



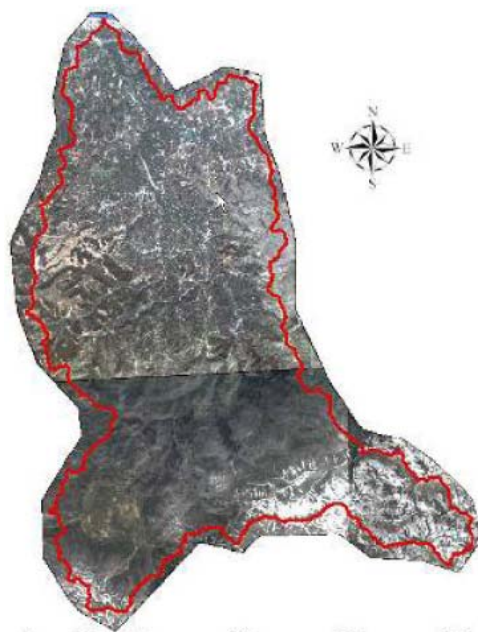
# **ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

## **ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**Εργαστήριο Διαχείρισης Υδατικών  
Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής**

### **Πτυχιακή Εργασία**

Προσδιορισμός χρήσεων γης για την υδρολογική  
λεκάνη του ποταμού Κερίτη με τη χρήση  
τεχνολογιών GPS και δορυφορικών φωτογραφιών.



Από τον φοιτητή Αθανασάκη Μανώλη

### **Εξεταστική Επιτροπή**

Τσάνης Ιωάννης (Επιβλέπων)  
Τσούτσος Θεοχάρης  
Χριστόπουλος Διονύσιος

**Χανιά, Σεπτέμβριος 2006**

# Πίνακας Περιεχομένων

---

<b>Πρόλογος – Σύντομη Περίληψη</b>	<b>7</b>
<b>1. Εισαγωγή</b>	<b>8</b>
1.1. Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας	8
1.2. Διαχείριση Υδατικών Πόρων	9
1.3. Σημασία της Λεκάνης Απορροής στην Διαχείριση των Υδατικών Πόρων	11
<b>2. Θεωρητικό Υπόβαθρο</b>	<b>12</b>
2.1. Τηλεπισκόπηση	12
2.2. Δορυφορικές Εικόνες	14
2.2.1. Ψηφιακές Εικόνες	14
2.2.2. Δορυφορικές Εικόνες QuickBird	17
2.2.3. Σφάλματα Δορυφορικών Εικόνων	19
2.3. Ορθοδιόρθωση Δορυφορικών Εικόνων	20
2.4. Δορυφορικά Συστήματα Εντοπισμού (Global Positioning System – GPS)	23
2.4.1. Γενικά	23
2.4.2. Βασικές Αρχές Λειτουργίας και Πηγές Σφαλμάτων	24
2.4.3. Διαφορικό GPS (DGPS)	25
2.5. Προσδιορισμός Χρήσεων Γης (Land Classification)	26
2.5.1. Γενικά	26
2.5.2. Μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification)	28
2.5.3. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification)	30
<b>3. Δεδομένα και Μετρήσεις Πεδίου</b>	<b>33</b>
3.1. Δεδομένα	33
3.1.1. Δορυφορικές λήψεις QuickBird	33
3.1.2. Ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων	35
3.1.3. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model – DTM)	37
3.1.4. Μετρήσεις σταθερού δέκτη GPS	38

3.1.5. Corine Land Cover 2000	38
<b>3.2. Μετρήσεις Πεδίου</b>	<b>39</b>
3.2.1. Γενικά	39
3.2.2. Προετοιμασία των μετρήσεων Πεδίου	40
3.2.3. Πραγματοποίηση Μετρήσεων Πεδίου	42
 <b>4. Επεξεργασία Μετρήσεων Πεδίου, Δεδομένων και Αποτελέσματα</b>	 <b>48</b>
4.1. Γενικά	48
4.2. Επεξεργασία Μετρήσεων Πεδίου	49
4.3. Ορθοδιόρθωση δορυφορικών εικόνων	52
4.3.1. Μεθοδολογία	52
4.3.2. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων	58
4.4. Προσδιορισμός χρήσεων γης	59
4.4.1. Γενικά	59
4.4.2. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised Classification)	60
4.4.3. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised Classification)	65
4.4.4. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης	71
4.4.5. Σύγκριση Αποτελεσμάτων Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης με τα Αποτελέσματα της Μη Επιβλεπόμενης	82
4.4.6. Σύγκριση Αποτελεσμάτων Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης με το Corine 2000	84
4.4.7. Υπολογισμός απαιτούμενου για άρδευση νερού	92
 <b>5. Συμπεράσματα - Προτάσεις</b>	 <b>94</b>
5.1 Συμπεράσματα	94
5.2 Προτάσεις	96
 <b>6. Βιβλιογραφία</b>	 <b>99</b>

## Κατάλογος Εικόνων

---

<b>Εικόνα 2-1:</b> Ψηφιοποιημένη Εικόνα	15
<b>Εικόνα 2-2:</b> Χωρική Διαχωριστική Ικανότητα	16
<b>Εικόνα 2-3:</b> Ραδιομετρική Διαχωριστική Ικανότητα	17
<b>Εικόνα 2-4:</b> Δορυφορική εικόνα QuickBird	18
<b>Εικόνα 2-5:</b> Σύνθεση του σήματος που λαμβάνει ο δορυφόρος	20
<b>Εικόνα 2-6:</b> Τροχιές Δορυφόρων GPS	23
<b>Εικόνα 2-8:</b> Αλγόριθμος Μη – Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης	29
<b>Εικόνα 3-1:</b> Δορυφορικές λήψεις QuickBird	34
<b>Εικόνα 3-2 :</b> Επικάλυψη δορυφορικών λήψεων	35
<b>Εικόνα 3-3:</b> Τμήμα ορθοφωτοχάρτη του Υπ. Αγρ. Ανάπτυξης και Τροφίμων	36
<b>Εικόνα 3-4:</b> DTM	37
<b>Εικόνα 3-5:</b> Corine Land Cover 2000 για την Ελλάδα	39
<b>Εικόνα 3-6:</b> Αναγνωρισιμότητα και ακρίβεια φωτοσταθερών σημείων	40
<b>Εικόνα 3-7:</b> Φωτοσταθερά σημεία προς εντοπισμό στο πεδίο	42
<b>Εικόνα 3-8:</b> Δορυφορικός Δέκτης GPS Reference	44
<b>Εικόνα 3-9:</b> Μετρήσεις στο πεδίο με το δορ. δέκτη Leica GS20 και το AX1201 Pole	45
<b>Εικόνα 3-10:</b> Δρόμος νότια του Θερίσου	46
<b>Εικόνα 4-1:</b> Λίστα σημείων στο Leica Ski-Pro	50
<b>Εικόνα 4-2:</b> Γραμμή εικονιδίων του Erdas Imagine 9.0	53
<b>Εικόνα 4-3:</b> Αντιστοίχιση πραγματικών συντεταγμένων με αυτές της εικόνας	55
<b>Εικόνα 4-4:</b> Εισαγωγή σημείων αναφοράς από ορθοφωτοχάρτη	55
<b>Εικόνα 4-5:</b> Ολόκληρη η τρίτη λήψη έναντι του τμήματος της που δεν εμφανίζεται στις άλλες δυο	60
<b>Εικόνα 4-6:</b> Αφαίρεση της επικάλυψης από τη λήψη 2	61
<b>Εικόνα 4-7:</b> Η λήψη 1 μετά από μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στο ArcGIS 9.0	62

<b>Εικόνα 4-8:</b> Signature file στο Signature Editor του Erdas Imagie 9	63
<b>Εικόνα 4-9:</b> Μείωση της χωρικής διαχωριστικής ικανότητας των αρχικών εικόνων	64
<b>Εικόνα 4-10:</b> AOI Tools στο Erdas Imagine 9	65
<b>Εικόνα 4-11:</b> Η λήψη 1 μετά από επιβλεπόμενη ταξινόμηση στο ArcGIS 9.0	69
<b>Εικόνα 4-12:</b> Attributes στο Viewer Erdas Imagine 9	69
<b>Εικόνα 4-13:</b> Corine Land Cover για την περιοχή μελέτης	84

## Κατάλογος Πινάκων

---

Πίνακας 4-1: Συντεταγμένες του σταθερού δορυφορικού δέκτη GPS _____	51
Πίνακας 4-2 : Ονομασίες Τάξεων _____	67
Πίνακας 4-3: Αριθμός εικονοστοιχείων και έκταση ανά τάξη για την λήψη 1 _____	72
Πίνακας 4-4: Έκταση τάξεων για την λήψη 1 _____	73
Πίνακας 4-5: Συνολικές Καλλιεργήσιμες εκτάσεις για την λήψη 1 _____	74
Πίνακας 4-6: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη για την λήψη 2 _____	75
Πίνακας 4-7: Συνολικές Καλλιεργήσιμες εκτάσεις για την λήψη 2 _____	76
Πίνακας 4-8: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη και για τις δυο λήψεις _____	79
Πίνακας 4-9: Συνολικές Καλλιεργήσιμες εκτάσεις για την λήψη 2 _____	80
Πίνακας 4-10: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη και για τις δυο λήψεις (χρησιμοποιώντας την κάθε φορά αντιπροσωπευτικότερη εικόνα) _____	81
Πίνακας 4-11: Σύγκριση Επιβλεπόμενης και μη Ταξινόμησης _____	83
Πίνακας 4-12: Τάξεις του CLC 2000 στην περιοχή μελέτης _____	85
Πίνακας 4-13: Αντιστοίχιση τάξεων επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000 _____	86
Πίνακας 4-14: Καταμερισμός της τάξης “Περιοχές πρωταρχικά καλυμμένες με καλλιέργειες με φυσική βλάστηση” σε άλλες τάξεις του CLC 2000 _____	87
Πίνακας 4-15: Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000 _____	88
Πίνακας 4-16: Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000 για τις καλλιέργειες _____	89
Πίνακας 4-17: Απαιτήσεις καλλιεργειών σε νερό _____	92
Πίνακας 4-18: Απαιτούμενη ποσότητα νερού για άρδευση για ένα υγρό έτος _____	93
Πίνακας 4-19: Απαιτούμενη ποσότητα νερού για άρδευση για ένα ξηρό έτος _____	93

## Κατάλογος Διαγραμμάτων

---

<b>Διάγραμμα 4-1:</b> Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη για την λήψη 1 _____	73
<b>Διάγραμμα 4-2:</b> Αριθμός καλλιεργήσιμων στρεμμάτων για την λήψη 1 _____	74
<b>Διάγραμμα 4-3:</b> Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη για την λήψη 2 _____	76
<b>Διάγραμμα 4-4:</b> Αριθμός καλλιεργήσιμων στρεμμάτων για την λήψη 2 _____	77
<b>Διάγραμμα 4-5:</b> Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη και για τις δυο λήψεις _____	79
<b>Διάγραμμα 4-6:</b> Αριθμός καλλιεργήσιμων στρεμμάτων και για τις δυο λήψεις _____	80
<b>Διάγραμμα 4-7:</b> Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη και για τις δυο λήψεις (χρησιμοποιώντας την κάθε φορά αντιπροσωπευτικότερη εικόνα) _____	82
<b>Διάγραμμα 4-8:</b> Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000 _____	89
<b>Διάγραμμα 4-9:</b> Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000 για τις καλλιέργειες _____	90

## Πρόλογος – Σύντομη Περίληψη

---

Με χρήση δεδομένων πεδίου (σημεία GPS), ορθοφωτομετρικών χαρτών από το Υπουργείο Γεωργίας αλλά και άλλων δεδομένων μπορούν να ορθοδιορθωθούν οι δορυφορικές φωτογραφίες της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη. Στη συνέχεια εισάγονται οι διορθωμένες δορυφορικές εικόνες στο κατάλληλο λογισμικό (Erdas Imagine 9.0) ώστε μετά από επεξεργασία τους να προσδιοριστούν οι χρήσεις γης για την υδρολογική λεκάνη του ποταμού. Ο προσδιορισμός των χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη και κατά προέκταση η ταυτοποίηση των υπαρχόντων καλλιεργειών, οι οποίες αρδεύονται από τα υδρολογικά αποθέματα της λεκάνης, μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα χρήσιμος για την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων της περιοχής.

Πριν αρχίσει το κυρίως μέρος της διπλωματικής μου εργασίας θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή αυτής κ. Ιωάννη Τσάνη για την ευκαιρία που μου έδωσε να ασχοληθώ με ένα τόσο ενδιαφέρον θέμα, για την παροχή των απαραίτητων μέσων για την διεκπεραίωση της εργασίας αυτής καθώς και για την πολύτιμη καθοδήγηση του κατά την υλοποίηση της.

Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω το προσωπικό- διδακτορικούς φοιτητές του **εργαστηρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής** και ιδιαιτέρως τους Ιωάννη Δαλιακόπουλο και Κωνσταντίνο Σειραδάκη για τη συνεχή τους υποστήριξη.

Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω τους συμφοιτητές μου Μανώλη Γρυλλάκη και Σωτήρη Τσιτσιλώνη για την βοήθεια τους κατά τις μετρήσεις πεδίου.



# 1. Εισαγωγή

---

## 1.1. Σκοπός της Διπλωματικής Εργασίας

Σκοπός της διπλωματικής αυτής εργασίας είναι η συλλογή και ανάλυση δεδομένων τα οποία θα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να παρθούν αποφάσεις σχετικές με την ορθολογική διαχείριση των υδατικών πόρων αλλά και για τη δημιουργία ενός ολοκληρωμένου σχεδίου διαχείρισης υδατικών πόρων της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη.

Τα δεδομένα για τα οποία έγινε λόγος στην παραπάνω παράγραφο είναι:

1. Τρεις ορθοδιορθωμένες δορυφορικές φωτογραφίες υψηλής ανάλυσης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη (διάσταση εικονοστοιχείου  $0.7 \text{ m} \times 0.7 \text{ m}$ ) οι οποίες θα προκύψουν από την ορθοδιόρθωση των αρχικών δορυφορικών φωτογραφιών κάνοντας χρήση δεδομένων πεδίου (σημείων GPS) και ορθοφωτομετρικών χαρτών από το Υπουργείο Γεωργίας με κατάλληλο λογισμικό (Erdas Imagine 9.0).
2. Οι χρήσεις γης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη οι οποίες θα προκύψουν από επεξεργασία με κατάλληλο λογισμικό-αλγορίθμους (Erdas Imagine 9.0) της ορθοδιορθωμένης δορυφορικής φωτογραφίας.

Ο προσδιορισμός των χρήσεων γης της περιοχής, η ταυτοποίηση των καλλιεργειών που βρίσκονται σε αυτή και ο υπολογισμός της έκτασης της κάθε διαφορετικής καλλιέργειας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με τις ανάγκες της περιοχής σε νερό για άρδευση αν συνδυαστούν κατάλληλα με δεδομένα διαφορετικής φύσης (π.χ. ανάγκη των καλλιεργειών σε νερό ανά στρέμμα).

## 1.2. Διαχείριση Υδατικών Πόρων

Η συντήρηση της ζωής στον πλανήτη και η ανάπτυξη των κάθε είδους ανθρωπίνων δραστηριοτήτων (οικονομικών, κοινωνικών κλπ) απαιτούν την αδιάλειπτη ύπαρξη γλυκού νερού σε κατάλληλη ποιότητα και ικανή ποσότητα. Πριν από μερικά μόλις χρόνια το νερό στη συνείδηση όλων μας ήταν ένας φυσικός πόρος σε αφθονία που μπορούσε να χρησιμοποιείται σπάταλα, χωρίς καμία συνέπεια. Στην εποχή μας όμως η κατάσταση έχει αλλάξει. Εξαιτίας της αλόγιστης χρήσης, της μεγάλης ανάπτυξης των τελευταίων ετών (γεωργία, βιομηχανία, αστικά κέντρα) και της αύξησης του πληθυσμού της γης, το νερό θεωρείται και είναι πλέον ένα αγαθό εν ανεπαρκεία και σοβαρά προβλήματα προκύπτουν από την κακή διαχείριση και την ανεπαρκή προστασία του. Είναι χαρακτηριστικό πως σήμερα, σύμφωνα με τον Οργανισμό Ηνωμένων Εθνών, 1,1 δισ. άνθρωποι δεν έχουν πρόσβαση σε πόσιμο νερό. Βάσει λοιπόν των παραπάνω γίνεται αντιληπτό πως η ανάγκη εξασφάλισης νερού ικανοποιητικής ποιότητας παντού και για πάντα είναι επιτακτική. Τρία είναι τα βήματα της προσέγγισης προς την τεχνικά αξιόπιστη, οικονομικά εφικτή αλλά και βέλτιστη εξασφάλιση του απαραίτητου για τις ανθρώπινες δραστηριότητες νερού:

1. Προσδιορισμός της διαθεσιμότητάς του σε σχέση με το χώρο και το χρόνο,
2. Σχεδιασμός και εκτέλεση των έργων αξιοποίησής του,
3. Διαχείριση του όλου συστήματος των υδατικών πόρων.

Ως διαχείριση των υδατικών πόρων ορίζεται "η επιστημονική και επιχειρησιακή πρακτική της διευθέτησης του ισοζυγίου προσφοράς και ζήτησης του νερού με στόχο την ισότιμη ικανοποίηση των αναγκών σε νερό και την διατήρηση των περιβαλλοντικών συστημάτων ". Ενώ σύμφωνα με το νόμο 1739/87 (ΦΕΚ 201 Α') διαχείριση των υδατικών πόρων είναι το σύστημα των μέτρων και δραστηριοτήτων, που είναι απαραίτητα για την πληρέστερη δυνατή κάλυψη των αναγκών σε νερό για κάθε χρήση.

Η διαχείριση των υδατικών πόρων έχει δύο διακριτές και ανεξάρτητες μεταξύ τους διαστάσεις: τη **διάσταση της φυσικής προσφοράς** και τη **διάσταση της ζήτησης**. Για να επιτευχθεί ο στόχος της επάρκειας των

υδατικών αποθεμάτων δεν απαιτείται η μονόπλευρη όσο και αδιέξοδη περιβαλλοντικά εξασφάλιση ολοένα και περισσότερων υδατικών αποθεμάτων, αλλά η επίτευξη ισορροπίας μεταξύ της προσφοράς και της ζήτησης του νερού. Είναι σαφές ότι για τη φυσική προσφορά του νερού ευθύνεται κυρίως η φύση, που ωστόσο σταδιακά εξασθενεί λόγω των αυξημένων πιέσεων αφού η συμβολή της τεχνολογίας στον τομέα αυτόν αν και σημαντική είναι μόνο συμπληρωματική (πχ φράγματα). Για τη διαμόρφωση του δεύτερου σκέλους του ισοζυγίου που αφορά στη ζήτηση του νερού, η αποκλειστική ευθύνη αποδίδεται στον ανθρώπινο παράγοντα και συνεπώς αποτελεί ευθύνη της οργανωμένης πολιτείας.

Το ζητούμενο λοιπόν είναι ο σχεδιασμός και η εφαρμογή μιας υδατικής πολιτικής με κεντρικό στόχο τη διευθέτηση των ισοζυγίων προσφοράς και ζήτησης του νερού στις υδρολογικές λεκάνες και τα υδατικά διαμερίσματα της χώρας. Η πολιτική αυτή θα πρέπει να έχει τα χαρακτηριστικά της βιωσιμότητας, θα πρέπει δηλαδή να διασφαλίζει διαχρονικά τόσο την ανάπτυξη, με την ικανοποίηση των αναγκών σε νερό, όσο και την περιβαλλοντική προστασία, με τη διατήρηση της υγείας και της ακεραιότητας των υδατικών συστημάτων.

Οι στόχοι μιας πολιτικής διαχείρισης υδατικών πόρων, η οποία θα διέπεται από τις παραπάνω αρχές μπορούν να συνοψιστούν στους παρακάτω :

1. Την εξασφάλιση προμήθειας νερού, ποσοτικά και ποιοτικά ως προς πρότυπα όλο και πιο φιλόδοξα, χωρίς μεγάλες αρνητικές επιπτώσεις στη φύση.
2. Την πρόβλεψη, στην κατεύθυνση αυτή, των κινδύνων εμφάνισης έλλειψης και της διάρρηξης της ισορροπίας μεταξύ προσφοράς και ζήτησης.
3. Την παράλληλη διασφάλιση της προστασίας των υδατικών πόρων από βλάβες που μπορούν να προκληθούν από ανθρωπογενείς δραστηριότητες καθώς και της προστασίας του ανθρώπου και των αγαθών από βλαβερά νερά.

### **1.3.Σημασία της Λεκάνης Απορροής στην Διαχείριση των Υδατικών Πόρων**

Η βασική μονάδα της διαχείρισης των υδάτων είναι η Περιοχή Λεκάνης Απορροής Ποταμού, η οποία μπορεί να συνδυάζει πολλές Λεκάνες Απορροής. Η Λεκάνη Απορροής ορίζεται από υδρολογικές ιδιότητες, ως φυσική υδρολογική λεκάνη με μία έξοδο προς την θάλασσα. Η διαδικασία σχεδιασμού ενός σχεδίου διαχείρισης Υδατικών Πόρων σε επίπεδο Λεκάνης Απορροής πρέπει να προλαμβάνει την υποβάθμιση της κατάστασης των υδάτων. Η διαδικασία σχεδιασμού διαιρείται στα ακόλουθα 4 κύρια στάδια:

1. Προσδιορισμός της περιοχής λεκάνης απορροής, των απαραίτητων διοικητικών ρυθμίσεων, καθώς και των ρυθμίσεων για τον συντονισμό.
2. Χαρακτηρισμός της περιοχής και ανάλυση των πιέσεων και επιπτώσεων επί της κατάστασης όλων των επιφανειακών και υπογείων υδάτων και της οικονομική ανάλυση των χρήσεων ύδατος.
3. Εγκατάσταση αντιπροσωπευτικού δικτύου παρακολούθησης της κατάστασης των υδάτων.
4. Σχεδιασμός της διαχείρισης της λεκάνης απορροής.

Στην προετοιμασία λοιπόν για την εφαρμογή της ολοκληρωμένης διαχείρισης υδατικών πόρων σε επίπεδο λεκάνης απορροής συμπεριλαμβάνεται η δημιουργία και ενεργοποίηση ενός αποτελεσματικού μηχανισμού συλλογής και ανάλυσης της πληροφορίας, η εγκατάσταση κατάλληλων δικτύων παρακολούθησης και η παροχή ευκαιριών στους ενδιαφερόμενους για πληροφόρηση και την συμβουλευτική συμμετοχή.

## 2. Θεωρητικό Υπόβαθρο

---

### 2.1. Τηλεπισκόπηση

Η τηλεπισκόπηση (τηλέ + επισκόπηση) ετυμολογικά σημαίνει το να βλέπω και να εξετάζω κάτι από μακριά, από απόσταση. Περισσότερο εμπεριστατωμένα η τηλεπισκόπηση (remote sensing) ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας της πληροφορίας γύρω από ένα στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του, εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς στην πραγματικότητα να έρθουμε σε επαφή με αυτόν (Μερτίκας, 1999). Άρα ο όρος Τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται για να αποδώσει την καταγραφή, ανάλυση και ερμηνεία δεδομένων, σχετικά με ένα αντικείμενο, που λαμβάνονται από απόσταση.

Τα τρία βασικότερα τμήματα της τηλεπισκόπησης είναι :

1. **Οι στόχοι της**, δηλαδή τα υπό μελέτη αντικείμενα, τα οποία μπορεί να είναι είτε πολύ μεγάλα αντικείμενα (π.χ. πλανήτες), είτε πολύ μικρά (π.χ. κύτταρα). Κύριος στόχος της τηλεπισκόπησης είναι η επιφάνεια της γης με βασικούς σκοπούς την απεικόνιση και την μέτρηση αυτής καθώς και των αντικειμένων που βρίσκονται πάνω της και των φαινομένων που συμβαίνουν πάνω της.
2. **Η συλλογή δεδομένων**, η οποία γίνεται μέσω ειδικών οργάνων. Τα όργανα αυτά μπορεί να είναι από το ανθρώπινο μάτι μέχρι και εικονοληπτικοί δορυφόροι. Στην πράξη τα δεδομένα που χρησιμοποιούνται είναι απεικονίσεις ή εικόνες, όπως αεροφωτογραφίες και δορυφορικές εικόνες στις οποίες καταγράφεται η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια η οποία είτε εκπέμπεται είτε ανακλάται από το κάθε φορά εξεταζόμενο αντικείμενο (την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα).
3. **Η ανάλυση και ερμηνεία των δεδομένων**, η οποία γίνεται μέσω ειδικών οργάνων. Η επικράτηση των δεδομένων που προέρχονται από δορυφόρους και η συνεχώς αυξανόμενη ακρίβειά τους έχει προκαλέσει

μια τρομαχτική αύξηση του όγκου τους. Σαν συνέπεια λοιπόν του μεγάλου όγκου των δεδομένων η οπτική ανάλυση και ερμηνεία τους έχει αυτοματοποιηθεί, βασιζόμενη στους υπολογιστές, με αποτέλεσμα την επιτάχυνση της διαδικασίας και την μείωση του κόστους της. Παρόλα αυτά ο ανθρώπινος παράγοντας είναι ακόμα καθοριστικός για την εγκυρότητα των αποτελεσμάτων της ανάλυσης.

