχνικές συμβουλές και τη βοήθεια του στα δύσκολα σημεία της διπλωματικής.

Επιπρόσθετα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον αδερφό μου Λάλο Αριστείδη για την πολύτιμη βοήθεια που μου προσέφερε για τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας. Βέβαιά δε θα μπορούσα να μην ευχαριστήσω και όλους τους φίλους που έκανα στα πέντε αυτά χρόνια των σπουδών και ιδιαίτερα εκείνους που ήταν κοντά μου όλες τις όμορφες αλλά και όλες τις δύσκολες στιγμές.

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

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....</b>	<b>i</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>ii</b>
<b>ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ.....</b>	<b>iii</b>
<b>Εισαγωγή .....</b>	<b>4</b>
I. Σκοποί και στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας .....	5
II. Λόγοι επιλογής του συγκεκριμένου θέματος.....	5
III. Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας.....	7
<b>1. Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους για τη Σκιάθο .....</b>	<b>9</b>
1.1. Αναλυτική περιγραφή του λογισμικού χαρτογράφησης (GIS). .....	9
1.2. Μεθοδολογία για τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους .....	13
1.2.1. Συλλογή δεδομένων .....	13
1.2.2. Ενέργειες πριν την ψηφιοποίηση του χάρτη.....	14
1.2.3. Ψηφιοποίηση του χάρτη .....	14
1.3. Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη ψηφιοποίηση του τοπογραφικού χάρτη .....	15
1.4. Επεξεργασία ισοϋψών- Αποτελέσματα .....	17
<b>2. Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας στην τηλεπισκόπηση .....</b>	<b>19</b>
2.1. Τηλεπισκόπηση.....	19
2.1.1. Εισαγωγικά .....	19
2.1.2. Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης.....	20
2.1.3. Τηλεπισκόπηση και Αστικός Χώρος .....	21
2.2. Ταξινόμηση εικόνας .....	23
2.2.1. Ταξινόμηση ψηφιακής εικόνας.....	23
2.2.2. Φασματικές υπογραφές.....	25
2.2.3. «Ανελαστικοί» Ταξινομητές.....	26
2.2.4. Επιβλεπόμενη ή καθοδηγούμενη ταξινόμηση (supervised classification) ...	26
2.2.5. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification).....	27
2.2.6. «Ελαστικοί ταξινομητές» (soft classifiers).....	28
<b>3. “Fuzzy” ταξινομήσεις στην τηλεπισκόπηση .....</b>	<b>31</b>
3.1. Ασαφής λογική (Fuzzy theory).....	31
3.2. Fuzzy σύνολα & Fuzzy γεωγραφικά αντικείμενα .....	32
3.3. Επιλογή κλάσεων βασισμένη σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά.....	34
3.4. Πλεονεκτήματα των μοντέλων σημασιολογικής δήλωσης και των ασαφή k-μέσων .....	34
3.5. Μειονεκτήματα των μοντέλων σημασιολογικής δήλωσης και των ασαφή k-μέσων .....	36
3.6. Ταξινομητές ασαφούς λογικής (Fuzzy Classifiers) .....	37
3.7. Αβεβαιότητα ταξινόμησης (Classification Uncertainty) .....	38
3.8. Συλλογή ασαφών φασματικών ταυτοτήτων στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση.....	39
3.9. Συμπεράσματα .....	41
<b>4. Νευρωνικά δίκτυα στην τηλεπισκόπηση .....</b>	<b>43</b>
4.1. Νευρωνικά δίκτυα (Neural Networks).....	43
4.2. Ταξινόμηση εικόνας με νευρωνικά δίκτυα .....	45
4.3. Ο νευρώνας.....	50
4.3.1. Δομή νευρωνικών δικτύων .....	53



4.4. Συμπεράσματα .....	57
<b>5. Συγκριτική μελέτη ασαφών ταξινομήσεων και ταξινομήσεων με νευρωνικά δίκτυα.....</b>	<b>59</b>
5.1. Ταξινόμηση εικόνας με νευρωνικά δίκτυα- Συμπεράσματα .....	59
5.2. Ταξινόμηση εικόνας με συστήματα ασαφούς λογικής-Συμπεράσματα .....	60
5.3. Συνδυάζοντας τα νευρωνικά δίκτυα και τα «fuzzy» συστήματα .....	61
5.4. Συνοπτική περιγραφή των ‘Neuro-fuzzy’ συστημάτων .....	62
<b>6. Πιλοτική εφαρμογή νευρωνικών και ασαφών ταξινομήσεων σε περιοχή της Σκιάθου.....</b>	<b>64</b>
6.1. Εισαγωγή .....	64
6.2. Ο δορυφόρος IKONOS.....	64
6.2.1. Γεωμετρικοί μετασχηματισμοί .....	67
6.3. Περιγραφή του λογισμικού ταξινόμησης (IDRISI).....	67
6.4. Το δειγματοληπτικό στάδιο .....	68
6.4.1. Δημιουργία δειγματοληπτικών περιοχών .....	69
6.4.2. Εντοπισμός και οριοθέτηση των δειγματοληπτικών περιοχών .....	71
6.5. Έλεγχος φασματικών υπογραφών .....	73
6.6. Η διαδικασία των ταξινομήσεων .....	74
6.6.1. Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας της Σκιάθου με νευρωνικά δίκτυα .....	75
6.6.2 Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας της Σκιάθου με τη μέθοδο των ‘Fuzzy’ ταξινομήσεων.....	82
6.6.3 Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας της Σκιάθου με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Classification).....	83
6.6.4 Σύγκριση των δύο μεθόδων με την ταξινόμηση της μέγιστης πιθανοφάνειας .....	83
<b>7. Συμπεράσματα και προτάσεις.....</b>	<b>85</b>
7.1. Συμπεράσματα .....	85
7.2. Προτάσεις .....	89
<b>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....</b>	<b>91</b>
<b>ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ .....</b>	<b>96</b>
Μεθοδολογία για τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους.....	97

### ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

Εικόνα 1.1.:Μέρος τοπογραφικού χάρτη της Σκιάθου .....	13
Εικόνα 1.2.: Υπόβαθρο (τοπογραφικός χάρτης) στην κατάλληλη μορφή.....	14
Εικόνα 1.3.: Μετατροπή των υψομετρικών καμπύλων σε διανυσματική πληροφορία.15	
Εικόνα 1.4.: Έντονα σχεδιασμένο ανάγλυφο στον τοπογραφικό χάρτη .....	16
Εικόνα 1.5.: Λανθασμένη αρίθμηση ισοϋψών .....	16
Εικόνα 1.6.: Διακοπή και ταύτιση ισοϋψών .....	17
Εικόνα 1.7.: Ψηφιακό ανάγλυφο περιοχής της Σκιάθου σε τρισδιάστατη απεικόνιση18	
Εικόνα 1.8 : Ψηφιακό ανάγλυφο περιοχής της Σκιάθου σε τρισδιάστατη απεικόνιση με δυνατότητα εξέτασης του από οποιαδήποτε οπτική γωνία.....	18
Εικόνα 6.1: Εικόνα από το δορυφόρο IKONOS .....	65



Εικόνα 6.3.: Διάγραμμα φασματικών υπογραφών των 8 κατηγοριών κάλυψης γης... 74	
Εικόνα 6.4.: Πρώτη «Εκπαίδευση» ταξινομητή (βλ. και παράρτημα)..... 77	
Εικόνα 6.5.: Δεύτερη «Εκπαίδευση» ταξινομητή (βλ. και παράρτημα)..... 78	
Εικόνα 6.6.: Τρίτη «Εκπαίδευση» ταξινομητή (βλ. και παράρτημα)..... 79	
Εικόνα 6.7.: Τελική «Εκπαίδευση» ταξινομητή (βλ. και παράρτημα)..... 80	
Εικόνα 6.8. :Πιθανοτικός χάρτης για την κάλυψη γης : Βλάστηση με δένδρα ..... 118	

### **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ**

Σχήμα 4.1: Χώρος δύο διαστάσεων των τιμών των ψηφίδων με δύο τάξεις που θα πρέπει να διαχωριστούν από μια ευθεία γραμμή..... 46	
Σχήμα 4.2.: Διαγραμματική παράσταση της σχέσης (2) ..... 48	
Σχήμα 4.3.: Διαγράμματα για τη δενδρική ταξινόμηση πολλών ταξινομητών ..... 49	
Σχήμα 4.4.: Νευρώνας και τυπική μορφή νευρωνικού δικτύου ..... 50	
Σχήμα 4.5.: Τυπική μορφή σιγμοειδούς συνάρτησης..... 52	
Σχήμα 4.6.: Νευρωνικό δίκτυο ενός επιπέδου και Νευρωνικό δίκτυο πολλών επιπέδων ..... 54	
Σχήμα 4.7.: Νευρωνικό δίκτυο πολλών επιπέδων σαν μη γραμμικό φίλτρο FIR ..... 56	
Σχήμα 4.8.: Τυπική μορφή επανατροφοδοτούμενου νευρωνικού δικτύου ..... 56	

### **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ**

Πίνακας 3.1 : Δημιουργία μήτρας ποσοστού κλάσεων ..... 40	
Πίνακας: 6.1.Χαρακτηριστικά του δορυφόρου IKONOS ..... 66	
Πίνακας 6.2.: Ομαδοποίηση των κατηγοριών του στις νέες κατηγορίες κάλυψης γης που θα χρησιμοποιηθούν στις ταξινομήσεις..... 70	

## Εισαγωγή

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

Η ανάπτυξη των GIS (Geographic Information Systems) τα τελευταία 25 χρόνια έχει ανοίξει νέους ορίζοντες στη διαχείριση και το χειρισμό των χωρικών συνόλων δεδομένων. Εντούτοις, ο τομέας των GIS για πάρα πολύ καιρό είχε αγνοήσει την πιθανή συμβολή που θα μπορούσε να επιτευχθεί με την ενσωμάτωση πρόσφατων ερευνών των θεωρητικών και ποσοτικών γεωγράφων με τις ανερχόμενες τεχνολογικές εξελίξεις στα λειτουργικά και στα λογισμικά συστήματα. Ενώ οι εξελίξεις στράφηκαν κυρίως προς την αποθήκευση, την ανάκτηση και την οπτικοποίηση των χωρικών πληροφοριών, η πρόοδος της ενσωμάτωσης της χωρικής στατιστικής ανάλυσης και μοντελοποίησης στα GIS ήταν μικρή. Σιγά-σιγά η χωρική ανάλυση έγινε ο κύριος στόχος των προγραμμάτων και μπόρεσαν να αναπτυχθούν διάφορα μοντέλα χωρικών συσχετίσεων. Στην προκείμενη περίπτωση των διαχρονικών αλλαγών στις καλύψεις εδάφους, διάφορες μέθοδοι και αλγόριθμοι αναπτύχθηκαν όπως η διαφοροποίηση του δείκτη βλάστησης, σύγκριση επιβλεπόμενων αλλά και μη επιβλεπόμενων ταξινομήσεων κ.α.

## **I. Σκοποί και στόχοι της παρούσας διπλωματικής εργασίας**

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

Ως βασικός στόχος είναι η ανάδειξη και η χρησιμοποίηση σύγχρονων δεδομένων της Τηλεπισκόπησης ( δορυφορικά και ψηφιακά δεδομένα) καθώς επίσης η παρουσίαση και η σύγκριση δύο διαφορετικών μεθόδων ταξινόμησης μιας δορυφορικής εικόνας, αυτή των νευρωνικών δικτύων (neural networks) και εκείνη των ασαφών ταξινομήσεων (fuzzy classification).

Ένας επιπλέον σημαντικός στόχος είναι να ερευνηθεί η χρήση των μεθοδολογικών εργαλείων της Τηλεπισκόπησης για την επίλυση προβλημάτων που αφορούν στην απεικόνιση και παρουσίαση αστικών αλλά και ευρύτερων περιοχών. Έτσι με τη χρησιμοποίηση ορισμένων τεχνικών (ταξινομήσεις κ.τ.λ.) είναι εφικτή η παραγωγή θεματικών χαρτών καλύψεων γης με ικανοποιητικά ως προς την πραγματικότητα χαρτογραφικά αποτελέσματα. Επιπλέον στόχοι της παρακάτω εργασίας είναι να αποδειχθεί ότι η κατάλληλη εκλογή μεθοδολογικών αλυσίδων, η εφαρμογή και η σύνδεση τους με χαρτογραφικά ή ψηφιακά δεδομένα οδηγεί σε υψηλού ποσοστού ακρίβειας θεματικών χαρτών, καθώς επίσης και να αναδειχθούν τυχόν υπάρχουσες μελλοντικές τάσεις και να προβλεφθούν τρόποι ελέγχου ανεπιθύμητων χωρικών εξελίξεων.

## **II. Λόγοι επιλογής του συγκεκριμένου θέματος**

Το συγκεκριμένο θέμα επιλέχθηκε λόγω των πολλαπλών πρωτότυπων στοιχείων και σημαντικών ιδιαιτεροτήτων που παρουσιάζει. Πιο αναλυτικά, οι λόγοι που οδήγησαν στην επιλογή της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας είναι οι παρακάτω:

- **Η πρωτοτυπία του θέματος**, η οποία αφορά κυρίως την παρουσίαση δύο μεθόδων ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων στη Τηλεπισκόπηση και τη σύγκριση αυτών. Παράλληλα η σύνδεση δεδομένων της Τηλεπισκόπησης (δορυφορικές εικόνες-αεροφωτογραφίες) με τη θεματολογία της Χωροταξίας βρίσκεται σε εμβρυϊκό στάδιο έρευνας για τα ελληνικά δεδομένα. Έτσι, με τη σωστή εκτίμηση και μελέτη του χώρου ελέγχονται τα αποτελέσματα των παρεμβάσεων και των πολιτικών, που έχουν εφαρμοστεί και εξετάζονται νέες υπό ανάπτυξη τάσεις. Αξίζει να σημειωθεί ότι η δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους της Σκιάθου με τη χρήση του εργαλείου GIS, που έγινε στα πλαίσια της παρούσας διπλωματικής εργασίας αποτελεί στοιχείο απαραίτητο για περαιτέρω θέματα προς μελέτη και έρευνα.
- **Οι μελλοντικές τάσεις στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης που αφορούν στην μελέτη και το σχεδιασμό του αστικού αλλά και του ευρύτερου χώρου.** Η πρόοδος της τεχνολογίας στον τομέα της Τηλεπισκόπησης και η πληθώρα εφαρμογών της στο χώρο έχει σαν αποτέλεσμα την ανάδειξη της επιστήμης αυτής σε ένα ιδιαίτερο χρήσιμο εργαλείο της Χωροταξίας, της Πολεοδομίας και της περιφερειακής Ανάπτυξης. Πράγματι, με τις νέες γενιές δορυφόρων (π.χ IKONOS, Earth Watch Quickbird 0,8×0,8m, Orbview 1×1m ) υψηλής διακριτικής ικανότητας, που έχουν ήδη τεθεί ή πρόκειται να τεθούν σε τροχιά, προωθείται ο νέος τομέας της Αστικής Τηλεπισκόπησης, που σχετίζεται με τον έλεγχο των διαχρονικών αλλαγών του δομημένου χώρου, την καταγραφή πόρων, την απογραφή κυκλοφοριακών δικτύων, τις εκτιμήσεις πληθυσμού και ποιότητας δομημένου χώρου κ.α.
- **Η διαθεσιμότητα ψηφιακών δεδομένων για την περιοχή της Σκιάθου.** Καθοριστικό ρόλο στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας διαδραμάτισε η ύπαρξη διαθέσιμων ψηφιακών δεδομένων για το νησί της Σκιάθου σε αεροφωτογραφίες και σε δορυφορική εικόνα για το 2007 από τη βιβλιοθήκη δορυφορικών δεδομένων του Εργαστηρίου Αγροτικού χώρου, τα οποία και χρησιμοποιούνται.

### III. Η δομή της παρούσας διπλωματικής εργασίας

Η διπλωματική εργασία «Συγκριτική μέθοδος ασαφών ταξινομήσεων και νευρωνικών δικτύων. Πιλοτική εφαρμογή στη Σκιάθου» παρουσιάζει δύο τρόπους με τους οποίους μπορούμε να ταξινομήσουμε μια δορυφορική εικόνα (IKONOS). Ο πρώτος τρόπος έχει σχέση με τη μέθοδο των ασαφή συνόλων και ο δεύτερος με εκείνη των νευρωνικών δικτύων. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη διεκπεραίωση της είναι τα παρακάτω:

1. Συλλογή χαρτών και δεδομένων. Στα πλαίσια αυτής της διαδικασίας πραγματοποιήθηκε συλλογή τοπογραφικών χαρτών της Σκιάθου και δορυφορικής εικόνας (IKONOS) της ίδιας περιοχής.
2. Επεξεργασία χαρτών και δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Στη συνέχεια γίνεται συνοπτική περιγραφή του λογισμικού GIS (Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών) και παρουσιάζονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της Σκιάθου.
3. Τεχνικές ταξινόμησης δορυφορικών εικόνων της Σκιάθου. Έπειτα παρουσιάζονται σε γενικές γραμμές οι διάφοροι τομείς στους οποίους εφαρμόζεται με επιτυχία η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης, θεωρίες που αφορούν την ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας, τα ασαφή σύνολα, τα νευρωνικά δίκτυα και τις μεθόδους ταξινόμησης με αυτούς τους δύο τρόπους. Στη συνέχεια πραγματοποιείται σύγκριση των δύο μεθόδων και καταγράφονται κάποια συμπεράσματα σχετικά με τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα και των δύο αλλά και σχετικά με το συνδυασμό τους. Τέλος γίνεται μια συνοπτική περιγραφή του λογισμικού IDRISI και περιγράφονται τα βήματα που ακολουθήθηκαν για τη διαδικασία της ταξινόμησης.
4. Προτάσεις Αποτελεί ένα είδος epilόγου της εργασίας όπου παρουσιάζεται μια σειρά θεμάτων που θα μπορούσαν να συζητηθούν και να αναλυθούν αργότερα από κάθε ενδιαφερόμενο.

---

Πιστεύουμε ότι μπορεί να αποτελέσει την αρχή για ακόμη βαθύτερη ανάλυση του συγκεκριμένου προβλήματος από τον τομέα Τηλεπισκόπησης του τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης καθώς και να αποτελέσει ένα χρήσιμο μεθοδολογικό εργαλείο στα χέρια του κάθε ενδιαφερόμενου. Με τον τρόπο αυτό δύναται να αλλάξουν ορισμένες παγιωμένες αντιλήψεις που επικρατούν γενικότερα αναφορικά με τη σχέση των τεχνικών της Τηλεπισκόπησης με την Πολεοδομία, την Χωροταξία και την Περιφερειακή Ανάπτυξη και να επεκταθούν οι χρήσεις των τεχνικών αυτών, που τουλάχιστον μέχρι σήμερα είναι αρκετά περιορισμένες.



## 1. Δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους για τη Σκιάθο

### 1.1. Αναλυτική περιγραφή του λογισμικού χαρτογράφησης (GIS).

Είναι ευρύτατα αποδεκτό ότι τα τελευταία χρόνια η τεχνολογία στις εφαρμογές οπτικής απόδοσης χαρτογράφησης μιας περιοχής και εκτύπωσης των αποτελεσμάτων έχει σημειώσει ραγδαία πρόοδο. Είναι σημαντικό να τονιστεί ότι παλαιότερα ήταν αναγκαία η χρήση μεγάλων υπολογιστικών μηχανημάτων για την επεξεργασία διαφόρων αρχείων. Αυτό είχε ως αποτέλεσμα η χρήση τους να γίνεται μόνο από λίγους που είχαν την ανάλογη οικονομική δυνατότητα και τη κατάλληλη γνώση. Ωστόσο σήμερα όλο και περισσότεροι έχουν τη δυνατότητα να χρησιμοποιούν υπολογιστές οι οποίοι έχουν τη δυνατότητα επεξεργασίας αρχείων πάνω από 1 GB.

Με την εισαγωγή των ηλεκτρονικών υπολογιστών στις διάφορες επιστήμες όπως η Γεωγραφία, η Τοπογραφία, η Χωροταξία, η Πολεοδομία, κ.α. διαπιστώθηκαν δυσκολίες στην αυτόματη συλλογή, αποθήκευση, επεξεργασία ανάλυση και παρουσίαση των δεδομένων του χώρου. Για την αντιμετώπιση των παραπάνω δυσκολιών αναπτύχθηκε ένα σύνολο εργαλείων που ονομάζεται «Γεωγραφικό σύστημα πληροφοριών (ΓΣΠ)». (Παρασχάκης Ι. κ.α., 1990). Ένα ΓΣΠ είναι ένα πληροφοριακό σύστημα όπου η πληροφοριακή βάση αποτελείται από παρατηρήσεις για χωρικά κατανεμημένα χαρακτηριστικά, δραστηριότητες ή γεγονότα που έχουν χωρική εξάρτηση. (Κουτσόπουλος Κ., 1990). Πιο συγκεκριμένα ΓΣΠ μπορεί να ορισθεί η σύζευξη ενός γεωγραφικού αρχείου μιας περιοχής, (δηλαδή του χάρτη όπως τον διαβάζει και τον επεξεργάζεται ο Ηλεκτρονικός Υπολογιστής) με βάσεις πληροφοριών, ποιοτικών και ποσοτικών για την ίδια την περιοχή. Τα ΓΣΠ διαχειρίζονται δύο βασικά στοιχεία i) τις χαρτογραφικές και ii) τις ποσοτικές πληροφορίες. Ως χαρτογραφικές πληροφορίες ορίζονται αυτές που δίνουν τη δυνατότητα της απεικόνισης του χώρου σε ένα επίπεδο (οθόνη υπολογιστή, χαρτί κ.λ.π.) υπό κλίμακα, ενώ ως ποσοτικές πληροφορίες ορίζονται τα δεδομένα τα οποία περιγράφουν φαινόμενα που συμβαίνουν στο χώρο (π.χ., πληθυσμός μιας συγκεκριμένης περιοχής) (Παππάς Β. 1998).



Τα ΓΣΠ ανάλογα με τον τρόπο αποθήκευσης και επεξεργασίας των χαρτογραφικών δεδομένων διαχωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες: α) σε αυτά που βασίζονται στην τεχνολογία διανύσματος (Vector) β) σε αυτά που βασίζονται στην τεχνολογία κανάβου (raster)

Στη πρώτη κατηγορία ανήκουν τα ΓΣΠ στα οποία η αποθήκευση των γεωμετρικών δεδομένων γίνεται χρησιμοποιώντας τις αναλυτικές συντεταγμένες των δομικών στοιχείων. Η φιλοσοφία της διανυσματικής μεθόδου, στηρίζεται στην ανάλυση του χάρτη σε επιμέρους τμήματα, τα οποία περιγραφόμενα κατάλληλα τον αποδίδουν σε μια ψηφιακή μορφή.

Στη δεύτερη κατηγορία κατατάσσονται τα συστήματα στα οποία τα χαρτογραφικά δεδομένα θεωρούνται ως ένα ενιαίο σύνολο που ονομάζεται ψηφιδωτό (raster). Το βασικό δομικό στοιχείο του ψηφιδωτού είναι το εικονοστοιχείο (picture elements: pixels). Το κάθε εικονοστοιχείο χαρακτηρίζεται από τρεις τιμές. Τη χωρική θέση του στο επίπεδο, που ορίζεται από τις συντεταγμένες  $x$  και  $y$  και του ποσοστού ανάκλασης, της κάλυψης γης, όπως αυτό κλιμακώνεται σε τιμές από 0 –255 (0 = μαύρο, πλήρης απορρόφηση και 255=λευκό, πλήρης ανάκλαση). ( Παρασχάκης Ι. 1990).

Από τα παραπάνω γίνεται αντιληπτό ότι η δημιουργία και η διαχείριση μιας ψηφιακής χαρτογραφικής δομής, απαιτούν την ύπαρξη εξειδικευμένων προγραμμάτων, τα οποία θα διεκπεραιώνουν χαρτογραφικές διαδικασίες. Τέτοια προγράμματα γνωστά ως αυτοματοποιημένα χαρτογραφικά συστήματα, CAC (Computer Assisted Cartography) αποτελούνται από επί μέρους, ανεξάρτητα μεταξύ τους υποπρογράμματα, τα οποία αλληλοϋποστηρίζονται. Το λογισμικό ενός συστήματος CAC απαρτίζεται από διάφορα προγράμματα. Αυτά ασχολούνται με

- τη διαχείριση και απεικόνιση γραφικών, χαρτογραφικών προβολών,
- τη διαχείριση γεωμετρικής πληροφορίας,
- τη διαχείριση θεματικής πληροφορίας,
- τη δημιουργία και διαχείριση χαρτογραφικών συμβόλων, γραμματοσειρών και
- τη δημιουργία βάσης χαρτογραφικών δεδομένων.

Ένα ΓΣΠ αποτελείται από ένα δυναμικό σύνολο εργαλείων που χρησιμοποιούνται για τη συλλογή, αποθήκευση, κατά βούληση ανάκτηση, μετατροπή και απεικόνιση χωρικών δεδομένων από τον πραγματικό κόσμο για ένα συγκεκριμένο σύνολο. Τα γεωγραφικά δεδομένα αναπαριστούν φαινόμενα από τον πραγματικό κόσμο αναφορικά με:

1. τη θέση τους σχετικά με ένα γνωστό σύστημα συντεταγμένων
2. τα ποιοτικά και ποσοτικά χαρακτηριστικά που είναι άσχετα με τη θέση τους όπως χρώμα, κόστος περιστατικό επιδημίας κλπ
3. τις χωρικές συσχετίσεις μεταξύ τους που περιγράφουν το πώς συνδέονται τα γεωγραφικά δεδομένα μεταξύ τους. Οι χωρικές συσχετίσεις είναι γνωστές ως τοπολογία και περιγράφουν το χώρο και τις χωρικές ιδιότητες που παραμένουν ανεπηρέαστες από συνεχείς διαστρεβλώσεις. Μια τέτοια ιδιότητα είναι και η συνδετικότητα.

Στις αρχές της δεκαετίας του '90 τα λογισμικά των ΓΣΠ ήταν χωρισμένα σε αυτά που υποστήριζαν τη διανυσματική δομή και αυτά που υποστήριζαν τη ψηφιδωτή. Κατά τη προσπάθεια συνδυασμού των δύο πληροφοριών για την εξαγωγή πολύτιμων συμπερασμάτων για συγκεκριμένη περιοχή παρουσιάστηκαν διάφορα προβλήματα, όπως για παράδειγμα το μεγάλο χρονικό διάστημα που ήταν απαραίτητο για την εκπόνησή των ανωτέρων. Πλέον είναι φανερή η βελτίωση των λογισμικών από άποψη ευχρηστίας και λειτουργικότητας. Διάφορα λογισμικά απαραίτητα για την επεξεργασία αεροφωτογραφιών, δορυφορικών εικόνων, χαρτογραφικών δομών ψηφιδωτής μορφής (raster format) και χαρτογραφικών δομών διανυσματικής μορφής (vector format), παρέχουν μεγάλη ευελιξία στη συλλογή και επεξεργασία των δεδομένων αφού με το πέρασμα του χρόνου τείνουν να ενοποιηθούν. Τα δημοφιλέστερα επαγγελματικά πακέτα λογισμικού για την ανάλυση ψηφιακών εικόνων είναι τα ERDAS, PACE MAKE, ER MAPER, ενώ ημιεπαγγελματικά ή εκπαιδευτικά είναι τα ILWIS, το IDRISI και το GRASS τα οποία ενσωματώνουν και λειτουργίες διανυσματικές. Αντίστοιχα τα πιο γνωστά λογισμικά επεξεργασίας διανυσματικών δεδομένων είναι τα ARC/INFO, ARC/VIEW, MAPINFO, MICROSTATION (INTERGRAPH), με δυνατότητες απεικόνισης αλλά και επεξεργασίας των εικόνων. ( Φαρασλής Ι. 2000)

Ένα από τα υποπρογράμματα που ενσωματώνεται στα χαρτογραφικά συστήματα CAC και έχει όλο και περισσότερες εφαρμογές είναι η οπτικοποιημένη τρισδιάστατη απεικόνιση (3-D) της πληροφορίας στο χαρτογραφικό επίπεδο. Παράδειγμα τέτοιου προγράμματος είναι το TIN (Triangulated Irregular Network) στο οποίο η διαχείριση της 3-D πληροφορίας γίνεται από δίκτυο τριγώνων που αποτελούν και τη μονάδα αναφοράς του προγράμματος (Παρασχάκης, 1990). Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι η απεικόνιση τρισδιάστατων στοιχείων στην οθόνη του υπολογιστή έχει μεγάλες απαιτήσεις σε υπολογιστική ισχύ. Παρόλα αυτά, οι μαθηματικοί αλγόριθμοι που αναπτύχθηκαν για την παρουσίαση ανάγλυφου εδάφους, κλίσεων, προσανατολισμό μιας περιοχής, ύψη κτιρίων έχουν ευρεία εφαρμογή τα τελευταία χρόνια λόγω της ραγδαίας ανάπτυξης της ταχύτητας των επεξεργαστών. Η τρισδιάστατη παρουσίαση καλύπτει ένα μεγάλο φάσμα επιστημονικών και πρακτικών εφαρμογών στη σύγχρονη ζωή όπως: Εφαρμογές από τη χάραξη οδικού δικτύου μέχρι την οριοθέτηση λεκανών απορροής των χειμάρρων, Πολεοδομικές εφαρμογές, χωροταξικές εφαρμογές, καθορισμός θέσεων τοποθέτησης παρατηρητηρίων για δασικές πυρκαγιές, καθορισμός θέσεων για πυλώνες κινητής τηλεφωνίας έως επιλογή τοποθεσίας για την κατασκευή φράγματος με βάση το ανάγλυφο της υπό μελέτης περιοχής.

Πολλά λογισμικά έχουν ενσωματώσει την τρισδιάστατη αναπαράσταση σε κλίμακα ανάλογη για την οποία έχουν κατασκευαστεί. Συνήθως τρεις είναι οι βασικές κατηγορίες χωρίς αυτό να σημαίνει ότι σε ορισμένες περιπτώσεις δεν υπάρχει αλληλοεπικάλυψη μεταξύ τους. Έτσι, τα προγράμματα σχεδίασης αντικειμένων (μηχανολογικά) αποδίδουν κλίμακα συνήθως ένα προς ένα (1:1) για το λεπτομερή σχεδιασμό ενός εξαρτήματος, εργαλείου το οποίο μετέπειτα θα κατασκευαστεί με κάθε λεπτομέρεια με βάση το αρχικό σχέδιο. Τα προγράμματα σχεδίασης κατοικιών (αρχιτεκτονικά) και αποτύπωσης όλων των επιμέρους στοιχείων του, όπως σκεπή, εξωτερική επένδυση των τοίχων αποδίδουν κλίμακα ένα προς πενήντα (1:50) ή ένα προς εκατό (1:100). Τέλος τα προγράμματα πολεοδομικού - χωροταξικού σχεδιασμού (γεωγραφικά) ξεκινούν από την αποτύπωση μιας πόλης, ενός οικισμού και μπορούν να φτάσουν σε επίπεδο περιφέρειας δηλαδή σε κλίμακα από ένα προς χίλια (1:1000) έως και ένα προς διακόσιες χιλιάδες (1:200000) ή και μικρότερη. Στην περίπτωση αναζήτησης εργαλείου για το σχεδιασμό τοπικών συστημάτων διαχείρισης του χώρου, όπως είναι κατανοητό, χρησιμοποιήθηκε ένα λογισμικό που ανήκει στην τρίτη

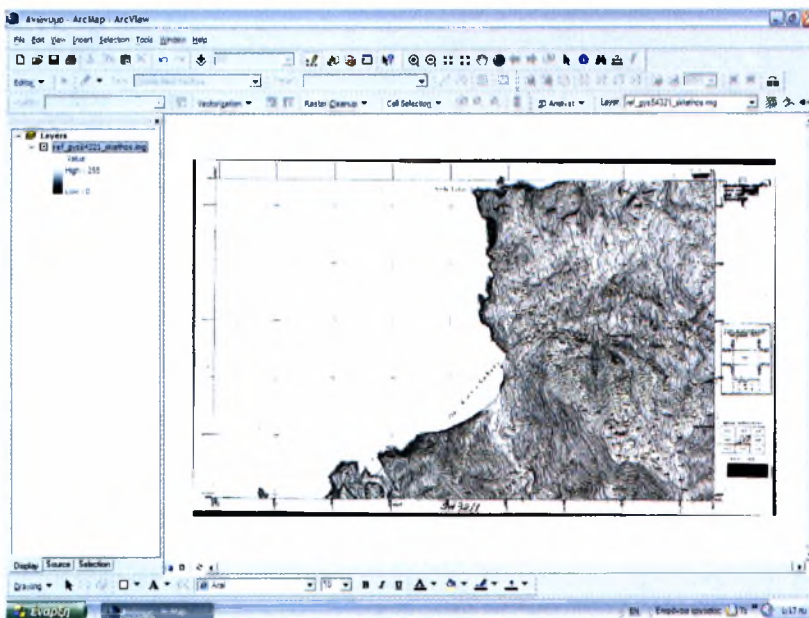
κατηγορία. Αυτό το λογισμικό είναι το ERDAS Imagine 8.3.1 της εταιρίας ERDAS Inc. που έχει έδρα στην Καλιφόρνια των ΗΠΑ ( Φαρασλής Ι. 2000)

## 1.2. Μεθοδολογία για τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους

Στα πλαίσια της παρακάτω εργασίας έγινε χρήση του λογισμικού *ArcGIS* με σκοπό την ψηφιοποίηση και την περαιτέρω δημιουργία του ψηφιακού μοντέλου εδάφους της Σκιάθου. Το μοντέλο αυτό χρησιμοποιήθηκε σαν βοηθητικό εργαλείο, για την επιβεβαίωση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης, που παρουσιάζονται σε επόμενα κεφάλαια. Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την διεκπεραίωση των παραπάνω είναι τα εξής:

### 1.2.1. Συλλογή δεδομένων

Αρχικά πραγματοποιήθηκε συλλογή τοπογραφικών χαρτών της Σκιάθου. Τα δεδομένα ήταν διαθέσιμα σε αναλογική μορφή. Γι' αυτό έπρεπε να μετατραπούν σε ψηφιακή με τη βοήθεια του σαρωτή (scanner). Η κλίμακα αυτών είναι 1:5000 και η υψομετρική διαφορά των ισοϋψών κυμαίνεται από 0 έως 412 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Στη συνέχεια ακολουθήθηκαν μια σειρά από διαδοχικά βήματα για την επεξεργασία του και τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής μελέτης.

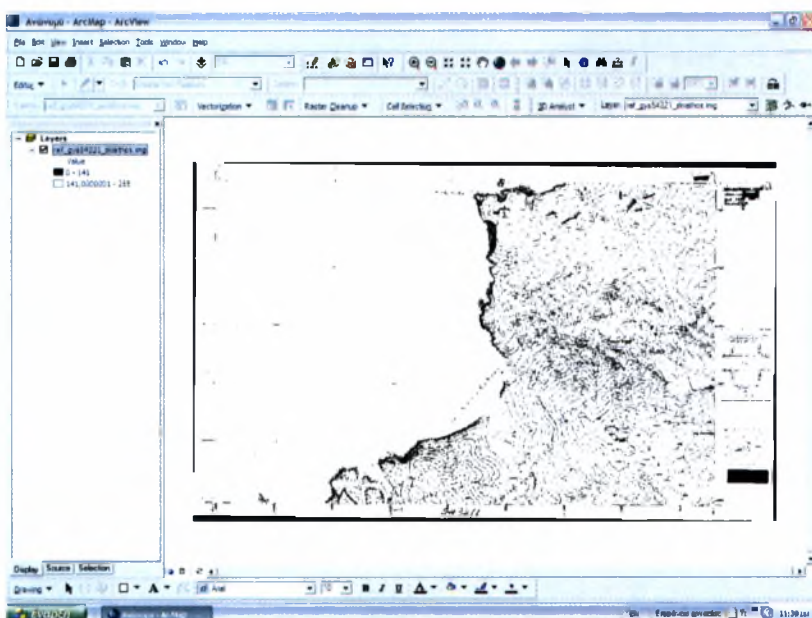


Εικόνα 1.1.:Μέρος τοπογραφικού χάρτη της Σκιάθου

### 1.2.2. Ενέργειες πριν την ψηφιοποίηση του χάρτη

Κάθε τοπογραφικό διάγραμμα έπρεπε να έχει ένα σύστημα αναφοράς. Για την Ελληνική επικράτεια χρησιμοποιείται το ελληνικό σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ '87. Σε αυτό το πλαίσιο κάθε χάρτης γεωαναφέρθηκε δημιουργώντας ένα μωσαϊκό χαρτογραφικών υποβάθρων που κάλυπτε το σύνολο της επιφάνειας του νησιού.