Τα πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης σε σχέση με άλλες μεθόδους άμεσης παρατήρησης είναι τα παρακάτω:

1. **Ταχύτητα:** Η παραγωγή χαρτών με μεθόδους τηλεπισκόπησης είναι ταχύτερη από οποιαδήποτε άλλη μεθοδολογία που στηρίζεται σε επίγειες παρατήρησης.
2. **Οικονομία:** Το ότι η τηλεπισκόπηση είναι οικονομικότερη μέθοδος από άλλες μεθόδους άμεσης παρατήρησης είναι προφανές, αν αναλογιστούμε ότι το κόστος είναι στενά συνδεδεμένο με την ταχύτητα συλλογής των δεδομένων.
3. **Προσπελασιμότητα του εδάφους:** Είναι σαφής η υπεροχή της τηλεπισκόπησης έναντι άλλων μεθόδων άμεσης παρατήρησης σε περιπτώσεις δύσκολης ή ακόμα και απαγορευτικής προσπελασιμότητας του εδάφους
4. **Συνεχής απεικόνιση:** Ενώ σκοπός των μεθόδων άμεσης παρατήρησης είναι ο προσδιορισμός των συντεταγμένων διακριτών σημείων και λεπτομερειών, οι φωτογραφίες που χρησιμοποιούνται στην τηλεπισκόπηση αποτελούν μια συνεχή απεικόνιση του φυσικού κόσμου.
5. **Ραγδαία εξέλιξη:** Η τηλεπισκόπηση είναι μια επιστήμη άρρηκτα συνδεδεμένη με την ψηφιακής τεχνολογία. Εκμεταλλευόμενη στο έπακρο τα πλεονεκτήματα των νέων τεχνολογιών και μεθόδων βρίσκει εφαρμογές σε όλο και περισσότερους τομείς.

Η τηλεπισκόπηση έχει πολλές εφαρμογές σε πολλούς τομείς, μερικές από αυτές είναι :

- Τοπογραφία, Χαρτογραφία (παραγωγή χαρτών, κτηματολόγιο).

- Περιβαλλοντολογικές μελέτες (ειδικές χρήσεις υπέρυθρων και θερμικών φιλμ για μελέτες της ατμόσφαιρας, των υδατικών πόρων και του εδάφους,).
- Γεωλογία, (μελέτη πετρωμάτων, εξορύξεις ορυκτών, υπολογισμοί όγκων).
- Στρατιωτικοί σκοποί (χωροθέτηση – εντοπισμός στρατηγικών στόχων, αναγνώριση, νυχτερινές φωτογραφίες, σύγχρονα όπλα).

## 2.2. Δορυφορικές Εικόνες

### 2.2.1. Ψηφιακές Εικόνες

Η ψηφιοποίηση των εικόνων είναι απαραίτητη για την επεξεργασία τους από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Οι ψηφιακές εικόνες αποτελούνται από ψηφίδες (εικονοστοιχεία ή pixels) με συντεταγμένες  $(x,y)$ , στο σύστημα της εικόνας, με διακριτές τιμές  $(i,j)$ , που αντιστοιχούν σε δειγματοληψία του χώρου της γήινης επιφάνειας. Οι τιμές  $f(x,y)$  των ψηφίδων προσδιορίζονται από τη μέση τιμή της έντασης της ακτινοβολίας της επιφάνειας. Η τιμή της κάθε ψηφίδας ονομάζεται φωτεινότητα. Στις πολυφασματικές εικόνες μια ψηφίδα διαθέτει περισσότερες από μια τιμές φωτεινότητας.

Στην ψηφιακή εικόνα υπάρχουν δύο πολύ σημαντικές έννοιες : **ο χώρος της εικόνας** και **ο χώρος των γνωρισμάτων της** (Μερτίκας 1999).

Ο χώρος της εικόνας αναφέρεται στις χωρικές συντεταγμένες της εικόνας, συμβολίζεται με  $I(x,y)$  και περιέχει  $m \times n$  στοιχεία υπό τη μορφή πίνακα, όπου  $m$  και  $n$  είναι ο αριθμός των γραμμών  $i$  και των στηλών  $j$  της εικόνας αντίστοιχα (Εικόνα 2-1). Ο χώρος  $I(x,y)$  αντιπροσωπεύει τις μονάδες της χωρικής δειγματοληψίας, σε κάθε μια της οποίας καταγράφηκε ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.

Ο χώρος των γνωρισμάτων της εικόνας  $V$  αποτελείται από όλες τις δυνατές τιμές  $f(x,y)$ . Σε κάθε ψηφίδα στο χώρο της εικόνας αντιστοιχεί μόνο μια τιμή  $f$  (εκτός από τις πολυφασματικές εικόνες), ενώ μία τιμή  $f$  μπορεί να αντιστοιχεί σε περισσότερες από μια ψηφίδες.

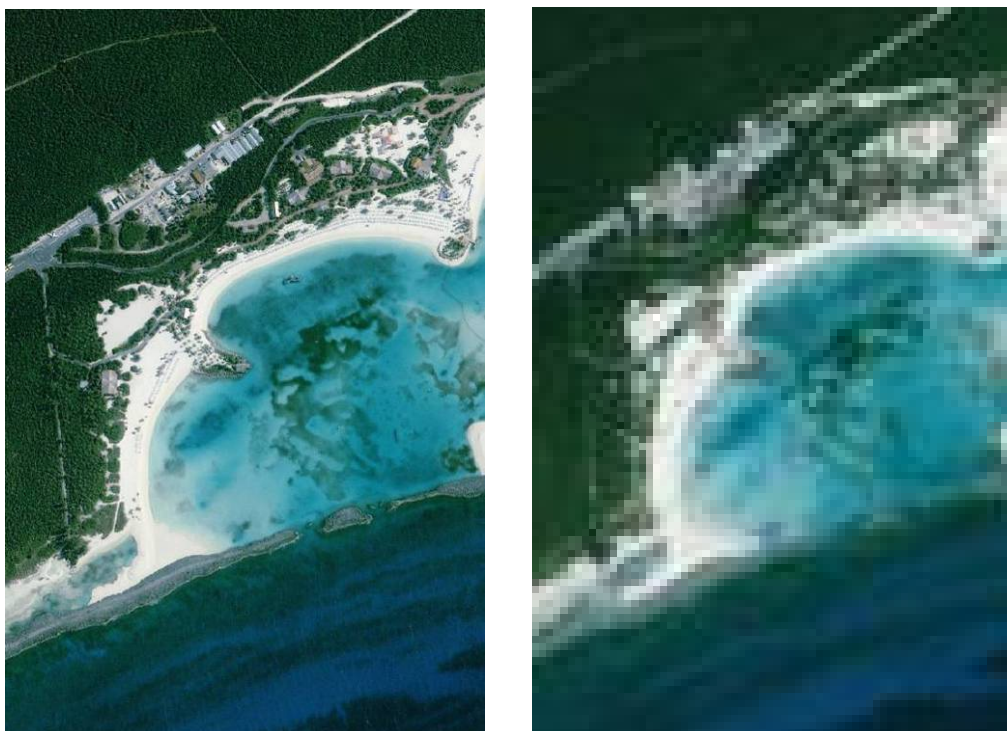
$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & . & . & . & f(0,M-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & . & . & . & f(1,M-1) \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & . & . & . & f(N-1,M-1) \end{bmatrix}$$

**Εικόνα 2-1: Ψηφιοποιημένη Εικόνα**

Η ποιότητα μιας ψηφιακής εικόνας εξαρτάται, μεταξύ άλλων, από δυο παράγοντες **τη χωρική διαχωριστική ικανότητα και τη ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα.**

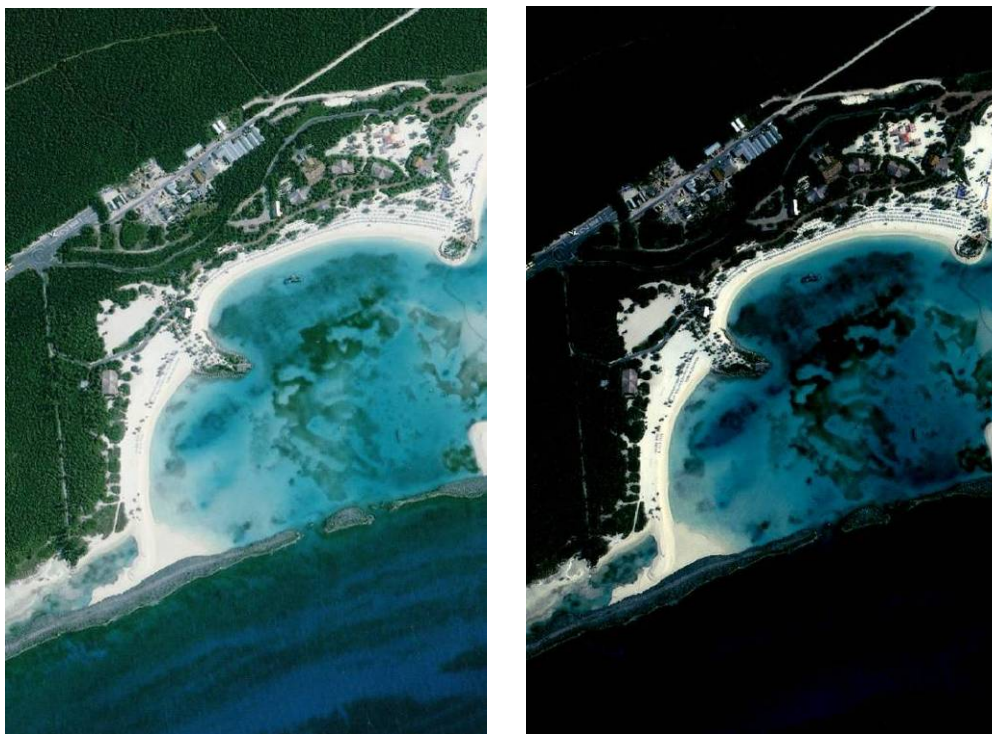
Η χωρική διαχωριστική ικανότητα έχει να κάνει με το μέγεθος της κάθε ψηφίδας της εικόνας και την ικανότητα διάκρισης αντικειμένων στην εικόνα. Όσο μικρότερο είναι το μέγεθος της ψηφίδας (μεγαλύτερη ανάλυση) τόσο μεγαλύτερος θα είναι ο αριθμός των ψηφίδων που καταλαμβάνονται από ένα μόνο αντικείμενο και μικρότερος ο αριθμός των μικτών ψηφίδων (που καταλαμβάνονται από περισσότερα του ενός αντικείμενα). Κάτι τέτοιο κάνει την διάκριση αντικειμένων ευκολότερη (π.χ. ευκολότερη διάκριση αντικειμένων σε εικόνα με μέγεθος ψηφίδας 10 m x 10 m από ότι σε εικόνα με μέγεθος ψηφίδας 30 m x 30 m ). Αυτό γίνεται κατανοητό βλέποντας τις δυο παρακάτω εικόνες (Εικόνα 2-2). Η πρώτη εικόνα έχει μικρότερο μέγεθος ψηφίδας από την δεύτερη (μεγαλύτερη ανάλυση) με αποτέλεσμα τα αντικείμενα που απεικονίζει να είναι πιο ευδιάκριτα





**Εικόνα 2-2: Χωρική Διαχωριστική Ικανότητα**

Η ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα αναφέρεται στον μέγιστο αριθμό διαφορετικών τιμών φωτεινότητας (διαβαθμίσεις του γκρι, χρώματα) που χρησιμοποιούνται κατά την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας, ο οποίος εκφράζεται από τον αριθμό των ψηφιακών τιμών (bits) που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της μέγιστης τιμής (π.χ. Ραδιομετρικό δυναμικό εύρος για κάθε εικονοστοιχείο 8 – bit σημαίνει  $2^8 = 256$  διαφορετικές τιμές φωτεινότητας ). Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των διαφορετικών τιμών φωτεινότητας τόσο μεγαλύτερη είναι η ποσότητα της πληροφορίας που περιέχεται στην εικόνα (το κάθε pixel ξεχωρίζει περισσότερο από τα υπόλοιπα) και ο απαιτούμενος χώρος σε bytes για την αποθήκευση της. Αυτό γίνεται κατανοητό βλέποντας τις δυο παρακάτω εικόνες (Εικόνα 2-3). Η πρώτη εικόνα έχει μεγαλύτερη ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα από την δεύτερη με αποτέλεσμα να είναι ευκολότερη η διεξαγωγή συμπερασμάτων για το περιεχόμενό της (πληροφορία). Εξ' αιτίας όσων αναφέρθηκαν παραπάνω είναι σημαντικό η ραδιομετρική διαχωριστική ικανότητα των εικόνων να είναι τέτοια που να περιέχει το μεγαλύτερο δυνατό ποσό πληροφορίας σε ελάχιστο αποθηκευτικό χώρο.



**Εικόνα 2-3: Ραδιομετρική Διαχωριστική Ικανότητα**

### **2.2.2. Δορυφορικές Εικόνες QuickBird**

Οι δορυφορικές εικόνες παράγονται από ευαίσθητους ηλεκτροπτικούς αισθητήρες οι οποίοι χρησιμοποιούνται για να μετασχηματίσουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης σε ανιχνεύσιμο ηλεκτρικό σήμα και στη συνέχεια σε οπτικό σήμα. Οι ανιχνευτές αυτοί τοποθετούνται σε δορυφόρους που βρίσκονται σε τροχιά γύρω τη γη. Οι εικόνες λοιπόν που παράγονται με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω αποστέλλονται σε επίγειους σταθμούς από όπου στη συνέχεια διανέμονται στους ενδιαφερόμενους. Η γεωμετρία των παραγόμενων δορυφορικών εικόνων είναι αυτή της κεντρικής προοπτικής λόγω του τρόπου με τον οποίο παράγονται.

Οι ψηφιακές εικόνες που βρίσκονται στη διάθεση του εργαστηρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής και χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα διπλωματική προέρχονται από το δορυφόρο QuickBird. Πρόκειται για δορυφορικές φωτογραφίες με την υψηλότερη

εμπορικά διαθέσιμη ανάλυση με μέγεθος ψηφίδας – pixel 0,7m x 0,7m και επομένως με αυξημένη χωρική διαχωριστική ικανότητα . Το ραδιομετρικό δυναμικό εύρος για κάθε pixel είναι 11 – bit (δηλαδή 2048 διαφορετικές τιμές φωτεινότητας).



**Εικόνα 2-4: Δορυφορική εικόνα QuickBird**

Κάποια άλλα χαρακτηριστικά - πληροφορίες του δορυφόρου QuickBird φαίνονται παρακάτω:

- 0.61m ανάλυση σε παγχρωματικές εικόνες στο κατώτερο σημείο (ναδύρ) (450- 900 nm grayscale).
- 2.44m ανάλυση σε πολυφασματικές εικόνες στο ναδύρ (μπλε(B): 450-520nm, πράσινο(G):520-600nm, κόκκινο(R): 630-690nm, κοντά στο υπέρυθρο(NIR): 760-900nm).

Τα ψηφιακά δεδομένα, όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στέλνονται στους επίγειους σταθμούς λήψης από όπου γίνεται και η διανομή των εικόνων στους ενδιαφερόμενους. Εξ' αιτίας των χαρακτηριστικών των δορυφορικών φωτογραφιών (μεγάλη χωρική διαχωριστική ικανότητα, μεγάλο ραδιομετρικό δυναμικό εύρος και απεικόνιση περιοχών μεγάλης έκτασης) αυτές έχουν πολύ μεγάλες απαιτήσεις σε αποθηκευτικό χώρο. Στον αγοραστή τους φτάνουν σε αποθηκευτικά μέσα (CD ή DVD) τα οποία περιέχουν εκτός από τις δορυφορικές εικόνες και άλλα αρχεία με πληροφορίες απαραίτητες για την

επεξεργασία της φωτογραφίας. (προβολικό σύστημα της φωτογραφίας, ημερομηνία και ώρα της λήψης, πληροφορίες για την «εφημερίδα» του δορυφόρου, δηλαδή για τη θέση και την ταχύτητα του δορυφόρου, φωτογραμμετρικές παραμέτρους για την κάμερα και το οπτικό σύστημα του δορυφόρου QuickBird.)

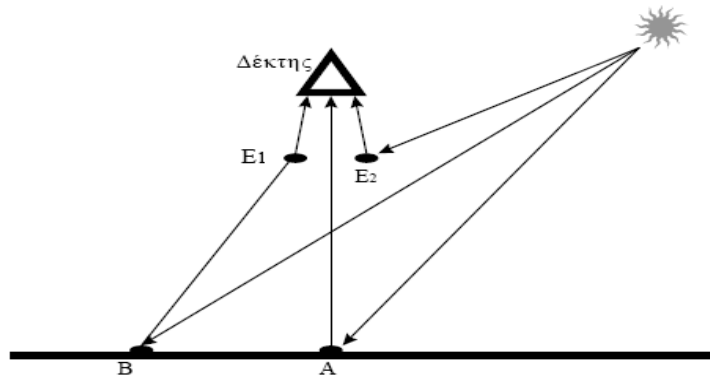
### **2.2.3. Σφάλματα Δορυφορικών Εικόνων**

Οι δορυφορικές εικόνες, στην αρχική τους μορφή περιέχουν ραδιομετρικά και γεωμετρικά σφάλματα που οφείλονται στο σύστημα ανίχνευσης και καταγραφής, στο τοπογραφικό ανάγλυφο, την καμπυλότητα της Γης κ.α. Έτσι, η φωτεινότητα των αντικειμένων που απεικονίζονται στην δορυφορική εικόνα δεν αντιστοιχεί στην πραγματική τους ή δεν υπάρχει σταθερή σχέση, όσον αφορά την γεωμετρία, μεταξύ σημείων στη Γη και των αντίστοιχων σημείων στις δορυφορικές εικόνες. Αυτά θα προσπαθήσουμε να περιγράψουμε παρακάτω:

- **Σφάλματα που οφείλονται στην ατμόσφαιρα**

Το ποσό της ακτινοβολίας που φτάνει στον δορυφόρο-δέκτη δεν είναι ίδιο με αυτό που εκπέμπεται από ένα σημείο της επιφάνειας του εδάφους. Η ακτινοβολία που προέρχεται από το σημείο **A** συνδυάζεται με την ανακλώμενη ακτινοβολία (**E1**) που προέρχεται από κάποιο γειτονικό σημείο **B** και από την ανακλώμενη από την ατμόσφαιρα ακτινοβολία (**E2**) (βλ. Εικόνα 2-5).

Αποτέλεσμα αυτού του πολυσύνθετου σήματος είναι η πρόκληση ραδιομετρικών σφαλμάτων στην εικόνα.



**Εικόνα 2-5: Σύνθεση του σήματος που λαμβάνει ο δορυφόρος**

Παράγοντες που μπορούν να προκαλέσουν γεωμετρική παραμόρφωση στις δορυφορικές εικόνες φαίνονται παρακάτω :

- Η περιστροφή της Γης κατά τη διάρκεια της λήψης
- Το ευρύ οπτικό πεδίο ορισμένων ανιχνευτών
- Η καμπυλότητα της Γης
- Τα σφάλματα των ανιχνευτών
- Οι μεταβολές στο ύψος πτήσης, την ταχύτητα του δορυφόρου
- Οι πανοραμικές παραμορφώσεις
- Η γεωμετρική παραμόρφωση των φακών
- Διάφορα σφάλματα των ανιχνευτών

### **2.3. Ορθοδιόρθωση Δορυφορικών Εικόνων**

Η Ορθοδιόρθωση (γεωμετρική διόρθωση) των δορυφορικών εικόνων είναι τεχνική που εφαρμόζεται για την αντιμετώπιση των γεωμετρικών παραμορφώσεων των εικόνων οι οποίες προκαλούνται από παράγοντες οι οποίοι περιγράφηκαν παραπάνω. Σκοπός της ορθοδιόρθωσης είναι να φέρει την εικόνα σε μορφή χάρτη, έτσι ώστε να υπάρχει σωστή αντιστοιχία μεταξύ περιοχών στην εικόνα και το έδαφος. Για την επίτευξη του σκοπού αυτού, είναι απαραίτητη η μετατροπή του συστήματος συντεταγμένων της εικόνας (γραμμές και στήλες) σε κάποιο γεωγραφικό σύστημα συντεταγμένων (π.χ. WGS84, Greece EGSA 1987).

Υπάρχουν δύο μεθοδολογίες ορθοδιόρθωσης των γεωμετρικών σφαλμάτων των δορυφορικών εικόνων. Στην πρώτη απαιτείται να είναι γνωστά με ακρίβεια τα στοιχεία της τροχιάς του δορυφόρου, με σκοπό να αναπαρασταθούν οι συνθήκες που επικρατούσαν κατά τη λήψη των δορυφορικών εικόνων, να εντοπιστούν οι παράγοντες που προκάλεσαν τα σφάλματα και να αντιμετωπιστούν. Η δεύτερη χρησιμοποιεί μαθηματικές σχέσεις (πολυνύμα) για τη συσχέτιση των συντεταγμένων των εικονοστοιχείων στην εικόνα με τα αντίστοιχα σημεία στο έδαφος.

Η δεύτερη μέθοδος για να λύσει το πρόβλημα των γεωμετρικών παραμορφώσεων των εικόνων δεν εξετάζει τις αιτίες που προκαλούν τα σφάλματα αλλά συνδυάζει τις διαφορές μεταξύ των συντεταγμένων σημείων εύκολα αναγνωρίσιμων στην εικόνα των οποίων οι συντεταγμένες είναι γνωστές, τα σημεία αυτά ονομάζονται φωτοσταθερά σημεία (Ground Control Points, GCP.s) (Τριπολιτσιώτης 1998).

Τα απαιτούμενα φωτοσταθερά σημεία μπορούν να προέλθουν από:

1. Χάρτες (ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Γεωργίας στην περίπτωση μας)
2. Σημεία GPS από το πεδίο που να είναι εύκολα αναγνωρίσιμα στη δορυφορική εικόνα

Από τη στιγμή που έχουν βρεθεί τα απαραίτητα φωτοσταθερά σημεία χρησιμοποιούνται πολυνύμα για τη μετατροπή από τις συντεταγμένες της εικόνας ( $r, c$ ) στις συντεταγμένες του χάρτη ( $x, y$ ). Τα πολυνύμα που χρησιμοποιούνται στην πράξη είναι μέχρι τρίτου βαθμού.

Τα πολυνύμα πρώτου βαθμού έχουν την παρακάτω μορφή:

$$r = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot x + \alpha_2 \cdot y$$

$$c = \beta_0 + \beta_1 \cdot x + \beta_2 \cdot y$$

όπου  $\alpha_i$  και  $\beta_i$  με  $i = 0 - 2$  είναι οι συντελεστές του πολυωνύμου. Εάν προσδιοριστούν οι συντελεστές αυτοί τότε μπορούν να προσδιοριστούν οι συντεταγμένες ενός σημείου στην εικόνα, εφ' όσον οι συντεταγμένες του στο χάρτη είναι γνωστές.

Για την εύρεση των συντελεστών απαιτούνται 3 φωτοσταθερά σημεία αλλά προτείνεται να μην χρησιμοποιούνται λιγότερα από 6.

Τα πολυώνυμα δευτέρου βαθμού έχουν την παρακάτω μορφή:

$$\begin{aligned} r &= \alpha_0 + \alpha_1 \cdot x + \alpha_2 \cdot y + \alpha_3 \cdot x^2 + \alpha_4 \cdot y^2 + \alpha_5 \cdot x \cdot y \\ c &= \beta_0 + \beta_1 \cdot x + \beta_2 \cdot y + \beta_3 \cdot x^2 + \beta_4 \cdot y^2 + \beta_5 \cdot x \cdot y \end{aligned}$$

Για πολυώνυμα αυτού του βαθμού ο απαιτούμενος αριθμός φωτοσταθερών σημείων, για την εύρεση των συντελεστών, είναι 6 αλλά όπως και προηγουμένως χρησιμοποιούνται τα διπλάσια, δηλαδή 12 (Τριπολιτσιώτης 1998).

Παρατηρούμε πώς όσο ο βαθμός του πολυωνύμου αυξάνει τόσο αυξάνεται ο αριθμός των απαιτούμενων για τη γεωμετρική διόρθωση φωτοσταθερών σημείων. Επίσης όσο ο βαθμός του πολυωνύμου αυξάνει τόσο αυξάνει η ακρίβεια της γεωμετρικής διόρθωσης στην περιοχή ανάμεσα στα φωτοσταθερά σημεία αλλά στις περιοχές της εικόνας εκτός αυτών, είναι πιθανή η παραμόρφωση της εικόνας. Γίνεται λοιπόν αντιληπτό πως εκτός από το μεγάλο αριθμό των φωτοσταθερών σημείων, καθοριστική σημασία για την ποιότητα (ελαχιστοποίηση γεωμετρικών παραμορφώσεων) της ορθοδιορθωμένης δορυφορικής εικόνας έχει η συμμετρική κατανομή τους στην περιοχή που απεικονίζεται στην εικόνα.