Έχοντας εισάγει το υπόβαθρο (τοπογραφικό χάρτη) στην κατάλληλη μορφή κι έπειτα από μια σειρά διαδικασιών που εξηγούνται αναλυτικά στο παράρτημα, είμαστε σε θέση να ξεκινήσει η ψηφιοποίηση, όπως φαίνεται και παρακάτω:



Εικόνα 1.2.: Υπόβαθρο (τοπογραφικός χάρτης) στην κατάλληλη μορφή

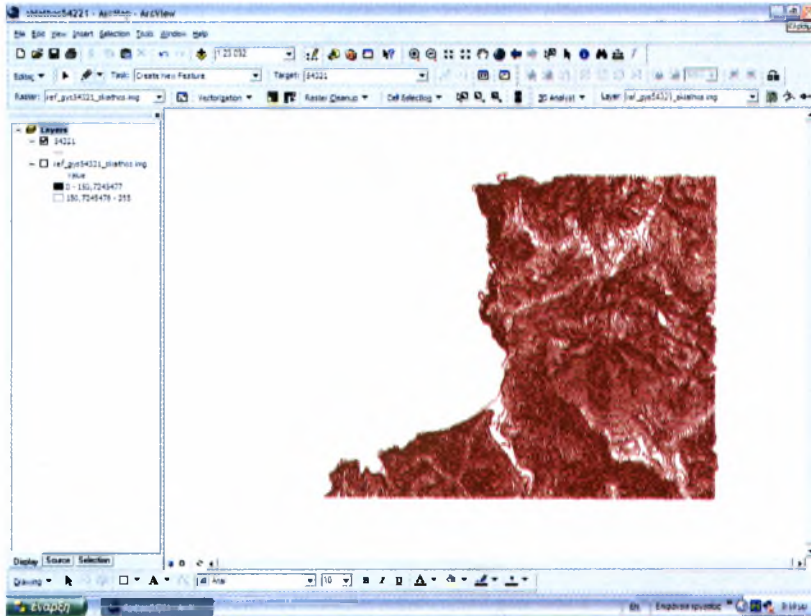
### 1.2.3. Ψηφιοποίηση του χάρτη

Διάφορα εργαλεία επιτρέπουν την ημιαυτόματη μετατροπή των υψομετρικών καμπύλων σε διανυσματική πληροφορία. Σε κάθε ισοϋψή καταγραφόταν και η αντίστοιχη υψομετρική πληροφορία στη βάση δεδομένων.

Η ψηφιοποίηση ξεκίνησε από εκείνο το σημείο για το οποίο είμαστε σίγουροι για την υψομετρική διαφορά της ισοϋψούς γραμμής και συνεχίζουμε στις επόμενες



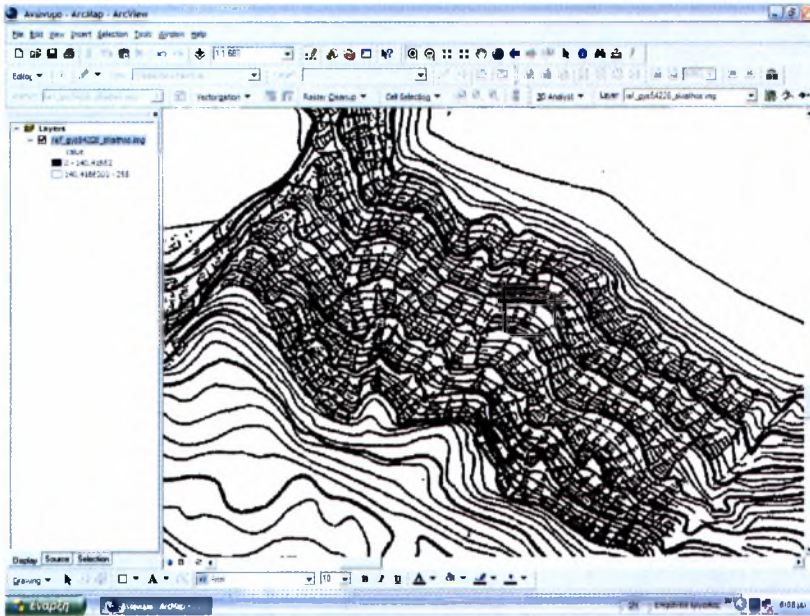
υπολογίζοντας τες αριθμητικά, γνωρίζοντας ότι απέχουν μεταξύ τους 4 μ. Εκτελώντας διαδοχικά μια σειρά από εντολές (για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. παράρτημα) για όλες τις ισοϋψείς, οδηγούμαστε σταδιακά στο παρακάτω αποτέλεσμα:



Εικόνα 1.3.: Μετατροπή των υψομετρικών καμπύλων σε διανυσματική πληροφορία.

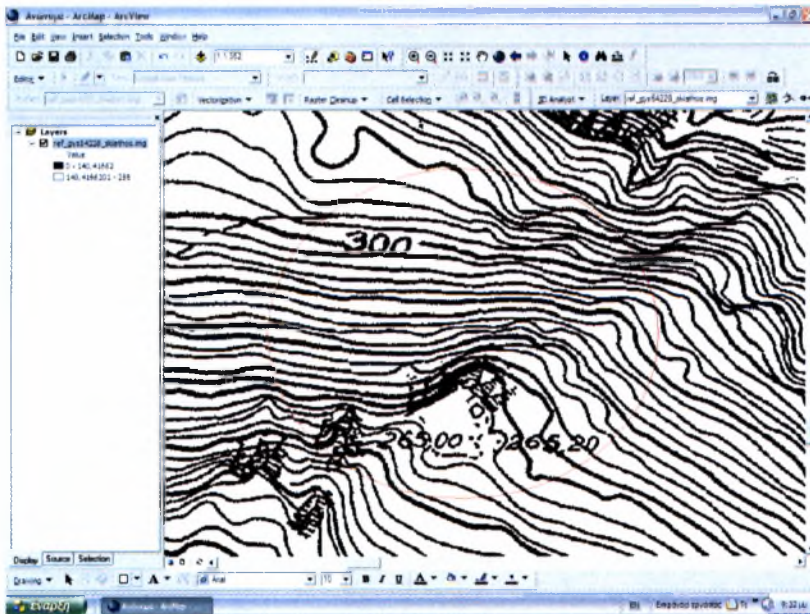
### 1.3. Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη ψηφιοποίηση του τοπογραφικού χάρτη

Σε γενικές γραμμές θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε τους χάρτες που ψηφιοποιήσαμε αρκετά «καθαρούς» και λεπτομερείς. Βέβαια υπήρξαν ορισμένα σημεία που μας δυσκόλεψαν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο χάρτης 54228 στον οποίο σε πολλά σημεία του το ανάγλυφο ήταν αρκετά έντονο ώστε οι ισοϋψείς να μην είναι εμφανείς, με αποτέλεσμα η ψηφιοποίηση να καταστεί περισσότερο δύσκολη και χρονοβόρα.



Εικόνα 1.4.: Έντονα σχεδιασμένο ανάγλυφο στον τοπογραφικό χάρτη

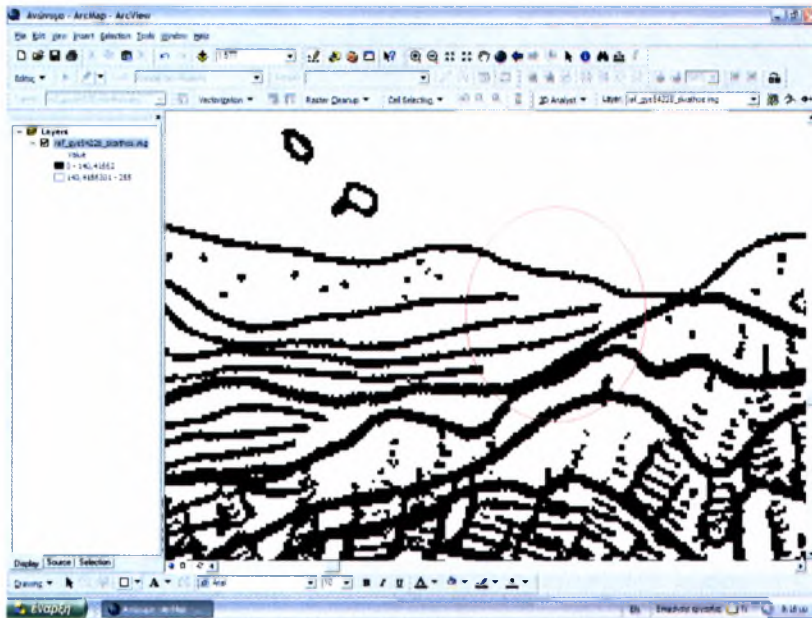
Επιπρόσθετα υπήρχαν ορισμένα λάθη στην αρίθμηση των ισοϋψών, όπως φαίνεται και παρακάτω, όπου η συγκεκριμένη γραμμή φαίνεται, σύμφωνα με το υπόβαθρο, να απέχει 300 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ στην πραγματικότητα και σύμφωνα και με τις πιο κοντινές σε αυτήν ισοϋψείς απέχει 200 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 1.5.: Λανθασμένη αρίθμηση ισοϋψών



Επιπλέον σε αρκετά σημεία οι ισοϋψείς ταυτίζονταν και τέλος σε άλλα σημεία διακόπτονταν με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εύρεση της ακριβούς τους θέσης.



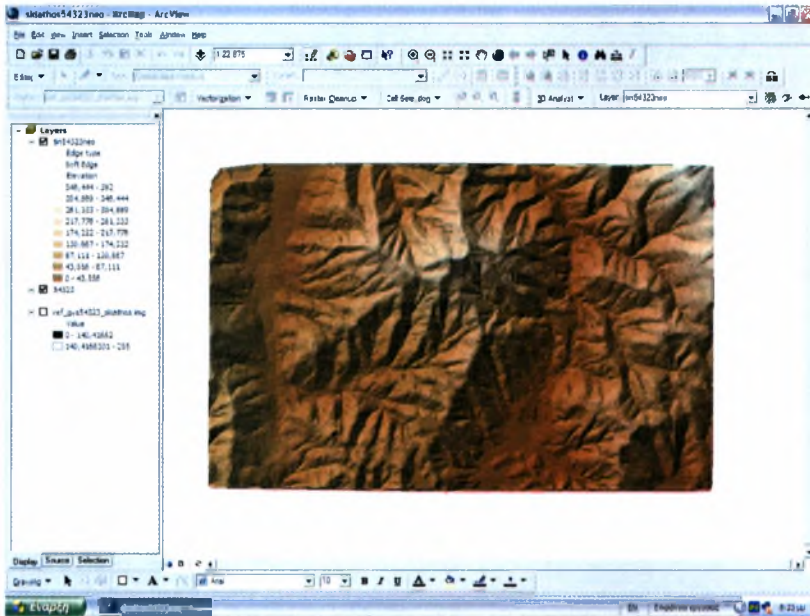
Εικόνα 1.6.: Διακοπή και ταύτιση ισοϋψών

#### 1.4. Επεξεργασία ισοϋψών- Αποτελέσματα

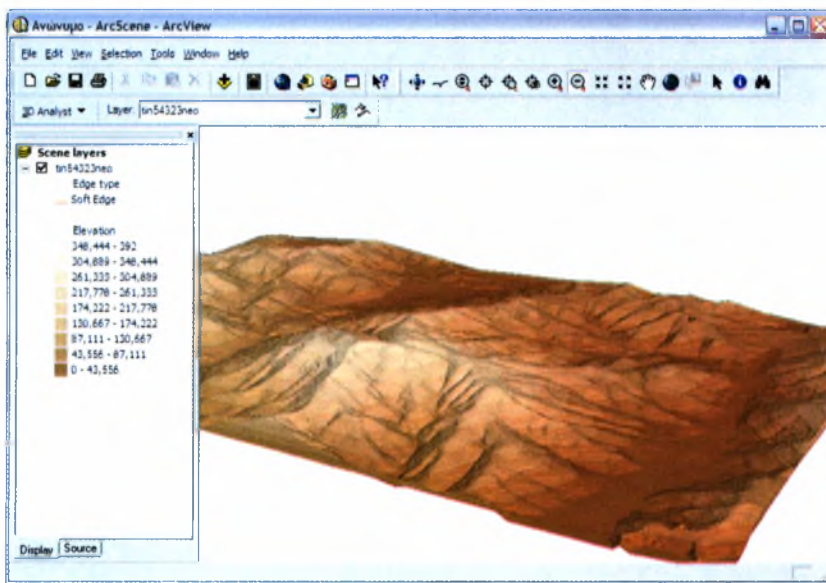
Ο βασικός σκοπός ψηφιοποίησης των ισοϋψών ήταν η δημιουργία του ανάγλυφου (ψηφιακού μοντέλου εδάφους) της περιοχής μελέτης. Μέσα από μια σειρά διαδικασιών που ακολουθήθηκαν για τον σκοπό αυτό μπορούν να προβληθούν δεδομένα σε τρισδιάστατη μορφή, από οποιαδήποτε οπτική γωνία. Επίσης παρέχεται η δυνατότητα προσδιορισμού περιοχών που φαίνονται οπτικά από κάποια δοσμένα σημεία και δημιουργίας γραμμών οπτικής διαθεσιμότητας από ένα σημείο σε άλλο. Τέλος είναι εφικτό πλέον να δημιουργηθούν χάρτες κλίσεων και προσανατολισμού εδαφών, μηκοτομές και να οριστεί το υψόμετρο διαφόρων σημείων σε κάποια επιφάνεια. (Κουτσόπουλος Κ. 1990)

Για να δημιουργηθούν χάρτες των κλίσεων του εδάφους από την επεξεργασία των υψομετρικών καμπύλων και της ακτογραμμής εκτελεστήκαν μια σειρά από εντολές (για περισσότερες λεπτομέρειες βλ. παράρτημα) σε ένα παράδειγμα δημιουργίας ψηφιακού μοντέλου εδάφους στην περιοχή της Σκιάθου και προέκυψε τα παρακάτω

αποτέλεσμα, όπου με το πλέον σκούρο χρώμα απεικονίζονται οι επιφάνειες με υψομετρική διαφορά από 0μ. έως 43,556μ. και με το πλέον ανοιχτό χρώμα εκείνες με υψομετρική διαφορά από 384,444μ. έως 392μ. από την επιφάνεια της θάλασσας.



Εικόνα 1.7.: Ψηφιακό ανάγλυφο περιοχής της Σκιάθου σε τρισδιάστατη απεικόνιση



Εικόνα 1.8 : Ψηφιακό ανάγλυφο περιοχής της Σκιάθου σε τρισδιάστατη απεικόνιση με δυνατότητα εξέτασης του από οποιαδήποτε οπτική γωνία.

## 2. Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας στην τηλεπισκόπηση

### 2.1. Τηλεπισκόπηση

#### 2.1.1. Εισαγωγικά

Το πεδίο της τηλεπισκόπησης ως επιστήμης έχει οριστεί αρκετές φορές. Η Τηλεπισκόπηση είναι η απόκτηση της φυσικής πληροφορίας ενός αντικειμένου χωρίς άγγιγμα ή επαφή (Lintz & Simonett 1976), όρος που τελευταία χρησιμοποιείται από έναν αριθμό επιστημόνων για τη μελέτη αντικειμένων (γη, σελήνη επιφάνεια πλανητών κ.α.) από αρκετές μεγάλες αποστάσεις. Ευρέως ορίζεται η Τηλεπισκόπηση ως συνένωση της χρήσης σύγχρονων αισθητήρων (sensors), του εξοπλισμού για την επεξεργασία της πληροφορίας, της θεωρίας της πληροφορίας, της μεθοδολογίας της επεξεργασίας, της θεωρίας της επικοινωνίας και του εξοπλισμού, των δορυφόρων και των αεροπλάνων με σκοπό τη χαρτογράφηση της γήινης επιφάνειας (National Academy of Sciences, 1970). Σύμφωνα με άλλους συγγραφείς, Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τεχνική της αποκόμισης πληροφορίας για ένα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο, μέσα από την ανάλυση της πληροφορίας από ένα μέσο, που δε βρίσκεται σε επαφή με το αντικείμενο, την περιοχή ή το φαινόμενο που εξετάζεται (Lillesand T. & Kiefer R. 1994).

Η ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης και της επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, κατόρθωσε να παρέχει μια σημαντική πηγή δεδομένων για την χαρτογράφηση των χρήσεων και καλύψεων γης και την περιβαλλοντική επίβλεψη. Παλαιότερα η χαρτογράφηση των εδαφών γινόταν με την βοήθεια της αεροφωτογραφίας, μια διαδικασία δύσκολη και χρονοβόρα λόγω της μικρής έκτασης εδάφους που μπορούσε να καταγραφεί. Όμως, η τεχνολογική πρόοδος των δορυφόρων και των καταγραφικών τους συστημάτων για την επιφάνεια του εδάφους απλοποίησε τα πράγματα. Πλέον οι δορυφόροι καταγράφουν εικόνες της γήινης επιφάνειας μεγάλης έκτασης και υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας. Με τον χρόνο περιοδικότητας των λήψεων να κυμαίνεται σε μερικές ημέρες, τα δεδομένα αναβαθμίζονται συνεχώς και ο έλεγχος μιας

περιοχής είναι πλήρης και συνεχής. Ωστόσο, η απλή παρατήρηση των δορυφορικών εικόνων δεν μπορεί να παράγει ικανοποιητικά αποτελέσματα για ενδεχόμενες αλλαγές στην κάλυψη του εδάφους. Χρειάζεται ένα εργαλείο χωρικής ανάλυσης που να μπορεί να επεξεργαστεί τα δεδομένα και να παράγει και να αναλύει τα αποτελέσματα. Το εργαλείο αυτό είναι τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών - GIS.

### 2.1.2. Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης

Η τηλεπισκόπηση, ως αναπτυσσόμενη επιστήμη, μέσω των δορυφορικών εικόνων και των αεροφωτογραφιών, παρέχει πλέον ένα ιδιαίτερο ευρύ φάσμα πληροφοριών και χαρακτηριστικών για την επιφάνεια της γης που δεν ήταν εμφανή και αξιοποιήσιμα με τη χρήση άλλων μέσων του παρελθόντος. Σήμερα οι τομείς στους οποίους εφαρμόζεται με αρκετά μεγάλη επιτυχία η Τηλεπισκόπηση είναι οι παρακάτω:

1. Στην *Γεωλογία, Γεωμορφολογία και Γεωδαισία*, με τον προσδιορισμό του τύπου του γεωλογικού στρώματος, τον εντοπισμό γεωλογικών ρηγμάτων και ανωμαλιών και την παρατήρηση τεκτονικών κινήσεων ακόμα και τον εντοπισμό ορυκτών (Lillesand T. & Kiefer R. 1994).
2. Στην *Γεωργία, Δασολογία και Βοτανολογία*, με την εμφάνιση της έκτασης, του τύπου βλάστηση και της κατάστασης της υγείας της, έτσι ώστε να προσδιορίζονται τα παράσιτα και οι ασθένειες των φυτών, η περιεκτικότητα τους σε νερό και η πρόβλεψη του όγκου της παραγωγής.
3. Στην *Ωκεανογραφία*, με την καταγραφή της θερμοκρασίας της επιφάνειας της θάλασσας, την χαρτογράφηση των θαλάσσιων ρευμάτων και του φάσματος της ενέργειας που προέρχεται από τα κύματα.
4. Στην *Μετεωρολογία*, με την παρουσίαση του προφίλ της ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας, πίεσης και υδατικής εξάτμισης και τη μέτρηση της ταχύτητας του ανέμου.
5. Στην *Υδρολογία*, με την καταγραφή των υδάτινων πόρων, την πρόβλεψη της ροής του ύδατος (και του προερχόμενου από πάγους), της εύρεσης του ποσοστού ευτροφισμού των λιμνών και της μολυσμένης επιφάνειας των



- θαλασσών, μερικές φορές ακόμη και του τύπου της μόλυνσης (το πετρέλαιο διαφέρει από τις αποθέσεις χρωμάτων).
6. Στον έλεγχο φυσικών καταστροφών, με προειδοποίηση για καταιγίδες, χιονοστιβάδες πλημμύρες, κατολισθήσεις, πυρκαγιές, καθώς επίσης και με την καταγραφή της πληγείσας έκτασης.
  7. Στην Τοπογραφία και Χαρτογραφία, με την λήψη ακριβών υψομετρικών δεδομένων και ένταξή τους σε ένα δεδομένο σύστημα συντεταγμένων, καθώς και την παραγωγή και ανανέωση χαρτών.
  8. Στην Χωροταξία και Σχεδιασμό Χώρου με την δημιουργία απογραφών χρήσεως γης, τον έλεγχο των διαχρονικών αλλαγών του δομημένου χώρου, την καταγραφή πόρων και την απογραφή κυκλοφοριακών δικτύων, τις εκτιμήσεις πληθυσμού και της ποιότητας του δομημένου χώρου.
  9. Για στρατιωτική χρήση, με τη καταγραφή της κινήσεως οχημάτων και στρατιωτικών σχηματισμών και τον εντοπισμό στρατιωτικών εγκαταστάσεων.

### 2.1.3. Τηλεπισκόπηση και Αστικός Χώρος

Με σκοπό να εφαρμοστούν με ακρίβεια κυβερνητικές πολιτικές και προγράμματα, οι πολεοδόμοι χρειάζονται δεδομένα πρόσφατα και συνεχόμενα αλλά και χάρτες που να ενημερώνονται και να εμπλουτίζονται ανά τακτά χρονικά διαστήματα με νέα στοιχεία. Οι κάθετες αεροφωτογραφίες αποτελούν για την τηλεπισκόπηση σημαντικό εργαλείο για αστικές εφαρμογές. Ωστόσο δορυφόροι υψηλής διακριτικής ικανότητας όπως ο SPOT, ο IRS-D και ο IKONOS 1×1m panchromatic έχουν βαθμιαία αναδειχθεί σε μελλοντικές πηγές τροφοδοσίας ψηφιακών δεδομένων για τον αστικό σχεδιασμό και την πολεοδομία. Οι εικόνες του SPOT, του IRS-D και του IKONOS έχουν αποδείξει ότι η χωρική ανάλυση των αεροφωτογραφιών μπορεί επίσης να αποκτηθεί και από τις δορυφορικές εικόνες. Ένα βασικό πλεονέκτημα της χρήσης δορυφορικών δεδομένων στον αστικό σχεδιασμό είναι η ταχύτητα με την οποία ανανεώνεται η πληροφορία. Πολεοδομικοί χάρτες μπορούν εύκολα να ανανεωθούν

κάθε έξι μήνες ή κάθε χρόνο ανάλογα με τη σκοπιμότητα της χρήσης τους. Ο προϋπολογισμός μιας ενδεχόμενης τέτοιας ανανέωσης θα είναι πολύ μικρός σε σύγκριση με το κόστος απόκτησης αεροφωτογραφιών με την ίδια συχνότητα.

Οι μέθοδοι της τηλεπισκόπησης χρησιμοποιούνται ανάλογα με τη διακριτική ικανότητα των δορυφορικών δεδομένων, σε πλήθος εφαρμογών που αφορούν την Πολεοδομία, την Χωροταξία και την Περιφερειακή Ανάπτυξη (Κυρίμης Κ. & Μπέτσης Α. 1998). Ιδιαίτερα στον αστικό χώρο, οι εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης και των τεχνικών της δύνανται να εξετάσουν και να προτείνουν λύσεις στα παρακάτω ζητήματα:

- Επέκταση του αστικού χώρου
- Δίκτυα και Μεταφορές
- Τουρισμός
- Χρήσεις- Κάλυψη γης

Όσον αφορά την τελευταία περίπτωση αξίζει να σημειωθούν τα εξής. Η μέθοδος της Τηλεπισκόπησης γίνεται ολοένα και περισσότερο αναγκαία στην χαρτογράφηση των χρήσεων –καλύψεων γης για τους ακόλουθους λόγους:

- Εικόνες που καλύπτουν ακόμα και πολύ μεγάλες εκτάσεις μπορούν να αποκτηθούν άμεσα.
- Ανάλογα με το βαθμό λεπτομέρειας που απαιτεί η χαρτογράφηση, είναι δυνατή η απόκτηση εικόνων με την κατάλληλη χωρική διακριτική ικανότητα .
- Ελαχιστοποιούνται τα προβλήματα πρόσβασης στην περιοχή μελέτης που δημιουργούνται στις επίγειες χαρτογραφήσεις.
- Οι δορυφορικές εικόνες παρέχουν απεικόνιση για το σύνολο της περιοχής.
- Η ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων είναι γρηγορότερη και πιο οικονομική από τις επίγειες χαρτογραφήσεις.

- Οι δορυφορικές εικόνες παρέχουν αμερόληπτα δεδομένα, καλύπτοντας μεγάλες περιοχές συγκεκριμένων χρήσεων καλύψεων γης, όπως π.χ δάσος, καλλιέργειες, αστικό κ.α.

Υπάρχουν βέβαια και μειονεκτήματα στην χαρτογράφηση με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων όπως:

- Διαφορετικοί τύποι χρήσεων γης μπορεί να μην διακρίνονται από τις δορυφορικές εικόνες.
- Το κόστος χαρτογράφησης με δορυφορικές εικόνες μπορεί να είναι αρκετά υψηλό και γενικότερα ασύμφορο για την χαρτογράφηση μικρών περιοχών. (Καργιοπούλης Χ. 2001)

## 2.2. Ταξινόμηση εικόνας

### 2.2.1. Ταξινόμηση ψηφιακής εικόνας

Η ταξινόμηση είναι κυρίως η μέθοδος της πολυδιάστατης Στατιστικής και αφορά στον διαχωρισμό αντικειμένων και την καταχώριση τους σε δύο ή περισσότερες ομάδες ή τάξεις. Πρώτος στόχος της ταξινόμησης είναι η περιγραφή της «διαφοροποίησης» των αντικειμένων. Δεύτερος στόχος είναι η επιλογή του κατάλληλου αλγορίθμου ώστε να διαχωριστούν τα αντικείμενα σε δύο ή περισσότερες ομοειδείς τάξεις.

Με τον όρο ταξινόμηση φασματικών δεδομένων εννοείται η διαδικασία καταχώρισης κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας σε κάποια χρήση ή κάλυψη που βρίσκονται στην επιφάνεια της γης, δηλ. εδάφους, νερού, βλάστησης και στις ανθρώπινες κατασκευές. Τα χαρακτηριστικά των εικονοστοιχείων της εικόνας είναι οι ραδιομετρικές τους τιμές, δηλαδή το ποσοστό ανάκλασης της ηλιακής ακτινοβολίας εκπεφρασμένο σε τιμές 0 έως 255 (0=μαύρο, πλήρης απορρόφηση και 255=λευκό, πλήρης ανάκλαση της ηλιακής ακτινοβολίας). (Συλλαίος 2000)



Η ταξινόμηση ψηφιακής εικόνας είναι η διαδικασία αντιστοίχισης ή τοποθέτησης των τιμών φωτεινότητας των ψηφιδών (εικονοστοιχείων) σε ομάδες που παρουσιάζουν την ίδια μορφή και τις ίδιες περίπου ιδιότητες. Σε μια μελέτη αξιολόγησης του νερού για παράδειγμα, ένα πρώτο βήμα θα ήταν να χρησιμοποιηθεί η ταξινόμηση της εικόνας ώστε να αναγνωριστούν όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας που αντιστοιχούν στο νερό. Περαιτέρω βήματα ταξινόμησης μπορεί να δώσουν έμφαση σε λεπτομερέστερη μελέτη των εικονοστοιχείων αυτών, ώστε να χαρτογραφηθεί η ποιότητα του νερού, το βάθος του πυθμένα κ.ο.κ.

Τρεις είναι οι βασικές μέθοδοι ταξινόμησης. Αυτές είναι η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification), η επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification) και η υβριδική ταξινόμηση (hybrid classification). Στη διαδικασία της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης τα εικονοστοιχεία (pixels) μιας εικόνας διαχωρίζονται σε φασματικές τάξεις χωρίς ο χρήστης να γνωρίζει εκ των προτέρων τίποτα για την ύπαρξη ή το είδος της πληροφορίας (δάσος, νερό αγροτική περιοχή κ.α.) που περιέχεται σε κάθε φασματική τάξη. Από την άλλη πλευρά στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι απαραίτητη εξ αρχής η ύπαρξη δειγμάτων γνωστής ταυτότητας στην εικόνα και στη συνέχεια, αφού υπολογιστούν τα στατιστικά στοιχεία των γνωστών αυτών δειγμάτων, καταχωρούνται τα υπόλοιπα αταξινομήτα στοιχεία σε τάξεις. Τελευταία αναπτύχθηκαν τεχνικές στηριζόμενες στην ασαφή λογική, στα νευρωνικά δίκτυα και στην ταξινόμηση υπο-εικονοστοιχείων (sub-pixel classification).

Με τη διαδικασία ταξινόμησης της εικόνας δημιουργούνται ομοιόμορφες «τάξεις» εικονοστοιχείων σε σχέση με τις φασματικές τους τιμές. Οι τάξεις αυτές έχουν κάποια φυσική σημασία από τη στιγμή που θα αντιστοιχηθούν σε ομάδες πληροφορίας (π.χ νερό, αστική περιοχή, δάσος). Το είδος της αντιστοιχίας αυτής ποικίλει. Κάποιες φορές είναι προφανής, αφού πολλές ομάδες πληροφοριών αναγνωρίζονται από το μέγεθος τους, τις μορφές τους και τη θέση τους, ενώ άλλες η αντιστοιχία είναι πολύπλοκη, αφού οι «φασματικές τάξεις» δεν αντιστοιχούν πλήρως στις «τάξεις πληροφορίας».

### 2.2.2. Φασματικές υπογραφές

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

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

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

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

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

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

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

### 2.2.3. «Ανελαστικοί» Ταξινομητές

Οι ανελαστικοί ταξινομητές ονομάζονται έτσι γιατί καταλήγουν σε μια ανελαστική απόφαση για την τάξη στην οποία ανήκει το εικονοστοιχείο. Στηρίζονται σε μια λογική, στην οποία περιγράφεται η αναμενόμενη θέση μιας κλάσης (βασισμένη σε δεδομένα περιοχής εκπαίδευσης) στο σύστημα των καναλιών (band spaces) και κατόπιν εκτιμάται η θέση του κάθε εικονοστοιχείου που πρόκειται να ταξινομηθεί, στο ίδιο σύστημα καναλιών, σε σχέση με τη θέση των κλάσεων. Στην κατηγορία των ανελαστικών ταξινομητών ανήκουν οι εξείς: (1) της Ελάχιστης Απόστασης από το Μέσο Όρο, (2) της ορθογώνιας παραλληλεπιπεδοειδούς και (3) της Μέγιστης Πιθανοφάνειας. Οι ανελαστικοί ταξινομητές διακρίνονται σε αυτούς της Επιβλεπόμενης ταξινόμησης και Μη Επιβλεπόμενης ταξινόμησης. (Συλλαίος 2000)

### 2.2.4. Επιβλεπόμενη ή καθοδηγούμενη ταξινόμηση (supervised classification)

Στα πλαίσια της επιβλεπόμενης ταξινόμησης γίνεται χρήση γνωστών δειγμάτων εδαφικής κάλυψης στην εικόνα με σκοπό να ταξινομηθούν οι υπόλοιπες ψηφίδες της εικόνας. Αρχικά καθορίζονται περιοχές για «εκπαίδευση» (training fields) του αλγορίθμου ταξινόμησης, οι οποίες ευκρινώς απεικονίζουν περιοχές γνωστής εδαφικής κάλυψης. Τέτοιες περιοχές αποτελούν τυπικά δείγματα των φασματικών ιδιοτήτων των

ομάδων των εικονοστοιχείων που αντιπροσωπεύουν, οι οποίες φυσικά πρέπει να είναι ομοιογενείς εφόσον αντιστοιχούν στην ίδια εδαφική κάλυψη. Αξίζει να τονίσουμε ότι είναι βασικό και κρίσιμο βήμα στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση η επιλογή των περιοχών «εκπαίδευσης» του αλγορίθμου. Υπάρχουν διάφοροι αλγόριθμοι επιβλεπόμενης ταξινόμησης όπως:

- Κανόνας του παραλληλεπίπεδου
- Ταξινόμηση με τη μέθοδο της ελάχιστης απόστασης
- Ταξινόμηση με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας

### 2.2.5. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification)

Η μέθοδος αυτή της ταξινόμησης απαιτεί από τον αναλυτή μόνο τον αριθμό των φασματικών κλάσεων που επιθυμεί να διαιρεθεί το σύνολο των εικονοστοιχείων στην εικόνα. Ο αλγόριθμος ταξινόμησης εξετάζει στη συνέχεια τα φασματικά χαρακτηριστικά όλων των εικονοστοιχείων στην εικόνα και με βάση ορισμένες παραδοχές, τα ταξινομεί σε κάποια φασματική κατηγορία, χωρίς όμως να είναι γνωστή η σχέση μεταξύ φασματικής κατηγορίας και της πραγματικής.

Η μέθοδος CLUSTER (ομαδοποίηση) βασίζεται στην τεχνική «επιλογή κορυφής ιστογράμματος». Αυτή η τεχνική είναι ισοδύναμη με την αναζήτηση κορυφών σε ένα μονοδιάστατο ιστόγραμμα, όπου η κορυφή καθορίζεται ως μια τιμή με τη μεγαλύτερη συχνότητα, σε σύγκριση με τις γειτονικές από κάθε πλευρά της κορυφής. Μετά την εύρεση των κορυφών, όλες οι πιθανές τιμές ορίζονται στην πλησιέστερη κορυφή. Με τον τρόπο αυτό, οι υποδιαιρέσεις μεταξύ των κλάσεων τείνουν να πέσουν στα ενδιάμεσα σημεία μεταξύ των κορυφών.

Τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου αυτής είναι τα παρακάτω:

### Πλεονεκτήματα

- Δεν απαιτείται αρχικά γνώση της ύπαρξης και κατανομής των πραγματικών κατηγοριών.
- Η πιθανότητα ανθρώπινου λάθους ελαχιστοποιείται γιατί η παρέμβαση του ανθρώπου αφορά μόνο τον καθορισμό κλάσεων.
- Γίνεται δυνατή η διάκριση μικρών κατηγοριών.
- Οι φασματικές κατηγορίες που δημιουργούνται είναι πολλές φορές ομοιογενέστερες σε σύγκριση με αυτές της επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

### Μειονεκτήματα

- Οι φασματικές κατηγορίες που δημιουργούνται δεν είναι κατ' ανάγκη και πραγματικές κατηγορίες
- Δεν είναι εύκολη η σύγκριση με τις πραγματικές κατηγορίες σε διαχρονική βάση. (Καρτέρης 1994)

#### 2.2.6. «Ελαστικοί ταξινομητές» (soft classifiers)

Οι παραδοσιακοί ταξινομητές, όπως αναφέρθηκε μπορεί να ονομαστούν «ανελαστικοί» διότι αποφασίζουν με τρόπο ανελαστικό για την ταυτότητα του κάθε εικονοστοιχείου. Αντίθετα οι «ελαστικοί» ταξινομητές εκφράζουν το βαθμό στον οποίο ένα εικονοστοιχείο ανήκει σε κάθε μια από τις πιθανές κλάσεις. Για παράδειγμα, ο ταξινομητής αντί να αποφασίσει ότι ένα εικονοστοιχείο είναι κωνοφόρο ή πλατύφυλλο δάσος, μπορεί να υποδείξει ότι ο βαθμός συμμετοχής της πλατύφυλλης κλάσης είναι 43% και της κωνοφόρου 57%. Αντίθετα ένας «ανελαστικός» ταξινομητής θα αποφαινόταν ότι είναι πλατύφυλλο ή κωνοφόρο δάσος. Ένα κίνητρο για τη χρήση «ελαστικών» ταξινομητών είναι ο καθορισμός του μίγματος των κλάσεων εδαφοκάλυψης που υπάρχουν. Αν θεωρηθεί ότι υπάρχουν μόνο αυτές οι δύο κλάσεις,

μπορούμε να καταλήξουμε ότι το εικονοστοιχείο περιέχει 43% πλατύφυλλο και 57% κωνοφόρο δάσος. Αυτή η τεχνική ονομάζεται ταξινόμηση υπο-εικονοστοιχείου.

Ένα άλλο κίνητρο για τη χρήση «ελαστικού» ταξινομητή είναι ο καθορισμός της ισχύος ενός γεγονότος για την εξαγωγή όσο το δυνατόν καλύτερου συμπεράσματος. Σύγχρονα λογισμικά ανάλυσης εικόνας χρησιμοποιούν ειδικούς ελαστικούς ταξινομητές που επιτρέπουν, για παράδειγμα, την υπόθεση ότι υπάρχουν ενδείξεις για πλατύφυλλο δάσος σε βαθμό 26%, για κωνοφόρο σε βαθμό 19% και για κάποιο άγνωστο τύπο σε βαθμό 55%. Αυτό σημαίνει ότι ενώ ένα εικονοστοιχείο έχει κάποιες ομοιότητες με τις περιοχές εκπαίδευσης στην πραγματικότητα ανήκει σε μια άλλη κλάση που ακόμα δεν έχει ορισθεί.

Ένα τρίτο κίνητρο για τη χρήση των «ελαστικών» ταξινομητών είναι ο συσχετισμός με θεματικά υπόβαθρα ΓΣΠ (Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών) και με μοντέλα με σκοπό τη συμπλήρωση των πληροφοριών που χρησιμοποιούνται για να παραχθεί η τελική απόφαση. Για παράδειγμα μπορεί να παραχθεί ένας χάρτης που δείχνει τις πιθανότητες κάθε εικονοστοιχείου να ανήκει σε κάποιο είδος εδαφοκάλυψης π.χ «κατοικημένη περιοχή», με βάση φασματικά δεδομένα. Στη συνέχεια ένα θεματικό υπόβαθρο ΓΣΠ, που περιέχει τους δρόμους της περιοχής, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παραχθεί ένας χάρτης αποστάσεων από τους δρόμους. Από αυτόν μπορεί να υπολογισθεί η πιθανότητα ένα τμήμα της εικόνας να μην είναι κατοικημένη περιοχή (περιοχές μακριά από δρόμους είναι απίθανο να είναι κατοικημένες). Αυτές οι δύο ενδείξεις μπορούν να συνδυαστούν για να στηρίξουν, με μεγαλύτερη βεβαιότητα την πιθανότητα ότι η κλάση υπάρχει. Μια τελική ανελαστική απόφαση μπορεί να ληφθεί με την υποβολή, σε κάποιον «σκληρό ταξινομητή» (hardener), των επιμέρους βαθμών συμμετοχής σε κλάσεις, μια διαδικασία λήψης αποφάσεων που επιλέγει την πιθανότερη εναλλακτική λύση. (Συλλαίος 2000)

Τα είδη των ελαστικών ταξινομητών είναι δύο:

1. Ταξινομητής με βάση την *Bayesian* θεωρία πιθανοτήτων

Είναι ένας ταξινομητής εμπιστοσύνης (confidence classifier). Υποθέτει ότι η μόνη πιθανή ερμηνεία ενός εικονοστοιχείου είναι μία από τις κλάσεις, για τις οποίες υπάρχουν δεδομένα εκπαίδευσης, χωρίς να επιδέχεται την πιθανότητα άγνωστης κλάσης.