## 2.4. Δορυφορικά Συστήματα Εντοπισμού (Global Positioning System – GPS)

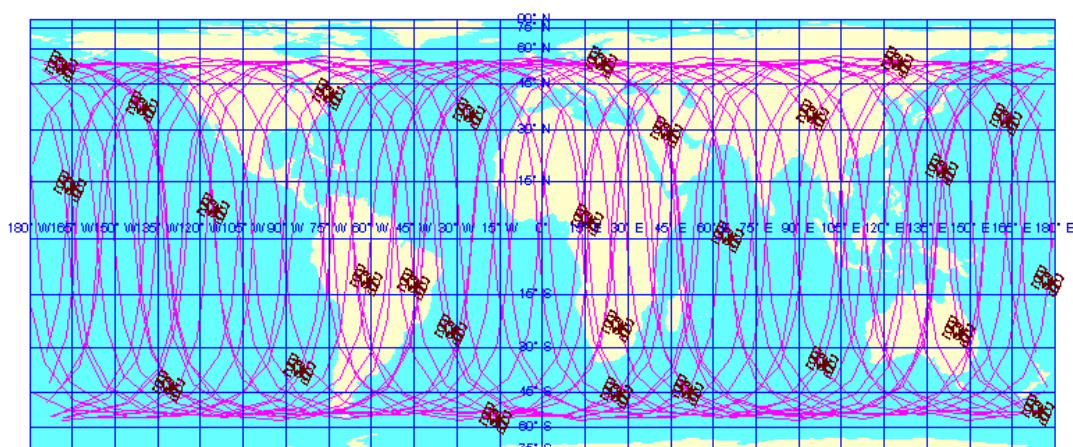
### 2.4.1. Γενικά

Τα δορυφορικά συστήματα εντοπισμού (GPS) είναι μια τεχνολογία η οποία παρέχει τη δυνατότητα υπολογισμού της θέσης των χρηστών της σε οποιοδήποτε μέρος της επιφάνειας της Γης αρκεί να υπάρχει το απαιτούμενο οπτικό πεδίο προς τους δορυφόρους.

Το GPS αποτελείται από 3 διακριτά τμήματα. Παρακάτω θα γίνει ξεχωριστή αναφορά στο κάθε ένα, στη λειτουργία του και τη σημασία του :

#### 1. Δορυφορικό τμήμα

Το τμήμα αυτό αποτελείται από 27 δορυφόρους σε τροχιά γύρω από τη γη (24 σε λειτουργία και 3 οι οποίοι τίθενται σε λειτουργία σε περίπτωση βλάβης των προηγούμενων). Η τροχιά αυτών των δορυφόρων διαρκεί 12 ώρες και είναι κανονισμένη κατά τέτοιο τρόπο ώστε ανά πάσα στιγμή οποιοδήποτε σημείο στην επιφάνεια της γης να είναι “ορατό” από τέσσερις δορυφόρους.



Εικόνα 2-6: Τροχιές Δορυφόρων GPS

Οι δορυφόροι που αποτελούν το δορυφορικό τμήμα του GPS είναι εξοπλισμένοι με πομπούς ραδιοκυμάτων οι οποίοι εκπέμπουν σε δύο συχνότητες: την L1 (1575.42 MHz) και την L2 (1227.60 MHz). Στις συχνότητες αυτές μεταδίδονται πληροφορίες σχετικές με τον χρόνο (από πολύ



ακριβή και ακριβιά ατομικά ρολόγια εγκατεστημένα στους δορυφόρους), τη θέση του δορυφόρου, τις συνθήκες λειτουργίας του δορυφόρου καθώς και για τις τροχιές των δορυφόρων για ένα σύντομο χρονικό διάστημα (ephemeris). Οι πληροφορίες αυτές χρησιμοποιούνται από τα όργανα με τα οποία είναι εξοπλισμένοι οι χρήστες του GPS για να υπολογίσουν την θέση τους στην επιφάνεια της γης.

## **2. Τμήμα των χρηστών GPS**

Το τμήμα αυτό αποτελείται από τους χρήστες που είναι εξοπλισμένοι με ειδικούς δορυφορικούς δέκτες ραδιοκυμάτων. Οι δέκτες αυτοί περιέχουν έναν ειδικό επεξεργαστή που χρησιμοποιώντας τα ραδιοκύματα που εκπέμπονται από το δορυφορικό τμήμα υπολογίζει τις συντεταγμένες της θέσης στην οποία βρίσκεται, την ταχύτητά του και το χρόνο. Για τον υπολογισμό των συντεταγμένων( $X,Y,Z$ ) και του χρόνου απαιτείται σήμα από τουλάχιστον 4 δορυφόρους. Ο χρήστης δεν μπορεί να στείλει κανένα μήνυμα στο δορυφόρο ενώ υπάρχει απεριόριστος αριθμός χρηστών που μπορούν να χρησιμοποιούν το σύστημα ταυτόχρονα.

## **3. Τμήμα Ελέγχου**

Οι δορυφόροι ελέγχονται και παρακολουθούνται από επίγειους σταθμούς, οι οποίοι αποτελούν το τμήμα ελέγχου. Οι σταθμοί παρακολούθησης καταγράφουν δεδομένα από τους δορυφόρους τα οποία στη συνέχεια τα μεταδίδουν στο κεντρικό σταθμό ελέγχου. Από το κεντρικό σταθμό ελέγχου στέλνονται, σε τακτά χρονικά διαστήματα, διορθώσεις στα χρονόμετρα των δορυφόρων, στις παραμέτρους της τροχιάς κ.ά.

### **2.4.2. Βασικές Αρχές Λειτουργίας και Πηγές Σφαλμάτων**

Ο υπολογισμός της θέσης ενός δορυφορικού δέκτη γίνεται υπολογίζοντας την απόσταση μεταξύ του δέκτη και τεσσάρων δορυφόρων. Ο υπολογισμός των αποστάσεων γίνεται πολλαπλασιάζοντας τον χρόνο που κάνει το σήμα ξεκινώντας από το δορυφόρο να φτάσει στο δέκτη επί την ταχύτητα του σήματος, δηλ την ταχύτητα του φωτός. Ο υπολογισμός του απαιτούμενου χρόνου για να φτάσει το σήμα στο δέκτη γίνεται με την βοήθεια του ατομικού ρολογιού του κάθε δορυφόρου και ενός κώδικα τον οποίο αρχίζουν να

“τρέχουν” ταυτόχρονα οι δορυφόροι και οι δέκτες. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται τριγωνισμός(H. Dana, 1994).

Αξίζει να αναφερθεί πως το σύστημα GPS παρέχει δύο ειδών σήματα για τον προσδιορισμό της θέσης. Το σήμα με το οποίο είναι δυνατό να επιτευχθεί ακρίβεια της τάξης των χιλιοστών δεν είναι διαθέσιμο σε όλους τους χρήστες αλλά είναι κωδικοποιημένο και χρησιμοποιείται για στρατιωτικούς σκοπούς. Το σύστημα με τη μικρότερη ακρίβεια μπορεί να το χρησιμοποιήσει όποιος διαθέτει τον κατάλληλο εξοπλισμό.

Εκτός από την κρυπτογράφηση του σήματος με την αυξημένη ακρίβεια υπάρχουν και άλλοι παράγοντες οι οποίοι μπορούν να μεγαλώσουν την απόκλιση των μετρούμενων συντεταγμένων σε σχέση με τις πραγματικές:

1. Εξασθένιση του δορυφορικού σήματος.
2. Σφάλματα στα ατομικά ρολόγια των δορυφόρων.
3. Σφάλματα της εφημερίδας (ephemeris) που στέλνουν οι δορυφόροι στους δέκτες.
4. Σφάλματα λόγω της εισαγωγής του σήματος στην ατμόσφαιρα (τροπόσφαιρα, ιονόσφαιρα).
5. Σφάλματα που οφείλονται σε λανθασμένη επιλογή της θέσης του δορυφορικού δέκτη (κακό οπτικό πεδίο προς του δορυφόρους, ανακλάσεις του σήματος σε κοντινές επιφάνειες).
6. Σφάλματα που οφείλονται στο τμήμα ελέγχου
7. Άλλα σφάλματα στους δορυφόρους ή τους δέκτες.

### **2.4.3. Διαφορικό GPS (DGPS)**

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω στις μετρήσεις με GPS υπεισέρχονται σφάλματα τα οποία ελαττώνουν την ακρίβεια τους. Κατά την προσπάθεια λοιπόν να αντιμετωπιστούν οι παράγοντες που προκαλούν σφάλματα στις μετρήσεις με GPS και κατά την προσπάθεια να αυξηθεί η ακρίβεια τους έχουν αναπτυχθεί διάφορες τεχνικές συλλογής δεδομένων πεδίου (με GPS) και

επεξεργασίας τους. Αυτές διαφέρουν ως προς τον χρόνο παρατήρησης, την αποτελεσματικότητα και την ακρίβεια. Ανάλογα με την εφαρμογή και τις ανάγκες της εκάστοτε μελέτης, γίνεται η επιλογή της πιο κατάλληλης τεχνικής. Μεταξύ των τεχνικών αυτών βρίσκεται και η τεχνική του Διαφορικού GPS η οποία και χρησιμοποιήθηκε κατά τη παρούσα μελέτη.

Η τεχνική του Διαφορικού GPS είναι μια μέθοδος κατά την οποία τα δεδομένα που συλλέχτηκαν από το πεδίο από ένα δέκτη συσχετίζονται με μια συνεχή μέτρηση από ένα δεύτερο δέκτη. Πρέπει να σημειωθεί πως ο δεύτερος δέκτης έπρεπε να λαμβάνει συνεχώς μια μέτρηση την ίδια ώρα που ο πρώτος δέκτης συνέλλεγε δεδομένα από το πεδίου. Κατόπιν, όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι μετρήσεις από τους δυο δέκτες συσχετίζονται ώστε να διορθωθεί η ακρίβεια των δεδομένων του πεδίου. Συνεπώς για το διαφορικό GPS απαιτούνται δύο δέκτες: ένας ο οποίος θα συλλέγει τα δεδομένα του πεδίου- **Rover** και ένας στατικός για την συνεχή μέτρηση- **Reference**. Ο δέκτης Reference παίρνει μια συνεχή μέτρηση σε ένα σημείο γνωστών συντεταγμένων με αποτέλεσμα να εντοπίζει τα σφάλματα που έχουν υπεισέρθει στο σήμα από το δορυφορικό και χρησιμοποιώντας τις διορθώσεις αυτές να βελτιώνει την ακρίβεια των μετρήσεων του δέκτη Rover είτε Real – Time είτε αργότερα (μέθοδος Post-Processing ). Η συσχέτιση-διόρθωση των δεδομένων γίνεται με τη βοήθεια ειδικών αλγορίθμων.

## **2.5. Προσδιορισμός Χρήσεων Γης (Land Classification)**

### **2.5.1. Γενικά**

Ο προσδιορισμός των χρήσεων γης μιας περιοχής χρησιμοποιώντας μια δορυφορική εικόνα που απεικονίζει την περιοχή αυτή είναι ουσιαστικά μια ταξινόμηση της αρχικής δορυφορικής εικόνας της περιοχής σε κατηγορίες ανάλογα με τις χρήσεις γης. Η ταξινόμηση γενικά μπορεί να οριστεί σαν ο διαχωρισμός αντικειμένων και η καταχώριση τους σε κατηγορίες (ομάδες ή τάξεις).. Δύο είναι οι στόχοι της ταξινόμησης (Μερτίκας 1999):

1. Ο εντοπισμός των διαφορών μεταξύ των αντικειμένων
2. Ο διαχωρισμός τους σε ομάδες ή τάξεις (ταξινόμηση) κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα αντικείμενα που θα ανήκουν στην ίδια τάξη μετά την ταξινόμηση να διαφέρουν μεταξύ τους όσο το δυνατόν λιγότερο. Για να επιτευχθεί αυτό πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά ένας “κανόνας” βάσει του οποίου θα γίνει η ταξινόμηση (αλγόριθμος ταξινόμησης). Είναι προφανές πως όσο λιγότερο επιλέξουμε να διαφέρουν τα αντικείμενα που θα ανήκουν στην ίδια τάξη, τόσο περισσότερες τάξεις θα δημιουργηθούν μετά την ταξινόμηση και τόσο λιγότερα αντικείμενα θα ανήκουν στην κάθε τάξη.

Ειδικότερα όταν η ταξινόμηση αφορά ψηφιακές εικόνες, όπως οι δορυφορικές, ορίζεται ως η διαδικασία ταξινόμησης των τιμών φωτεινότητας των εικονοστοιχείων – pixels σε τάξεις που εμφανίζουν τις ίδιες περίπου ιδιότητες. Αν η τιμή ενός εικονοστοιχείου ικανοποιεί ένα ορισμένο σύνολο κριτηρίων, το εικονοστοιχείο κατατάσσεται στην τάξη που ανταποκρίνεται σε αυτά τα κριτήρια, τα οποία καθορίζονται με τη διαδικασία της εκπαίδευσης του αλγόριθμου ταξινόμησης. Η εκπαίδευση είναι η διαδικασία κατά την οποία ορίζονται τα κριτήρια για την αναγνώριση των προτύπων για κάθε τάξη εικονοστοιχείων (**στοιχεία εκπαίδευσης**), βάσει των οποίων θα γίνει η ταξινόμηση. Το αποτέλεσμα της εκπαίδευσης είναι λίστα «ψηφιακών υπογραφών» (signatures). Η κάθε υπογραφή αντιπροσωπεύει μία τάξη και χρησιμοποιείται σαν κριτήριο για την ταξινόμηση κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας σε αυτή.(Σειραδάκης 2005)

Ένας τρόπος για να γίνει η ταξινόμηση μιας ψηφιακής εικόνας είναι να εξεταστεί ως προς την τιμή της φωτεινότητας που εμφανίζει σε διάφορες φασματικές ζώνες κάθε εικονοστοιχείο που αποτελεί την εικόνα ξεχωριστά, και στη συνέχεια να τοποθετηθεί στην αντίστοιχη τάξη. Τέτοιου είδους ταξινόμηση γίνεται με τη βοήθεια **φασματικών ταξινομητών** ή αλλιώς **σημειακοί ταξινομητών** (εξετάζουν κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας ξεχωριστά).

Στην ταξινόμηση με τους ταξινομητές που περιγράφηκαν παραπάνω δε λαμβάνεται υπόψη η σχέση της κάθε ψηφίδας με τις γειτονικές σε αυτή ψηφίδες-. Η σημασία της παραπάνω παράλειψης γίνεται αντιληπτή αν αναλογιστούμε πως το αποτέλεσμα της ταξινόμησης με αυτή την μέθοδο μιας ασυνάρτητης εικόνας η οποία προέρχεται από τυχαίο ανακάτεμα των εικονοστοιχείων μιας εικόνας θα είναι το ίδιο με αυτό της αρχικής εικόνας. Για τον λόγο αυτό αναπτύχθηκε ένα είδος ταξινομητών οι οποίοι λαμβάνουν υπόψη τα χαρακτηριστικά των γειτονικών εικονοστοιχείων πριν ταξινομήσουν ένα εικονοστοιχείο, δηλαδή λαμβάνουν υπόψη τη χωρική σχέση των εικονοστοιχείων. Οι ταξινομητές αυτοί ονομάζονται **ταξινομητές συνάφειας**.

Πρέπει να διευκρινιστεί πως η ταξινόμηση των ψηφιακών εικόνων λόγω της φύσης των δεδομένων αλλά και λόγω του μεγάλου ποσού πληροφορίας που περιέχουν (ιδιαίτερα όταν πρόκειται για δορυφορικές εικόνες) είναι διεργασία η οποία γίνεται από ηλεκτρονικούς υπολογιστές και κατάλληλα πακέτα λογισμικού (όπως το Erdas Imagine 9.0).

Υπάρχουν δυο μεθοδολογίες ταξινόμησης: **η αυτόματη ή μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification)** και **η επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification)**. Η κάθε μεθοδολογία θα αναλυθεί αναλυτικά παρακάτω.

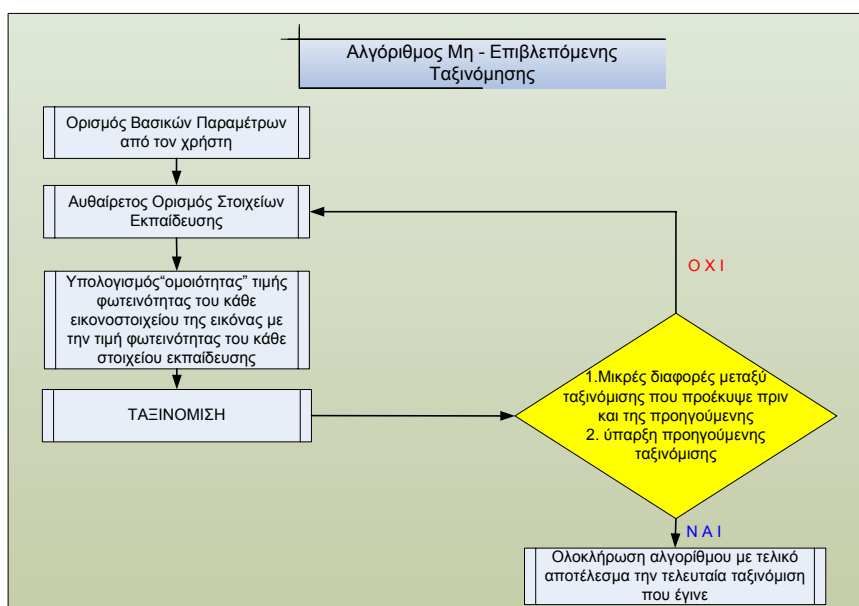
### **2.5.2. Μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised classification)**

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία κατά την οποία τα στοιχεία εκπαίδευσης ορίζονται αυθαίρετα από το λογισμικό με το οποίο γίνεται η ταξινόμηση της εικόνας χωρίς ο χρήστης να γνωρίζει το είδος της πληροφορίας που εμπεριέχεται σε αυτά, δηλαδή το τι απεικονίζουν (π.χ. για δορυφορικές εικόνες αν απεικονίζουν καλλιέργεια, νερό, κλπ).

Ο χρήστης ορίζει αρχικά κάποιες παραμέτρους, οι οποίες χρησιμοποιούνται μετέπειτα από τον αλγόριθμο ταξινόμησης (όπως ο ελάχιστος

και ο μέγιστος αριθμός των τάξεων που θα δημιουργηθούν). Στη συνέχεια γίνεται ο ορισμός των στοιχείων εκπαίδευσης με τον τρόπο που περιγράφηκε παραπάνω. Αφού γίνει αυτό υπολογίζεται η “ομοιότητα” της τιμής της φωτεινότητας του κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας με την τιμή της φωτεινότητας του κάθε στοιχείου εκπαίδευσης. Με βάσει τις “ομοιότητες” που υπολογίσθηκαν προηγουμένως όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας ταξινομούνται στην πλησιέστερη ως προς την φωτεινότητα τους τάξη εικονοστοιχείων (η κάθε τάξη αρχικά αποτελείται από ένα εικονοστοιχείο, το αυθαίρετα ορισμένο στοιχείο εκπαίδευσης). Η διαδικασία της ταξινόμησης όμως δεν τελειώνει εδώ, καθώς το αρχικό της αποτέλεσμα δεν θεωρείται ακριβές. Έτσι επαναλαμβάνεται με διαφορετικά αρχικά δεδομένα (νέα, αυθαίρετα ορισμένα στοιχεία εκπαίδευσης) ώστε να προκύψει μια διαφορετική ταξινόμηση. Η νέα ταξινόμηση συγκρίνεται με την προηγούμενη και αν οι διαφορές μεταξύ τους είναι μικρές τότε ο αλγόριθμος της μη – επιβλεπόμενης ταξινόμησης ολοκληρώνεται. Σε διαφορετική περίπτωση συνεχίζονται οι επαναλήψεις μέχρι να προκύψουν μικρές διαφορές μεταξύ της τελευταίας ταξινόμησης και της προηγούμενης.

Παρακάτω ακολουθεί ένα διάγραμμα ροής του αλγόριθμου της μη - επιβλεπόμενης ταξινόμησης:



Εικόνα 2-7: Αλγόριθμος Μη – Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης

Η μέθοδος αυτή συνήθως χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις που υπάρχει ελλιπής γνώση της υπό εξέταση περιοχής και η ταξινόμηση που προκύπτει από αυτή την διαδικασία είναι χρήσιμη μόνο όταν οι παραγόμενες τάξεις μπορούν να ερμηνευτούν.

Τα κύρια σφάλματα που μπορούν να υπεισέρθουν στην μη – επιβλεπόμενη ταξινόμηση προέρχονται από πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις μεταξύ της χωρικής δομής του ανάγλυφου, της χωρικής διαχωριστικής ικανότητας της εικόνας, της μεθοδολογίας και του αλγόριθμου ταξινόμησης. Επίσης σφάλματα τα οποία μπορούν να υπεισέρθουν στην ταξινόμηση εικόνων της επιφάνειας της γης γενικότερα, ανεξάρτητα αν πρόκειται για επιβλεπόμενη ή μη μπορούν να οφείλονται στο μέγεθος των τεμαχίων της γης, στο είδος και τον αριθμό των τάξεων που εμφανίζονται και στη ραδιομετρική και φασματική αντίθεση μεταξύ των τεμαχίων γης που εμφανίζονται στην εικόνα. Οι αιτίες σφαλμάτων της ταξινόμησης γενικά μπορεί να είναι διαφορετικές από περιοχή σε περιοχή και από εποχή σε εποχή για την ίδια περιοχή (Μερτίκας 1999).

### **2.5.3. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (supervised classification)**

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση, σε αντίθεση με την μη – επιβλεπόμενη είναι μια διαδικασία ελεγχόμενη από τον χρήστη. Σε αυτή τα αρχικά δεδομένα του αλγόριθμου ταξινόμησης, τα στοιχεία εκπαίδευσης ορίζονται από τον χρήστη και απεικονίζουν περιοχές της εικόνας που περιέχουν ευκρινώς κάποια γνωστή σε αυτόν πληροφορία (στην περίπτωση των δορυφορικών εικόνων τα στοιχεία εκπαίδευσης απεικονίζουν περιοχές γνωστής εδαφικής κάλυψης όπως νερό, καλλιέργειες κλπ). Αυτό έχει σα συνέπεια και οι τάξεις που θα δημιουργηθούν από τον αλγόριθμο να αποτελούνται από εικονοστοιχεία που περιέχουν την ίδια γνωστή στον χρήστη πληροφορία (π.χ. δημιουργία μια τάξης που θα γνωρίζει ο χρήστης πως θα αποτελείται από όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας που απεικονίζουν νερό) Με την επιλογή των πρότυπων για την κάθε τάξη εικονοστοιχείων γίνεται ουσιαστικά καθοδήγηση του αλγορίθμου επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τον εντοπισμό εικονοστοιχείων με παρόμοια

χαρακτηριστικά και εάν η ταξινόμηση είναι σωστή, οι παραγόμενες τάξεις αντιπροσωπεύουν τις κατηγορίες στις οποίες κατατάχτηκαν τα αρχικά πρότυπα.

Η μεθοδολογία της επιβλεπόμενης ταξινόμησης μιας εικόνας που απεικονίζει την επιφάνεια της γης, όπως μια δορυφορική εικόνα, μπορεί να συνοψιστεί από τα παρακάτω βήματα (Μερτίκας 1999):

1. **Σχεδιασμός:** Καθορίζεται ο αριθμός των επιθυμητών τάξεων και ο τύπος της κάθε μιας, το είδος δηλαδή της εδαφικής κάλυψης που θα περιέχει.
2. **Προετοιμασία Επεξεργασίας:** Πραγματοποιούνται ραδιομετρικές, ατμοσφαιρικές, γεωμετρικές και τοπογραφικές διορθώσεις της εικόνας.
3. **Επιλογή στοιχείων εκπαίδευσης του αλγορίθμου επιβλεπόμενης ταξινόμησης:** Επιλέγονται αντιπροσωπευτικά εικονοστοιχεία για κάθε μια από τις τάξεις που ορίστηκαν προηγουμένως (στοιχεία εκπαίδευσης). Τα στοιχεία εκπαίδευσης προσδιορίζονται από χάρτες, από αεροφωτογραφίες ή από επιτόπια αναγνώριση.
4. **Ταξινόμηση της εικόνας:** Εφαρμόζεται ο αλγόριθμος της επιβλεπόμενης ταξινόμησης χρησιμοποιώντας τα παραπάνω δεδομένα και όλα τα εικονοστοιχεία της εικόνας ταξινομούνται στην πλησιέστερη ως προς την φωτεινότητα τους τάξη εικονοστοιχείων.
5. **Συμπλήρωση επεξεργασίας:** Συμπληρώνεται η γεωμετρική διόρθωση της εικόνας και εφαρμόζονται φίλτρα ώστε να διορθωθούν τυχόν ατέλειες.
6. **Αξιολόγηση της ακρίβειας της ταξινόμησης:** Επαληθεύονται τα αποτελέσματα της ταξινόμησης με επιτόπιες αναγνωρίσεις και καταρτίζονται πίνακες της ακρίβειας της ταξινόμησης ή θεματικοί χάρτες.

Η επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι κατάλληλη όταν θέλουμε να διαχωρίζουμε σχετικά λίγες τάξεις με σκοπό την ποιοτική ανάλυση των δεδομένων.

Η χρήση του αλγορίθμου επιβλεπόμενης ταξινόμησης μιας δορυφορικής εικόνας προϋποθέτει πολύ καλή γνώση της περιοχής που απεικονίζεται σε αυτή



και του αριθμού των επιθυμητών τάξεων. Είναι προφανές πως η σωστή επιλογή των στοιχείων εκπαίδευσης από τον χρήστη, η οποία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, είναι πολύ σημαντική για την ακρίβεια της ταξινόμησης για αυτό θα πρέπει να γίνεται από έμπειρους χρήστες και αφού ληφθούν υπόψη όλοι οι παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται.