2. Ταξινομητής με βάση τη θεωρία *Dempster-Shafer*

Είναι ο σημαντικότερος από τους «ελαστικούς» ταξινομητές. Βασίζεται στη θεωρία Dempster-Shafer, που αποτελεί παραλλαγή της Bayesian θεωρίας πιθανοτήτων, η οποία παραδέχεται σαφώς την πιθανότητα της άγνοιας.



### 3. “Fuzzy” ταξινομήσεις στην τηλεπισκόπηση

#### 3.1. Ασαφής λογική (Fuzzy theory)

Η έννοια της ασαφούς λογικής εισήχθη από τον Zadeh το 1965 και αποτέλεσε πραγματική επανάσταση στη μαθηματική επιστήμη και ειδικότερα στο χώρο της συνολοθεωρίας, απελευθερώνοντας την από Καντοριανή αντίληψη. Σε μικρό χρονικό διάστημα εκδηλώθηκε έντονο ερευνητικό ενδιαφέρον από τους μαθηματικούς και νέες έννοιες με πολλές εφαρμογές άρχισαν να εισάγονται, όπως: Ασαφή Σύνολα (Fuzzy sets), Πλειότιμες Λογικές (Many-valued Logics) κ.λ.π. Η κλασική (Αριστοτέλεια) λογική, αντιμετωπίζει προβλήματα όταν πρέπει να προσαρμοστεί στην πραγματικότητα, γιατί οτιδήποτε δεν μπορεί να χαρακτηριστεί με ένα «ναι» ή με ένα «όχι» χαρακτηρίζεται ως «ασαφές» και εγκαταλείπεται. Παρόλα αυτά αυτή η ασάφεια κρύβει μια πολύ ισχυρή λογική, γιατί η ασάφεια προκαλείται από την πολυπλοκότητα ενός φαινομένου (Kosko 1997). Σε μια τέτοια περίπτωση είναι απαραίτητη μια λογική με περισσότερους παραμέτρους από το «ναι» ή το «όχι». Η θεωρία της ασαφούς λογικής αναπτύχθηκε για να χειριστεί προβλήματα που δεν έχουν αυστηρά όρια ή καταστάσεις στις οποίες τα γεγονότα είναι ασαφώς καθορισμένα. (Μανέτος 2002)

Η θεωρία αυτή αποτελεί μια γενίκευση της κλασικής θεωρίας συνόλων και μια γενίκευση της δυαδικής λογικής. Σύμφωνα με αυτές, ένα σύνολο μπορεί να θεωρηθεί ως μια ομαδοποίηση στοιχείων, τα οποία έχουν ένα τουλάχιστον κοινό χαρακτηριστικό. Αν ένα στοιχείο έχει αυτό το χαρακτηριστικό τότε ανήκει στο σύνολο, ενώ στην αντίθετη περίπτωση δεν ανήκει σε αυτό. Στην θεωρία των συνόλων ασαφούς λογικής, το σύνολο δεν περιορίζεται πια από το δυαδικό (ναι/όχι) ορισμό κάθε μέλους του συνόλου, αλλά επιτρέπει ένα βαθμωτό ορισμό του μέλους. Αυτό σημαίνει, ότι για κάθε στοιχείο μπορεί να προσδιορισθεί το ποσοστό κατά το οποίο ανήκει σε κάθε σύνολο (MIT, 1997a). Το σύνολο που ορίζεται κατ' αυτήν την έννοια, ονομάζεται ασαφές. Για παράδειγμα η ταξινόμηση του πληθυσμού μιας περιοχής σε ομάδες αποκτά άλλη διάσταση καθώς η κάθε ομάδα δεν καθορίζεται από ένα χαρακτηριστικό αλλά από όλα σε διαφορετικά ποσοστά κατά περίπτωση, με αποτέλεσμα η ερμηνεία της κάθε ομάδας να προσεγγίζει με μεγαλύτερη ακρίβεια την πραγματικότητα. Πρωταρχικός στόχος της

ομαδοποίησης είναι να εντοπισθούν κοινές δομές στο δεδομένα, οι οποίες είναι συνήθως τάξεις στις οποίες αποδίδονται τα στοιχεία από τα δεδομένα. Το αποτέλεσμα της διαδικασίας ομαδοποίησης χρησιμοποιείται συνήθως ως ταξινομητής, με τον οποίο αντικείμενα που δεν έχουν αποδοθεί σε γνωστή ομάδα αποδίδονται σε τάξεις. Με άλλα λόγια ταξινομητής είναι το κριτήριο τοποθέτησης ενός αντικειμένου (ή pixel για την τηλεπισκόπηση) σε μια κλάση. Συνεπώς το πλεονέκτημα της ασαφούς ομαδοποίησης είναι ότι τα αντικείμενα αποδίδονται με διαφορετικό βαθμό σε διαφορετικές τάξεις, ενώ στην κλασική ομαδοποίηση κάθε αντικείμενο αντιστοιχεί σε μια ακριβώς τάξη.

### 3.2. Fuzzy σύνολα & Fuzzy γεωγραφικά αντικείμενα

Τα φαινόμενα πραγματικού κόσμου μπορούν να μοντελοποιηθούν ορίζοντας με ακρίβεια και περιγράφοντας με λεπτομέρεια οντότητες όπως πολύγωνα ή επίπεδες συνεχείς περιοχές. Η αβεβαιότητα αντιμετωπίστηκε πιθανοτικά, χρησιμοποιώντας συμβατικές στατιστικές μεθόδους και στατιστική χώρου. Στην συνέχεια παρουσιάζουμε τρόπους αντιμετώπισης της αβεβαιότητας, και ασάφειας χρησιμοποιώντας ασαφή επικαλυπτόμενα σύνολα. Σε αντίθεση με τη θεωρία πιθανοτήτων, η θεωρία ασαφών συνόλων χρησιμοποιεί αρχές παραδεκτών πιθανοτήτων και περιγράφεται χρησιμοποιώντας την συνάρτηση ασαφών μελών (fuzzy membership function). Η συνάρτηση ασαφών μελών επιδέχεται σε διάφορες οντότητες να είναι μερικώς μέλη σε διαφορετικά, επικαλυπτόμενα σύνολα. Τα σύνολα αυτά μπορούν να ορίζονται εξωγενώς, χρησιμοποιώντας το σημασιολογικής δήλωσης (Semantic Import – SI) μοντέλο ή μπορεί να υπολογιστεί από πολλά διαφορετικά δεδομένα χρησιμοποιώντας την μέθοδο των ασαφών k- μέσων (fuzzy k-means). Αν τα αρχικά δεδομένα έχουν μετρηθεί σε σημειακές τοποθεσίες, οι συναρτήσεις μελών μπορούν να απεικονιστούν με παρεμβολή : περιοχές όπου διαφορετικά fuzzy σύνολα τέμνονται είναι θέσεις ‘σύγχυσης’ και μπορούν να αγνοηθούν για να έχουμε ξεκάθαρη οριοθέτηση.

Ως ασάφεια ‘Fuzziness’ χαρακτηρίζουμε μια μορφή ανακρίβειας που χαρακτηρίζει κλάσεις που για διάφορους λόγους δεν είναι δυνατό να έχουν μια αυστηρά ορισμένη οριοθέτηση. Αυτές οι μη ακριβείς ορισμένες κλάσεις ονομάζονται ασαφή σύνολα. Είναι αποδοτικό να χρησιμοποιούμε τα σύνολα αυτά όταν έχουμε να

κάνουμε με διαφορούμενες και ακαθόριστες έννοιες σε μαθηματικά μοντέλα ή μοντέλα αντίληψης εμπειρικών φαινομένων. Σημειώνουμε ότι η χωρική επεξεργασία απαρτίζεται από μια ευρεία κλίμακα εδαφικών διαβαθμίσεων που δεν είναι δυνατό να προβλεφθούν πλήρως. Από την παρατήρηση αυτή προκύπτει και η ανάγκη για τη χρήση της αρχής των ασαφή συνόλων σε γεωγραφικές πληροφορίες. Η θεωρία ασαφή συνόλων αποτελεί γενίκευση μιας περισσότερο γνωστής θεωρίας συνόλων γνωστή ως Boolean λογική. Για το λόγο αυτό πριν προχωρήσουμε στον ορισμό των ασαφή συνόλων είναι σημαντικό να ορίσουμε τα ξεκάθαρα σύνολα.

Ως ξεκάθαρο (Boolean) σύνολο χαρακτηρίζουμε το σύνολο εκείνο όπου όλα τα μέλη του ανήκουν σε μια κλάση η οποία είναι αυστηρά οριοθετημένη. Ο βαθμός που χαρακτηρίζει το κατά πόσο είναι μέλος μια ξεχωριστή παρατήρηση δηλώνεται σαφώς από τη συνάρτηση μέλους  $MF^B$ , η οποία για Boolean σύνολα λαμβάνει τις τιμές 0 ή 1. Αν με  $z$  συμβολίζουμε μια μεταβλητή που μπορεί να λάβει διάφορες τιμές και με  $b_1, b_2$  τα ακριβή όρια ενός συνόλου  $A$  τότε

$$MF^B(z) = 1, \text{ αν } b_1 \leq z \leq b_2,$$

$$MF^B(z) = 0, \text{ αν } z < b_1 \text{ ή } z > b_2.$$

Έχοντας ορίσει τα Boolean σύνολα μπορούμε πλέον να δώσουμε τον μαθηματικό ορισμό των ασαφή συνόλων. Αν με  $Z$  συμβολίζουμε ένα χώρο αντικειμένων, τότε ως *ασαφή σύνολο*  $A$  στο  $Z$  είναι το σύνολο των διατεταγμένων ζευγών

$$A = (z, MF^F_A(z)) \text{ για όλα τα } z \in Z$$

Όπου η συνάρτηση μέλους  $MF^F_A(z)$  είναι γνωστή ως βαθμός μέλους του  $z$  στο  $A$ . Συνήθως η συνάρτηση μέλους λαμβάνει τιμές στο διάστημα  $[0,1]$  με το 1 να αντιστοιχεί σε αντικείμενο που είναι σίγουρα μέλος του  $A$  και 0 σε αντικείμενο που δεν είναι μέλος του  $A$ . Με άλλα λόγια η συνάρτηση μέλους καθορίζει το κατά πόσο το αντικείμενο  $z$  μπορεί να θεωρηθεί ότι ανήκει στο  $A$ . Στο σημείο αυτό αναφέρουμε ότι ένα αντικείμενο μπορεί να είναι κατά διαφορετικούς βαθμούς μέλος διαφορετικών συνόλων. Το πρόβλημα που θέλουμε να λύσουμε είναι να διακρίνουμε τη συνάρτηση μέλους χωρίς αμφιβολίες. Στη συνέχεια θα δούμε πως μπορεί κανείς να επιλέξει τις κλάσεις βασισμένος σε χαρακτηριστικά.

### 3.3. Επιλογή κλάσεων βασισμένη σε συγκεκριμένα χαρακτηριστικά

Σε πολλές περιπτώσεις οι τιμές οριοθέτησης ξεκάθαρων συνόλων επιλέγονται είτε (α) βασισμένοι σε εμπειρική γνώση (π.χ. τιμές οριοθέτησης που προέκυψαν από συγκεκριμένα κριτήρια διαχωρισμού ή από κάποια εξωτερική ταξινόμηση) ή (β) χρησιμοποιώντας μεθόδους αριθμητικής ταξινόμησης. Κλάσεις που βασίζονται σε εμπειρική γνώση είναι συνήθως εισαγόμενες κλάσεις που δεν ορίζονται απευθείας από τα τοπικά σύνολα δεδομένων. Παρόλο που προσεγγίζουν ‘φυσικούς’ διαχωρισμούς δεν είναι βέλτιστες υπό κάποια στατιστική έννοια. Μόνο δύο παράμετροι απαιτούνται, τα χαμηλότερα και τα υψηλότερα όρια. Οι κλάσεις αυτές χρησιμοποιούνται ευρέως σε πρακτικές επιστήμες.

Και οι δύο επιλογές είναι εξίσου πιθανές στην «ασαφή» (fuzzy) λογική. Η πρώτη και η πιο απλή προσέγγιση χρησιμοποιεί μια εκ των προτέρων (a priori) συνάρτηση μέλους με την οποία μπορεί να ληφθεί ξεχωριστά ο κάθε βαθμός μέλους. Αυτή είναι γνωστή ως σημασιολογικής δήλωσης (Semantic Import -SI) μοντέλο.

Η δεύτερη είναι ανάλογη με την ανάλυση ομάδων (cluster) και την αριθμητική επιστημονική ταξινόμηση όπου η τιμή της συνάρτηση μέλους είναι μια συνάρτηση που χρησιμοποιεί ο ταξινομητής. Μια εκδοχή από αυτό το μοντέλο που χρησιμοποιείται συχνά είναι γνωστή ως μέθοδος των ασαφών k- μέσων (fuzzy k- means). Και οι δύο προαναφερθέντες μέθοδοι μπορούν να εφαρμοστούν σε δεδομένα σχετικά με το περιβάλλον.

### 3.4. Πλεονεκτήματα των μοντέλων σημασιολογικής δήλωσης και των ασαφή k-μέσων

Στην ακριβή ταξινόμηση έχουμε απώλεια πληροφορίας και αύξηση της πιθανότητας να γίνουν σφάλματα ταξινόμησης όταν τα δεδομένα έχουν υποστεί επεξεργασία, γεγονός που συμβαίνει συχνά σε περιβαλλοντικά δεδομένα. Έχει επίσης

δειχθεί ότι εφαρμόζοντας το SI μοντέλο σε ακριβή σκιαγραφημένα πολύγωνα μπορεί να βελτιώσει το περιεχόμενο πληροφορίας, αφού παρέχεται πληροφορία που σχετίζεται με την αιχμηρότητα της ήδη αναγνωρισμένης οριοθέτησης.

Υπάρχει μια συνεχής αναπτυσσόμενη βιβλιογραφία που διαφωτίζει τα πρακτικά πλεονεκτήματα της χρήσης των SI μοντέλων για την εδαφική ταξινόμηση και αξιολόγηση (Altman 1994, Davidson et al. 1994, Wang et al. 1990). Ωστόσο, είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι έχει εκδηλωθεί μεγαλύτερο ενδιαφέρον για τη θεωρία ασαφών k- μέσων σε επιστημονικές περιβαλλοντολογικές εφαρμογές που συναντάει κανείς στη βιβλιογραφία: Gaans *et al.* (1986), Vriend *et al.* (1988), Odeh *et al.* (1990), Wang *et al.* (1990), Powell *et al.* (1991), Mc Bratney and de Gruijter (1992), Mc Bratney *et al.* (1992), Weiden *et al.* (1992), Gaans *et al.* (1992) and Frapporti *et al.* (1993), Burrough *et al.* (1997), Burrough and Frank (1996), Lagacherie *et al.* (1996), de Gruijter *et al.* (1997).

Όπως και με τα SI μοντέλα, οι επικαλυπτόμενες κατηγορίες και η βαθμιαία οριοθέτηση που προκύπτει από την μέθοδο των ασαφών k-μέσων φαίνεται να είναι περισσότερο σύμφωνη με την πραγματικότητα από άλλες συμβατικές μεθόδους. Οι τιμές των ασαφών μελών περιέχουν περισσότερη από την αρχική πληροφορία από ότι η αυστηρή ταξινόμηση. (McBratney et al.). Οι τιμές των μελών μπορούν να παρεμβληθούν στο χώρο με αποτέλεσμα τα τελικά πρότυπα να επιδεικνύουν ξεκάθαρα αν ένα δοσμένο χαρακτηριστικό έχει μια συναφή γεωγραφική δομή.

Σε αντίθεση με την SI μέθοδο με προκαθορισμένες κατηγορίες και οριοθετημένες κατηγορίες, η μέθοδος των ασαφών k-μέσων οδηγεί σε τοπικές βέλτιστες κατηγορίες που δε βασίζονται απαραίτητα σε υποθέσεις γραμμικότητας, σε αντίθεση με τις συμβατικές τεχνικές μείωσης δεδομένων, όπως η ανάλυση κύριων συνιστωσών και η ανάλυση αντιστοιχιών. Παρόλο που η γραμμικές συσχετίσεις μπορεί καμιά φορά να εμπλουτιστούν από χρήση συγκεκριμένων συναρτήσεων μετασχηματισμού (λογαριθμικές, πολυωνυμικές, κ.τ.λ), τα χαρακτηριστικά του εδάφους ή του νερού συχνά συμμεταβάλλονται κατά ένα περίπλοκο, έμφυτα μη γραμμικό τρόπο. Η μέθοδος των ασαφών k- μέσων συλλαμβάνει αυτή τη μη γραμμική συμμεταβλητότητα (de Gruijter and McBratney 1998, Odeh et al. 1990). Σε γενικές γραμμές, οι χειροτονίες τεχνικές είναι ευπαθείς σε αποκλίσεις από τις συνηθισμένες κατανομές συχνότητας των



χαρακτηριστικών, που έχουν δύο στατιστικούς τρόπους να περιγραφούν ή δεν εμφανίζονται συχνά (Vriend et al. 1988). Εξαιτίας της υπαρκτής ασάφειας, η μέθοδος των ασαφή k- μέσων φαίνεται να αντιμετωπίζει με ακρίβεια και τα δύο άκρα του φάσματος από τη συ-μεταβλητότητα ως το διακριτό διαχωρισμό.

### **3.5. Μειονεκτήματα των μοντέλων σημασιολογικής δήλωσης και των ασαφή k-μέσων**

Όπως συμβαίνει με τις περισσότερες παραμετρικές μεθόδους, η μεγαλύτερη δυσκολία προέρχεται από την επιλογή των τιμών που προκύπτουν από τη ρύθμιση των παραμέτρων στην προσπάθεια να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα. Με την SI μέθοδο ο χρήστης καλείται να επιλέξει ο ίδιος το είδος της λειτουργίας των μελών του μοντέλου, τις τιμές των ορίων και τις μεταβάσεις του πλάτους.

Με την μέθοδο των ασαφή k-μέσων χρησιμοποιώντας πολλαπλά χαρακτηριστικά γνωρίσματα τα πλεονεκτήματα της fuzzy ομαδοποίησης είναι δύσκολο να οραματιστούν και να αξιολογηθούν. Αυτό εξαρτάται από την επιλογή των k: αριθμός τάξεων και Q: ποσότητας αλληλοεπικάλυψης ή της ασάφειας που μπορεί να επιτραπεί. Η προστιθέμενη δυσκολία είναι ότι η βέλτιστη ασάφεια μπορεί να εξαρτάται από τον αριθμό των τάξεων και το αντίστροφο. Μια τυπική προσέγγιση χρησιμοποιώντας διαγνωστικές λειτουργίες είναι εφικτή (Bezdek 1981, Roubens 1982) αλλά όχι πάντα πετυχημένη. Επίσης μπορεί να βοηθήσει μια επιστημονική θεώρηση με υπάρχοντα σχήματα ταξινόμησης (Vriend *et al.* 1988, McBratney and de Gruijter 1992 Frapporti *et al.* 1993).

Άλλα προβλήματα με την εφαρμογή της μεθόδου των ασαφών k- μέσων είναι:

- Η επιλογή των χαρακτηριστικών
- Η επιλογή του μέτρου απόστασης που θα εφαρμόσουμε, το οποίο καθορίζει το βαθμό και το σχήμα της ασάφειας στο μοντέλο καθώς επίσης και τον τρόπο με τον οποίο διαφορετικά χαρακτηριστικά συμβιβάζονται.

Πρέπει να σημειωθεί ο βαθμός ασάφειας θεωρείται ο ίδιος για όλες τις τάξεις.



Ενώ η διαδικασία των ασαφών k-μέσων μπορεί να φαίνεται ότι μας οδηγεί σε λιγότερο αυθαίρετα ασαφή σχηματικά όρια από ότι αν χρησιμοποιούσαμε τη SI μέθοδο αυτό μπορεί να προκύψει σαν πρόβλημα διότι η πρώτη μέθοδος είναι λιγότερη άμεση σε σχέση με τη δεύτερη. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι είναι απαραίτητες επαρκείς τεχνικές για τη χαρτογράφηση των k- τάξεων τόσο για την SI μέθοδο όσο και για τα ασαφή k-μέσα (van der Weland Hootsmans 1993).

### 3.6. Ταξινομητές ασαφούς λογικής (Fuzzy Classifiers)

Μια από τις βασικές παραδοχές της προσέγγισης Bayesian, στην ταξινόμηση της εικόνας, είναι ότι οι περιοχές εκπαίδευσης περιλαμβάνουν ομογενή δείγματα των κλάσεων που αντιπροσωπεύουν, γεγονός το οποίο δεν είναι πάντα αληθές. Για παράδειγμα και το πλέον ομοιογενές δάσος μαύρης πεύκης είναι πιθανό να εμπεριέχει διάφορα στοιχεία τα οποία να επηρεάζουν τα δεδομένα. Η παρουσία παρόμοιων στοιχείων δημιουργεί διακυμάνσεις και ανωμαλίες στην πολυμεταβλητότητα της κατανομής των ανακλάσεων, που με τη σειρά τους επηρεάζουν τη διακριτική ισχύ των φασματικών ταυτοτήτων (Συλλαίος 2000). Σε αυτό το σημείο οι ασαφείς φασματικές ταυτότητες καλούνται να επιλύσουν το πρόβλημα, καθώς παραδέχονται ότι κάθε εικονοστοιχείο έχει δυνητικά κάποιο βαθμό συνδρομής σε περισσότερες της μιας κλάσης, σύμφωνα με το βαθμό με τον οποίο μίγματα παρόμοιων κλάσεων, συνυπάρχουν εντός του εικονοστοιχείου. Εάν για παράδειγμα ένα εικονοστοιχείο καλύπτεται 60% από πεύκη και 40 % από κωνοφόρα, σημαίνει ότι έχει έναν ασαφή βαθμό συνδρομής 0,6 στη μέλος «πεύκη» και 0,4 στο μέλος «κωνοφόρα». Βασικό στοιχείο είναι ότι μια περιοχή εκπαίδευσης, με τη μέθοδο της ασαφούς λογικής μπορεί να αποτελέσει δεδομένα εισόδου σε περισσότερες της μιας κλάσης. Οι ταξινομητές που στηρίζονται στην ασαφή λογική ονομάζονται ελαστικοί ταξινομητές (soft classifiers).

Οι «ελαστικοί» ταξινομητές σπάνια παίρνουν μια οριστική απόφαση για το βαθμό συμμετοχής κάποιου εικονοστοιχείου σε μια κλάση, όπως συμβαίνει με τους «ανελαστικούς» ταξινομητές. Όπως και στην διαδικασία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, χρησιμοποιούνται πληροφορίες περιοχών εκπαίδευσης, με σκοπό την ταξινόμηση όλων των εικονοστοιχείων της εικόνας. Το αποτέλεσμα δεν είναι ένας απλός ταξινομημένος χάρτης χρήσης γης, αλλά ένας αριθμός εικόνων (μια για κάθε

κλάση), που εκφράζει το βαθμό συμμετοχής, του κάθε εικονοστοιχείου, στην εξεταζόμενη κλάση. Στην πραγματικότητα η κάθε εικόνα εκφράζει το βαθμό συμμετοχής του κάθε εικονοστοιχείου σε μια κλάση, όπως αυτή προσδιορίζεται, με βάση τις φασματικές ταυτότητες, οι οποίοι καθορίζονται από τους αλγορίθμους ασαφούς λογικής. Η ασάφεια μπορεί να παρουσιαστεί για πολλούς λόγους και όχι μόνο, επειδή μια ομάδα τιμών είναι ασαφής. Για παράδειγμα, ένα σφάλμα μετρήσεων μπορεί να οδηγήσει σε αβεβαιότητα για τη συμμετοχή ενός εικονοστοιχείου στις κλάσεις κάλυψης, ακόμη κι αν οι κλάσεις έχουν οριστεί με σιγουριά. Για το λόγο αυτό έχει υιοθετηθεί ο όρος ελαστικοί «ταξινομητές», επειδή αναγνωρίζεται ότι η συμμετοχή του κάθε εικονοστοιχείου στις κλάσεις είναι, συχνά, αβέβαιη για διάφορους λόγους. (Συλλαίος 2000)

### 3.7. Αβεβαιότητα ταξινόμησης (Classification Uncertainty)

Οι «ελαστικοί» ταξινομητές δημιουργούν μια εικόνα που εκφράζει το βαθμό της αβεβαιότητας στην ταξινόμηση, ως προς την συμμετοχή στις κλάσεις του κάθε εικονοστοιχείου. Η αβεβαιότητα ταξινόμησης μετρά το βαθμό στον οποίο καμιά κλάση δεν υπερέχει καθαρά έναντι των άλλων κατά τον καθορισμό της συμμετοχής στις κλάσεις ενός εικονοστοιχείου. Υπολογίζεται όπως παρακάτω:

$$\text{Αβεβαιότητα ταξινόμησης} = 1 - \frac{\max - \frac{sum}{n}}{1 - \frac{1}{n}}$$

Όπου:

*max* είναι η μέγιστη τιμή συμμετοχής στις κλάσεις για ένα ορισμένο εικονοστοιχείο

*sum* είναι το άθροισμα των τιμών των συμμετοχών στις κλάσεις για ένα ορισμένο εικονοστοιχείο

*n* είναι ο αριθμός των κλάσεων φασματικών ταυτοτήτων

Η λογική του υπολογισμού είναι η ακόλουθη:

Αρχικά ο αριθμητής του δεύτερου όρου εκφράζει τη διαφορά ανάμεσα στη μέγιστη τιμή συμμετοχής και στη συνολική διασπορά των τιμών συμμετοχών σε όλες τις κλάσεις. Έπειτα ο παρονομαστής του δεύτερου όρου εκφράζει την ακραία περίπτωση της διαφοράς μεταξύ μιας μέγιστης τιμής συμμετοχής στην ομάδα 1 (δηλαδή 100% σε μια κλάση) και της ολικής διασποράς αυτής σε όλες τις κλάσεις και τέλος υπολογίζοντας το λόγο των δύο προηγούμενων ποσοτήτων, αναπτύσσεται ένα μέγεθος που εκφράζει το βαθμό βεβαιότητας ότι ένα εικονοστοιχείο ανήκει σε μια ορισμένη κλάση, ως προς τη μέγιστη βεβαιότητα που μπορεί να υπάρξει.

### **3.8. Συλλογή ασαφών φασματικών ταυτοτήτων στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση**

Συχνά τυχαίνει να μην είναι δυνατή η συλλογή φασματικών ταυτοτήτων από περιοχές που θεωρούνται «καθαρά» παραδείγματα της κάθε κλάσης. Για παράδειγμα μπορεί να είναι δύσκολο να βρεθεί περιοχή αμιγής από λευκή πεύκη, εξαιτίας των διαφορών στην απόσταση των δέντρων, που επιτρέπουν διαφορετικά ποσοστά αποκάλυψης του υποκειμένου υλικού (μίγμα εδάφους, νεκρών βελονών και φτέρης). Σχετικά με το επίπεδο του κάθε εικονοστοιχείου, υφίστανται διάφοροι βαθμοί συμμετοχής στην κλάση της λευκής πεύκης, που κυμαίνονται από 0.0 (όπου δεν υπάρχουν δέντρα λευκής πεύκης στο εικονοστοιχείο) έως 1.0 (όπου υπάρχει μια πυκνή κάλυψη λευκής πεύκης). Συνεπώς εάν συλλέξουμε δεδομένα από εικονοστοιχεία που έχουν διαστάσεις από μερικά έως πολλά μέτρα, ο χαρακτήρας της έρευνας των δεδομένων γίνεται ασαφής.

Στην τηλεπισκόπηση σύμφωνα με τον Wang (1990) η λογική των προβλημάτων συμμετοχής στις κλάσεις είναι αυτή των ασαφών ομάδων, παρά το γεγονός ότι μια κλάση δεν είναι υποχρεωτικά μια ασαφής ομάδα τις περισσότερες φορές. Για παράδειγμα, η κλάση της λευκής πεύκης που αναφέρθηκε προηγουμένως δεν είναι ασαφής ομάδα στην πραγματικότητα, απλά υπάρχει το πρόβλημα του καθορισμού της χωρίς τα υπόλοιπα είδη εδαφοκάλυψης το οποίο οδηγεί σε αβεβαιότητα. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί με μια διαδικασία Bayesian ή Dempster-Shafer.

Η αβεβαιότητα μπορεί να προκύψει από μια ποικιλία πηγών και όχι μόνο από ασαφείς ομάδες. Ωστόσο, τα προβλήματα της διακριτικής ικανότητας και των ανάμεικτων εικονοστοιχείων είναι τα πιο συχνά απαντώμενα στις διαδικασίες ταξινόμησης. Το αποτέλεσμα είναι ότι, ακόμα και οι καλύτερες φασματικές ταυτότητες, έχουν κάποιο βαθμό ανάμιξης μέσα στις κλάσεις. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι καλύτερα να χρησιμοποιηθεί μια διαδικασία για τη δημιουργία των φασματικών ταυτοτήτων που να αναγνωρίζει αυτή την αμφιβολία. Τα στάδια αυτής της διαδικασίας είναι τα παρακάτω:

### 1. Καθορισμός περιοχών εκπαίδευσης

Ψηφιοποιούνται οι περιοχές εκπαίδευσης ,χωρίς βέβαια να απαιτείται η απόλυτη ομοιογένεια τους, αρκεί μόνο τα ποσοστά των εδαφοκαλύψεων , μέσα σε κάθε περιοχή εκπαίδευσης , να μπορούν να εκτιμηθούν.

### 2. Δημιουργία μήτρας ποσοστού συμμετοχής κλάσεων

Στη συνέχεια πραγματοποιείται η δημιουργία μιας μήτρας ποσοστού συμμετοχής κλάσεων. Η μήτρα δείχνει το βαθμό συμμετοχής της κάθε περιοχής εκπαίδευσης, σε κάθε κλάση. Για Ν κλάσεις και Μ περιοχές εκπαίδευσης δημιουργείται ένας πίνακας  $N \times M$ . Το επόμενο στάδιο είναι να συμπληρωθεί ο πίνακας με τιμές που δείχνουν το βαθμό συμμετοχής της κάθε περιοχής εκπαίδευσης στις υποψήφιες κλάσεις.

<b>A</b>	<b>B</b>	<b>Γ</b>	<b>Δ</b>	<b>E</b>	<b>Z</b>
<b>B</b>	0,95	0,05	0,00	0,00	0,00
<b>Γ</b>	0,00	0,80	0,00	0,05	0,15
<b>Δ</b>	0,05	0,10	0,75	0,00	0,10
<b>E</b>	0,00	0,10	0,00	0,90	0,00
<b>Z</b>	0,00	0,20	0,00	0,00	0,80

Πίνακας 3.1 : Δημιουργία μήτρας ποσοστού κλάσεων

Όπου για παράδειγμα,

A: κωδικός κλάσης

B: νερό

Γ: φυσική βλάστηση

Δ: αρδευόμενες περιοχές

Ε: περιοχές με σιτάρι

Ζ: κατοικημένες περιοχές

### 3. Εισαγωγή φασματικών ταυτοτήτων

Το επόμενο στάδιο είναι η δημιουργία φασματικών ταυτοτήτων. Το παραγόμενο αποτέλεσμα είναι μια ομάδα αρχείων φασματικών ταυτοτήτων. Ο αλγόριθμος δίνει σε κάθε εικονοστοιχείο ένα βάρος ανάλογο του βαθμού συμμετοχής, κατά τον καθορισμό του μέσου όρου, της διακύμανσης και της συνδιακύμανσης σε κάθε κανάλι, για την κάθε κλάση (Wang 1990). Επομένως ένα εικονοστοιχείο που αποτελείται, κυρίως, από κωνοφόρα θα έχει μεγαλύτερη βαρύτητα στον καθορισμό της φασματικής ταυτότητας των κωνοφόρων, αλλά μικρή βαρύτητα στον καθορισμό της φασματικής ταυτότητας των άλλων κλάσεων. (Συλλαιός 2000)

### 3.9. Συμπεράσματα

Όπως έχει ήδη αναφερθεί η θεωρία της ασαφούς λογικής αναπτύχθηκε για να χειριστεί προβλήματα που δεν έχουν αυστηρά όρια ή καταστάσεις στις οποίες τα γεγονότα είναι ασαφώς καθορισμένα. Ένα ασαφές “fuzzy” σύστημα, έχει τη δυνατότητα να αναπαριστά αποφάσεις ταξινόμησης εικόνων στη μορφή επεξηγηματικών “if-then” κανόνων. Χρησιμοποιούν σκόπιμα ανακριβείς ακαθόριστες πληροφορίες για να δημιουργούν απλούστερα, περισσότερο κατάλληλα μοντέλα που είναι ευκολότερα στο χειρισμό και πιο κοντά στην ανθρώπινη σκέψη.

Σύμφωνα με τη θεωρία της ασαφούς λογικής, ένα στοιχείο, μπορεί να ανήκει σε δύο ή περισσότερες ομάδες (με διαφορετικά ποσοστά στην κάθε μια). Τα ποσοστά αυτά σχετίζονται με το πόσο κοντά στα κέντρα κάθε ομάδας (cluster centre cc) βρίσκεται το κάθε στοιχείο. Με άλλα λόγια αν ένα στοιχείο ανήκει σε μια ομάδα με ποσοστό 95%, αυτό σημαίνει ότι τα δεδομένα που το χαρακτηρίζουν συμπίπτουν με τις κεντρικές τιμές των δεδομένων της συγκεκριμένης ομάδας και συνεπώς κατατάσσεται σε αυτή. Αντίθετα αν το στοιχείο ανήκει κατά 55% σε μια ομάδα, τότε τα δεδομένα που το συνθέτουν έχουν ελάχιστη σχέση με τα χαρακτηριστικά της ομάδας αυτής. Καθώς η ταξινόμηση επαναλαμβάνεται, οι μεταβολές των ποσοστών οδηγούν σε επιμέρους

---

μετακινήσεις των στοιχείων. Σε κεφάλαιο παρακάτω αναφέρονται περισσότερες λεπτομέρειες σχετικά με τις “fuzzy” ταξινομήσεις και τα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου.



## 4. Νευρωνικά δίκτυα στην τηλεπισκόπηση

### 4.1. Νευρωνικά δίκτυα (Neural Networks)

Τεχνητά νευρωνικά δίκτυα ονομάζονται τα συστήματα ταξινόμησης προτύπων που περιέχουν διασυνδεδεμένες μη γραμμικές υπολογιστικές μονάδες και που αποτελούν προσομοιώσεις της φυσιολογίας των νευρικών κυττάρων των έμβιων όντων.

Ένας από τους πρώτους ερευνητές που συνέλαβε την ιδέα ότι οι εγκεφαλικές λειτουργίες εκτελούνται από στοιχειώδεις υπολογιστικές μονάδες που ονομάζονται νευρώνες είναι ο Ramon y Cajal (1911). Πειράματα που έγιναν στην φυσιολογία των νευρικών κυττάρων έδειξαν ότι η λειτουργία τους μπορεί, σε απλοποιημένη μορφή να προσομοιωθεί με μη γραμμικούς τελεστές που δέχονται σήματα από έναν πεπερασμένο αριθμό εισόδου και περιέχουν μονάχα μια έξοδο. Η εγκεφαλική ουσία των έμβιων όντων αποτελείται από εκατομμύρια διασυνδεδεμένων νευρώνων τα οποία αποτελούν ένα πολύπλοκο και ισχυρά μη γραμμικό νευρωνικό δίκτυο. Έχει αποδειχθεί ότι η γνώση του κόσμου συσσωρεύεται στη μνήμη του δικτύου. Η τοπολογία του διαφέρει σημαντικά στα έμβια όντα και είναι αυτή η οποία δίνει και τα διαφορετικά χαρακτηριστικά αντίληψης των ερεθισμάτων του περιβάλλοντος. Έχουν παρατηρηθεί ποσοτικές αλλά και ποιοτικές διαφοροποιήσεις στο είδος των συνδέσεων, τον μηχανισμό επεξεργασίας σημάτων και το πλήθος των εισόδων των νευρωνικών κυττάρων. Γι' αυτό τον λόγο και τα νευρικά κύτταρα έχουν ομαδοποιηθεί σε έναν μικρό αριθμό κατηγοριών, ανάλογα με τους μηχανισμούς λειτουργιών των.

Η υπάρχουσα τεχνολογία δεν επιτρέπει την προσομοίωση των πολύπλοκων επεξεργασιών που εκτελούνται στα νευρικά κύτταρα. Έχει αποδειχθεί όμως ότι απλές προσομοιώσεις των νευρικών κυττάρων, που περιγράφουν τα βασικά τους γνωρίσματα, δίνουν εντυπωσιακά αποτελέσματα σε εφαρμογές ταξινόμησης προτύπων, προσεγγίσεων απόκρισης συστημάτων, προβλήματα αυτόματου ελέγχου κ.α.

Τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των μηχανισμών των φυσικών νευρωνικών δικτύων είναι τα ακόλουθα

1. *Μη γραμμικότητα.* Το βασικότερο γνώρισμα των φυσικών νευρωνικών δικτύων είναι ότι η έξοδος σε καμιά περίπτωση δεν μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελεί έναν γραμμικό συνδυασμό των εισόδων του.
2. *Εκπαίδευση από παραδείγματα.* Βασικό στοιχείο των νευρωνικών δικτύων είναι η ικανότητα τους να εκπαιδεύονται αντλώντας γνώση και τροποποιώντας τα στοιχεία μνήμης του δικτύου. Προηγούμενες ενεργοποιήσεις του δικτύου μεταβάλλουν την συμπεριφορά του έτσι ώστε όταν ενεργοποιηθεί από ίδια ή ομοιάζοντα σήματα εισόδου να δίνουν με μεγαλύτερη ακρίβεια την επιθυμούμενη έξοδο.
3. *Προσαρμογή.* Τα φυσικά νευρωνικά δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να αλλάζουν τα δεδομένα εξόδου των και να προσαρμόζουν τη συμπεριφορά τους όταν μεγάλης κλίμακας αλλαγές λαμβάνουν χώρα στην είσοδό τους. Αντιπροσωπευτικό παράδειγμα προσαρμογής αποτελεί η μεταβολή της συμπεριφοράς του δικτύου των νευρικών κυττάρων που βρίσκονται επάνω στον αμφιβληστροειδή χιτώνα. Με αλλαγή του φωτισμού του περιβάλλοντος χώρου τα νευρικά κύτταρα αλλάζουν την απόκριση τους έτσι ώστε να μεγιστοποιείται η διακριτική τους ικανότητα (η αντίληψη των αντικειμένων που βρίσκονται στον περιβάλλοντα χώρο). Η διαδικασία προσαρμογής μακροσκοπικά γίνεται αντιληπτή σε μεγάλες μεταβολές του φωτισμού που διαρκεί από δέκατα του δευτερολέπτου έως έναν μικρό αριθμό δευτερολέπτων.
4. *Αντοχή σε διακοπές συνδέσεων και λειτουργιών νευρώνων.* Η συμπεριφορά του δικτύου δεν διαταράσσεται σημαντικά από τυχόν διακοπή συνδέσεων ή και αφαίρεση νευρώνων. Η ιδιότητα αυτή αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της συμπεριφοράς των νευρικών κυττάρων διότι είναι γνωστό ότι η διακοπή της λειτουργίας μικρών τμημάτων του εγκεφάλου επηρεάζει συνήθως σε πολύ μικρό βαθμό τις υπόλοιπες εγκεφαλικές λειτουργίες.

5. *Ομοιότητα λειτουργίας των νευρώνων.* Οι νευρώνες πρέπει να εκτελούν τις ίδιες βασικές λειτουργίες διότι τα νευρικά κύτταρα του ίδιου τύπου έχουν την ίδια φυσιολογία.
6. *Παράλληλη επεξεργασία δεδομένων.* Λαμβάνοντας υπόψη τον τρόπο συνδεσμολογίας των νευρικών κυττάρων, το τεράστιο πλήθος των πληροφοριών που επεξεργάζονται και την σχετικά μεγάλη καθυστέρηση απόκρισης του φυσικού κυττάρου (έχει υπολογιστεί ένας μέσος χρόνος απόκρισης της τάξης των  $10^{-3}$  δευτερολέπτων, ενώ η απόκριση ενός ολοκληρωμένου κυκλώματος ανέρχεται σε  $10^{-6}$  δευτερόλεπτα), γίνεται φανερό ότι το φυσικό νευρωνικό δίκτυο επεξεργάζεται τα δεδομένα παράλληλα για να είναι σε θέση να επιτύχει απόκριση σε σχεδόν πραγματικό χρόνο και να επεξεργάζεται ταυτόχρονα έναν πολύ μεγάλο αριθμό πληροφοριών.

Η θεωρία των μη γραμμικών δικτύων που προσομοιάζουν την λειτουργία των νευρικών κυττάρων αναπτύχθηκε σημαντικά μέσα στην τελευταία τριακονταετία (1965-1995) προσφέροντας σημαντικές βελτιώσεις στα χαρακτηριστικά προσομοιώσεων όπου αυτή εφαρμόστηκε. Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα αποτελούν μια γενική θεωρία των μη γραμμικών συστημάτων και γι' αυτό το λόγο έχουν ένα ευρύ πεδίο εφαρμογών με σημαντικότερους τομείς την ταξινόμηση προτύπων, την ψηφιακή επεξεργασία σήματος, τον αυτόματο έλεγχο συστημάτων κ.ο.κ.

## 4.2. Ταξινόμηση εικόνας με νευρωνικά δίκτυα

Στα πλαίσια της ενότητας αυτής θα περιγράψουμε διαδικασίες διαχωρισμού του φασματικού χώρου σε διάφορες τάξεις με χρήση νευρωνικών δικτύων. Η ενότητα αυτή οργανώνεται ως εξής: Αρχικά θα ασχοληθούμε με το πώς μπορεί να γίνει η διάκριση τάξεων όταν αυτές είναι γραμμικώς διαχωρίσιμες. Στη συνέχεια παρουσιάζουμε τη δομή ενός γραμμικού ταξινομητή δύο τάξεων από όπου προκύπτει η ομοιότητα του με τη δομή του νευρώνα σε ένα νευρωνικό δίκτυο. Τέλος αναφερόμαστε στο πώς

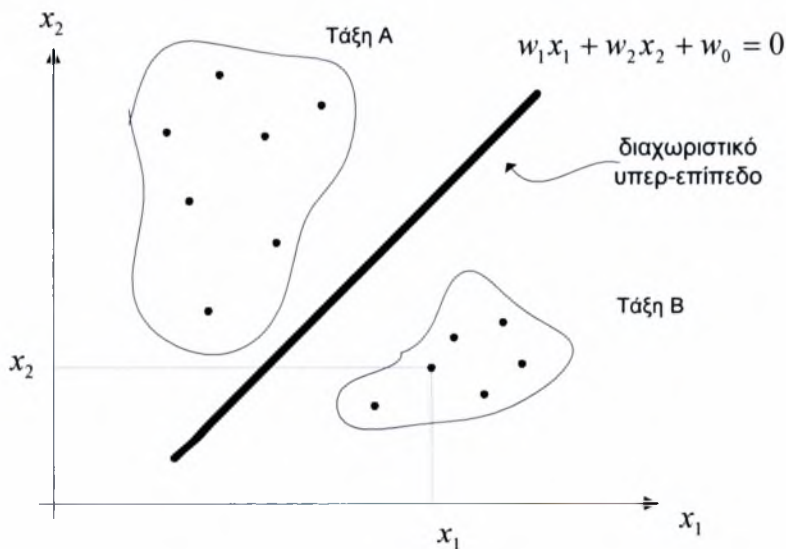
χρησιμοποιώντας τη δομή αυτή μπορούμε να σχεδιάσουμε ένα ταξινομητή πολλών τάξεων.

### Διάκριση τάξεων και γραμμικώς διαχωρίσιμες τάξεις

Θεωρούμε ένα φασματικό χώρο δύο τάξεων ο οποίος έχει κατασκευαστεί κατά τέτοιο τρόπο ώστε να μπορεί να χαραχθεί μια ευθεία γραμμή μεταξύ δύο εικονοστοιχείων που θα τα ταξινομήι στις τάξεις A και B (σχήμα 4.1). Η ευθεία αυτή λειτουργεί ως μέσο λήψης αποφάσεων για την ταξινόμηση εικόνας. Η εξίσωση που την περιγράφει μπορεί να εκφραστεί ως:

$$\delta(x_1, x_2) = w_1 x_1 + w_2 x_2 + w_0 = 0 \quad (1)$$

Όπου  $x_1, x_2$  είναι οι συντεταγμένες του εικονοστοιχείου σε τιμές φωτεινότητας και  $w_0, w_1, w_2$  είναι το σύνολο τιμών που ονομάζονται βάρη.



Σχήμα 4.1: Χώρος δύο διαστάσεων των τιμών των ψηφίδων με δύο τάξεις που θα πρέπει να διαχωριστούν από μια ευθεία γραμμή

Στο σημείο αυτό πρέπει να σημειωθεί ότι στη γενική περίπτωση των περισσότερων των δύο διαστάσεων, η ευθεία γραμμή είναι επιφάνεια και ονομάζεται υπερ-επίπεδο  $H$ . Η γενική εξίσωση επιφάνειας του υπερ-επιπέδου αυτού (υποθέτουμε ότι  $\rho$  είναι ο αριθμός των καναλιών) θα είναι:

$$w_1 x_1 + w_2 x_2 + \dots + w_p x_p = 0$$

Η οποία σε διανυσματική μορφή γράφεται:

$$\begin{bmatrix} w_1 & w_2 & \dots & w_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{bmatrix} + w_0 = w^T x + w_0 = 0$$

Όπου  $x$  είναι το διάνυσμα συντεταγμένων της ψηφίδας και  $w$  είναι το διάνυσμα των βαρών.

Η εξίσωση (1), μηδενίζεται μόνο για τις τιμές εκείνες του εικονοστοιχείου  $x = (x_1, \dots, x_p)$  που βρίσκονται στην επιφάνεια του υπερ-επιπέδου  $H$ . Οι τιμές της εξίσωσης για εικονοστοιχεία που ανήκουν στην τάξη A είναι θετικές ενώ για εικονοστοιχεία που ανήκουν στην τάξη B είναι αρνητικές, επομένως από τη στιγμή που θα καθοριστεί η θέση του υπερ-επιπέδου, η απόφαση για την ταξινόμηση των εικονοστοιχείων της εικόνας βασίζεται στο αν το πρόσημο της εξίσωσης (2) είναι θετικό ή αρνητικό. Συνεπώς για να προχωρήσουμε στην ταξινόμηση κρίνεται αναγκαίος ο σχεδιασμός του υπερ-επιπέδου  $H$ .

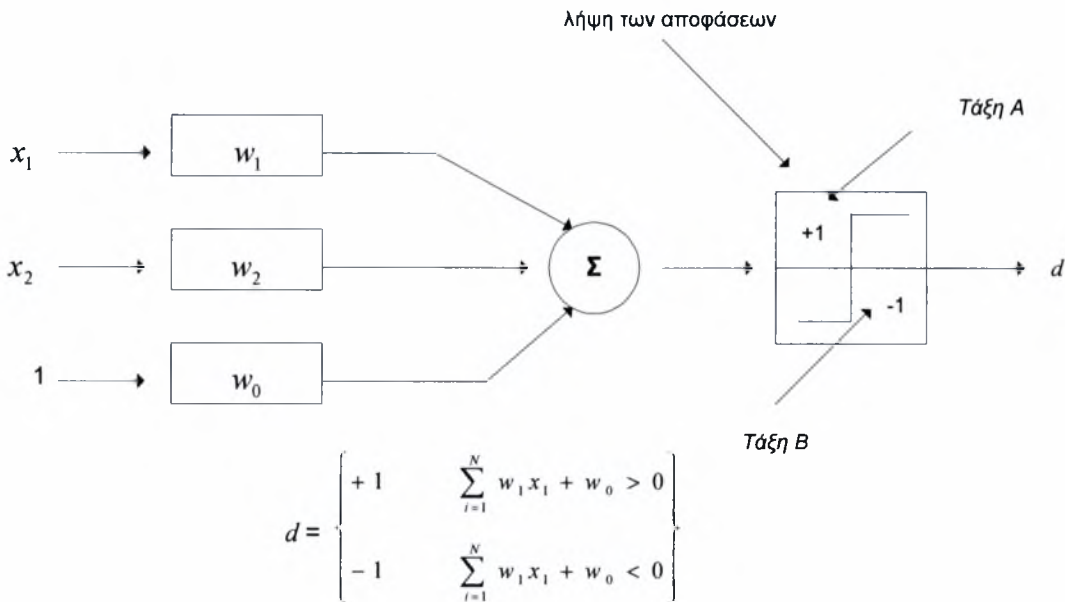
$$\begin{aligned} x \in [\text{τάξη } A] & \quad \text{αν} \quad \delta(x) = w^T x + w_0 > 0 \\ x \in [\text{τάξη } B] & \quad \text{αν} \quad \delta(x) = w^T x + w_0 < 0 \end{aligned} \tag{2}$$

Στην πράξη η θέση της επιφάνειας διαχωρισμού των τάξεων είναι άγνωστη. Ο προσδιορισμός της κατάλληλης θέσης του υπερεπιπέδου που διαχωρίζει κατάλληλα τις τάξεις ανάγεται στον καθορισμό του κατάλληλου συνόλου βαρών του διανύσματος  $W$ . Μια μεθοδολογία που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό του διανύσματος αυτού είναι εκείνη των νευρωνικών δικτύων.

**Δομή ταξινομητή δύο τάξεων**

Για το σχεδιασμό του υπερ-επιπέδου *H* απαιτείται η χρήση κάποιων σημείων γνωστών που ανήκουν στις δύο τάξεις A και B. Όταν ο γραμμικός ταξινομητής δύο τάξεων «εκπαιδευτεί» με τα σημεία αυτά, τότε η τελική θέση του διανύσματος *W* έχει επιλεγθεί σωστά και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσουμε τα σημεία που δεν έχουν καταχωρηθεί ακόμα, ώστε να τα κατατάξουμε σε κάποιο τύπο εδαφικής κάλυψης.

Αυτό επιτυγχάνεται ελέγχοντας το πρόσημο της εξίσωσης (2) όπως φαίνεται στο διάγραμμα. Το διάγραμμα αυτό θυμίζει τη δομή ενός νευρώνα σε ένα νευρωνικό δίκτυο.



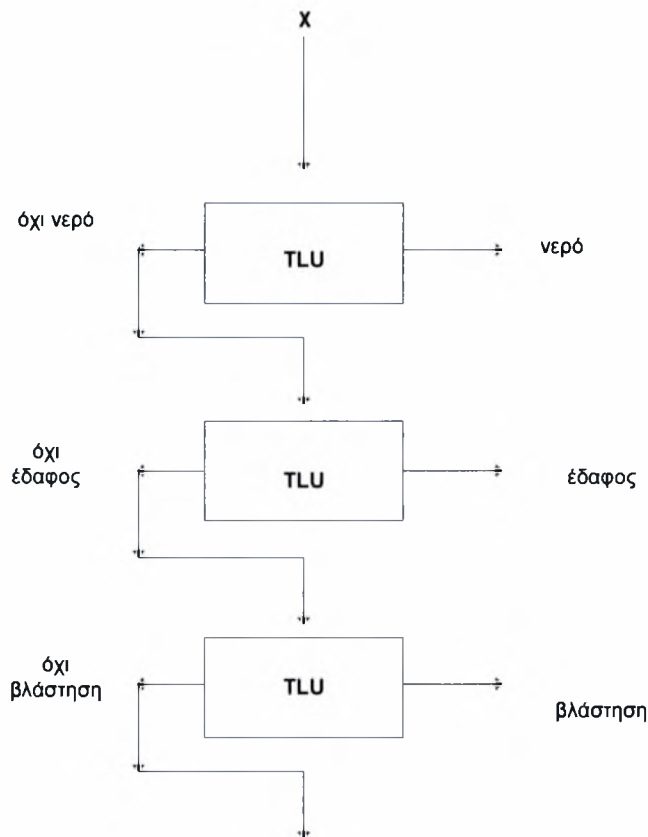
Σχήμα 4.2.: Διαγραμματική παράσταση της σχέσης (2)

**Δομή ταξινομητή πολλών τάξεων**

Η γραμμική ταξινόμηση που περιγράψαμε προηγουμένως αποσκοπούσε στην καταχώρηση εικονοστοιχείων σε δύο και μόνο τάξεις. Στη συνέχεια γίνεται μια επέκταση της σε πολλές τάξεις.



Η ταξινόμηση πολλών τάξεων μπορεί να διεξαχθεί με δύο τρόπους. Αρχικά δημιουργείται ένα δενδρικό σχήμα γραμμικών ταξινομητών (σχ.4.3.) όπου σε κάθε κόμβο του διαγράμματος λαμβάνεται μια δυαδική απόφαση (π.χ αν το εικονοστοιχείο αντιστοιχεί σε νερό ή όχι).



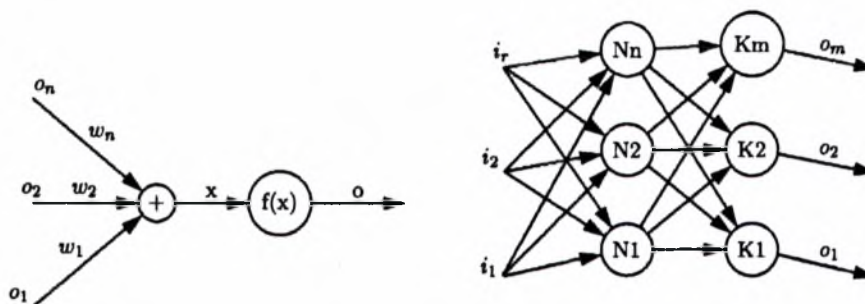
Σχήμα 4.3.: Διαγράμματα για τη δενδρική ταξινόμηση πολλών ταξινομητών

Αν ληφθεί η απόφαση ότι δεν είναι νερό, προχωράμε στον επόμενο γραμμικό ταξινομητή για να ελέγξουμε εάν είναι έδαφος ή όχι κ.ο.κ. Σημειώνουμε ότι η διαδικασία για τη λήψη αποφάσεων σε κάθε κόμβο, ρυθμίζεται ξεχωριστά με τα σημεία εκπαίδευσης της εικόνας. Επομένως η ταξινόμηση πολλαπλών τάξεων μπορεί να γίνει και με ένα απλό γραμμικό ταξινομητή όπου όμως αυτή τη φορά δε θα ελέγξουμε μόνο το πρόσημό του αλλά θα ελέγξουμε την τιμή του αν ανήκει σε κάποιο σύνολο τιμών που αντιστοιχεί σε μια συγκεκριμένη τάξη. Σε αυτή την περίπτωση ο ταξινομητής αυτός θα πρέπει να «εκπαιδευτεί» κατάλληλα ώστε να οριστούν τα σύνολα τιμών που αντιστοιχούν στις διαφορετικές τάξεις.

### 4.3. Ο νευρώνας

Παρακάτω παρουσιάζεται η δομή του νευρώνα που αποτελεί το βασικό δομικό στοιχείο ενός νευρωνικού δικτύου με σκοπό να γίνει εμφανές στον αναγνώστη η σχέση του με τη δομή ενός ταξινομητή δύο τάξεων. Αποτέλεσμα της διαπίστωσης αυτής είναι το γεγονός ότι τα νευρωνικά δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως ταξινομητές δύο ή περισσότερων τάξεων.

Κάθε νευρωνικό δίκτυο αποτελείται από διασυνδεδεμένες υπολογιστικές μονάδες που ονομάζονται νευρώνες. Κάθε νευρώνας μετασχηματίζει το διάνυσμα εισόδου του δίνοντας μία μοναχά έξοδο η οποία συνδέεται με εισόδους άλλων νευρώνων όπως φαίνεται στο σχήμα 4.4.



Σχήμα 4.4.: Νευρώνας και τυπική μορφή νευρωνικού δικτύου

Μελέτες που αναφέρονται στην φυσιολογία του νευρικού κυττάρου έδειξαν ότι η έξοδος αποτελεί έναν μη γραμμικό μετασχηματισμό των εισόδων του. Οι προσομοιώσεις που θα περιγραφούν αποτελούν προσέγγιση των μετασχηματισμών που πραγματοποιούνται στο εσωτερικό των φυσικών νευρικών κυττάρων.

Οι σημαντικότερες προσομοιώσεις είναι υπολογιστικά απλές και αποδίδουν τους βασικούς μηχανισμούς ενεργοποίησης και εκπαίδευσης του φυσικού μοντέλου ικανοποιώντας τα χαρακτηριστικά του γνωρίσματα που περιγράφησαν προηγουμένως.

Οι περισσότερες προσομοιώσεις που έχουν προταθεί βασίστηκαν σε μελέτες του τρόπου λειτουργίας των νευρικών κυττάρων στο φυσικό τους περιβάλλον. Από την απλοποίηση των παρατηρήσεων της φυσιολογίας των νευρικών κυττάρων προέκυψαν τα διάφορα μαθηματικά μοντέλα. Το σημαντικότερο και το πλέον απλό μοντέλο

περιγράφει την συμπεριφορά ενός νευρικού κυττάρου με δύο τελεστές, ένα γραμμικό και έναν μη γραμμικό που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.4.

Ο γραμμικός τελεστής παριστάνεται σαν το εσωτερικό γινόμενο του διανύσματος της εισόδου με το διάνυσμα της μνήμης του νευρώνα:

$$x = o\mathbf{w} = \sum_{i=1}^N o_i w_i$$

Ο μη γραμμικός τελεστής είναι μία μη γραμμική συνάρτηση της εξόδου του γραμμικού τελεστή :

$$o = f(x)$$

Η έξοδος του δικτύου συμβολίζεται με το ίδιο γράμμα με το οποίο συμβολίζεται και η είσοδος του νευρώνα διότι η έξοδος του νευρώνα είναι η είσοδος σε άλλους νευρώνες. Η συνάρτηση του μη γραμμικού τελεστή ακολουθεί τα χαρακτηριστικά των στιγμοειδών συναρτήσεων τα οποία είναι τα ακόλουθα:

1. Είναι η αύξουσα συνάρτηση

$$\forall x_1, x_2 \in \mathbb{R}, x_1 > x_2 \Rightarrow f(x_1) \geq f(x_2)$$

2. Έχει πεπερασμένα απειροστικά όρια

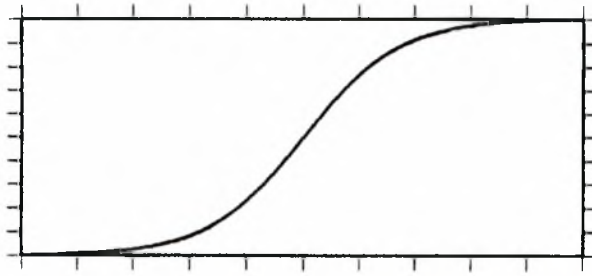
$$\lim_{x \rightarrow +\infty} f(x) = a, \quad a \in \mathbb{R} - \{-\infty, +\infty\}$$

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} f(x) = b, \quad b \in \mathbb{R} - \{-\infty, +\infty\}$$

3. Έχει πεδίο ορισμού το σύνολο των πραγματικών αριθμών και έχουν φραγμένο πεδίο τιμών. Η ιδιότητα αυτή προκύπτει σαν αποτέλεσμα των δύο προηγούμενων περιορισμών.

$$f : \mathbb{R} \rightarrow [a, b]$$

Μια συνάρτηση σιγμοειδών χαρακτηριστικών φαίνεται στο σχήμα 4.5.



Σχήμα 4.5.: Τυπική μορφή σιγμοειδούς συνάρτησης

Οι πλέον διαδεδομένοι σε πρακτικές εφαρμογές γραμμικοί νευρωνικοί τελεστές είναι οι ακόλουθοι:

1. *Εκθετική σιγμοειδής*. Η συνάρτηση αυτή αποτελεί τον πλέον διαδεδομένο μη γραμμικό νευρωνικό τελεστή:

$$f(x) = \frac{1}{e^{-ax+b} + c}, \quad a, b \in \mathbb{R}^+$$

2. *Υπερβολική εφαπτόμενη*.

$$o = \frac{e^{ax} - e^{-ax}}{e^{ax} + e^{-ax}}, \quad a \in \mathbb{R}^+$$

Είναι φανερό ότι ο υπολογισμός δύο εκθετικών όρων για την συνάρτηση της υπερβολικής εφαπτόμενης και ενός εκθετικού όρου για την εκθετική σιγμοειδή συνάρτηση είναι μια υπολογιστικά χρονοβόρα διαδικασία, η οποία σε πολλές περιπτώσεις (ιδιαίτερα σε περιπτώσεις δικτύων που περιέχουν μικρό αριθμό κόμβων) υπερκαλύπτει τον χρόνο υπολογισμού του γραμμικού τελεστή του νευρώνα. Γι' αυτό τον λόγο πολλές φορές καταφεύγουμε σε απλούστερες υπολογιστικά συναρτήσεις, όπως είναι οι ακόλουθες:

3. *Τμηματικά γραμμική συνάρτηση.* Η τμηματικά γραμμική συνάρτηση χρησιμοποιείται σπανιότερα στις εφαρμογές διότι δεν αποδίδει αξιόπιστα την μη γραμμική συμπεριφορά των νευρωνικών δικτύων.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{x}{a} & -a \leq x \leq a \\ -1 & x < -a \\ 1 & x > a \end{cases}, \quad a \in \mathbb{R}^+$$

4. *Συνάρτηση δύο κλάδων:*

$$f(x) = \begin{cases} \frac{ax}{x+b}, & x \geq 0 \\ -\frac{ax}{x-b}, & x < 0 \end{cases}, \quad a, b \in \mathbb{R}^+$$

5. *Βηματική συνάρτηση:*

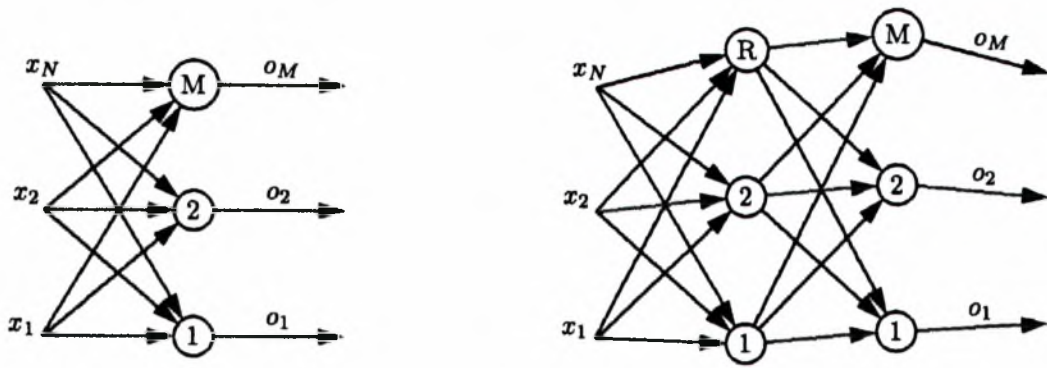
$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ 0, & x < 0 \end{cases}$$

6. *Μη γραμμικός τελεστής του νευρώνα Adaline:*

$$f(x) = \begin{cases} 1, & x \geq 0 \\ -1, & x < 0 \end{cases}$$

#### 4.3.1. Δομή νευρωνικών δικτύων

Παρόλο που δεν υπάρχει περιορισμός για τον τρόπο με τον οποίο οργανώνονται οι συνάψεις των νευρώνων, υπάρχουν μερικές ομάδες δομών οι οποίες έχουν μελετηθεί εκτενέστερα και είναι αυτές οι οποίες χρησιμοποιούνται συχνότερα σε διάφορες εφαρμογές.



Σχήμα 4.6.: Νευρωνικό δίκτυο ενός επιπέδου και Νευρωνικό δίκτυο πολλών επιπέδων

1. *Νευρωνικά δίκτυα ενός επιπέδου.* Αποτελεί την πλέον απλή περίπτωση οργάνωσης ενός νευρωνικού δικτύου. Οι εισόδοι κάθε νευρώνα συνδέονται με τις αντίστοιχες εισόδους του δικτύου και η έξοδος κάθε νευρώνα αποτελεί και έξοδο του δικτύου ( σχήμα 4.6). Σε μερικές περιπτώσεις θεωρούμε ότι ο κάθε νευρώνας έχει μία επιπλέον είσοδο η οποία συνδέεται με μία είσοδο σταθερής στάθμης.

Τα δίκτυα ενός επιπέδου νευρώνων χρησιμοποιούνται συνήθως σε απλά προβλήματα διότι έχουν δύο σοβαρά μειονεκτήματα.

- (i) Αν υποθέσουμε ότι το σύστημα που θέλουμε να προσομοιώσουμε έχει  $N$  εισόδους και  $M$  εξόδους, τότε στην καλύτερη των περιπτώσεων (όταν κάθε νευρώνας έχει συνάψεις που συνδέουν όλες τις εισόδους ) το σύστημα προσομοίωσης έχει  $(N+1) \times M$  βαθμούς ελευθερίας, γεγονός που περιορίζει την ικανότητα του δικτύου να προσομοιώνει πολύπλοκες διανυσματικές συναρτήσεις

Ο περιορισμός αυτός στην πράξη μπορεί να ξεπεραστεί επεκτείνοντας με τεχνητό τρόπο το διάνυσμα της εισόδου οπότε αυξάνουμε ταυτόχρονα και τους βαθμούς ελευθερίας του συστήματος προσομοίωσης. Η επέκταση αυτή μπορεί να επιτευχθεί όταν συνδυάσουμε με γραμμικό ή μη γραμμικό τρόπο τις αρχικές εισόδους του συστήματος.

- (ii) Ο δεύτερος περιορισμός έχει να κάνει με τις περιορισμένες δυνατότητες του δικτύου στην προσομοίωση των μη γραμμικών χαρακτηριστικών της



συνάρτησης που θέλουμε να προσομοιώσουμε. Συγκεκριμένα μπορούμε να δούμε ότι κάθε έξοδος μπορεί να εκφραστεί σαν συνάρτηση των δεδομένων εισόδου στην εξής μορφή:

$$o_m = f\left(\sum_i x_i w_{mi}\right)$$

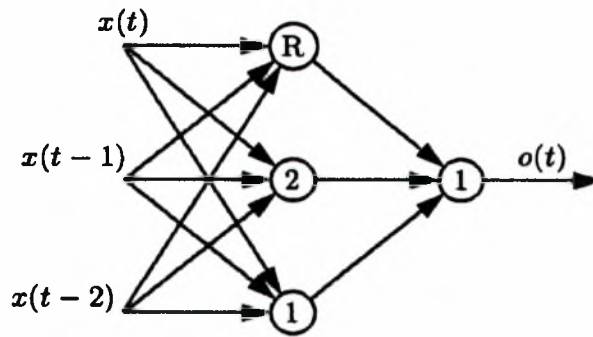
Η έξοδος  $O_m$  μπορεί να προσομοιώσει την πραγματική έξοδο του συστήματος μέσω μιας περιορισμένων δυνατοτήτων συνάρτησης. Κλασικό πρόβλημα των περιορισμένων δυνατοτήτων των νευρωνικών δικτύων ενός επιπέδου στην ταξινόμηση προτύπων αποτελεί και η αδυναμία σωστής ταξινόμησης μη γραμμικά διαχωρίσιμων προτύπων.

2. *Πολυεπίπεδα νευρωνικά δίκτυα.* Προσθέτοντας ένα ή περισσότερα κρυφά επίπεδα μπορούμε να αυξήσουμε απεριόριστα τους βαθμούς ελευθερίας του νευρωνικού δικτύου. Συνήθης τακτική είναι οι νευρώνες κάθε επιπέδου να συνδέονται με τις εξόδους των νευρώνων που βρίσκονται στο προηγούμενο επίπεδο (σχήμα 4.6). Όταν ο νευρώνας συνδέεται με όλους τους νευρώνες του προηγούμενου επιπέδου η σύνδεση ονομάζεται πλήρης διαφορετικά ονομάζεται μερική.

Κατά την διάρκεια εκπαίδευσης του νευρωνικού δικτύου αν κάποιος συντελεστής βαρύτητας σύναψης πάρει την τιμή μηδέν, τότε το γεγονός αυτό ισοδυναμεί με την διακοπή σύνδεσης των νευρώνων διότι δεν μεταφέρεται πλέον πληροφορία από αυτή τη σύναψη. Στην πράξη λοιπόν το δίκτυο μπορεί να εμφανίζει αρχιτεκτονική πλήρους σύνδεσης αλλά κατά τη διάρκεια εκπαίδευσης κάποιες συνδέσεις μπορεί να αποκοπούν γεγονός όχι σπάνιο σε πρακτικές εφαρμογές.

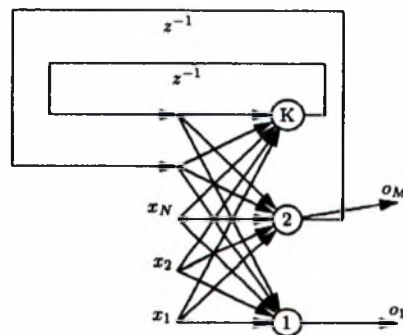
Στην ταξινόμηση προτύπων έχει αποδειχθεί ότι ένα δίκτυο που αποτελείται από νευρώνες perceptron δύο επιπέδων (ενός κρυφού και του επιπέδου εξόδου) μπορεί να ταξινομήσει σωστά γραμμικά και μη γραμμικά διαχωρίσιμες κατηγορίες προτύπων, ενώ ένα δίκτυο τριών επιπέδων νευρώνων μπορεί να ταξινομήσει σωστά γραμμικά και μη γραμμικά διαχωρίσιμες που επιπλέον βρίσκονται σε διαφορετικές νησίδες στο χώρο των μετρήσεων.

Πολύ-επίπεδα νευρωνικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί με επιτυχία στην σχεδίαση πολύπλοκων συστημάτων ταξινόμησης προτύπων και καλύπτουν την πλειονότητα των εφαρμογών ταξινόμησης προτύπων με νευρωνικά δίκτυα. Αν στην είσοδο του δικτύου το οποίο έχει μόνο μια είσοδο, τοποθετηθούν δειγματοληπτημένα σήματα διακριτού χρόνου κατά αύξουσα χρονική σειρά τότε το δίκτυο λειτουργεί σαν ένα μη γραμμικό φίλτρο FIR (σχήμα 4.7).



Σχήμα 4.7.: Νευρωνικό δίκτυο πολλών επιπέδων σαν μη γραμμικό φίλτρο FIR

3. *Επανατροφοδοτούμενα νευρωνικά δίκτυα.* Όταν υπάρχει έστω και μια διαδρομή μέσω της οποίας, ξεκινώντας από ένα νευρώνα και μέσω των συνάψεων και κατά την φορά ενεργοποίησης του δικτύου μπορούμε να επανέλθουμε στον νευρώνα εκκίνησης, τότε το νευρωνικό δίκτυο θα λέγεται επανατροφοδοτούμενο (recurrent). Τυπικό παράδειγμα επανατροφοδοτούμενου νευρωνικού δικτύου δίνεται στο σχήμα 4.8.



Σχήμα 4.8.: Τυπική μορφή επανατροφοδοτούμενου νευρωνικού δικτύου

#### 4.4. Συμπεράσματα

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι η χρήση των νευρωνικών δικτύων για επεξεργασία στοιχείων παρέχει τη δυνατότητα ανίχνευσης σχέσεων μεταξύ, θεωρητικά ανεξάρτητων στοιχείων. Το γεγονός αυτό μπορεί να ωθήσει την έρευνα σε νέα μονοπάτια και να προσεγγίσει το υπό μελέτη πρόβλημα από διαφορετικές οπτικές γωνίες.

Από στατιστική άποψη τα νευρωνικά δίκτυα ανήκουν στη γενικότερη κατηγορία των μη-παραμετρικών μεθόδων που δεν κάνουν καμιά υπόθεση για την παραμετρική μορφή της συνάρτησης που προσομοιώνουν. Με αυτή την έννοια είναι πιο ευέλικτα από τις παραμετρικές μεθόδους που προσπαθούν να προσαρμόσουν την πραγματικότητα σε συγκεκριμένες φόρμες. Έτσι μπορούν να αντικαταστήσουν με επιτυχία παραδοσιακές μεθόδους ταξινόμησης όπως για παράδειγμα την γραμμική και την τριγωνομετρική. Ωστόσο οι μη-παραμετρικές μέθοδοι όπως τα νευρωνικά δίκτυα περιέχουν περισσότερες ελεύθερες παραμέτρους και γι' αυτό το λόγο απαιτούν περισσότερα δεδομένα εκπαίδευσης για να επιτύχουν καλύτερη επίδοση. Υπάρχουν αρκετές κατηγορίες νευρωνικών δικτύων, ανάλογα με τον τρόπο που επεξεργάζονται τα δεδομένα, με πιο διαδεδομένη το Multi-Layer-Perceptron (MLP). Με βάση τη θεωρία (Haykin, 1999) ένα MLP με ένα κρυμμένο επίπεδο είναι ικανό να προσεγγίσει κάθε συνεχή συνάρτηση. Πρακτικά δύο κρυμμένα επίπεδα μπορεί να είναι πιο αποτελεσματικά, αλλά πιο δύσκολο για να εκπαιδευτούν. (Μανέτος 2002)

Από τη συνοπτική παρουσίαση της συγκεκριμένης μεθόδου προκύπτουν εύλογες δυνατότητες χρήσης της στην αντιμετώπιση χωρικών προβλημάτων αυξημένης πολυπλοκότητας. Αυτό, βέβαια, δε σημαίνει ότι πρέπει να καταργηθούν οι κλασσικές μέθοδοι, αλλά μπορούν να λειτουργήσουν συμπληρωματικά, έτσι ώστε να επιλύονται τα αντίστοιχα προβλήματα μέσα από ολοκληρωμένες προσεγγίσεις.