Τα κύρια σφάλματα που μπορούν να υπεισέρθουν στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση προέρχονται από την εσφαλμένη επιλογή των στοιχείων εκπαίδευσης από τον χρήστη η οποία μπορεί να οφείλεται στους παρακάτω παράγοντες:

1. Λάθος του χρήστη.
2. Φασματικές διαφορές μεταξύ εικονοστοιχείων που απεικονίζουν το ίδιο πράγμα. Εικονοστοιχεία που απεικονίζουν όμοιες ως προς την πληροφορία περιοχές ενδέχεται μετά την ταξινόμηση να ανήκουν σε διαφορετικές τάξεις λόγω των φασματικών διαφορών που εμφανίζουν(π.χ. εικονοστοιχεία που απεικονίζουν καλλιέργειες ελαιόδεντρων ενδέχεται να διαφέρουν φασματικά ανάλογά με την ηλικία των ελαιόδεντρων, με το αν ποτίζονται ή όχι)
3. Παράλειψη ορισμού στοιχείου εκπαίδευσης για κάποιο είδος πληροφορίας (εδαφικής κάλυψης) που απεικονίζεται. Κάτι τέτοιο είναι εύκολο να συμβεί σε εικόνες που απεικονίζουν μεγάλες σε έκταση και ανόμοιες περιοχές της γης και όταν δεν υπάρχει καλή γνώση των περιοχών αυτών.
4. Στην υπερβολική γενίκευση κατά τον ορισμό των τάξεων και των στοιχείων εκπαίδευσης.

### **3. Δεδομένα και Μετρήσεις Πεδίου**

---

#### **3.1. Δεδομένα**

Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην διπλωματική εργασία αυτή είναι τα παρακάτω:

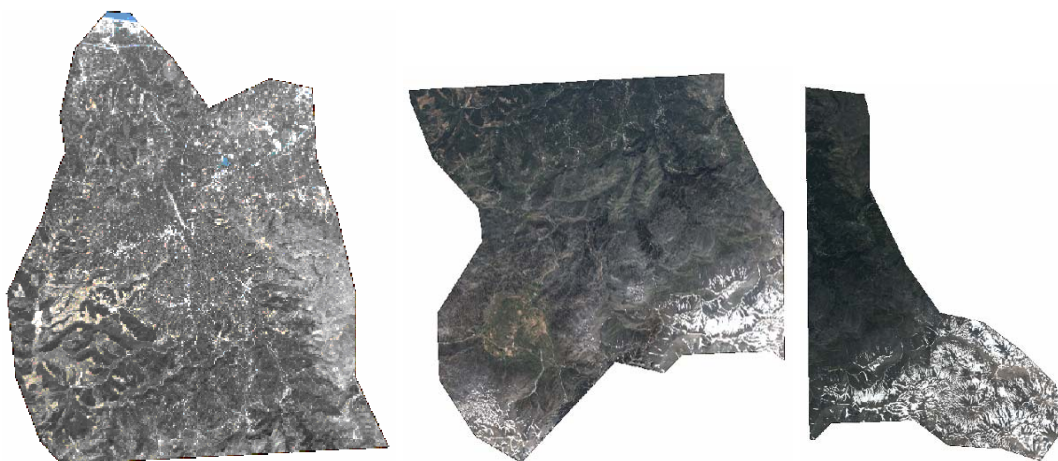
1. 3 Δορυφορικές λήψεις QuickBird της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη (κάθε λήψη απεικονίζει διαφορετικό τμήμα της λεκάνης αν και υπάρχει και κάποια επικάλυψη μεταξύ τους).
2. Ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων που απεικονίζουν την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη.
3. Ένα Ψηφιακό Μοντέλο Απεικόνισης Εδάφους (DEM)
4. Μετρήσεις GPS από σταθερό δορυφορικό δέκτη GPS
5. Corine Land Cover 2000

Παρακάτω θα γίνει λόγος για το κάθε είδος δεδομένων που αναφέρθηκαν παραπάνω.

##### **3.1.1. Δορυφορικές λήψεις QuickBird**

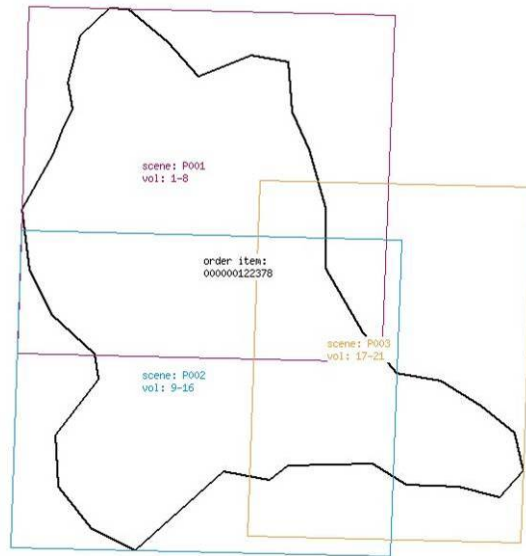
Οι 3 Δορυφορικές λήψεις QuickBird της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη που χρησιμοποιήθηκαν απεικονίζουν από ένα τμήμα της λεκάνης και το μέγεθος του κάθε εικονοστοιχείου τους είναι 0.7m x 0.7m.

Η υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη έχει έκταση 225 Km<sup>2</sup>. Εκτείνεται στο ΒΝ άξονα από την εκβολή του ποταμού στον Πλατανιά μέχρι τις κορυφές των Λευκών Όρεων από όπου τροφοδοτείται, ενώ στον ΑΔ άξονά από το Θέρισσο μέχρι τις Αποθήκες και το Σκονίζο.



**Εικόνα 3-1: Δορυφορικές λήψεις QuickBird**

Παραπάνω βλέπουμε τις δορυφορικές εικόνες για τις οποίες έγινε λόγος (Εικόνα 3-1). Η πρώτη απεικονίζει τη λεκάνη από την εκβολή του ποταμού στον Πλατανιά μέχρι τη Ζούρβα και τους Λάκους. Η λήψη αυτή απεικονίζει περιοχές περισσότερο πεδινές σε σχέση με τις υπόλοιπες λήψεις και περιοχές σχετικά εύκολα προσβάσιμες, χωρίς αυτό να αποκλείει και την ύπαρξη σημείων δύσκολα προσβάσιμων. Η δεύτερη λήψη απεικονίζει την περιοχή της λεκάνης από τον Ασκορδαλό μέχρι τους ορεινούς όγκους πάνω από τον Ομαλό. Η περιοχή αυτή αν και ορεινή μπορεί να χαρακτηριστεί ως σχετικά εύκολα προσβάσιμη, κυρίως λόγω του οροπεδίου του Ομαλού, χωρίς πάλι να αποκλείονται οι δύσκολα προσβάσιμες περιοχές. Τέλος η περιοχή που απεικονίζεται στην Τρίτη λήψη είναι ορεινή και δύσκολα προσβάσιμη και εκτείνεται από βόρεια των Μεσκλών και του Θερίσσου μέχρι τις κορυφές των Λευκών Όρεων. Πρέπει να παρατηρήσουμε πως υπάρχει μεγάλη επικάλυψη μεταξύ των τριών αυτών λήψεων. Αυτή φαίνεται καλύτερα παρακάτω όπου η μαύρη γραμμή περικλείει την περιοχή μελέτης, δηλαδή την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη, η μωβ την περιοχή που απεικονίζεται στην 1<sup>η</sup> δορυφορική λήψη, η γαλάζια την περιοχή που απεικονίζεται στην 2<sup>η</sup> δορυφορική λήψη και η κίτρινη την περιοχή που απεικονίζεται στην 3<sup>η</sup> δορυφορική λήψη:



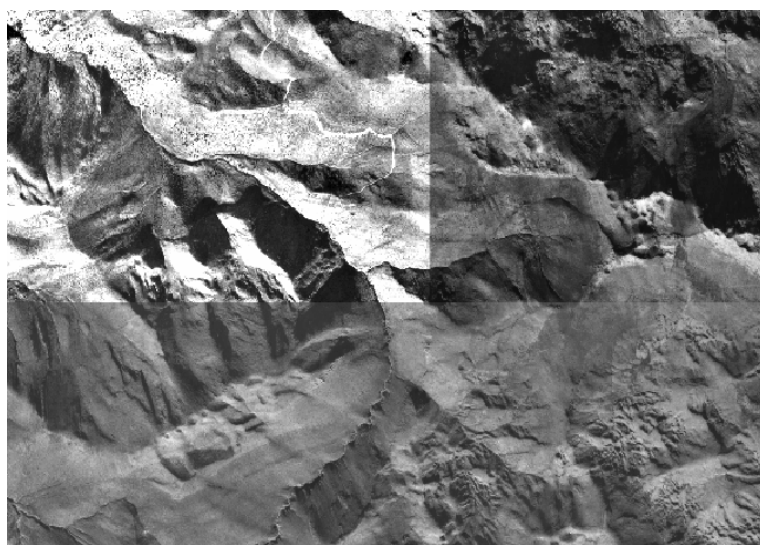
**Εικόνα 3-2 : Επικάλυψη δορυφορικών λήψεων**

Οι δορυφορικές λήψεις παραδόθηκαν στο εργαστήριο κατακερματισμένες σε 21 CD – ROMs σε μορφή GeoTiff ενώ το προβολικό τους σύστημα είναι το UTM Zone 34 WGS 84. Στο κάθε CD – ROM περιέχονται, εκτός από τμήματα της δορυφορικής εικόνας σε μορφή GeoTiff, και άλλα αρχεία απαραίτητα για την επεξεργασία των δορυφορικών εικόνων, όπως τα αρχεία με κατάληξη .RPB που χρειάζονται για τον εσωτερικό προσανατολισμό των δορυφορικών λήψεων. Σε κάθε δορυφορική λήψη αντιστοιχεί ένα αρχείο .RPB ενώ με τη βοήθεια των αρχείων αυτών μπορεί να προσδιοριστεί η δορυφορική λήψη στην οποία ανήκουν τα τμήματα που βρίσκονται στα CD – ROM

### **3.1.2. Ορθοφωτοχάρτες του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων**

Οι ορθοφωτοχάρτες είναι αεροφωτογραφίες οι οποίες έχουν προσαρμοσθεί πάνω στον χάρτη της περιοχής που απεικονίζουν με αποτέλεσμα να είναι γνωστές οι χωρικές συντεταγμένες των σημείων που απεικονίζονται σε αυτές.

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκε ένας μωσαϊκοποιημένος (που αποτελείται δηλαδή από πολλές αεροφωτογραφίες) ασπρόμαυρος ορθοφωτοχάρτης του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων σε μορφή .IMG με μέγεθος εικονοστοιχείου 1m x 1m και προβολικό σύστημα ΕΓΣΑ 87. Παρακάτω φαίνεται τμήμα του ορθοφωτοχάρτη αυτού (Εικόνα 3-3).



**Εικόνα 3-3: Τμήμα ορθοφωτοχάρτη του Υπ. Αγρ. Ανάπτυξης και Τροφίμων**

Η χρηστικότητα ορθοφωτοχαρτών όπως οι παραπάνω είναι περιορισμένη για διάφορους λόγους και σε καμία περίπτωση δεν μπορούν να αντικαταστήσουν μια ορθοδιορθωμένη δορυφορική εικόνα. Τα αίτια που περιορίζουν την χρηστικότητα των ορθοφωτοχαρτών σε σχέση με αυτή των ορθοδιορθωμένων δορυφορικών εικόνων παρουσιάζονται παρακάτω:

1. Οι ορθοφωτοχάρτες είναι ασπρόμαυροι επομένως περιέχουν λιγότερη ‘ποσότητα’ πληροφορίας από μια ορθοδιορθωμένη δορυφορική λήψη ίδιας χωρικής διαχωριστικής ικανότητας (με ίδιο μέγεθος εικονοστοιχείων).
2. Οι αεροφωτογραφίες που αποτελούν το μωσαϊκό του ορθοφωτοχάρτη διαφέρουν μεταξύ τους ως προς πολλά: τις συνθήκες που επικρατούσαν τη στιγμή που λήφθηκαν, το χρόνο που έγινε η λήψη τους, πιθανόν η συσκευή λήψης των αεροφωτογραφιών να είναι διαφορετική από αεροφωτογραφία σε αεροφωτογραφία κ.α. Αποτέλεσμα αυτών είναι η δημιουργία ενός ανομοιογενούς μωσαϊκού όπου κάποια τμήματα του

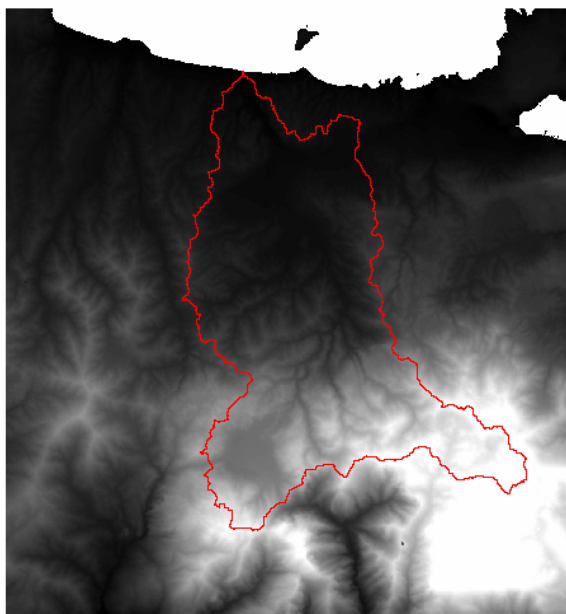
δεν είναι τόσο ευκρινή και χρηστικά σε σχέση με κάποια άλλα. Αυτή η ανομοιογένεια μπορεί να φανεί και στην παραπάνω εικόνα(Εικόνα 3-3).