## **5. Συγκριτική μελέτη ασαφών ταξινομήσεων και ταξινομήσεων με νευρωνικά δίκτυα**

### **5.1. Ταξινόμηση εικόνας με νευρωνικά δίκτυα- Συμπεράσματα**

Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων και έχει αποδειχθεί ότι επιτυγχάνουν βελτιωμένη ακρίβεια συγκριτικά με τις παραδοσιακές στατιστικές μεθόδους. Η επιτυχία αυτή οφείλεται σε πολλά αξιοπρόσεκτα χαρακτηριστικά των νευρωνικών δικτύων. Όπως έχουμε είδη προαναφέρει ένα νευρώνας προσομοιώνει τον υπολογιστική λειτουργία ενός γραμμικού αναδρομικού συστήματος πολλαπλών μεταβλητών, χωρίς να κάνει εκ των προτέρων υποθέσεις για την κατανομή των δεδομένων λόγω της μη παραμετρικής φύσης του. Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να εκπαιδεύονται από υπαρκτά παραδείγματα αναδρομικά. Το γεγονός αυτό κάνει την ταξινόμηση αντικειμενική (Hagan et al. 1996). Ωστόσο, η αναπόφευκτη παρουσία θορύβου που περιλαμβάνεται στα παραδείγματα, δίνει τη δυνατότητα σε ένα εκπαιδευμένο νευρωνικό δίκτυο να γενικεύει τις τελικές του αποφάσεις. Αυτή η ιδιότητα τα αναδεικνύει ανθεκτικά στη παρουσία δεδομένων που δεν τα έχει συναντήσει κατά την εκπαίδευση, δεν είναι ολοκληρωμένα ή είναι ανακριβή (Fausett 1994).

Παρά την εξέχουσα απόδοση των νευρωνικών δικτύων στη ταξινόμηση εικόνων, είναι δύσκολο να δώσουμε μια λογική επεξήγηση της διαδικασίας μέσω της οποίας προκύπτει η έξοδος ενός νευρωνικού δικτύου (Andrews et al. 1995). Μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης, προκύπτει η γνώση της ταξινόμησης εικόνας και αποθηκεύεται αποκλειστικά σε αριθμητική μορφή στα βάρη των ακμών του δικτύου. Ωστόσο τα βάρη αυτά δεν έχουν κάποια προφανή ερμηνεία στις περισσότερες περιπτώσεις. Είναι επομένως δύσκολο, αν όχι αδύνατο, να μεταφράσει κανείς αυτά τα βάρη εξαιτίας της πολύπλοκης δομής φύσης τους (Lein 1997). Επομένως, ένα νευρωνικό δίκτυο συχνά χαρακτηρίζεται σαν ένα μαύρο κουτί που κρύβει την σχέση μεταξύ των εισόδων και εξόδων του στα βάρη των νευρώνων των 'κρυφών' επιπέδων (Benitez et al. 1997). Συνεπώς, δεν είναι δυνατό να κατανοήσουμε το συγκεκριμένο πρόβλημα εξαιτίας της μειωμένης ικανότητάς τους να παρέχουν πληροφορίες για τα

χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων. Για τον ίδιο λόγο, είναι επίσης αδύνατο να ενσωματώσουμε την ανθρώπινη γνώση ώστε να επιταχύνουμε ή να βελτιώσουμε την απόδοση της ταξινόμησης εικόνων. Σημειώνουμε ότι ένα νευρωνικό δίκτυο πρέπει πάντα να εκπαιδεύεται από την αρχή ((Nauck et al. 1997). Για να μπορέσουν επομένως να συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση εικόνων είναι απαραίτητο να ενσωματωθεί στη λειτουργία τους και μια επεξηγηματική ικανότητα.

## **5.2. Ταξινόμηση εικόνας με συστήματα ασαφούς λογικής- Συμπεράσματα**

Σε αντίθεση με τα νευρωνικά, ένα fuzzy ‘ασαφές’ σύστημα, έχει την δυνατότητα να αναπαριστά αποφάσεις ταξινόμησης εικόνων στη μορφή επεξηγηματικών ασαφών ‘if-then’ κανόνων. Τα fuzzy συστήματα είναι μια επέκταση των παραδοσιακών έμπειρων συστημάτων. Οι αποφάσεις στα fuzzy και στα έμπειρα συστήματα προκύπτουν κυρίως από ένα ή περισσότερους εμπειρογνώμονες της περιοχής και μετά χρησιμοποιούνται με ένα αλγοριθμικά δομημένο τρόπο για να δώσουν απαντήσεις σε ερωτήσεις που αφορούν αυστηρά την περιοχή αυτή. Σε αντίθεση με τα έμπειρα συστήματα, οι κανόνες ‘if-then’ στα fuzzy χρησιμοποιούν την αρχή ενός ασαφούς συνόλου (Zadeh 1965), που αποτελεί, όπως είδη αναφέραμε παραπάνω επέκταση και γενίκευση της κλασικής Boolean θεωρίας συνόλων. Τα fuzzy σύνολα επιτρέπουν την ανάθεση μερικής και πολλαπλής συμμετοχής αντικειμένων σε σύνολα. Τα fuzzy συστήματα χρησιμοποιούν σκόπιμα ανακριβείς ακαθόριστες πληροφορίες για να δημιουργούν απλούστερα, περισσότερο κατάλληλα μοντέλα που είναι ευκολότερα στο χειρισμό και πιο κοντά στην ανθρώπινη σκέψη. Η εμπειρική ανθρώπινη γνώση είναι η κύρια πηγή των κανόνων στα συστήματα αυτά. Είναι επομένως δυνατό να βελτιώσουμε την απόδοσή τους προσθέτοντας νέους κανόνες, αφαιρώντας κάποιους ελλειπείς και ανανεώνοντας ήδη υπάρχοντες στην αποκτηθείσα γνώση.

Η εφαρμογή της ασαφούς λογικής δεν έχει διαδοθεί ιδιαίτερα στη ταξινόμηση εικόνας. Αυτό οφείλεται κυρίως στην περιορισμένη δυνατότητα τους για απόκτηση έμπειρης γνώσης. Η έλλειψη ενός μηχανισμού εκμάθησης από παραδείγματα



μετατρέπει την απόκτηση γνώσης σε μια βαρετή και όχι τόσο γενικευμένη διαδικασία (Openshaw S. and Openshaw C. 1997). Σε περίπλοκα συστήματα, η όχι αυτοματοποιημένη διάγνωση και βελτιστοποίηση των παραμέτρων ορισμένων ασαφή συνόλων είναι ουσιαστικά αδύνατη (Abe and Lan 1996). Τα προβλήματα αυτά αποτελούν το κύριο εμπόδιο για την ευρεία χρήση των εμπειρικών fuzzy συστημάτων στη ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων. Είναι επομένως θεμιτή η ύπαρξη μιας ικανότητας αυτοματοποίησης της γνώσης ώστε να χρησιμοποιηθούν τα εργαλεία αυτά στην επίλυση του προαναφερθέντος προβλήματος.

### 5.3. Συνδυάζοντας τα νευρωνικά δίκτυα και τα «fuzzy» συστήματα

Τόσο τα νευρωνικά δίκτυα όσο και τα συστήματα fuzzy αποτελούν προσπάθειες να ενσωματώσουν την ‘ανθρώπινη λογική’ σε παραδοσιακές διαδικασίες επεξεργασίας δεδομένων, παρόλο που η υλοποίηση της ιδέας αυτής προσεγγίζεται από διαφορετικές οπτικές πλευρές (Kulkarni and Lulla 1999). Ατομικά, τα νευρωνικά δίκτυα και τα fuzzy συστήματα παρουσιάζουν πέρα από μοναδικά χαρακτηριστικά και θεμελιώδεις περιορισμούς. Συνεπώς, κάθε τεχνολογία έχει την δυνατότητα να λύσει μια μονό πλευρά του προβλήματος, και καμία δεν μπορεί να επιφέρει μια συνολική λύση. Πολύ πρόσφατα, παρατηρήθηκε ερευνητικό ενδιαφέρον για την σύνθεση και ενοποίηση των νευρωνικών δικτύων και των fuzzy συστημάτων. Η εξέταση των πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων τους αποκαλύπτει κάτι πολύ σημαντικό και ενδιαφέρον: οι δύο τεχνολογίες είναι συμπωματικά συμπληρωματικές μεταξύ τους από άποψη λειτουργιών που προσφέρουν. Τα οφέλη κάθε μιας τεχνολογίας συμβαίνει να αποτελούν ελλείψεις της άλλης (Medsker 1994, Kulkarni and Lulla 1999). Επομένως αν οι δύο αυτές προσεγγίσεις συνδυαστούν, θα οδηγήσουν σε μια νέα τεχνολογία με πλεονεκτήματα τα πλεονεκτήματα των δύο προηγούμενων. Η νέα αυτή τεχνολογία είναι γνωστή στην τεχνητή νοημοσύνη σαν neuro-fuzzy συστήματα (Nauck et al. 1997). Ένα neuro-fuzzy σύστημα είναι, βασικά, ένα fuzzy σύστημα που χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο εκμάθησης εμπνευσμένο από

τη θεωρία νευρωνικών δικτύων για να καθορίσει τις παραμέτρους του που βασίζονται σε δείγματα δεδομένων (Nauck et al. 1997). Τα συστήματα αυτά προσφέρουν συνήθως

---

μια πιο δυνατή λύση από ότι κάθε μια από τις τεχνολογίες που συνδυάστηκαν για να προκύψουν.

#### 5.4. Συνοπτική περιγραφή των ‘Neuro-fuzzy’ συστημάτων

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε σε τρία neuro-fuzzy συστήματα που έχουν ήδη χρησιμοποιηθεί στη ταξινόμηση εικόνας:

1. ‘Neuro-fuzzy’ συστήματα που βασίζονται στο μοντέλο οπισθοδρομικής διάδοσης.
2. ‘Neuro-fuzzy’ συστήματα που βασίζονται σε δίκτυα ασαφούς παρεμβολής.
3. ‘Neuro-fuzzy’ συστήματα που βασίζονται σε ασαφή συστήματα αυτο-οργανωμένου χάρτη.

Τα τρία αυτά συστήματα παρουσιάζουν συγκεκριμένα πλεονεκτήματα καθώς και περιορισμούς. Η εφαρμογή τους σε πραγματικά δεδομένα (*Opening the black box of neural networks for remote sensing image classification*) δεν ήταν απόλυτα επιτυχής αφού κανένα από τα συστήματα δεν ήταν σε θέση να οδηγήσει σε ακριβή ταξινόμηση και να εξάγει εύκολα αντιληπτούς ‘if-then’ κανόνες. Έρευνες που ακολούθησαν είχαν σαν στόχο να υλοποιήσουν ένα ‘neuro-fuzzy’ σύστημα που θα βασίζεται στην ενσωμάτωση των πλεονεκτημάτων των παραπάνω συστημάτων και την ελαχιστοποίηση των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν.

Τα ‘neuro-fuzzy’ συστήματα που βασίζονται στο LVQ fuzzified αλγόριθμο, συνδυάζουν στρατηγικές εκπαίδευσης επιβλεπόμενης και μη επιβλεπόμενης εκμάθησης, ενώ σε απόδοση υπερέχουν σημαντικά από τις παραδοσιακές στατιστικές (μέγιστης πιθανοφάνειας) και οπισθοδρομικής διάδοσης προσεγγίσεις νευρωνικών δικτύων. Τα βελτιωμένα ‘neuro-fuzzy’ συστήματα είναι επίσης σε θέση να δημιουργήσουν ασαφή ‘if-then’ κανόνες και να αυτοματοποιήσουν το ανάλογο σύνολο

---

ασαφών παραμέτρων, έτσι ώστε η διαδικασία απόφασης ενός νευρωνικού δικτύου να είναι διαυγής. Η αυτοματοποίηση του αυτο-σχετιζόμενου συνόλου fuzzy παραμέτρων για τους εξαγόμενους 'if-then' κανόνες ελαφρύνει σε κάποιο βαθμό την απόκτηση γνώσης προβλημάτων του ασαφούς έμπειρου συστήματος. Αφού εξαχθούν οι 'if-then' κανόνες, τότε σταματάει να είναι απαραίτητη και η χρήση ενός νευρωνικού δικτύου. Οι εξαγόμενοι ασαφής κανόνες αποτελούν μια βάση γνώσεων, που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτέλεση ταξινόμησης εικόνας στην περιοχή πειραματισμού η και σε άλλα μέρη όπου επικρατούν παρόμοιες συνθήκες.

Η ανθρώπινη εμπειρική γνώση μπορεί επίσης να συμπεριληφθεί στη διαδικασία ταξινόμησης για να βελτιώσει την απόδοση του συστήματος. Η ενοποίηση ενός αλγόριθμου εκμάθησης νευρωνικών δικτύων με την συμβολική αναπαράσταση ενός νευρωνικού δικτύου έκαναν τη διαδικασία λήψης αποφάσεων με χρήση νευρωνικών δικτύων περισσότερο διαυγή και ταυτόχρονα διευκολύνουν την αυτόματη απόκτηση γνώσης σε ένα ασαφή έμπειρο σύστημα.

## **6. Πιλοτική εφαρμογή νευρωνικών και ασαφών ταξινομήσεων σε περιοχή της Σκιάθου**

### **6.1. Εισαγωγή**

Στο στάδιο αυτό πραγματοποιείται περιγραφή της διαδικασίας ταξινόμησης της δορυφορικής εικόνας της περιοχής μελέτης της Σκιάθου. Αποτελεί το σημαντικότερο μέρος της εργασίας. Σε πρώτο επίπεδο γίνεται ο εντοπισμός των δειγματοληπτικών περιοχών και η δημιουργία των φασματικών υπογραφών των διαφορετικών κατηγοριών κάλυψης γης, στη συνέχεια εφαρμόζονται τα δύο είδη της ταξινόμησης, αυτή που βασίζεται στα ασαφή σύνολα και εκείνη που γίνεται με βάση τη θεωρία των νευρωνικών δικτύων, για τη συγκεκριμένη ημερομηνία λήψης της δορυφορικής εικόνας IKONOS και τέλος ελέγχεται η σχετική ακρίβεια της ταξινόμησης κάθε μιας από της προαναφερθείσας μεθόδους ως προς την ταξινομημένη εικόνα με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (που θεωρείται η ταξινόμηση αναφοράς λόγω της μεγάλης ακρίβειάς της). Στη συνέχεια παρουσιάζονται αναλυτικά τα βήματα που ακολουθήθηκαν.

### **6.2. Ο δορυφόρος IKONOS**

Ο δορυφόρος Ikonos (το όνομα του οποίου προέρχεται από την ελληνική λέξη «εικόνα») λειτουργεί από τον Σεπτέμβριο του 1999, αποτελώντας τον πρώτο δορυφόρο που λάμβανε εμπορικά διαθέσιμα δεδομένα ανάλυσης 1m.

Λόγω της υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας (1m στα παγχρωματικά, 4m στα πολυφασματικά), και της παραγγελίας με βάση το πολύγωνο ενδιαφέροντος, τα δεδομένα Ikonos μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πλήθος εφαρμογών. Επίσης, υπάρχει η δυνατότητα να συνδυαστούν τα παγχρωματικά με τα πολυφασματικά δεδομένα, δίνοντας έτσι έγχρωμα δεδομένα (pansharpened) διακριτικής ικανότητας 1m.

Σε περίπτωση που οι υφιστάμενες λήψεις δεν ικανοποιούν τις ανάγκες και επιθυμίες του χρήστη, μπορεί να πραγματοποιηθεί προγραμματισμός του δορυφόρου, βάσει παραμέτρων που καθορίζονται με την βοήθεια του χρήστη. Με αυτό τον τρόπο είναι δυνατή η προμήθεια δεδομένων τόσο πρόσφατων ώστε να απεικονίζουν την σημερινή πραγματικότητα. Επιπλέον, λόγω της δυνατότητας λήψης στερεοζευγών εντός τροχιάς, είναι δυνατή η επεξεργασία και παραγωγή DEM και άρα εξαγωγή πληροφορίας στην τρίτη διάσταση, με ανάλυση και ακρίβειες πρωτοποριακές για τον χώρο των δορυφορικών δεδομένων.



Εικόνα 6.1: Εικόνα από το δορυφόρο IKONOS (Πηγή διαδικτυο : <http://www.ikonos.com>. Copyright 2004 Space Imaging)

-	Ikonos Pan 1m	Ikonos MSI 4m	Ikonos PSM 1m
Είδος	Οπτικά Παγχρωματικά	Οπτικά Πολυφασματικά	Οπτικά Έγχρωμα
Διαχωριστική ικανότητα	1 m	4 m	1 m
Εκταση κάλυψης μίας πλήρους εικόνας	11km x 11km	11km x 11km	-
Εκταση παραγγελίας δεδομένων αρχείου	50km <sup>2</sup>	50km <sup>2</sup>	50km <sup>2</sup>
Εκταση παραγγελίας νέων λήψεων	100km <sup>2</sup>	100km <sup>2</sup>	100km <sup>2</sup>
Εύρος φάσματος	0,45 - 0,90 μm	0,45 - 0,53 μm	-

		0,52 - 0,61 $\mu\text{m}$ 0,64 - 0,72 $\mu\text{m}$ 0,77 - 0,88 $\mu\text{m}$	
Βάθος τόνου λήψης	11 bit	11 bit	-
Βάθος τόνου παράδοσης	8 ή 16 bit	8 ή 16 bit	8 ή 16 bit
Στοιχεία τροχιάς	Πολική, μέσο ύψος 681 km	Πολική, μέσο ύψος 681 km	-
Δυνατότητα προγραμματισμού	Ναι	Ναι	Ναι
Δυνατότητα λήψης υπό γωνία - παραγωγής στερεοζεύγους	Ναι	Ναι	Ναι
Διάρκεια λειτουργίας δορυφόρων	1999 - σήμερα	1999 - σήμερα	1999 - σήμερα
Επίπεδα επεξεργασίας	Geo, Pro, Pre, Pre+, Standard/ Precision Stereo	Geo, Pro, Pre	Geo, Pro, Pre, Pre+, Standard/ Precision Stereo

Πίνακας: 6.1.Χαρακτηριστικά του δορυφόρου IKONOS (Πηγή διαδίκτυο : <http://www.> Copyright 2004  
Space Imaging, Inc)

Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι συλλέγει πολυφασματικές και πανχρωματικές εικόνες. Τα γενικά χαρακτηριστικά τους είναι :

ι) Πολυφασματική εικόνα.

- Τέσσερα κανάλια. Τρία στο ορατό ένα στο υπέρυθρο.
- Χωρική διακριτική ικανότητα 4X4 μέτρα.
- Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα  $2^{10}$ , δηλαδή 1024 διαβαθμίσεις του γκριζου σε κάθε κανάλι

ιι) Πανχρωματική εικόνα.

- Ένα κανάλι
- Χωρική διακριτική ικανότητα 1X1 μέτρο.
- Ραδιομετρική διακριτική ικανότητα  $2^{10}$ , δηλαδή 1024 διαβαθμίσεις του γκριζου.



### 6.2.1. Γεωμετρικοί μετασχηματισμοί

Η δορυφορική εικόνα (βλ. εικόνα 6.2 παραρτήματος) έπρεπε να υποστεί τους κατάλληλους γεωμετρικούς μετασχηματισμούς ώστε να είναι γεωδεταιμένη στο προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 87. (Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς 1987) (βλ. πίνακα 6.2 παραρτήματος). Έγινε, λοιπόν ορθοαναγωγή της εικόνας με τη χρήση ψηφιακού μοντέλου εδάφους και φωτοσταθερών σημείων (ground control points. Gcp.). Ως φωτοσταθερά σημεία χρησιμοποιήθηκαν σημεία εδάφους που εντοπίστηκαν από τοπογραφικά διαγράμματα κλίμακας 1: 5000. Τα σημεία που επιλέχθηκαν βρίσκονταν διεσπαρμένα στην εικόνα IKONOS επιτρέποντας καλύτερη ακρίβεια στη γεωμετρική διόρθωσή της.

### 6.3. Περιγραφή του λογισμικού ταξινόμησης (IDRISI)

Το λογισμικό Idrisi αποτελείται από ένα κύριο πρόγραμμα διασύνδεσης και από μια συλλογή προγραμμάτων (περισσότερα των 200), που λειτουργούν ως υπομονάδες (modules), οι οποίες παρέχουν ευκολίες για την εισαγωγή, έκθεση και ανάλυση γεωγραφικών και τηλεσκοπικών δεδομένων. Αυτά τα γεωγραφικά δεδομένα περιγράφονται σε μορφή χαρτών (map layers). Παρδείγματα αυτών των χαρτών μπορεί να περιέχουν layers με δρόμους, με υψομετρικές διαφορές, τύπους εδάφους κ.α. Όλες οι αναλύσεις γίνονται πάνω σε επίπεδα χαρτών (map layers). Όσον αφορά την παρουσίαση μια σειρά από στρώσεις χαρτών μπορούν να συνδυαστούν και να δημιουργηθεί ένας χάρτης σύνθεσης (map composition).

Επειδή τα γεωγραφικά δεδομένα μπορεί να είναι διαφορετικών τύπων, το Idrisi συγχωνεύει δύο βασικές μορφές των map layers: ψηφιδωτά (raster image) layers και διανυσματικά (vector) layers. Παρόλο που το λογισμικό έχει εξειδικευτεί στην εισαγωγή και έκθεση και των δύο παραπάνω τύπων layer η ανάλυση είναι κυρίως

προσανατολισμένη στη χρήση των image layers. Επιπρόσθετα το λογισμικό προσφέρει ένα πλήρες σύστημα επεξεργασίας εικόνας για δεδομένα δορυφορικών εικόνων και τηλεπισκόπησης. Για το λόγο αυτό είναι κυρίως γνωστό ως raster σύστημα, χωρίς αυτό να σημαίνει ότι δεν προσφέρει δυνατότητες ανάλυσης διανυσματικών δεδομένων, καθώς επίσης και δυνατότητες μετατροπής διανυσματικών εικόνων σε raster εικόνες. Συνεπώς το σύστημα παρέχει μία δυναμική συλλογή από εργαλεία για γεωγραφικές αναλύσεις που απαιτούν και τα δύο είδη χαρτών (raster and map layers).

#### 6.4. Το δειγματοληπτικό στάδιο

Ο καθορισμός των δειγματοληπτικών περιοχών βάσει των οποίων θα «τρέξει» η ταξινόμηση είναι πολύ βασικό στάδιο και σε αντίθεση με την ταξινόμηση δε θεωρείται αυτόματη διαδικασία. Ο επιστήμονας απαιτείται να γνωρίζει γεωγραφικά την περιοχή που ταξινομεί, διότι η ποιότητα των δειγματοληπτικών περιοχών καθορίζει την επιτυχία της ταξινόμησης.

Ο βασικός σκοπός του δειγματοληπτικού ελέγχου είναι ο υπολογισμός ενός αριθμού στατιστικών παρατηρήσεων που περιγράφουν τις φασματικές υπογραφές κάθε κατηγορίας κάλυψης γης που συμμετέχει στη διαδικασία της ταξινόμησης. Για να έχει η ταξινόμηση αποδεκτά αποτελέσματα θα πρέπει οι δειγματοληπτικές περιοχές να είναι παραστατικές και συμπληρωμένες (Lillesand & keifer, 1994). Με άλλα λόγια ο επιστήμονας θα πρέπει να αναπτύξει δειγματοληπτικά χαρακτηριστικά για κάθε κατηγορία που περιέχεται στην ταξινόμηση, για κάθε δηλαδή κάλυψη γης.

Για να τοποθετήσουμε τις δειγματοληπτικές περιοχές επί της εικόνας χρησιμοποιούμε τις περισσότερες φορές πολύγωνα, τα οποία περικλείουν «αμιγή» κάλυψη γης. Θα πρέπει, δηλαδή, οι δειγματοληπτικές περιοχές να είναι όσο το δυνατό πιο ομογενείς γίνεται, γεγονός που επιτυγχάνεται με τη δημιουργία πολυγώνων με τέτοιο τρόπο ώστε να αποφεύγονται τα pixel που βρίσκονται κοντά στα όρια με μία ή παραπάνω κατηγορίες. Η τοποθέτηση των δειγματοληπτικών περιοχών επί της εικόνας είναι επίσης βασικό μέρος της διαδικασίας. Ο χωρικός εντοπισμός των δειγματοληπτικών περιοχών όλων των καλύψεων της υπό μελέτης περιοχής έγινε με

κριτήριο την ομοιόμορφη χωρική κατανομή τους στην περιοχή μελέτης. Για παράδειγμα είναι προτιμότερο να δημιουργηθούν 15 δειγματοληπτικές περιοχές μιας κάλυψης γης που περιέχουν 60 pixel η κάθε μια παρά να καθοριστεί μια περιοχή με 800 pixel. Με αυτόν τον τρόπο αυξάνεται η πιθανότητα η δειγματοληπτική πληροφορία να είναι αντιπροσωπευτική και παραστατική και επίσης να αναφέρεται σε όλες τις κατηγορίες κάλυψης γης, που βρίσκονται επί της εικόνας. (Κυρίμης, Μπέτσης, 1998)

Στην προσπάθεια να πραγματοποιηθεί ο δειγματοληπτικός έλεγχος προτείνεται να ελεγχθεί η φασματική διάκριση των κατηγοριών κάλυψης γης που επιτυγχάνεται με τη δημιουργία και παρουσίαση φασματικών υπογραφών για κάθε κατηγορία. Οι φασματικές υπογραφές καθορίζουν το εύρος των ραδιομετρικών τιμών κάθε κατηγορίας, ώστε να μπορούν να αποφευχθούν οι συμπτώσεις. Έτσι οι κατηγορίες κάλυψης γης μπορούν να γίνουν πιο ομογενείς, αφού είναι δυνατή η απόρριψη pixel μιας κατηγορίας που εμφανίζουν κοινή φασματική υπογραφή με μια άλλη κατηγορία.

Ένας δεύτερος τρόπος για να αποφευχθεί η τομή των κατηγοριών «κάλυψης» γης παρέχεται από την ταξινόμηση των ίδιων των δειγματοληπτικών περιοχών. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται και για τον έλεγχο της ακρίβειας της ταξινόμησης, με τον εντοπισμό του ποσοστού των pixel που ταξινομούνται στην πραγματικότητα, μέσα στην περιοχή (training sites) κάποιας κατηγορίας κάλυψης γης με τα ποσοστά αυτά να παρουσιάζονται σε ένα πίνακα σφαλμάτων (error matrix). (Κυρίμης, Μπέτσης, 1998) Όταν οι δειγματοληπτικές περιοχές είναι ομογενείς δεν παρουσιάζονται συνήθως μεγάλα σφάλματα.

Ένας τρίτος τρόπος είναι ο επιτόπιος έλεγχος για το σαφή διαχωρισμό καλύψεων γης. Η μέθοδος αυτή υιοθετείται όταν οι φασματικές υπογραφές δύο διαφορετικών καλύψεων γης είναι τόσο πανομοιότυπες, ώστε να μη μπορούν να ξεχωριστούν μετά από τη διαδικασία της ταξινόμησης.

#### **6.4.1. Δημιουργία δειγματοληπτικών περιοχών**

Η διαδικασία διαμόρφωσης των κατηγοριών των δειγματοληπτικών περιοχών είναι η παρακάτω: Σε πρώτο επίπεδο πραγματοποιείται ακριβής αριθμητικός προσδιορισμός και ονοματολογία των συγχωνεύσεων των κατηγοριών κάλυψης γης

(από Corine), οι οποίες θα χρησιμοποιηθούν στην ταξινόμηση και πρέπει να θεωρηθούν ως καθοριστικοί παράγοντες. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν ως βάση, οι κατηγορίες κάλυψης γης που αναφέρονται στο πρόγραμμα σε Πανευρωπαϊκή κλίμακα, ομαδοποιημένες στις υπάρχουσες ανάγκες, ανάλογα με το ποιες κατηγορίες κάλυψης γης εμφανίζονται στην περιοχή μελέτης. Ορισμένες από αυτές δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν, άλλες χρειάστηκε να μεταβληθούν και κάποιες άλλες ομαδοποιήθηκαν σύμφωνα με τον παρακάτω πίνακα.

Κωδικός Corine	Κατηγορίες	Νέες κατηγορίες
1.1.2	Διακεκομμένη αστική δόμηση	Διάχυτη δόμηση
1.3.3	Χώροι οικοδόμησης	-//-
1.2.4	Αεροδρόμια	Δεν εμφανίστηκαν
1.3.1	Χώροι εξορύξεως ορυκτών	Δεν εμφανίστηκαν
1.3.2	Χώροι απορρίψεως απορριμμάτων	Δεν εμφανίστηκαν
1.2.2	Οδικά και σιδηροδρομικά δίκτυα	Οδικό δίκτυο
1.4.1	Περιοχές αστικού πράσινου	Δεν εμφανίστηκαν
1.4.2	Εγκαταστάσεις αθλητισμού και αναψυχής	Δεν εμφανίστηκαν
2.4.1	Ετήσιες καλλιέργειες	-//-
2.4.2	Σύνθετα συστήματα καλλιέργειας	-//-
2.2.2	Οπωροφόρα δένδρα	Βλάστηση με δένδρα
2.2.3	Ελαιώνες	-//-
2.1.3	Ορυζώνες	Δεν εμφανίστηκαν
2.3.1	Λιβάδια	Δεν εμφανίστηκαν
3.1.3	Μικτό δάσος	Βλάστηση με δένδρα
2.4.3	Γεωργική βλάστηση με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης	Βλάστηση χωρίς δένδρα
3.2.4	Μεταβατικές δασώσεις- θαμνώδεις εκτάσεις	-//-
3.2.2	Θάμνοι και χερσότοποι	Ξερική γη
3.3.1	Παραλίες –αμμόλοφοι αμμουδιές	Αμμουδιά
3.3.3	Εκτάσεις με αραιή βλάστηση	-//-
3.3.4	Αποτεφρωμένες εκτάσεις	Δεν εμφανίστηκαν
3.3.2	Απογυμνωμένοι βράχοι	Δεν εμφανίστηκαν
4.2.2	Αλυκές	Δεν εμφανίστηκαν
4.3.3	Παλιρροιακά επίπεδα	Δεν εμφανίστηκαν
5.2.3	Θάλασσα	Υδάτινοι πόροι
5.1.2	Συλλογές υδάτων	Δεν εμφανίστηκαν
5.2.1	Παράκτιες λιμνοθάλασσες	Δεν εμφανίστηκαν
5.2.2	Εκβολές Ποταμών	Δεν εμφανίστηκαν

Πίνακας 6.2.: Ομαδοποίηση των κατηγοριών του στις νέες κατηγορίες κάλυψης γης που θα χρησιμοποιηθούν στις ταξινομήσεις

Όπως φαίνεται και παραπάνω ιδιαίτερο ενδιαφέρον, χρήζουν εκείνες οι κατηγορίες των ομαδοποιημένων καλύψεων γης που είναι τέσσερις. Η πρώτη είναι εκείνη της διάσπαρτης αστικής δόμησης, που προκύπτει από την όμοια κατηγορία του Corine αλλά και από τις περιοχές οικοδόμησης, που συνήθως εμφανίζονται σε περιοχές τέτοιου τύπου και παρουσιάζουν όμοιες φασματικές συμπεριφορές. Η επόμενη είναι εκείνη της βλάστηση με δένδρα που περιλαμβάνει τις τρεις κατηγορίες του Corine: α) Μικτό δάσος, β) Ελαιώνες, γ) Οπωροφόρα δένδρα. Η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει όλες τις εκτάσεις από τα οπωροφόρα δένδρα έως το μικτό δάσος που μπορούν να ομαδοποιηθούν, χάρη στο γεγονός ότι οι φασματικές τους υπογραφές δεν διαφέρουν και πολύ. Για τον ίδιο λόγο δημιουργήθηκε και η τρίτη κατηγορία που είναι αυτή της βλάστησης χωρίς δένδρα και περιλαμβάνει τις εξείς κατηγορίες του Corine: α) Θάμνοι και χερσότοποι, β) Μεταβατικές δασώσεις- θαμνώδεις εκτάσεις γ) Γεωργική βλάστηση με σημαντικές εκτάσεις φυσικής βλάστησης. Οι επόμενες κατηγορίες κάλυψης γης που χρησιμοποιήθηκαν και δεν ομαδοποιήθηκαν είναι: α) Οδικό δίκτυο, β) Ξερική γη, γ) Αμμουδιά και δ) Υδάτινοι πόροι, οι οποίες διαχωρίζονται από τις υπόλοιπες, λόγω της φασματικής τους υπογραφής και αφετέρου από την πραγματική τους οπτική διαφορά από το έδαφος.

#### 6.4.2. Εντοπισμός και οριοθέτηση των δειγματοληπτικών περιοχών

Έπειτα από τον καθορισμό των κατηγοριών κάλυψης γης που θα χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία των ταξινομήσεων, προκύπτει το ζήτημα της δημιουργίας των δειγματοληπτικών περιοχών. Στο στάδιο αυτό, η δυσκολία του ακριβούς καθορισμού τους έχει να κάνει με τις ιδιαιτερότητες που παρουσιάζει κάθε κατηγορία. Για την εύρεση δειγματοληπτικών περιοχών μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα βοηθητικά εργαλεία, όπως δεδομένα από χωροταξικά σχέδια, σχεδιαγράμματα για το κάθε σημείο για το πώς είναι διαμορφωμένες οι καλύψεις γης γύρω από αυτό, καθώς επίσης και η χρήση του G.P.S. Στην παρούσα εργασία, χάρη στην υψηλή χωρική διακριτική ικανότητα των δεδομένων Ikonos που είχαμε στη διάθεσή μας, οι δειγματοληπτικές περιοχές δημιουργήθηκαν από την εμφάνιση των διαφόρων καναλιών της δορυφορικής εικόνας στην περιοχή.

---

Οι δειγματοληπτικές περιοχές που δημιουργήθηκαν είναι συνοπτικά οι παρακάτω:

- Υδάτινοι πόροι
- Διάχυτη δόμηση
- Οδικό δίκτυο (πρωτεύον)
- Βλάστηση με δένδρα
- Ξερική γη
- Αμμουδιά
- Βλάστηση χωρίς δένδρα
- Οδικό δίκτυο (δευτερεύον)

Για όλες τις παραπάνω κατηγορίες έγινε οριοθέτηση των πλέον αντιπροσωπευτικών δειγματοληπτικών περιοχών της ευρύτερης περιοχής μελέτης. Αναλυτικότερα όσον αφορά την πρώτη κατηγορία, δεν υπήρξε πρόβλημα στην οριοθέτηση της, αφού η θάλασσα διακρίνεται εύκολα στην εικόνα μας και δεν παρατηρήθηκαν ποτάμια, λίμνες και άλλοι υδάτινοι πόροι στην ευρύτερη περιοχή. Για τη δεύτερη κατηγορία, η οριοθέτηση ήταν δυσκολότερη αφού συνεχής αστική δόμηση δεν παρατηρήθηκε και οι οικισμοί αυτοί περιλαμβάνονται τις περισσότερες φορές από πυκνή βλάστηση. Για το λόγο αυτό χρειάστηκε να ληφθούν δείγματα από το κέντρο των οικισμών και τις περισσότερες φορές από τις σκεπές των σπιτιών της εικόνας. Όσον αφορά το οδικό δίκτυο δημιουργήθηκαν δύο κατηγορίες, μια για το πρωτεύον και μια για το δευτερεύον οδικό δίκτυο (κυρίως χωματόδρομοι), για τα οποία ο διαχωρισμός τους έγινε σχετικά εύκολα, καθώς στην πρώτη περίπτωση έχει χρησιμοποιηθεί ασφαλτος για τη δημιουργία του, ενώ στη δεύτερη όχι.

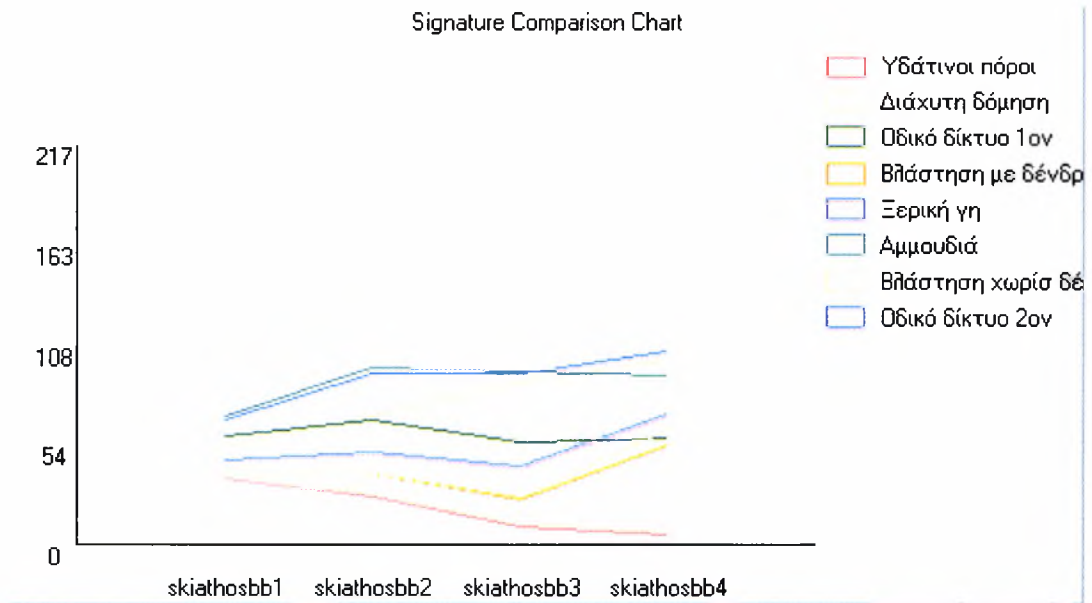
Σχετικά με την κατηγορία «αμμουδιά» η λήψη δειγματοληπτικών περιοχών δεν ήταν δύσκολη λόγω της γεωγραφικής της θέσης, αλλά έπρεπε να γίνει προσεχτικά λόγω της έντονης σχέσης των ραδιομετρικών τιμών της κατηγορίας αυτής και του οδικού



δικτύου δεύτερης κατηγορίας. Τέλος για τις υπόλοιπες κατηγορίες ξερική γη, βλάστηση με δένδρα και βλάστηση χωρίς δένδρα δεν παρουσιάστηκε ιδιαίτερο πρόβλημα, διότι οι δειγματοληπτικές περιοχές που οριοθετήθηκαν ήταν σχετικά εύκολα διαχωρίσιμες από τις άλλες κατηγορίες στην εικόνα της περιοχής μελέτης.

## 6.5. Έλεγχος φασματικών υπογραφών

Επόμενο στάδιο μετά τον καθορισμό των δειγματοληπτικών περιοχών είναι ο έλεγχος των φασματικών υπογραφών των κατηγοριών κάλυψης γης, που αναφέρονται σε κάθε φασματικό κανάλι και δημιουργούνται με βάση τα πολύγωνα που αντιστοιχούν σε κάθε κάλυψη γης, μέσω του προγράμματος Idrisi. Οι φασματικές υπογραφές είναι οι τεθλασμένες γραμμές που προκύπτουν από την ένωση των μέσων ραδιομετρικών τιμών των δειγματοληπτικών περιοχών κάθε κάλυψης γης για κάθε κανάλι. Απαραίτητη προϋπόθεση για να είναι τα αποτελέσματα της ταξινόμησης πιο σωστά, αποτελεί το γεγονός ότι οι φασματικές υπογραφές πρέπει να είναι όσο το δυνατό πιο διαφοροποιημένες μεταξύ τους. Αυτό εξαρτάται από την κάθε κατηγορία, το πόσο μοιάζουν οι καλύψεις μεταξύ τους και το πόσο σωστά έχουν δημιουργηθεί οι δειγματοληπτικές περιοχές. Στα παρακάτω διαγράμματα φαίνονται οι φασματικές υπογραφές όλων των καλύψεων γης, οι οποίες διαχωρίζονται πλήρως από τις υπόλοιπες.



Εικόνα 6.3.: Διάγραμμα φασματικών υπογραφών των 8 κατηγοριών κάλυψης γης

Στον οριζόντιο άξονα φαίνονται τα 4 φασματικά κανάλια του δορυφόρου, αφού μετασηματίστηκαν από 11-‘bit’ ψηφιακές δορυφορικές εικόνες σε 8-‘bit’ ψηφιακές δορυφορικές εικόνες και από ‘real binary’ τύπο αρχείου (format) σε ‘byte binary’ τύπο αρχείου (format). Όπως αναφέρθηκε και νωρίτερα στα γενικά χαρακτηριστικά του δορυφόρου IKONOS , σε μια πολυφασματική εικόνα του δορυφόρου τα τρία κανάλια αντιστοιχούν στο ορατό και ένα στο υπέρυθρο (4<sup>ο</sup> κανάλι). Στον κάθετο άξονα βλέπουμε τις μέσες ραδιομετρικές τιμές των εικονοστοιχείων που περιέχονται στις δειγματοληπτικές περιοχές. Όπως φαίνεται, λοιπόν, και στο διάγραμμα οι φασματικές υπογραφές όλων των κατηγοριών καλύψεων γης διαχωρίζονται η μια από τη άλλη σε όλα τα κανάλια και είμαστε σε θέση να διακρίνουμε τη μέση τιμή της κάθε μιας σε κάθε κανάλι. Το μόνο πρόβλημα παρουσιάζεται σε εκείνη τη φασματική υπογραφή της βλάστησης με δένδρα και σε αυτή της βλάστησης χωρίς δένδρα, που όπως φαίνεται και στο παραπάνω διάγραμμα είναι πολύ κοντά η μια στην άλλη.

## 6.6. Η διαδικασία των ταξινομήσεων

Έπειτα από τον έλεγχο των φασματικών υπογραφών, πραγματοποιείται η ουσιαστική διαδικασία των ταξινομήσεων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί οι μέθοδοι που θα

χρησιμοποιηθούν είναι αυτή των νευρωνικών δικτύων (neural networks) και εκείνη των ασαφών ταξινομήσεων (fuzzy classification). Η κάθε μια θα χρησιμοποιηθεί για τη δορυφορική εικόνα που έχουμε στη διάθεση μας, για το 2007. Επίσης για κάθε μια από τις ταξινομήσεις, παρουσιάζονται ορισμένα συμπεράσματα για την ταξινόμηση των διαφόρων κατηγοριών γης στην περιοχή μελέτης.

### 6.6.1. Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας της Σκιάθου με νευρωνικά δίκτυα

Η πρώτη μέθοδος είναι εκείνη των νευρωνικών δικτύων. Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα νευρωνικά δίκτυα ανήκουν στη γενικότερη κατηγορία των μη-παραμετρικών μεθόδων που δεν κάνουν καμιά υπόθεση για την παραμετρική μορφή της συνάρτησης που προσομοιώνουν, γεγονός που τα καθιστά πιο ευέλικτα από τις παραμετρικές μεθόδους που προσπαθούν να προσαρμόσουν την πραγματικότητα σε συγκεκριμένες φόρμες. Έτσι μπορούν να αντικαταστήσουν με επιτυχία παραδοσιακές μεθόδους ταξινόμησης.

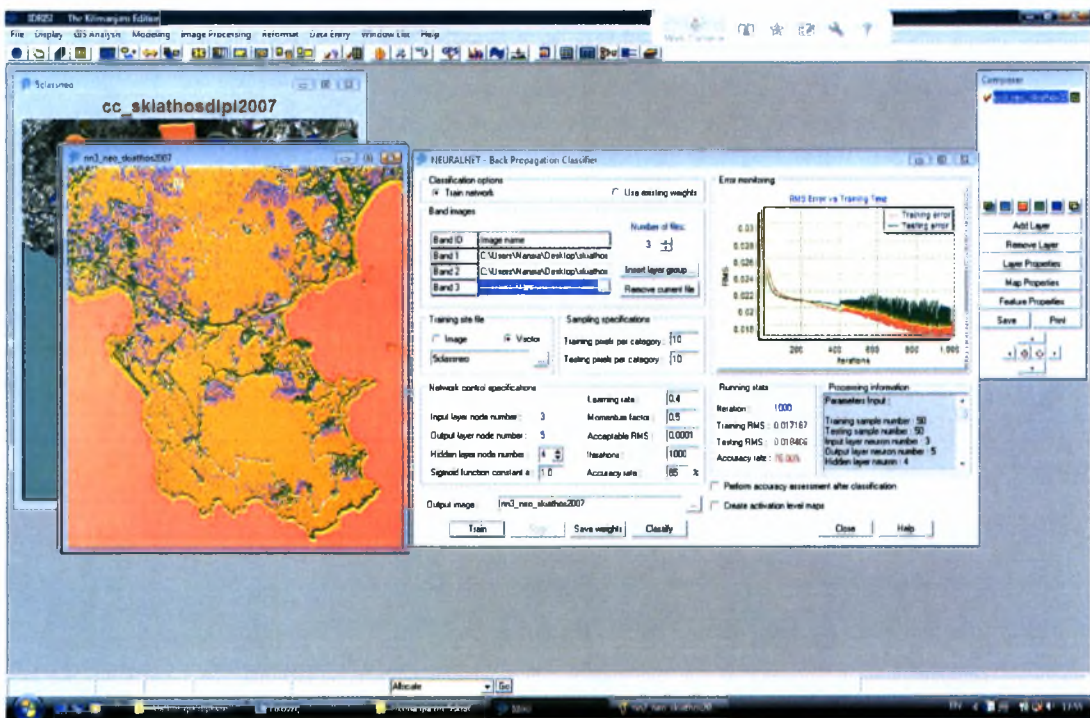
Παρά την εξέχουσα απόδοσή αυτών των συστημάτων στη ταξινόμηση εικόνων, είναι δύσκολο να δοθεί μια λογική επεξήγηση της διαδικασίας μέσω της οποίας προκύπτει η έξοδος ενός νευρωνικού δικτύου. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ένα νευρωνικό δίκτυο πρέπει να εκπαιδεύεται από την αρχή. Μέσω της διαδικασίας εκπαίδευσης, προκύπτει η γνώση της ταξινόμησης εικόνας και αποθηκεύεται αποκλειστικά σε αριθμητική μορφή στα βάρη των ακμών του δικτύου. Πιο συγκεκριμένα όταν ο γραμμικός ταξινομητής «εκπαιδευτεί» με τα στοιχεία που προέρχονται από γνωστές τάξεις ώστε η τελική θέση του διανύσματος των βαρών έχει επιλεγεί σωστά, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εξετάσει τα pixel που είναι αταξινόμητα, ώστε να τα καταχωρήσει σε κάποιο τύπο εδαφικής κάλυψης.

Σαν βασικό συμπέρασμα μπορούμε να σημειώσουμε ότι είναι αδύνατο να ενσωματώσουμε την ανθρώπινη γνώση ώστε να επιταχύνουμε ή να βελτιώσουμε την απόδοση της ταξινόμησης εικόνων, αφού δεν είναι δυνατό να κατανοήσουμε το συγκεκριμένο πρόβλημα εξαιτίας της μειωμένης ικανότητάς τους να παρέχουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων. Εξάλλου σύμφωνα με τον Benitez (1997), ένα νευρωνικό δίκτυο συχνά χαρακτηρίζεται σαν ένα μαύρο κουτί που

---

κρύβει την σχέση μεταξύ των εισόδων και εξόδων του στα βάρη των νευρώνων των ‘κρυφών’ επιπέδων. Παρόλα αυτά η χρήση των τεχνητών νευρωνικών δικτύων στην ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων έχει αποδειχθεί ότι επιτυγχάνει βελτιωμένη ακρίβεια συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους, εφόσον επιτευχθεί ο βέλτιστος αριθμός δοκιμών (try and error). Βεβαίως στην πράξη αυτό πολλές φορές είναι ανέφικτο.

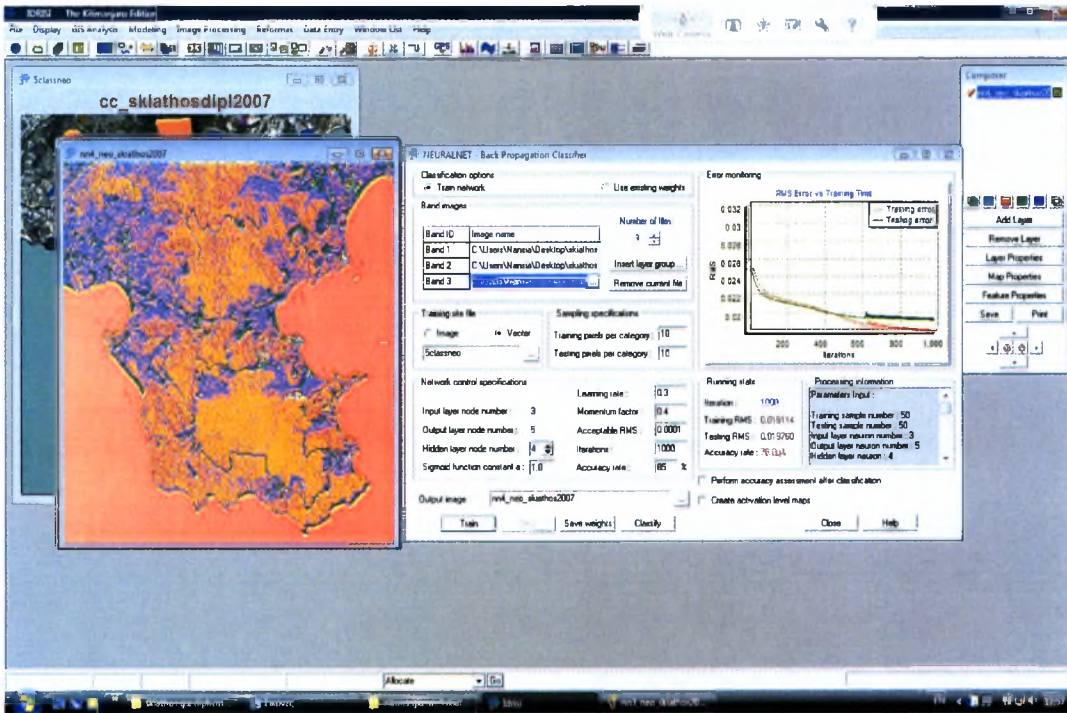
Στην παρούσα εργασία, λοιπόν, έγινε μια σειρά από δοκιμές όσον αφορά τις παραμέτρους που χρησιμοποιήθηκαν για να «εκπαιδευτεί» ο ταξινομητής, με σκοπό να επιτευχθεί όσο το δυνατόν καλύτερο αποτέλεσμα. Οι αλλαγές που πραγματοποιήθηκαν αφορούν στο ρυθμό εκπαίδευσης 'learning rate' και στον παράγοντα ροπής 'momentum factor'. Αρχικά έχοντας επιλέξει τις τιμές 0.4 και 0.5 αντίστοιχα για τις παραπάνω παραμέτρους, διαπιστώθηκε ότι τα αποτελέσματα της ταξινόμησης δεν ήταν ικανοποιητικά, καθώς, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα στο επάνω δεξί μέρος της εικόνας οι γραφικές παραστάσεις που περιγράφουν τις συναρτήσεις των testing και training errors παρουσιάζουν μεγάλη διακύμανση (διασπορά).



Εικόνα 6.4.: Πρώτη «Εκπαίδευση» ταξινομητή (βλ. και παράρτημα)



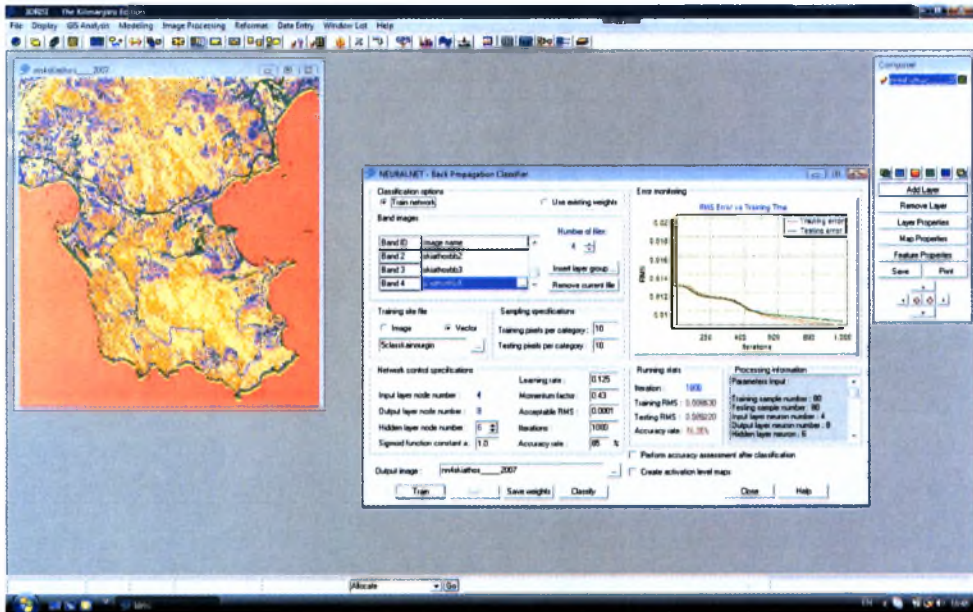
Στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε επιλογή των τιμών 0.3 και 0.4 αντίστοιχα για τις παραπάνω παραμέτρους, και για ακόμη μια φορά τα αποτελέσματα της ταξινόμησης δεν ήταν ικανοποιητικά, καθώς, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα οι γραφικές παραστάσεις των testing και training errors παρουσιάζουν πρόβλημα.



Εικόνα 6.5.: Δεύτερη «Εκπαίδευση» ταξινομητή (βλ. και παράρτημα)

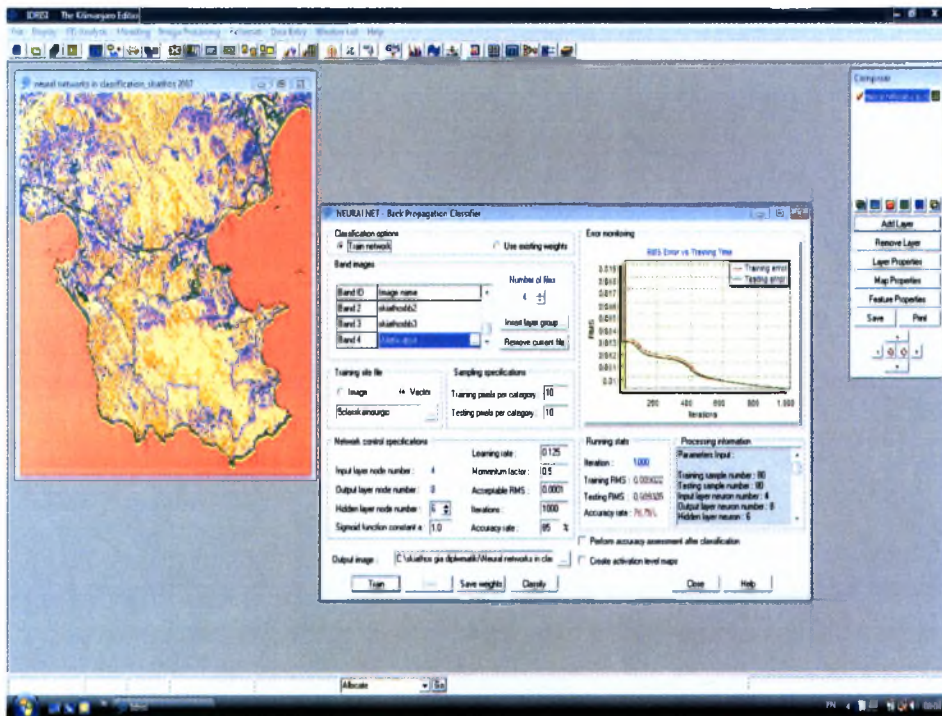


Όσον αφορά την τρίτη δοκιμή έγινε επιλογή των τιμών 0.125 και 0.43 αντίστοιχα για τις παραπάνω παραμέτρους, και για ακόμη μια φορά τα αποτελέσματα της ταξινόμησης δεν ήταν ικανοποιητικά, καθώς, όπως φαίνεται και στο παρακάτω διάγραμμα οι γραφικές παραστάσεις των testing και training errors μπορεί να μην παρουσιάζουν πρόβλημα, αλλά αποκλίνουν μεταξύ τους.



Εικόνα 6.6.: Τρίτη «Εκπαίδευση» ταξινομητή (βλ. και παράρτημα)

Τέλος χρησιμοποιώντας τις τιμές 0.125 και 0.5 για τις γνωστές παραμέτρους επιτεύχθηκε το παρακάτω αποτέλεσμα, το οποίο όπως φαίνεται και στο διάγραμμα στο επάνω δεξί μέρος της εικόνας οι γραμμές που περιγράφουν τις συναρτήσεις των testing και training errors συγκλίνουν, γεγονός θετικό για την ταξινόμηση, το οποίο μας οδηγεί να την επιλέξουμε ως την πλέον αντιπροσωπευτική.



Εικόνα 6.7.: Τελική «Εκπαίδευση» ταξινομητή (βλ. και παράρτημα)

Στη συνέχεια, αφού εκπαιδευτεί ο ταξινομητής κατάλληλα γίνεται η ταξινόμηση της δορυφορικής εικόνας, τα αποτελέσματα της οποίας απεικονίζονται στο χάρτη παρακάτω έχοντας πραγματοποιήσει αλλαγή χρωμάτων, περισσότερο προσαρμοσμένα στην πραγματικότητα (βλ. και παράρτημα). Συμπερασματικά, αξίζει να αναφέρουμε ότι τα αποτελέσματα είναι αρκετά κοντά στην πραγματικότητα, χωρίς να υπάρχουν αταξινόμητες περιοχές. Το μοναδικό πρόβλημα της ταξινόμησης ήταν το γεγονός ότι απαιτήθηκαν αρκετές επαναλήψεις του πειράματος «εκπαίδευσης» του ταξινομητή, με στόχο την εξαγωγή των πλέον αντιπροσωπευτικών αποτελεσμάτων



## Neural Networks in classification



### ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας  
Πολεοδομίας & Περιφερειακής  
Ανάπτυξης

#### Διπλωματική εργασία:

Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων  
ασαφούς λογικής και νευρωνικών  
δικτύων στην ταξινόμηση καλύψεων  
γης. Εφαρμογή στη Σκιάθο

Ταξινόμηση εικόνας της Σκιάθου  
με νευρωνικά δίκτυα για το έτος  
2007

- |   |                           |
|---|---------------------------|
|  | 1 Υδάτινοι πόροι          |
|  | 2 Διαχρηστέα οδόμηση      |
|  | 3 Οδικό δίκτυο πρωτεύον   |
|  | 4 Βλάστηση με δένδρα      |
|  | 5 Ξερική γη               |
|  | 6 Λιμνοδία                |
|  | 7 Βλάστηση χωρίς δένδρα   |
|  | 8 Οδικό δίκτυο δευτερεύον |

Φοιτήτρια: Λάλου Αθανασία

Επιβλέπων: Περάκης Κων/νος

Meters

769 89



### 6.6.2 Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας της Σκιάθου με τη μέθοδο των ‘Fuzzy’ ταξινομήσεων

Σε αντίθεση με τα νευρωνικά, ένα (fuzzy) ασαφές σύστημα, έχει την δυνατότητα να αναπαριστά αποφάσεις ταξινόμησης εικόνων στη μορφή επεξηγηματικών ασαφών κανόνων ‘if-then’. Όπως έχει ήδη αναφερθεί τα ‘fuzzy’ σύνολα επιτρέπουν την ανάθεση μερικής και ολικής συμμετοχής αντικειμένων σε σύνολα. Τα ‘fuzzy’ συστήματα χρησιμοποιούν σκόπιμα ανακριβείς ακαθόριστες πληροφορίες για να δημιουργούν απλούστερα, περισσότερο κατάλληλα μοντέλα που είναι ευκολότερα στο χειρισμό και πιο κοντά στην ανθρώπινη σκέψη. Η εμπειρική ανθρώπινη γνώση είναι η κύρια πηγή των κανόνων στα συστήματα αυτά. Είναι επομένως δυνατό να βελτιώσουμε την απόδοσή τους προσθέτοντας νέους κανόνες, αφαιρώντας κάποιους ελλείψεις και ανανεώνοντας ήδη υπάρχοντες στην αποκτηθείσα γνώσης.

Σχετικά με την ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας, η εφαρμογή της ασαφούς λογικής δεν έχει διαδοθεί ιδιαίτερα, γεγονός που οφείλεται κυρίως στην περιορισμένη δυνατότητα τους για απόκτηση έμπειρης γνώσης. Σε περίπλοκα συστήματα, η μη αυτοματοποιημένη διάγνωση και βελτιστοποίηση των παραμέτρων ορισμένων ασαφών συνόλων είναι ουσιαστικά αδύνατη (Abe and Lan 1996). Τα προβλήματα αυτά αποτελούν το κύριο εμπόδιο για την ευρεία χρήση των εμπειρικών ‘fuzzy’ συστημάτων στη ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων.

Στην παρούσα εργασία, λοιπόν, έγινε αρχικά μια βάση δεδομένων όπου φαίνονται τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε κατηγορίας κάλυψης γης σε κάθε πολύγωνο. Πρόκειται για έναν πίνακα 8×8, δηλαδή για έναν τετραγωνικό πίνακα που αποτελείται από 8 στήλες και 8 γραμμές. Η κάθε στήλη αντιστοιχεί στην κάθε κατηγορία κάλυψης γης που δημιουργήθηκε κατά τη διαδικασία της δειγματοληψίας των περιοχών και κάθε γραμμή δείχνει τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε κατηγορίας (των δειγματοληπτικών περιοχών) στις υπόλοιπες καλύψεις γης.

Στη συνέχεια με βάση αυτή τη βάση δεδομένων δημιουργούνται πιθανοτικοί χάρτες για την κάθε κατηγορία κάλυψης γης, όπου φαίνονται τα ποσοστά συμμετοχής της κάθε κλάσης με διαφορετικό χρώμα το κάθε ποσοστό (βλ. παράρτημα). Έπειτα

πραγματοποιείται υπέρθεση όλων των πιθανοτικών χαρτών και προκύπτει ένας χάρτης (βλ. παράρτημα) όπου φαίνονται τα τελικά αποτελέσματα της ‘fuzzy’ ταξινόμησης (κάθε εικονοστοιχείο ταξινομείται σε εκείνη την κατηγορία-κάλυψη γης για την οποία εμφανίζει τη μέγιστη πιθανότητα σε όλους τους πιθανοτικούς χάρτες).

### **6.6.3 Ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας της Σκιάθου με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Classification)**

Η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας (Maximum Likelihood Classification) βασίζεται στη Bayesian θεωρία πιθανοτήτων και χρησιμοποιεί το μέσο όρο και το λόγο μεταβλητότητα των φασματικών ταυτοτήτων για να εκτιμήσει την προκαταρκτική πιθανότητα ενός εικονοστοιχείου να ανήκει σε κάποια κλάση. Αξιολογεί ποσοτικά τη διακύμανση και συνδιακύμανση των διαφόρων φασματικών κατηγοριών, όταν ταξινομεί ένα άγνωστο εικονοστοιχείο. Για να επιτευχθεί αυτό, η μέθοδος κάνει μια παραδοχή ότι το νέφος των εικονοστοιχείων ακολουθούν κανονική κατανομή.

Με την παραδοχή αυτή η κατανομή μιας φασματικής κατηγορίας μπορεί να περιγραφεί με το μέσο διάνυσμα και τη μήτρα συσχέτισης. Με τη χρήση των παραμέτρων αυτών μπορεί να υπολογιστεί η στατιστική πιθανότητα, βάση της οποίας, ένα άγνωστο εικονοστοιχείο ταξινομείται σε κάποια φασματική κατηγορία. Το μειονέκτημά της ΜΜΠ είναι ο χρόνος υπολογισμού, ο οποίος εξαρτάται από το πλήθος των φασματικών κατηγοριών που θα ταξινομηθούν και τον αριθμό των φασματικών δύλων που θα χρησιμοποιηθούν. Σε γενικές γραμμές αποτελεί την πλέον αξιόπιστη μέθοδο για την ταξινόμηση εικόνας. Στην παρούσα εργασία πραγματοποιήθηκε ταξινόμηση εικόνας με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας τα αποτελέσματα της οποίας φαίνονται σε χάρτη στο παράρτημα.

### **6.6.4 Σύγκριση των δύο μεθόδων με την ταξινόμηση της μέγιστης πιθανοφάνειας**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω η μέθοδος της μέγιστης πιθανοφάνειας αποτελεί την πλέον αξιόπιστη μέθοδο από τις κλασικές μεθόδους ταξινόμησης. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιήθηκε και για τη σύγκρισή της με τις δύο μεθόδους ταξινόμησης

(με νευρωνικά δίκτυα και ‘fuzzy’ ταξινομήσεις), με σκοπό την εύρεση της ακριβέστερης μεθόδου.

Όσον αφορά τη σύγκριση της ταξινόμησης με νευρωνικά δίκτυα με τη ΜΜΠ αξίζει να σημειωθούν τα παρακάτω:

- Η ΜΜΠ είναι περισσότερο ακριβής στην ταξινόμηση εικονοστοιχείων μεταξύ των κατηγοριών όπως δρόμος με άσφαλτο (οδικό δίκτυο πρωτεύον) και δρόμος χωρίς άσφαλτο (οδικό δίκτυο δευτερεύον) καθώς επίσης και μεταξύ των κατηγοριών βλάστηση χωρίς δένδρα και ξερική γη.
- Σε γενικές γραμμές η ταξινόμηση με νευρωνικά δίκτυα είναι αρκετά «κοντά» με τη ΜΜΠ, τα αποτελέσματά τους δηλαδή παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες.

Όσον αφορά τη σύγκριση της ‘fuzzy’ ταξινόμησης με τη ΜΜΠ αξίζει να σημειωθούν τα παρακάτω:

- Τα αποτελέσματα κρίνονται σχεδόν αναξιόπιστα γιατί:
  - Πιθανολογικά οι δειγματοληπτικές περιοχές δεν είναι τόσο ασαφείς όσο θα έπρεπε να είναι (μικτές καλύψεις γης).
  - Η συγκεκριμένη περιοχή μελέτης εμφανίζει καθαρά διακριτές καλύψεις γης με αποτέλεσμα η ‘ασαφής’ θεώρηση των καλύψεων γης να μην έχει λόγο ύπαρξης.
  - Η μη ύπαρξη ασάφειας φαίνεται και στις σαφώς διακριτές φασματικές υπογραφές του κάθε φασματικού καναλιού.



## 7. Συμπεράσματα και προτάσεις

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω βασικός σκοπός της εργασίας αυτής είναι η ανάδειξη και η χρησιμοποίηση σύγχρονων δεδομένων της Τηλεπισκόπησης (δορυφορικά και ψηφιακά δεδομένα) καθώς επίσης η παρουσίαση και η σύγκριση δύο διαφορετικών μεθόδων ταξινόμησης μιας δορυφορικής εικόνας, αυτή των νευρωνικών δικτύων (neural networks) και εκείνη των ασαφών ταξινομήσεων (fuzzy classification). Αυτό επιτεύχθηκε με τη χρησιμοποίηση διαφόρων μεθόδων και τεχνικών, όπως οι ταξινομήσεις δορυφορικής εικόνας για την περιοχή μελέτης με τις δύο παραπάνω μεθόδους που στη συγκεκριμένη περίπτωση οδηγούν στη δημιουργία θεματικών χαρτών που απεικονίζουν συγκεκριμένες κατηγορίες κάλυψης γης.

Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήθηκαν εκτός των άλλων και εργαστηριακές μέθοδοι (δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους, γεωμετρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων, ταξινομήσεις κ.α.) που οδήγησαν σε ικανοποιητικά χαρτογραφικά αποτελέσματα, ως προς τις πραγματικά υπάρχουσες καλύψεις γης.

Στις ενότητες που ακολουθούν παρουσιάζονται τα συμπεράσματα της παρούσας εργασίας που σχετίζονται με τις διαδικασίες και μεθόδους που εφαρμόστηκαν για τη δημιουργία θεματικών χαρτών. Τέλος αναφέρονται τα ανοιχτά θέματα προς μελέτη που προέκυψαν μετά τη διεκπεραίωση της παρούσας εργασίας.

### 7.1. Συμπεράσματα

Τα συμπεράσματα που μπορούν να αναφερθούν είναι τα εξής:

- Η χρήση δεδομένων του δορυφόρου IKONOS (με διακριτική ικανότητα ενός μέτρου) δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα και τα πλέον λεπτομερέστερα χωρικά αποτελέσματα σε σχέση με άλλους δορυφόρους (LANDSAT, SPOT κ.α.), χωρίς να επιβεβαιώνει τη χωρική υπεροχή του.

- Κατά τη διαδικασία της γεωμετρικής διόρθωσης, πρέπει να ληφθούν υπόψη ορισμένες σημαντικές παράμετροι, όπως ο αριθμός των σημείων ελέγχου επί του εδάφους (ground control points. GCP's.), οι μέθοδοι μετατόπισης και μετατροπής που θα εφαρμοστούν και ο έλεγχος του σφάλματος της γεωμετρικής διόρθωσης. Η γεωμετρική διόρθωση αποτελεί κομβικό σημείο σε κάθε εργασία που απαιτεί ανόρθωση σε πραγματικές γεωγραφικές συντεταγμένες κάποιου συστήματος αναφοράς.
- Οι μέθοδοι που χρησιμοποιήθηκαν για την ταξινόμηση είναι των νευρωνικών δικτύων και των ασαφών ταξινομήσεων. Για την πρώτη περίπτωση αξίζει να σημειωθούν τα παρακάτω: 1) Τα τεχνητά νευρωνικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί για την ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων και έχει αποδειχθεί ότι επιτυγχάνουν βελτιωμένη ακρίβεια συγκριτικά με τις παραδοσιακές στατιστικές μεθόδους. Η επιτυχία αυτή οφείλεται στο γεγονός ότι ένας νευρώνας προσομοιώνει την υπολογιστική λειτουργία ενός γραμμικού αναδρομικού συστήματος πολλών μεταβλητών, χωρίς να κάνει εκ των προτέρων υποθέσεις για την κατανομή των δεδομένων λόγω της μη παραμετρικής φύσης του. 2) Τα νευρωνικά δίκτυα έχουν τη δυνατότητα να εκπαιδεύονται από υπαρκτά παραδείγματα αναδρομικά. Το γεγονός αυτό κάνει την ταξινόμηση αντικειμενική. 3) Από την άλλη πλευρά όμως, παρά την εξέχουσα απόδοση των νευρωνικών δικτύων στη ταξινόμηση εικόνων, είναι δύσκολο να δώσουμε μια λογική επεξήγηση της διαδικασίας μέσω της οποίας προκύπτει η έξοδος ενός νευρωνικού δικτύου. Συνεπώς, δεν είναι δυνατό να κατανοήσουμε το συγκεκριμένο πρόβλημα εξαιτίας της μειωμένης ικανότητάς τους να παρέχουν πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά του συνόλου δεδομένων. Για τον ίδιο λόγο, είναι επίσης αδύνατο να ενσωματώσουμε την ανθρώπινη γνώση ώστε να επιταχύνουμε ή να βελτιώσουμε την απόδοση της ταξινόμησης εικόνων. Σημειώνουμε ότι ένα νευρωνικό δίκτυο πρέπει πάντα να εκπαιδεύεται από την αρχή (Nauck et al. 1997). 4) Για να μπορέσουν επομένως να συνεχίσουν να χρησιμοποιούνται στην ταξινόμηση εικόνων είναι απαραίτητο να ενσωματωθεί στη λειτουργία τους και μια επεξηγηματική λειτουργία.
- Για τις ασαφείς ταξινομήσεις αξίζει να σημειωθούν τα παρακάτω: 1) Σε αντίθεση με τα νευρωνικά, ένα fuzzy 'ασαφές' σύστημα, έχει την δυνατότητα να αναπαριστά αποφάσεις ταξινόμησης εικόνων στη μορφή επεξηγηματικών ασαφών 'if-then'

κανόνων. Σε αντίθεση με τα έμπειρα συστήματα, οι κανόνες 'if-then' στα fuzzy χρησιμοποιούν την αρχή ενός ασαφούς συνόλου (Zadeh 1965), που αποτελεί, όπως είδη αναφέραμε παραπάνω επέκταση και γενίκευση της κλασικής Boolean θεωρίας συνόλων. 2) Τα fuzzy συστήματα χρησιμοποιούν σκόπιμα ανακριβείς ακαθόριστες πληροφορίες για να δημιουργούν απλούστερα μοντέλα που είναι ευκολότερα στο χειρισμό και πιο κοντά στην ανθρώπινη σκέψη. Η εμπειρική ανθρώπινη γνώση είναι η κύρια πηγή των κανόνων στα συστήματα αυτά. Είναι επομένως δυνατό να βελτιώσουμε την απόδοσή τους προσθέτοντας νέους κανόνες, αφαιρώντας κάποιους ελλειπείς και ανανεώνοντας είδη υπάρχοντες στη αποκτηθείσα γνώση. 3) Η εφαρμογή της ασαφούς λογικής δεν έχει διαδοθεί ιδιαίτερα στη ταξινόμηση εικόνας. Αυτό οφείλεται κυρίως στην περιορισμένη δυνατότητα τους για απόκτηση εμπειρικής γνώσης. Σε περίπλοκα συστήματα, η μη αυτοματοποιημένη διάγνωση και βελτιστοποίηση των παραμέτρων ορισμένων ασαφών συνόλων είναι ουσιαστικά αδύνατη (Abe and Lan 1996). Τα προβλήματα αυτά αποτελούν το κύριο εμπόδιο για την ευρεία χρήση των εμπειρικών fuzzy συστημάτων στη ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων.

- Από τα παραπάνω γίνεται φανερό ότι όσον αφορά τις ταξινομήσεις δορυφορικών εικόνων, οι δύο παραπάνω μέθοδοι αλληλοσυμπληρώνονται από άποψη λειτουργιών που προσφέρουν διότι ατομικά, τα νευρωνικά δίκτυα και τα fuzzy συστήματα παρουσιάζουν πέρα από μοναδικά χαρακτηριστικά και θεμελιώδης περιορισμούς, με αποτέλεσμα, κάθε μέθοδος να έχει την δυνατότητα να λύσει μια μονό πλευρά του προβλήματος, και καμία να μην μπορεί να επιφέρει μια συνολική λύση. Συνεπώς η σύνθεση και η ενοποίηση των νευρωνικών δικτύων και των fuzzy συστημάτων αποτελεί ερευνητικό ενδιαφέρον.
- Έτσι λοιπόν δημιουργήθηκε μια νέα μέθοδος γνωστή στην τεχνητή νοημοσύνη σαν neuro-fuzzy συστήματα (Nauck et al. 1997). Ένα neuro-fuzzy σύστημα είναι, βασικά, ένα fuzzy σύστημα που χρησιμοποιεί έναν αλγόριθμο εκμάθησης εμπνευσμένο από τη θεωρία νευρωνικών δικτύων για να καθορίσει τις παραμέτρους του που βασίζονται σε δείγματα δεδομένων (Nauck et al. 1997). Τα συστήματα αυτά προσφέρουν συνήθως μια πιο δυνατή λύση από ότι κάθε μια από τις τεχνολογίες που συνδυάστηκαν για να προκύψουν.

- Η διαδικασία ταξινόμησης αποτελεί ένα από τα βασικότερα τμήματα της παρούσας εργασίας. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής της, πρέπει να ληφθούν υπόψη μια σειρά παράγοντες που επηρεάζουν το τελικό αποτέλεσμα, δηλαδή την ακρίβεια επί του εδάφους. Οι παράγοντες αυτοί είναι: 1) η ομογένεια των δειγματοληπτικών περιοχών, 2) η εύρεση του κατάλληλου συνδυασμού φασματικών καναλιών ώστε οι φασματικές υπογραφές των διαφόρων καλύψεων γης να είναι όσο το δυνατό διαχωρίσιμες και 3) η εύρεση της κατάλληλης μεθόδου ταξινόμησης που παρέχει τα πιο ακριβή αποτελέσματα. Οι φασματικές υπογραφές των κατηγοριών κάλυψης γης διαχωρίστηκαν μεταξύ τους, με τη χρησιμοποίηση και των τεσσάρων φασματικών καναλιών του δορυφόρου IKONOS, με αποτέλεσμα οι κατηγορίες κάλυψης γης να είναι οπτικά και ραδιομετρικά διαχωρίσιμες μεταξύ τους. Για την εύρεση της πιο ακριβέστερης μεθόδου ταξινόμησης έγινε σύγκριση της κάθε μιας ξεχωριστά με τη μέθοδο της μέγιστης πιθανοφάνειας (maximum likelihood classification), η οποία αποτελεί την πλέον αξιόπιστη από τις κλασικές μεθόδους ταξινόμησης εικόνας.

Είναι πολύ βασικό τα δορυφορικά δεδομένα τα οποία αγοράζονται να μπορούν να αξιοποιηθούν όσο το δυνατό πιο σωστά, επιλέγοντας τις δορυφορικές εικόνες δίνοντας σημασία στην εποχή που έχουν ληφθεί, ανάλογα το σκοπό και τα αποτελέσματα που θέλουμε να εξαχθούν. Αν για παράδειγμα θέλουμε να διαχωρίσουμε κατηγορίες δασών σε μια περιοχή, καλό είναι να επιλέξουμε μια εικόνα κατά τη διάρκεια του χειμώνα που τα φυλλοβόλα δένδρα, λόγω της πτώσης των φύλλων τους μπορούν εύκολα να διαχωριστούν από τα αειθαλή δάση.

Επιπρόσθετα, ένα ακόμη στοιχείο για την πλήρη εκμετάλλευση των δεδομένων είναι να δημιουργείται όσο το δυνατό πιο αναλυτική λίστα με πολύγωνα τα οποία να είναι αναγνωρίσιμα επί της οθόνης και να υπάρχουν οι συντεταγμένες τους στο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς που θα χρησιμοποιηθεί, ώστε να αντιστοιχούν τα πολύγωνα σωστά σε αντίστοιχες καλύψεις γης. Τέλος θα πρέπει να γίνεται η επαλήθευση των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης ως προς την αξιοπιστία τους.

## 7.2. Προτάσεις

Στην παρούσα εργασία, ύστερα από τη σύγκριση των δύο μεθόδων ταξινόμησης, αυτής των ασαφών ταξινομήσεων και εκείνης των νευρωνικών δικτύων, προέκυψαν τα παρακάτω προς έρευνα:

- Έρευνα παγκόσμιας βιβλιογραφίας για την εφαρμογή των neuro-fuzzy συστημάτων στην ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων.
- Σύγκριση των neuro-fuzzy ταξινομήσεων με τα νευρωνικά δίκτυα και τις fuzzy ταξινομήσεις.
- Εφαρμογή των neuro-fuzzy συστημάτων στην ταξινόμηση δορυφορικής εικόνας, υπό την προϋπόθεση ότι υπάρχουν συγκεκριμένες τεχνικές αυτού του τύπου σε οποιοδήποτε σχετικό με την τηλεπισκόπηση λογισμικό (Idrisi, Erdas, Envi).
- Δημιουργία επιπλέον κατηγοριών χρήσεων γης με σκοπό την περισσότερο λεπτομερή ταξινόμηση της εικόνας.
- Εφαρμογή των προτεινόμενων μεθόδων ταξινόμησης και σε άλλες περιοχές της Σκιάθου, με σκοπό την πραγματοποίηση μιας πιο ολοκληρωμένης μελέτης.

Η πρωτοτυπία του θέματος και η έλλειψη παρόμοιων εργαστηριακών προσπαθειών στον ελλαδικό χώρο σε θέματα Τηλεπισκόπηση και Χωροταξίας δεν πρέπει να σταματήσει εδώ αλλά και να συνεχιστεί και σε άλλες εργασίες που θα εντρυφήσουν περισσότερο στα μεθοδολογικά και θεματικά ζητήματα με τα οποία ασχολήθηκε η παρούσα εργασία. Ελπίζω η προσπάθεια αυτή να τύχει ιδιαίτερης εκτίμησης σε τυχόν απαιτήσεις κάθε ενδιαφερομένου.





**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**Ελληνόγλωσση

- Ανδρουλάκης Ν. & Κουτσόπουλος Κ.** (2003), *Εφαρμογές γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών με χρήση του λογισμικού ArcGis*, Αθήνα: Εκδόσεις Παπασωτηρίου
- Καργιοπούλης Χ.** (2001), *Έρευνα σχέσεων φωτεινότητας – Ραδιομετρίας με Συντελεστή δόμησης στο Πολεοδομικό Συγκρότημα Βόλου με τη χρήση Αεροφωτογραφιών*, Βόλος: Διπλωματική εργασία του Τ.Μ.Χ.Π.Π.Α, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Κουτσόπουλος Κ.** (1990), *Γεωγραφία: Μεθοδολογία και μέθοδοι ανάλυσης του χώρου*, Εκδόσεις Συμμετρία.
- Κυρίμης Κ. & Μπέτσης Α.** (1998), *Θεματική διαχρονική ανάλυση βασικών καλύψεων γης του Ν. Μαγνησίας την τελευταία δεκαετία με τη χρήση δορυφορικών εικόνων*, Βόλος: Διπλωματική εργασία του Τ.Μ.Χ.Π.Π.Α, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Μανέτος Π.** (2002), *Πολυμεταβλητή χωρική Ανάλυση και εξέλιξη αστικών περιοχών. Ένα ολοκληρωμένο υπόδειγμα για το νομό Αττικής*, Βόλος: Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας
- Μερτίκας Σ.** (1999), *Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας*, Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ
- Μηλιαρέσης Γ.** (2003), *Φωτοερμηνεία – Τηλεπισκόπηση*, Αθήνα: Εκδόσεις ΙΩΝ.
- Παππάς Β.** (1998), *Εισαγωγή στα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών*, πανεπιστημιακές, Βόλος: Εκδόσεις Θεσσαλίας.
- Παρασχάκης Ι., Παπαδοπούλου Μ., Πατιάς Π.**, (1990), *Αυτοματοποιημένη Χαρτογραφία*, Εκδόσεις ΖΗΤΗ.

- Περάκης Κ.** (1999), *Φωτοερμηνεία και Τηλεπισκόπηση: Σημειώσεις*, Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.
- Συλλαίος Ν.** (2000), *Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών*, Θεσσαλονίκη: Εκδόσεις Γιαχούδη – Γιαπούλη.
- Φαρασλής Ι.** (2000), *Συμβολή των νέων τεχνολογικών εργαλείων στην αναδιοργάνωση των συστημάτων διαχείρισης του ορεινού χώρου*, Βόλος: Μεταπτυχιακή Διπλωματική Εργασία, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Φώτης Γ.** (2003), *Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών: Σημειώσεις*, Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.

### Ξενόγλωσση

- Abe, S., and Lan, M.,** (1996) “Effective method for fuzzy extraction from numerical data. In *Fuzzy Logic and Neural Network Handbook*”, edited by *C. H. Chen* (New York: McGraw-Hill), pp. 7.1-7.33.
- Andrews, R. Diederich, J., and Tickle, A. B.,** (1995) “Survey and critique of techniques for extracting rules form trained artificial neural networks.” *Knowledge-based Systems*, **8**, 373-389.
- Benitez, J. M., Castro, J. L., and Requena, I.,** (1997) “Are artificial neural networks black boxes? *IEEE Transactions on Neural Networks*, **8**, 1156-1164.
- Burrough P. & McDonnell R.** ,(1998) “Principles of Geographical Information Systems”, *Oxford: University Press*, **11**, 265-291
- Campell J.** ,(1996) “Introduction to Remote Sensing”, *London: Taylor & Francis*
- Frapporti, G., Vrind, S. P., and van Gaans, P. F. M.** ,(1993) “Hydrogeochemistry of the shallow Dutch ground water: interpretation of the national ground water quality monitoring network”. *Water Resources Research*, **29**: 2993-3004.

- 
- Fausett, L.**, (1994) "Fundamentals of Neural Networks: Algorithms, and Applications"  
*(Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall).*
- Gaans, P. F. M. van, Vriend, S. P., van Der Wall, J., and Schuiling, R. D.**,  
(1986) "Integral rock analysis, a new approach to litho geochemical  
exploration" *Application: Carboniferous sediments of a coal exploration  
drilling, Limburg, the Netherlands. Report to the Commission of the  
European Communities, contract MSM-073-NL (N), 87pp.*
- Gaans, P. F. M. van, and Frapporti, G.**, (1992) "Oxidation of pyrite in the  
subsoil of Noord-Brabant. Setting, causes, and effects for ground water  
quality" *H2O*, 25: 736-45 (in Dutch)
- Hagan, M. T., Demuth, H. B. and Beale, M.**, (1996) "Neural Network Design"  
*(Boston, MA: PWS).*
- Haykin, S.**, (1999) "Neural Networks: A comprehensive foundation", *Prentice-  
Hall, New Jersey.*
- Kulkarni, A. D., and Lulla, K.**, (1999) "Fuzzy neural network for supervised  
classification: multispectral image analysis." *Geocarto International*,  
14,41-49
- Lagacherie, P., Andrieux, P. and Bouzigues, R.** (1996) "Fuzziness and uncertainty  
of soil boundaries: from reality to coding in GIS. In P. A. Burrough and A. U.  
Frank (eds.)", *Geographical Objects with Indeterminate Boundaries. Taylor &  
Francis, London*, pp. 275-86.
- Lein, J. K.**, (1997) "*Environment Decision Making: An information technology  
approach, Malden*" (Malden, MA: Blackwell Science).
- Lillesand T. & Kiefer R.**, (1994) "Remote Sensing & Image Interpretation", *New  
York: John Wiley and Sons Inc.*
- McBratney, A. B. and de Gruijter, J. J.**, (1992) "A continuum approach to soil  
classification by modified fuzzy K-means with extragrades." *Journal of Soils  
Science*, 43: 159-76.

- Medsker, L. R.**, (1994) “ *Hybrid Neural Network and Expert Systems* ” (Boston, MA: Kluwer Academic).
- MIT**, (1997a) “Data Engine: Overview and User Manual”, *Management Intelligenter Technologien, Germany*
- Nauck, D., Klawoon, F., and Kruse, R.**, (1997) “*Foundation of Neuro-Fuzzy Systems*” (Chichester: John Wiley & Sons).
- Odeh, I. O. A., McBratney, A. B., and Chittleborough, D. J.**, (1990) “Design of optimal sample spacing for mapping soil using fuzzy-k-means and regionalized variable theory”, *Geoderma*, **47** 93-122.
- Openshaw S. & Openshaw C.**, (1997) “Artificial intelligence in geography”, *New York: John Wiley and Sons Inc.* **9** 268-299.
- Powell, B., McBartney, A. B., and MacLeod, D. A.**, (1991) “The application of fuzzy classification to soil pH profiles in the Lockyer Valley, Queensland, Australia.” *Catena*, **18**: 409-20.
- Qiu F. & Jensen J. R.**, (2004) “Opening the black box of neural networks for remote sensing image classification”, *International Journal of Remote Sensing*, **9**: 1749-1768.
- Vriend, S. P., van Gaans, P. F. M., Middelburg, J., and De Nijs, A.**, (1988) “The application of fuzzy c-means cluster analysis and non-linear mapping to geochemical datasets: examples from Portugal.” *Appl. Geochem.*, **3**: 213-24.
- Wang F., Hall G. B. and Subaryono**, (1990) “Fuzzy information representation and processing in conventional GIS software : database design and application” *International Journal of Geographical Information Systems*, **4**: 261-83.
- Weiden, M. J. J. van der, van Gaans, P. F. M., and Vriend, S. P.**, (1992) “Characterization of contaminated harbour soil with statistical tools.” Draft proceedings First Conference of the Working Group on Pedometrics-92: *Developments in Spatial Statistics for Soil Science*, pp. 191-209.

---

**Zadeh, L. A.**, (1965) “Fuzzy sets.” *Information and Control*, **8** 338-353.

Ιστοσελίδες στο διαδίκτυο

LUCC - Land-Use and Land-Cover Change, <http://www.geo.ucl.ac.be/LUCC/>,  
ημερομηνία προσπέλασης 15-12-2007

European Environment Agency, <http://www.eea.eu>, ημερομηνία προσπέλασης 12-  
1-2008

Global Land Cover Facility, University of Maryland,  
<http://glcf.umiacs.umd.edu/index.shtml>, ημερομηνία προσπέλασης 20-1-2008

The Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), Columbia  
University, <http://www.ciesin.columbia.edu/>, ημερομηνία προσπέλασης 17-1-2008

US Geological Survey, <http://www.usgs.gov/>, ημερομηνία προσπέλασης 20-1-  
2008

NASA Earth Observatory, <http://earthobservatory.nasa.gov/>, ημερομηνία  
προσπέλασης 20-1-2008

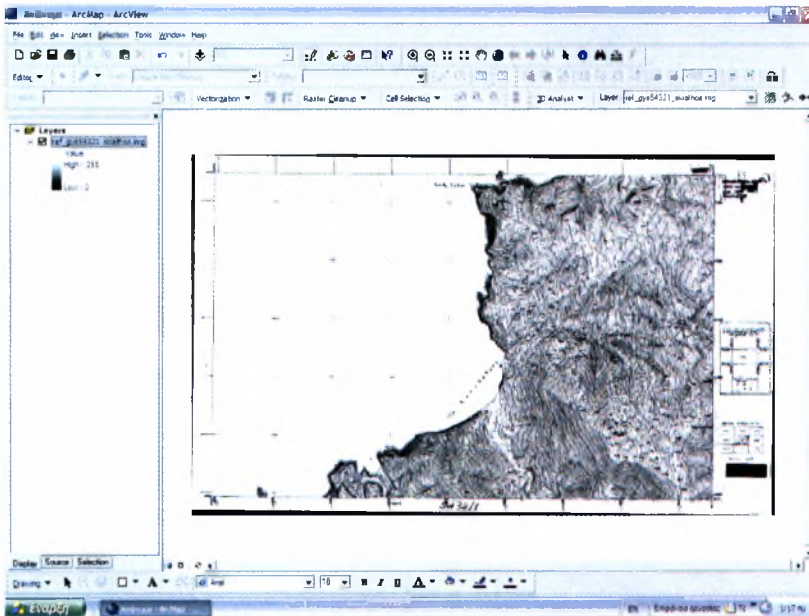
## **ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ**



## Μεθοδολογία για τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους

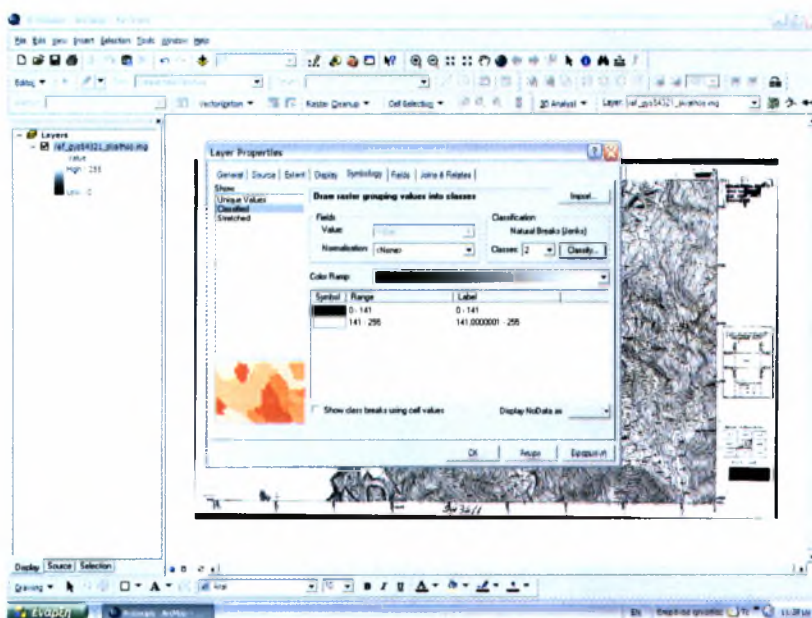
### 1. Συλλογή δεδομένων

Αρχικά πραγματοποιήθηκε συλλογή τοπογραφικών χαρτών της Σκιάθου με στόχο την περαιτέρω ψηφιοποίηση τους με εργαλείο το *GIS*. Η κλίμακα αυτών είναι 1:5000 και η υψομετρική διαφορά των ισοϋψών κυμαίνεται από 0 έως 412 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας. Έπειτα έγινε εισαγωγή του τοπογραφικού χάρτη στο *ArcMap* και ακολουθήθηκαν μια σειρά από διαδοχικά βήματα για την επεξεργασία του και τη δημιουργία ψηφιακού μοντέλου εδάφους της περιοχής μελέτης.

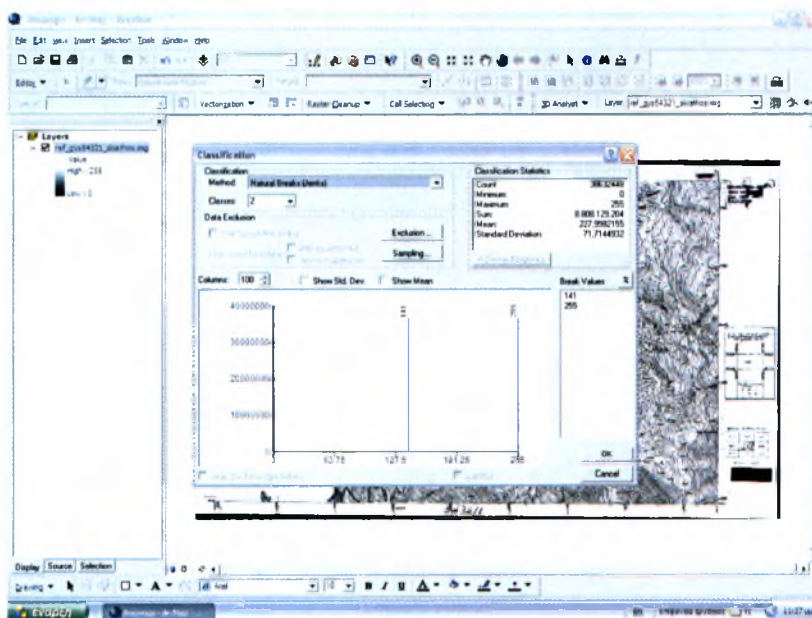


### 2. Ενέργειες πριν την ψηφιοποίηση του χάρτη

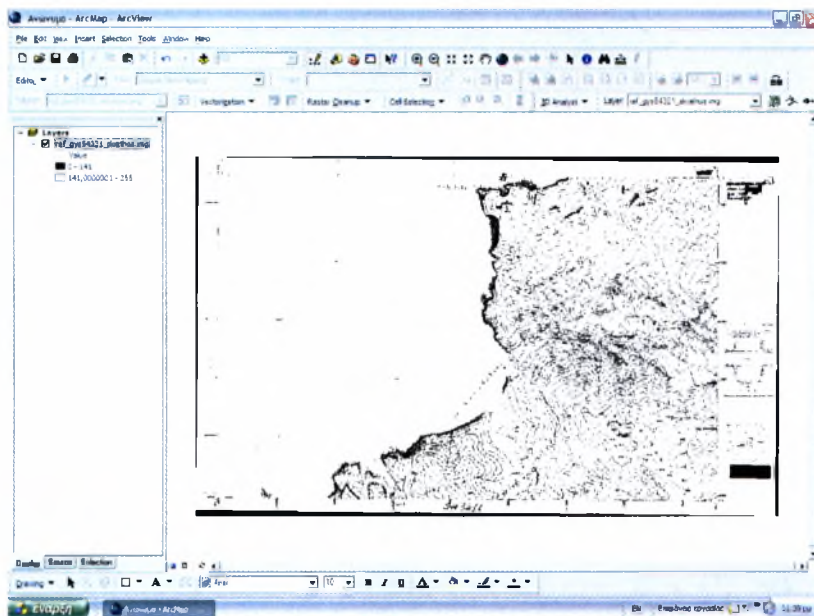
Έχοντας εισάγει το υπόβαθρο (τοπογραφικό χάρτη) στο *ArcMap* ενεργοποιούμε με δεξί κλικ πάνω στο *layer ref\_gys54321\_skiathos.img* την εντολή *properties* από το επεξηγηματικό μενού.



Στη συνέχεια έχοντας ενεργοποιήσει τις εντολές *classified* και *2 classes* από το υπομενού *general* του μενού *layer properties* κάνουμε κλικ στην εντολή *classify* και ρυθμίζουμε στο ιστόγραμμα την τιμή που μας ενδιαφέρει (στη συγκεκριμένη περίπτωση είναι 140).

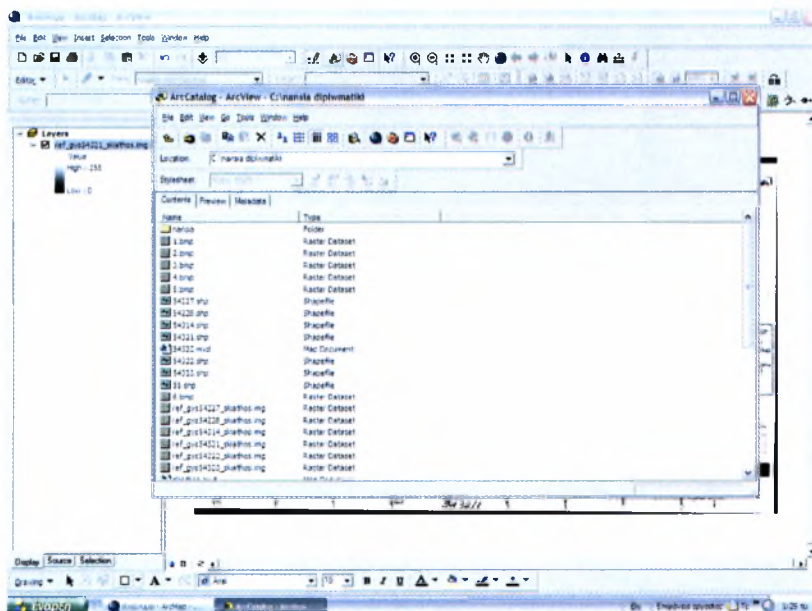


Πλέον ο χάρτης μας έχει πάρει την κατάλληλη μορφή για να ξεκινήσει η ψηφιοποίηση του όπως φαίνεται και παρακάτω:



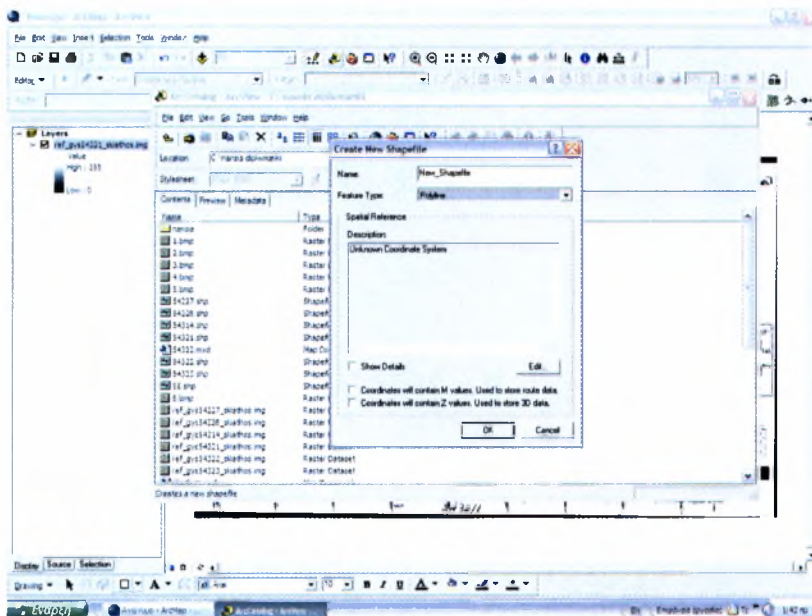
### 3. Ψηφιοποίηση του χάρτη

Αρχικά δημιουργούμε ένα νέο *shapefile* στο *ArcCatalog* αφού το έχουμε ενεργοποιήσει κάνοντας δεξί κλικ στο εικονίδιο πάνω στη γραμμή εντολών όπως φαίνεται παρακάτω:



Για τη δημιουργία ενός νέου *shapefile* κάνουμε δεξί κλικ πάνω στην επιφάνεια του *ArcCatalog* και από το επεξηγηματικό μενού επιλέγουμε *new shapefile*. Στην οθόνη που εμφανίζεται γράφουμε το όνομα που θέλουμε να δώσουμε στο καινούριο

*shapefile* και στη συνέχεια επιλέγουμε τη μορφή του (στη συγκεκριμένη περίπτωση *polyline*). Έπειτα επιλέγουμε την εντολή *edit* όπως φαίνεται και παρακάτω:



Η επόμενη οθόνη διαλόγου που εμφανίζεται, οδηγεί στην επιλογή του προβολικού συστήματος. Σε αυτήν επιλέγουμε **Select Coordinate**, οπότε εμφανίζεται η οθόνη διαλόγου **System Spatial Reference Properties**. Στη συνέχεια επιλέγουμε την πρώτη επιλογή με κλικ στο **Select**.

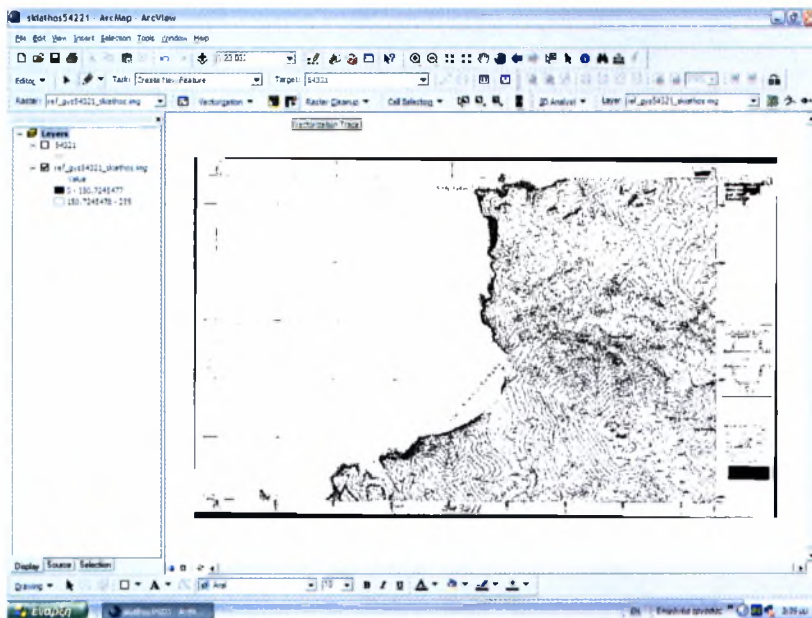
Εμφανίζεται τότε ένας οδηγός πλοήγησης (**Browse for Coordinate System**). Επιλέγουμε με διπλό κλικ τον κατάλογο **Projected Coordinate Systems** που οδηγεί σε έναν κατάλογο προβολικών συστημάτων, από τον οποίο επιλέγουμε με διπλό κλικ πάλι το **National Grids**. Ύστερα από πλοήγηση μέσα στις επιλογές του, επιλέγουμε **Greek Grig.prj**. Ολοκληρώνουμε με κλικ στην εντολή **Add**.

Αμέσως τότε η οθόνη διαλόγου επιλογής προβολικού συστήματος (**SpatialReference Properties**) συμπληρώνεται με τις πληροφορίες του προβολικού συστήματος ΕΓΣΑ 87. Στη συνέχεια κάνουμε κλικ στην εντολή **Apply** (*εφαρμογή*) και τέλος στην εντολή **OK**. Πλέον το *shapefile* είναι έτοιμο και μπορούμε να το μεταφέρουμε στο **ArcMap** έχοντας κρατημένο το δεξί κουμπί του ποντικιού

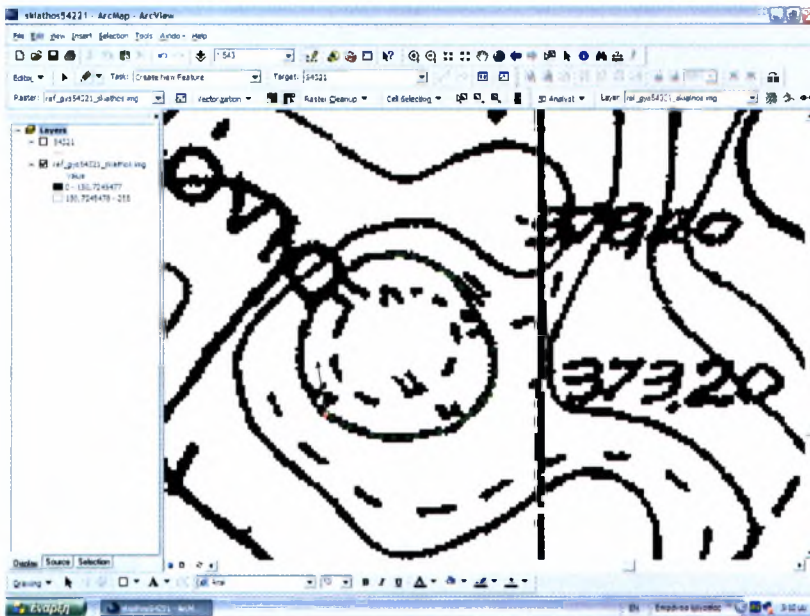
Έχοντας, λοιπόν, εισάγει το υπόβαθρο διαμορφωμένο όπως αναφέρθηκε παραπάνω και το νέο *shapefile*, είμαστε έτοιμοι να ξεκινήσουμε τη ψηφιοποίηση.



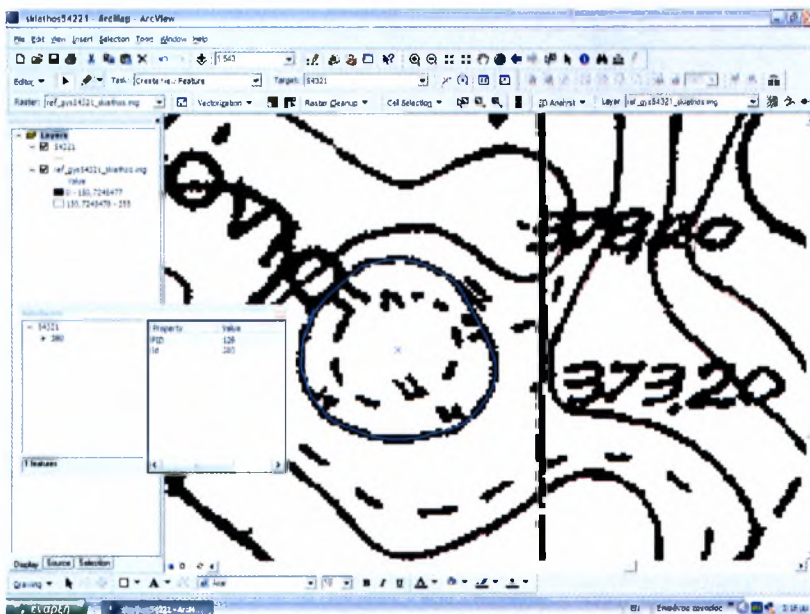
Κάνοντας δεξί κλικ στο *editor*, επιλέγουμε *start editing* από το επεξηγηματικό μενού. Στη συνέχεια επιλέγουμε το εικονίδιο *Vectorization Trace* που βρίσκεται λίγο πιο κάτω δεξιά.



Με αυτή την εντολή έχουμε τη δυνατότητα να ψηφιοποιούμε αυτόματα μια γραμμή χωρίς να πατάμε πολλές φορές το δεξί κουμπί του ποντικιού, εξοικονομώντας έτσι χρόνο. Σε περίπτωση όμως που το υπόβαθρο μας δεν είναι 100% «καθαρό», υπάρχει δηλαδή κάποιο σχεδιαστικό εμπόδιο ώστε να συνεχίσει η αυτόματη ψηφιοποίηση, θα πρέπει να έχουμε κρατημένο το «S» στο πληκτρολόγιό μας και να συνεχίσουμε να ψηφιοποιούμε *“manual”*.



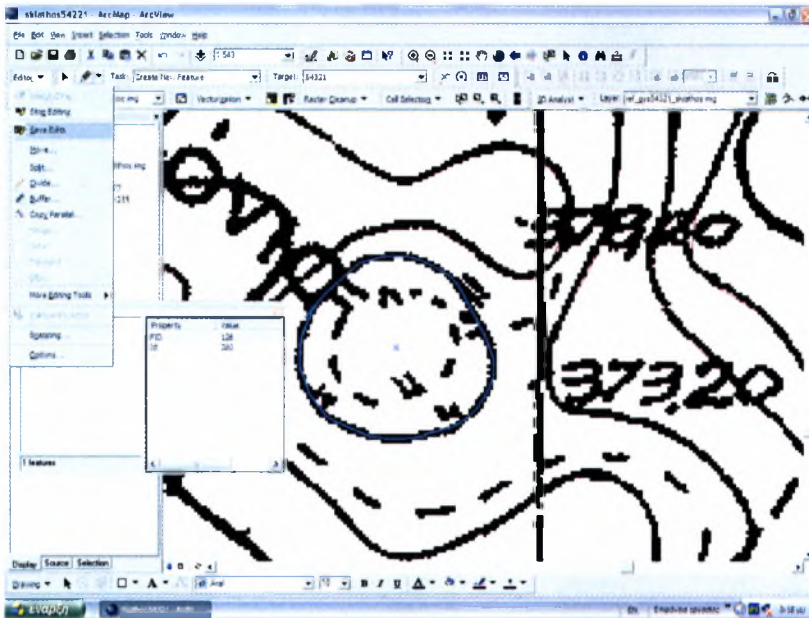
Καλό είναι να ξεκινάμε τη ψηφιοποίηση από εκείνη τη γραμμή για την οποία είμαστε σίγουροι για την υψομετρική της διαφορά από την επιφάνεια της θάλασσας, κατά προτίμηση, δηλαδή, από τις κορυφές. Έχοντας, λοιπόν, σχεδιάσει μια γραμμή καταγράφουμε την υψομετρική της διαφορά στο *attribute table*.



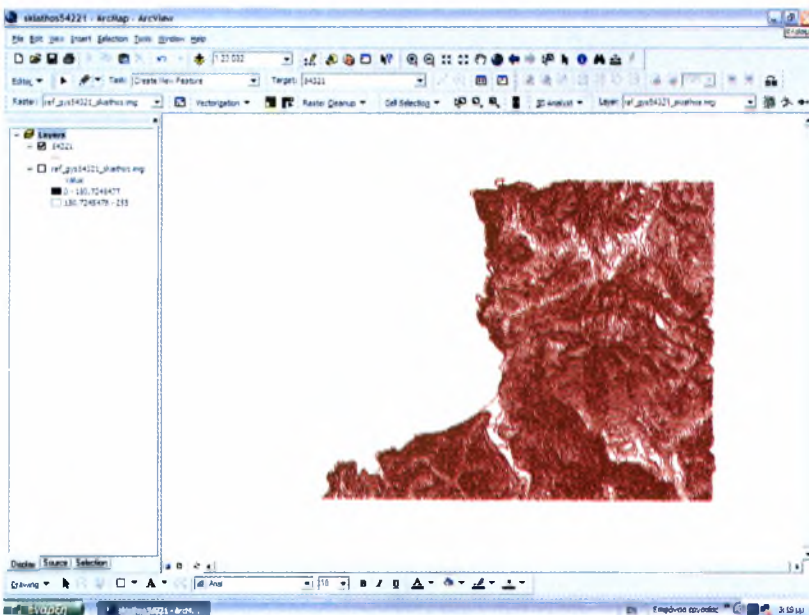
Στη συνέχεια κάνουμε δεξί κλικ στο τέλος της γραμμής και επιλέγουμε *finish sketch* από το εξηγηματικό μενού.



Κρίνεται αναγκαίο όποτε τελειώνουμε τη σχεδίαση κάθε γραμμής να επιλέγουμε *save edits* από το επεξηγηματικό μενού του *editor*, ώστε να μη χάνουμε τις ήδη σχεδιασμένες γραμμές σε περίπτωση που για οποιοδήποτε λόγο διακοπεί η εργασία μας.

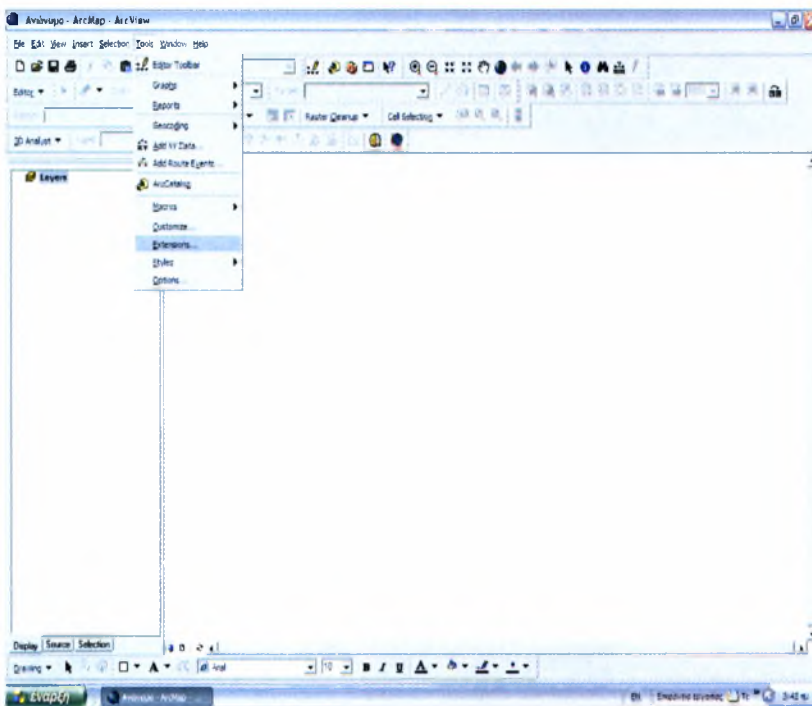


Εκτελούμε τα παραπάνω για όλες τις ισοϋψείς γραμμές, οι οποίες απέχουν μεταξύ τους 4 μέτρα και οδηγούμαστε σταδιακά στο παρακάτω αποτέλεσμα:

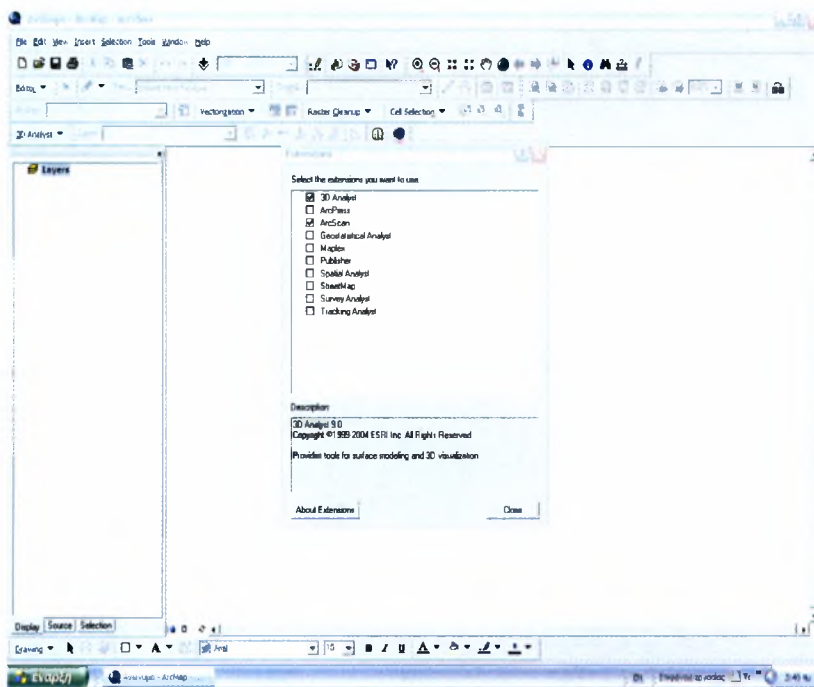


## 4. 3D ANALYST

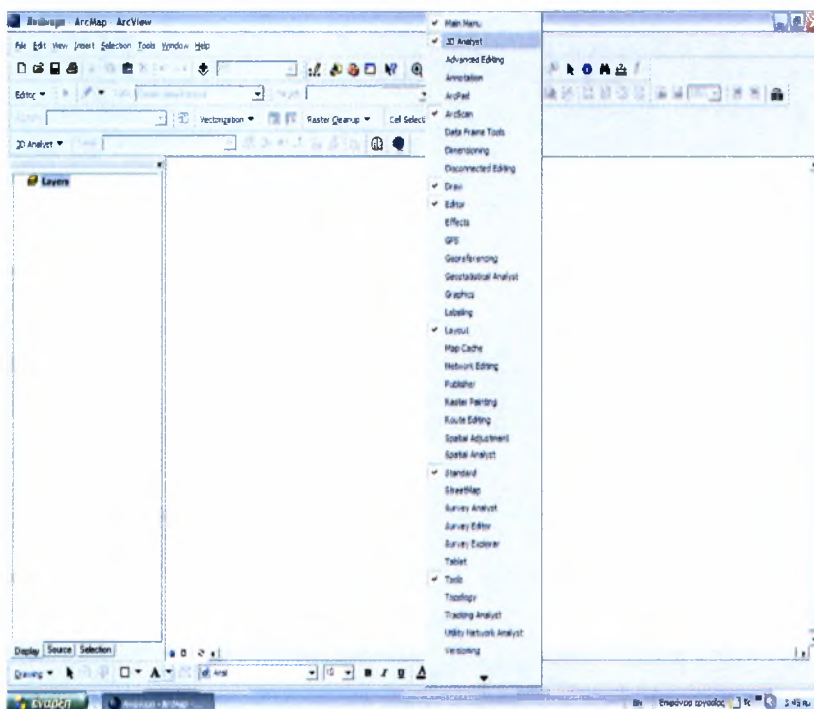
Για να δημιουργήσουμε τα πολύγωνα των κλίσεων του εδάφους από την επεξεργασία των υψομετρικών καμπυλών και της ακτογραμμής ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία. Αρχικά ενεργοποιούμε το **3D Analyst** στο περιβάλλον του **ArcMap** ως εξής: Κάνοντας κλικ στο μενού **Tools** επιλέγουμε στο επεξηγηματικό μενού την εντολή **Extensions**.



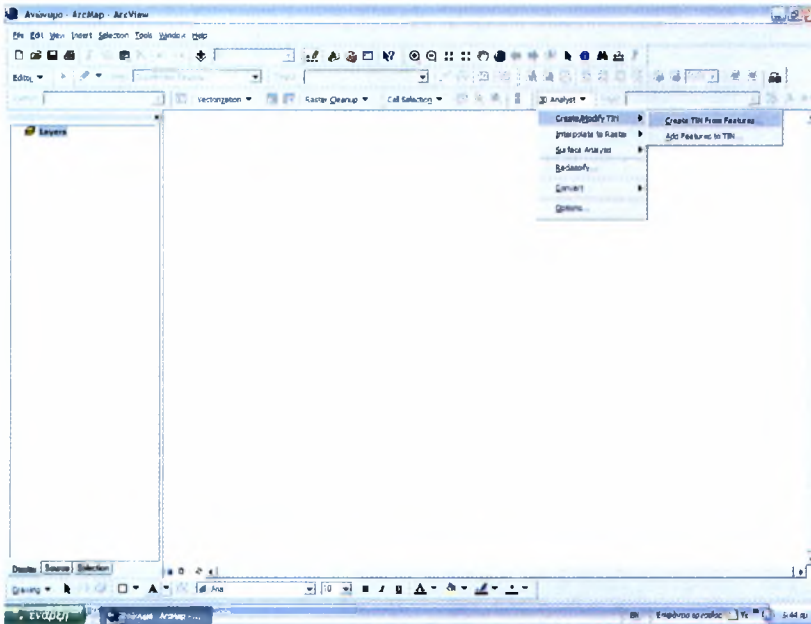
Στην εμφανιζόμενη οθόνη διαλόγου ενεργοποιούμε το **3D Analyst** και ολοκληρώνουμε με κλικ στο **close**. Για να εμφανίσουμε την εργαλειοθήκη **3D Analyst** στην οθόνη για εύκολη χρήση κάνουμε δεξί κλικ πάνω σε μια γκριζα περιοχή των εργαλειοθηκών, οπότε το παρακάτω μενού από το οποίο επιλέγουμε με κλικ την εντολή **3D Analyst**.



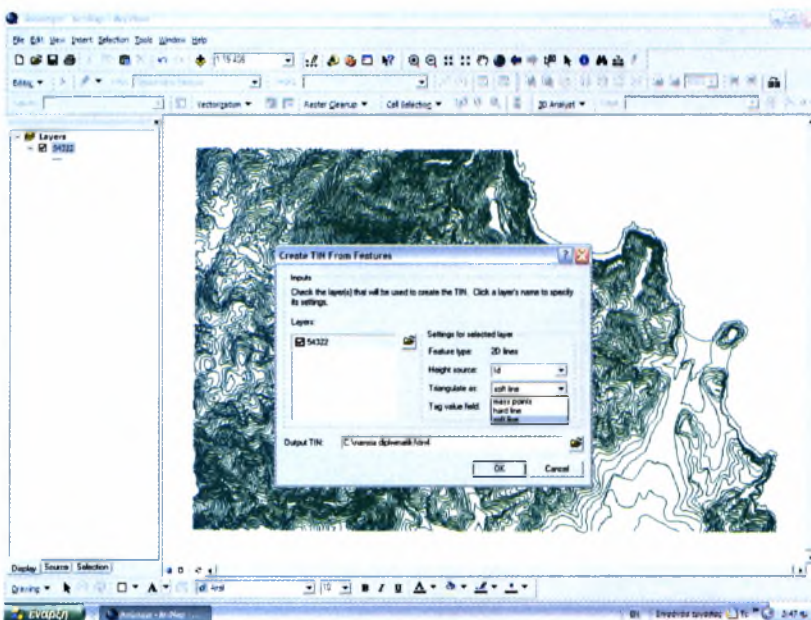
Για να εμφανίσουμε την εργαλειοθήκη *3D Analyst* στην οθόνη για εύκολη χρήση κάνουμε δεξί κλικ πάνω σε μια γκρίζα περιοχή των εργαλειοθηκών, οπότε το παρακάτω μενού από το οποίο επιλέγουμε με κλικ την εντολή *3D Analyst*.



Στην εργαλειοθήκη *3D Analyst* επιλέγουμε το ομώνυμο εργαλείο. Στο επεξηγηματικό μενού που εμφανίζεται επιλέγουμε *Create/Modify TIN* και στο πτυσσόμενο μενού *Create TIN From Features*.



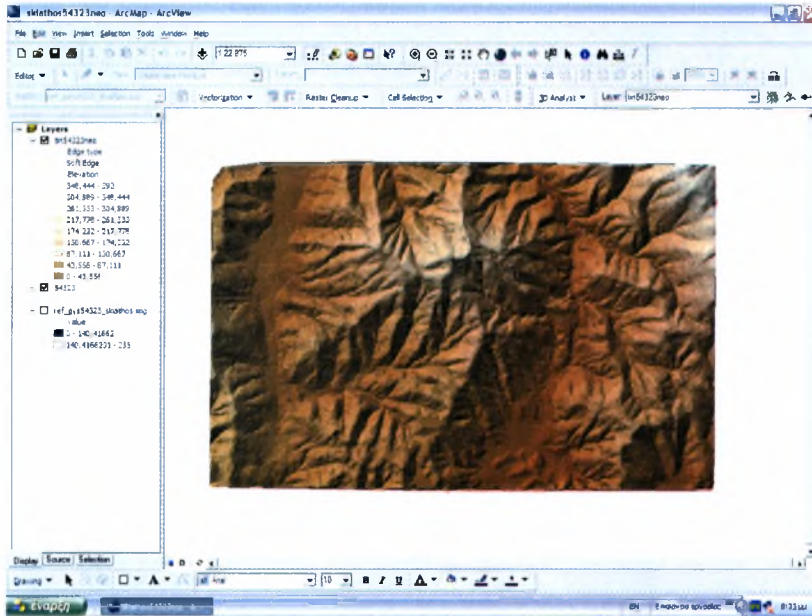
Εμφανίζεται μια οθόνη διαλόγου στο παράθυρο της οποίας φαίνονται όλα τα διαθέσιμα θεματικά επίπεδα, τα οποία ενεργοποιείται ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη για τη δημιουργία του *TIN* που επιθυμεί. Πρέπει να σημειωθεί ότι για κάθε θεματικό επίπεδο πρέπει να καθοριστούν ορισμένοι παράμετροι που οδηγούν σε μια βέλτιστη δημιουργία του επιθυμητού *TIN*.



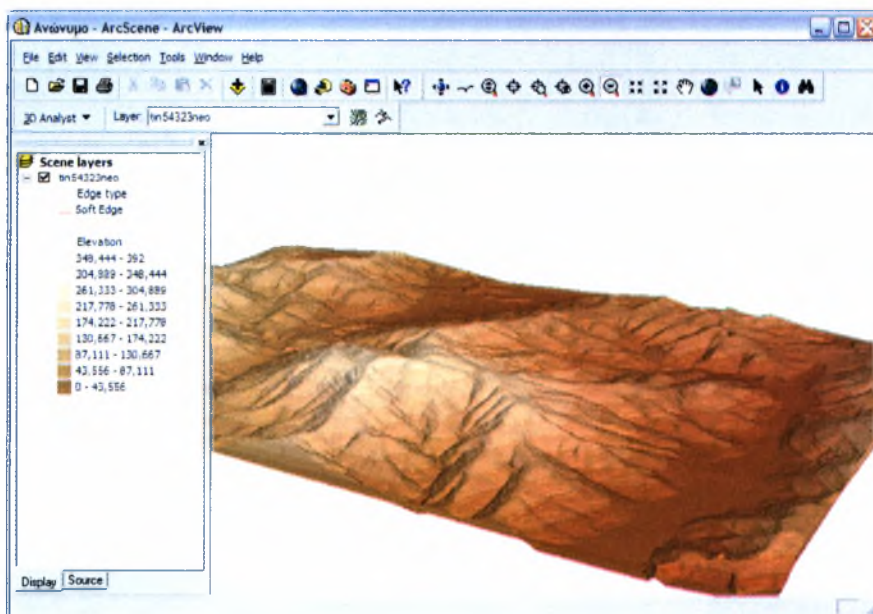
Εφαρμόζοντας τις παραπάνω εντολές σε ένα παράδειγμα δημιουργίας ψηφιακού μοντέλου εδάφους στην περιοχή της Σκιάθου θα προκύψει το παρακάτω αποτέλεσμα,



όπου με το πλέον σκούρο χρώμα απεικονίζονται οι επιφάνειες με υψομετρική διαφορά από 0μ. έως 43,556μ. και με το πλέον ανοιχτό χρώμα εκείνες με υψομετρική διαφορά από 384,444μ. έως 392μ. από την επιφάνεια της θάλασσας.



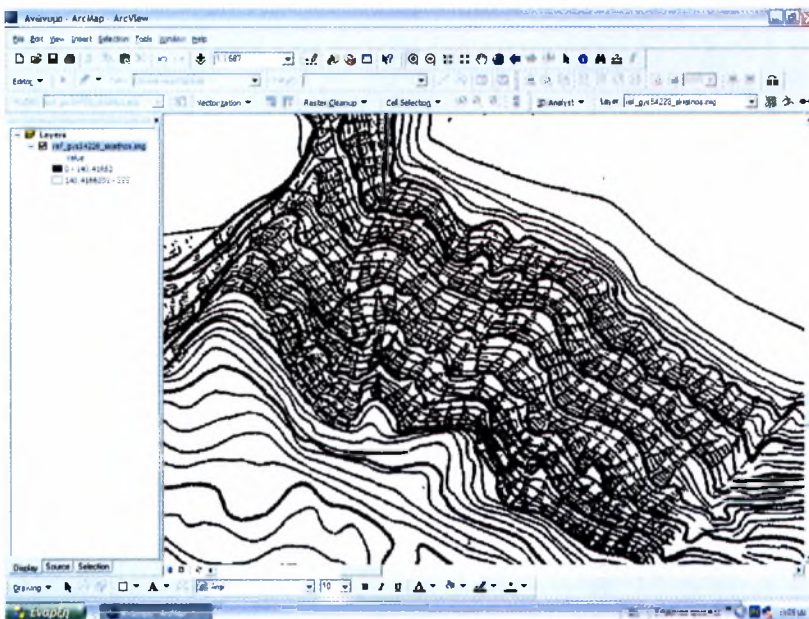
Ο πυρήνας του λογισμικού αυτού είναι η εφαρμογή *ArcScene*, η οποία δίνει στο χρήστη τη δυνατότητα να δει δεδομένα σε τρισδιάστατη μορφή, από οποιαδήποτε οπτική γωνία και να πετάξει εικονικά πάνω από αυτά και να εξετάσει λεπτομερέστερα την περιοχή μελέτης.



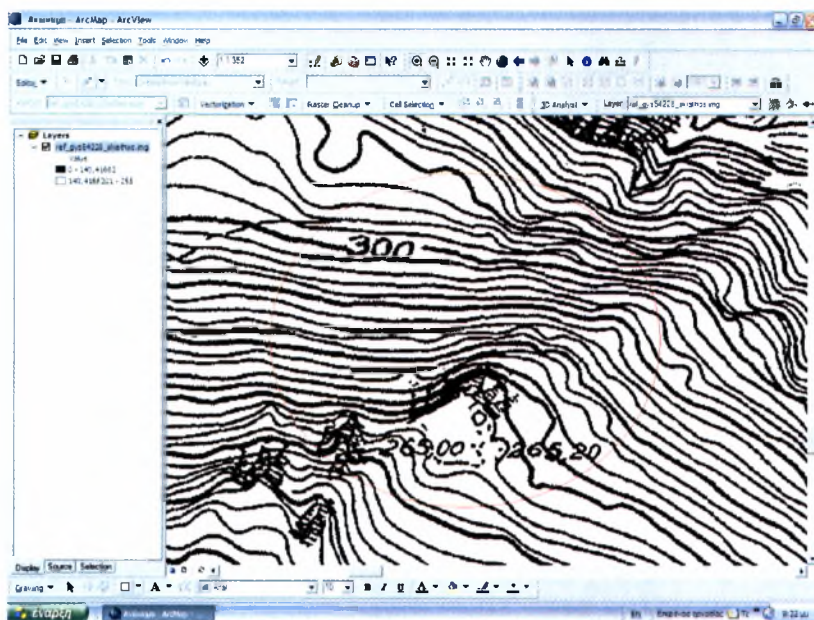


## 5. Προβλήματα που παρουσιάστηκαν κατά τη ψηφιοποίηση του τοπογραφικού χάρτη

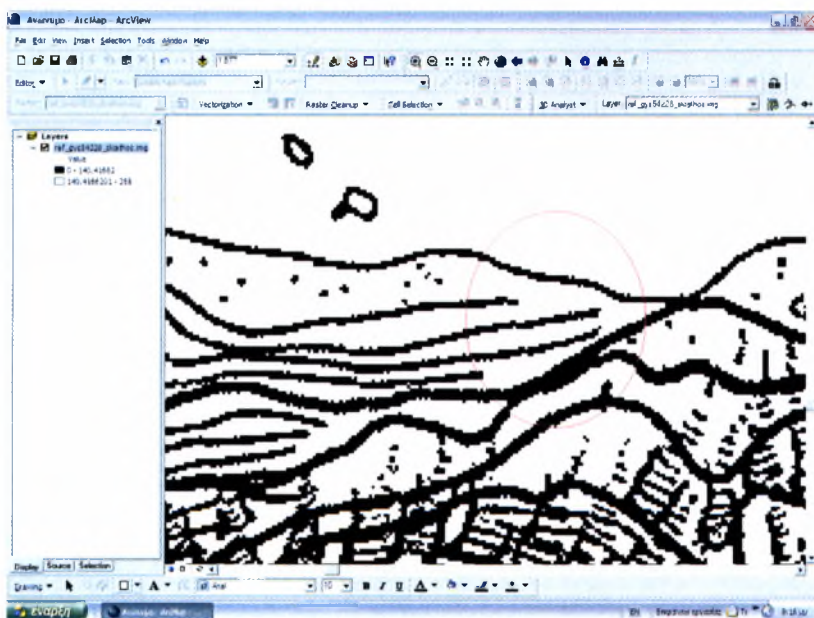
Σε γενικές γραμμές θα μπορούσαμε να χαρακτηρίσουμε τους χάρτες που ψηφιοποιήσαμε αρκετά «καθαρούς» και λεπτομερείς. Βέβαια υπήρξαν ορισμένα σημεία που μας δυσκόλεψαν. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ο χάρτης 54228 στον οποίο σε πολλά σημεία του είχε σχεδιαστεί έντονα το ανάγλυφο με αποτέλεσμα να μην είναι εμφανείς οι ισοϋψείς και εκτός των άλλων να μην είναι δυνατή η χρήση της εντολής *vectorization trace*.



Επιπρόσθετα υπήρχαν ορισμένα λάθη στην αρίθμηση των ισοϋψών, όπως φαίνεται και παρακάτω, όπου η συγκεκριμένη γραμμή φαίνεται, σύμφωνα με το υπόβαθρο, να απέχει 300 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας ενώ στην πραγματικότητα και σύμφωνα και με τις πλησιέστερες σε αυτήν ισοϋψείς απέχει 200 μέτρα από την επιφάνεια της θάλασσας.



Επιπλέον σε αρκετά σημεία οι ισοϋψείς ταυτίζονταν και τέλος σε άλλα σημεία διακόπτονταν με αποτέλεσμα να μην είναι δυνατή η εύρεση της ακριβούς τους θέσης.



**Πίνακας 6.3.:** Ελληνικό Γεωδαιτικό Σύστημα Αναφοράς '87.

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

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

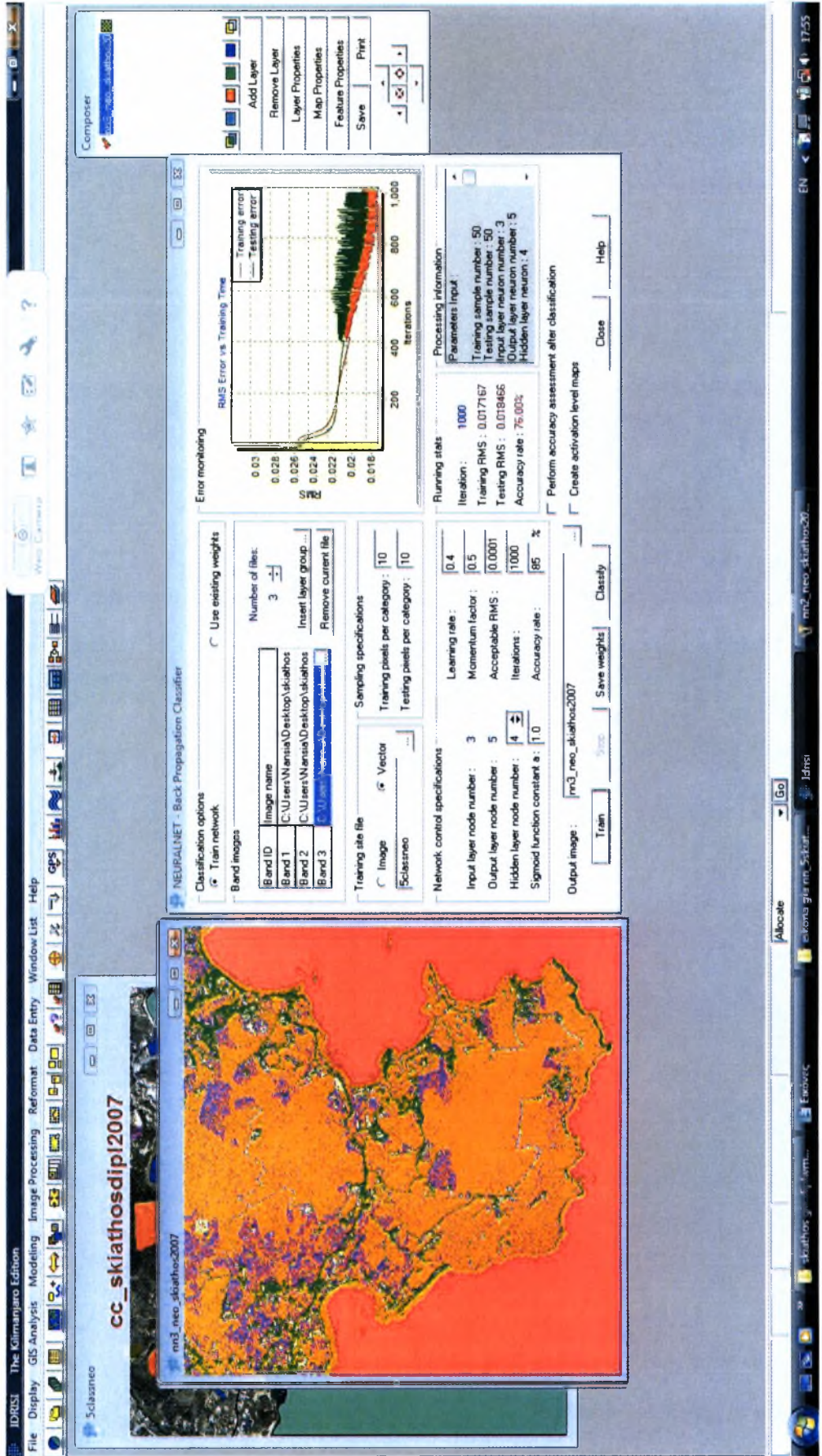


**Εικόνα 6.2.:** Δορυφορική εικόνα IKONOS 2007, περιοχή Σκιάθου



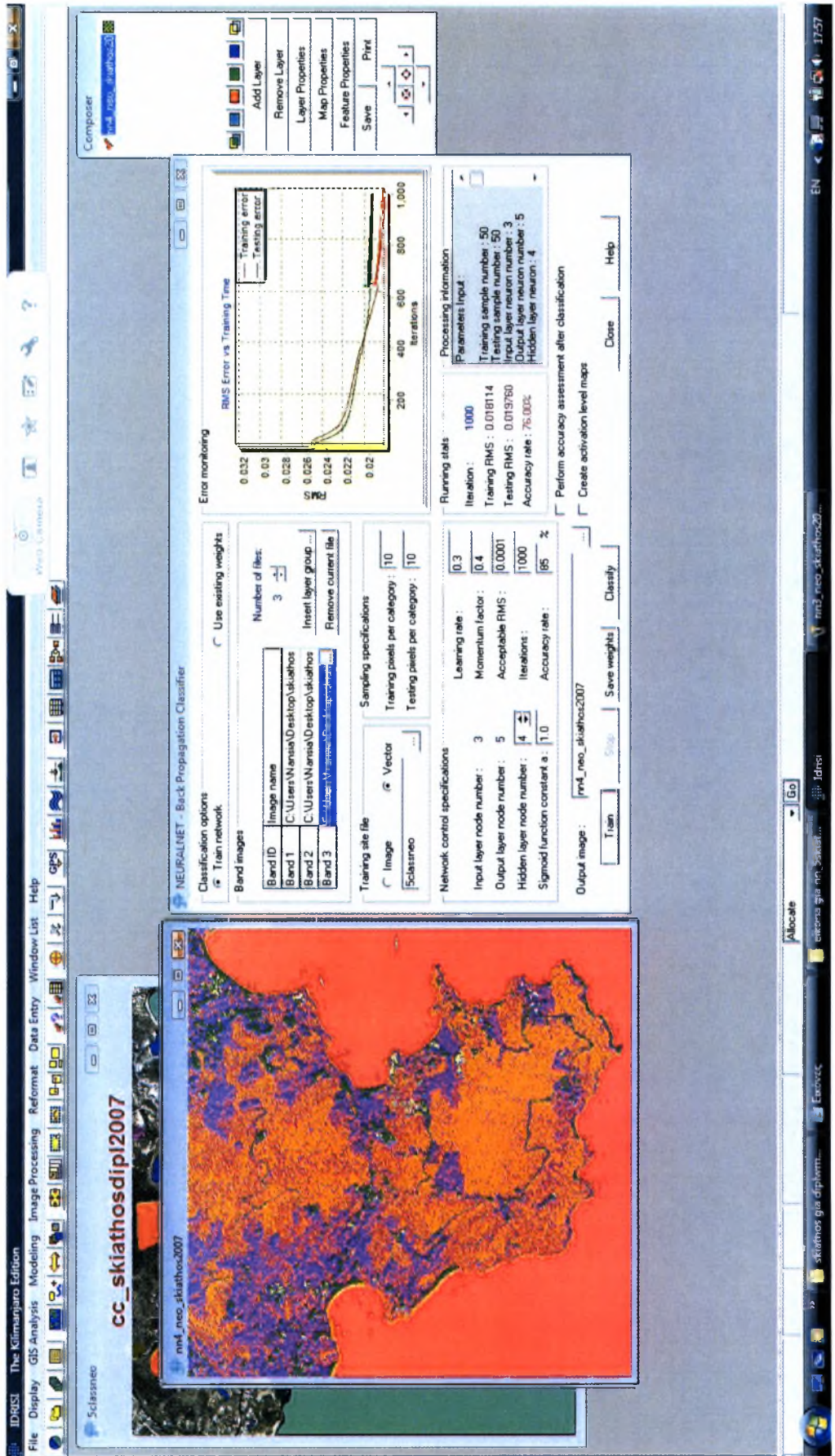
Πηγή: Ίδια Επεξεργασία

**Εικόνα 6.4.:** Πρώτη «Εκπαίδευση» ταξινομητή  
 Πηγή: Ίδια Επεξεργασία



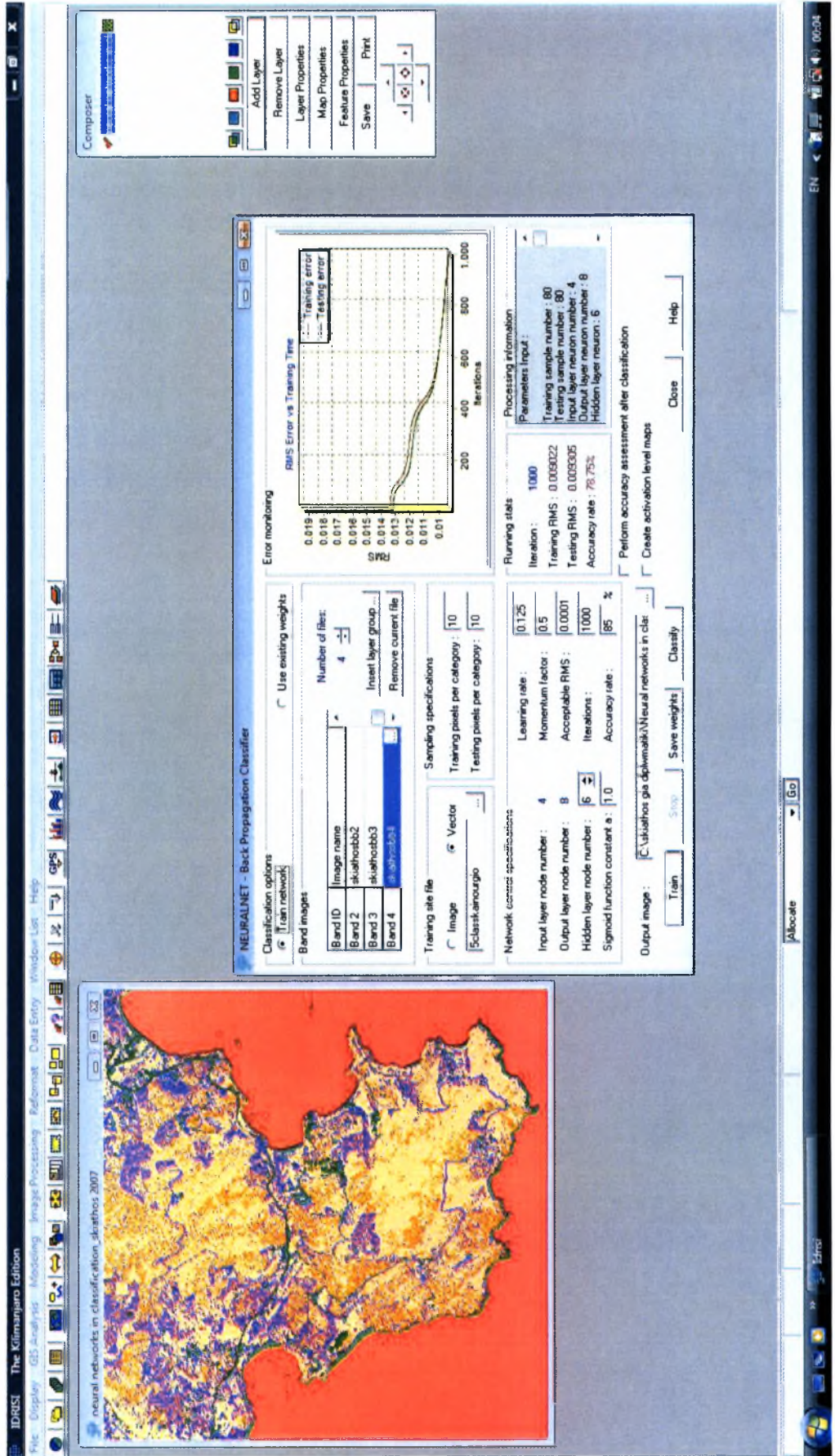


**Εικόνα 6.5.: Δεύτερη «Εκπαίδευση» ταξινόμητη**  
**Πηγή: Ίδια Επεξεργασία**





**Εικόνα 6.6.:** Τρίτη «Εκπαίδευση» ταξινομητή  
 Πηγή: Ίδια Επεξεργασία





**Εικόνα 6.7:** Ταξινόμηση εικόνας με νευρωνικά δίκτυα  
**Πηγή:** Ίδια Επεξεργασία





# Maximum likelihood classification



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας  
Πολεοδομίας & Περιφερειακής  
Ανάπτυξης

**Διπλωματική εργασία:**

Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων  
ασαφούς λογικής και νευρωνικών  
δικτύων στην ταξινόμηση καλύψεων  
γης. Εφαρμογή στη Σκιάθο.

**Ταξινόμηση εικόνας της Σκιάθου με  
τη μέθοδο της Μέγιστης  
Πιθανοφάνειας για το 2007**

- 1 Υδάτινοι πόροι
- 2 Διάχυτη δόμηση
- 3 Οδικό δίκτυο πρωτεύον
- 4 Βλάστηση με δένδρα
- 5 Ξερική γη
- 6 Αμμονδιά
- 7 Βλάστηση χωρίς δένδρα
- 8 Οδικό δίκτυο δευτερόν

**Φοιτήτρια: Λάλου Αθανασία**  
**Επιβλέπων: Περάκης Κων/νος**





### Fuzzy classification



**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ**

Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας  
Πολεοδομίας & Περιφερειακής  
Ανάπτυξης

**Διπλωματική εργασία:**  
Συγκριτική αξιολόγηση μεθόδων  
ασαφούς λογικής και νευρωνικών  
δικτύων στην ταξινόμηση καλύψεων  
γης. Εφαρμογή στη Σκιάθο

**Fuzzy ταξινόμηση δορυφορικής  
εικόνας της Σκιάθου για το έτος  
2007**

- 1 Υδάτινοι πόροι
- 2 Διάχυση δόμηση
- 3 Οδικό δίκτυο πρωτεύον
- 4 Βλάστηση με δένδρα
- 5 Ξερική γη
- 6 Λιμνοδία
- 7 Βλάστηση χωρίς δένδρα
- 8 Οδικό δίκτυο δευτερεύον

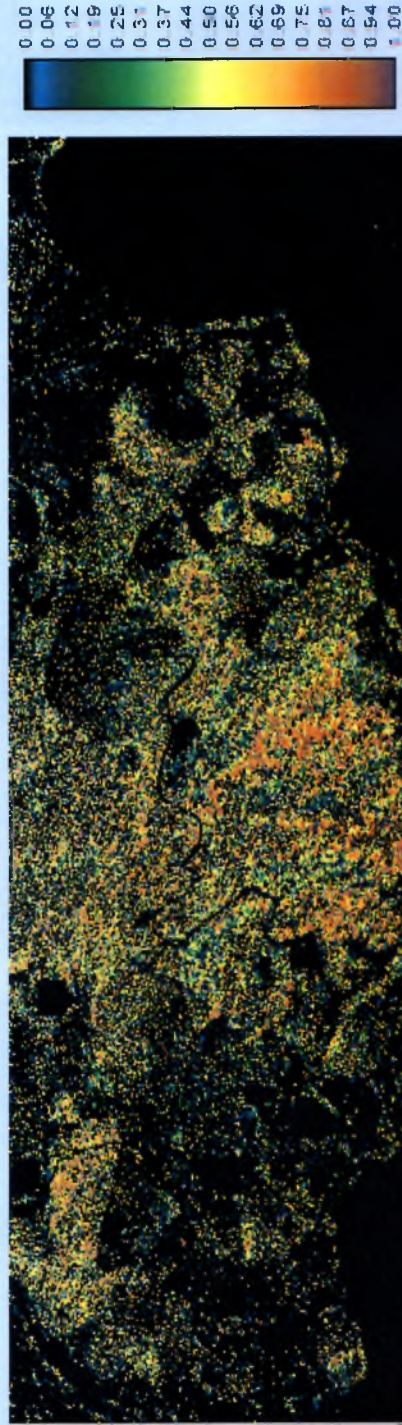
**Φοιτήτρια: Λάλου Αθανασία**  
**Επιβλέπων: Περάκης Κων/νος**

*Βόλος, Φεβρουάριος 2008*





### Fuzzy Image Classification for 'vlastisi me dendra'



Εικόνα 6.8. :Πιθανοτικός χάρτης για την κάλυψη γης : Βλάστηση με δένδρα

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ

ΤΙΤΛΟΣ

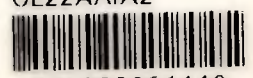
ΔΗΞΗ	ΟΝΟΜΑΤΕΠΩΝΥΜΟ ΔΑΝΕΙΖΟΜΕΝΟΥ
274-11	
24-7-14	

**ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ  
ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ**

Τηλ.: 24210 06300-1



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ  
ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



004000091440