3. Τμήματα του ορθοφωτοχάρτη μπορεί να είναι κατεστραμμένα για διάφορους .

### **3.1.3. Ψηφιακό Μοντέλο Εδάφους (Digital Terrain Model – DTM)**

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους (Digital Terrain Model – DTM) αποτελείται από ένα σύνολο σημείων για τα οποία είναι υπολογισμένες οι οριζόντιες συντεταγμένες τους (x,y) αλλά και η κατακόρυφη συντεταγμένη τους (z) ως προς κάποιο επίγειο σύστημα αναφοράς (π.χ. ΕΓΣΑ 87, WGS 84).

Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους που χρησιμοποιήθηκε στην προκειμένη περίπτωση προέρχεται από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού, έχει μέγεθος εικονοστοιχείου 30m x 30m και εκτείνεται σε περιοχή μεγαλύτερη από την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη, όπως φαίνεται παρακάτω(Εικόνα 3-2 όσο μεγαλύτερο το υψόμετρο ενός σημείου τόσο πιο ‘ανοιχτό’ το χρώμα του DTM):



**Εικόνα 3-4: DTM**

### **3.1.4. Μετρήσεις σταθερού δέκτη GPS**

Ο δορυφορικός δέκτης GPS για τον οποίο γίνεται λόγος είναι τοποθετημένος σε σημείο γνωστών συντεταγμένων από το εργαστήριο του καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Σ. Μερτίκα. Ο δέκτης αυτός προσδιορίζει συνεχώς τη θέση του κάθε 30 sec και οι μετρήσεις του μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν σημείο αναφοράς για την διόρθωση των μετρήσεων άλλων δεκτών. Οι μετρήσεις του δέκτη αυτού είναι σε μορφή Rinex και κάθε μια είναι διάρκειας 24 ωρών, αντιπροσωπευτική για μια ημέρα δηλαδή.

### **3.1.5. Corine Land Cover 2000**

Το Corine Land Cover 2000 (CLC 2000) αποτελεί μια μελέτη της Ευρωπαϊκής Ένωσης με σκοπό τον προσδιορισμό των χρήσεων γης σε όλα τα κράτη μέλη. Αποτέλεσμα της μελέτης αυτής είναι ένας χάρτης κλίμακας 1:100.000 ψηφιακή μορφή με αποτυπωμένες πάνω του τις χρήσεις γης. Ο χάρτης αυτός αποτελείται από πολύγωνα κάθε ένα από τα οποία απεικονίζει μια χρήση γης (τάξη). Η έκταση του μικρότερου δυνατού πολυγώνου είναι 250 στρέμματα. Υπάρχουν 44 τάξεις ιεραρχημένες σε τρία επίπεδα (από το γενικό στο ειδικό).

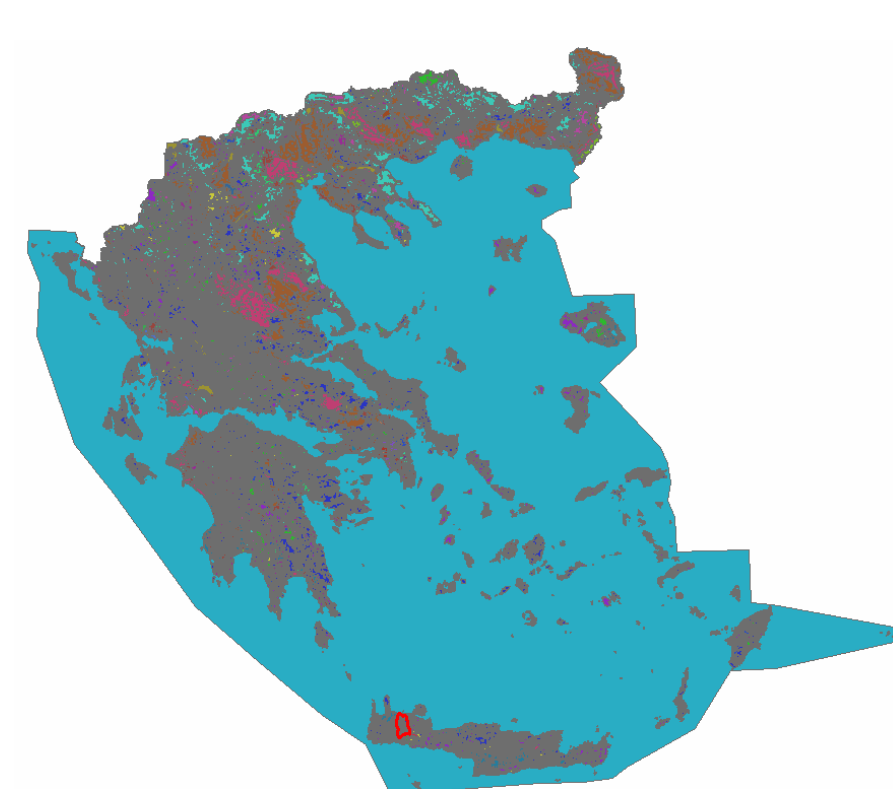
Οι τάξεις του Corine 2000 που χωρισμένες σε τρία επίπεδα (1<sup>ο</sup> επίπεδο γενικότερο και 3<sup>ο</sup> ειδικότερο). Οι τάξεις του πρώτου επιπέδου είναι οι παρακάτω :

1. Τεχνητές επιφάνειες
2. Καλλιέργειες
3. Δάση – φυσικές περιοχές
4. Εδάφη με υγρασία

## 5. Υδάτινες μάζες

Οι παραπάνω τάξεις χωρίζονται σε υποτάξεις που περιέχουν ειδικότερες πληροφορίες και το ίδιο ισχύει και με αυτές.

Παρακάτω παρουσιάζεται ο χάρτης από το CLC 2000 για την Ελλάδα και η περιοχή που είναι σημειωμένη με κόκκινη γραμμή είναι η περιοχή μελέτης (Εικόνα 3-5).



Εικόνα 3-5: Corine Land Cover 2000 για την Ελλάδα

## 3.2.Μετρήσεις Πεδίου

### 3.2.1. Γενικά

Οι μετρήσεις πεδίου στην μελέτη αυτή αφορούν τον προσδιορισμό των συντεταγμένων ορισμένων σημείων της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη με σκοπό την χρησιμοποίησή τους κατά την ορθοδιόρθωση των δορυφορικών λήψεων της λεκάνης.



Τα σημεία αυτά της λεκάνης επιλέχθηκαν προτού τις μετρήσεις ώστε να είναι εύκολα αναγνωρίσιμα τόσο στο πεδίο όσο και στις δορυφορικές λήψεις της λεκάνης. Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων τους έγινε με το δορυφορικό δέκτη GPS Leica GS20 (βλ. **Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε.**)

### 3.2.2. Προετοιμασία των μετρήσεων Πεδίου

Της διεξαγωγής των μετρήσεων στο πεδίο πρέπει να προηγηθεί μια απαραίτητη προεργασία με σκοπό την διασφάλιση της χρηστικότητας τους και τη μείωση του απαιτούμενου για τη διεξαγωγή των μετρήσεων χρόνου.

Η προεργασία αυτή έγκειται στον εντοπισμό των σημείων πάνω στις δορυφορικές λήψεις (φωτοσταθερών σημείων) τα οποία να έχουν τα παρακάτω χαρακτηριστικά :

1. **Να είναι εύκολά αναγνωρίσιμα πάνω στις δορυφορικές λήψεις αλλά και με μεγάλη ακρίβεια** Κατ' εξοχήν εύκολα αναγνωρίσιμα σημεία πάνω στις δορυφορικές λήψεις είναι οι διασταυρώσεις δρόμων.

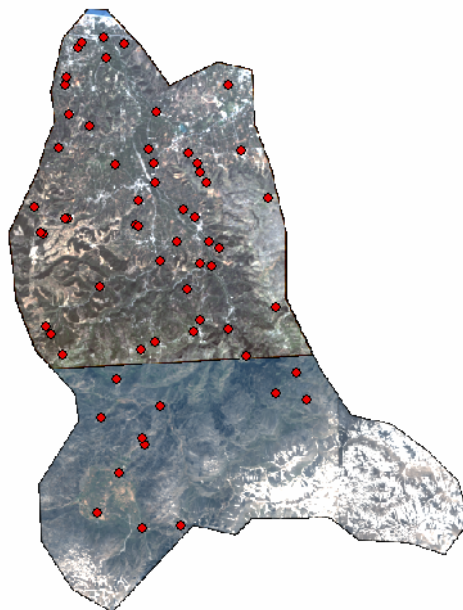


**Εικόνα 3-6: Αναγνωρισιμότητα και ακρίβεια φωτοσταθερών σημείων**

- 2. Να είναι εύκολα αναγνωρίσιμα στο πεδίο αλλά και εύκολα προσβάσιμα.** Αυτό είναι πολύ σημαντικό για την ομαλή διεξαγωγή των μετρήσεων για προφανείς λόγους, ενώ προϋποθέτει και πολύ καλή γνώση της περιοχής. Σε περίπτωση που ένα σημείο δεν έχει τα παραπάνω χαρακτηριστικά τότε η αναγνώριση του στο πεδίο αλλά και η προσέγγιση του θα αποβεί πολύ χρονοβόρα διαδικασία. Δυστυχώς είναι πολύ δύσκολο να διασφαλιστεί πως κάτι τέτοιο δεν θα συμβεί καθώς ο προσδιορισμός των φωτοσταθερών σημείων γίνεται πάνω στις δορυφορικές λήψεις και χωρίς πολύ καλή γνώση της περιοχής που απεικονίζεται σε αυτές είναι δύσκολο να εντοπιστούν πιθανές κακοτοπιές, όπως δύσβατοι δρόμοι, περιφραγμένοι δρόμοι κ.λ.π. Ιδιαίτερα δύσκολη ήταν η προσέγγιση σημείων από δρόμους εκτός της λεκάνης. Στην περίπτωση αυτή είναι δύσκολο να αναγνωρισθεί ο δρόμος ο οποίος οδηγεί σε αυτά εφόσον αυτός δεν είναι ορατός πάνω στις δορυφορικές λήψεις.
- 3. Να είναι ομοιόμορφα κατανεμημένα πάνω στη δορυφορική λήψη.** Η ομοιόμορφη κατανομή των φωτοσταθερών σημείων είναι πολύ σημαντική για την ακρίβεια της ορθοδιόρθωσης. Η ανομοιόμορφη κατανομή των φωτοσταθερών σημείων σε μια δορυφορική λήψη προς ορθοδιόρθωση θα έχει σαν αποτέλεσμα την αύξηση της ακρίβειας της ορθοδιόρθωσης στα τμήματα της που βρίσκονται μεταξύ πολλών φωτοσταθερών σημείων αλλά και την παραμόρφωση τμημάτων με λίγα φωτοσταθερά σημεία. Δυστυχώς και η ομοιόμορφη κατανομή των φωτοσταθερών σημείων είναι δύσκολη σε περιοχές με ανάγλυφο σαν αυτό που έχει η λεκάνη απορροής του Κερίτη, αφού για ένα σημείο που έχουμε εντοπίσει πάνω στη λήψη μπορεί το συμμετρικό του να βρίσκεται σε κάποια δύσβατη περιοχή ή και ακόμα εκτός λεκάνης.

Έχοντας λοιπόν υπ' όψιν τους παραπάνω περιορισμούς εντοπίστηκαν 60 περίπου φωτοσταθερά σημεία και στις τρεις δορυφορικές λήψεις. Δυστυχώς η πρόσβαση σε όλα αυτά δεν ήταν δυνατή με αποτέλεσμα να προσδιορισθούν οι συντεταγμένες 35 φωτοσταθερών σημείων στην πρώτη λήψη, 16 στη δεύτερη και μόλις 2 στην τρίτη, όπου και η πρόσβαση ήταν περισσότερο δύσκολη (ορεινή περιοχή).

Τα φωτοσταθερά σημεία που εντοπίστηκαν τοποθετήθηκαν πάνω σε μια μωσαϊκοποιημένη εικόνα της λεκάνης του Κερίτη (Εικόνα 3-7) με τη βοήθεια του προγράμματος ArcGIS 9.0 (λογισμικό Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών). Η εικόνα αυτή, μαζί με τα φωτοσταθερά σημεία, χρησιμοποιήθηκε σαν χάρτης για τον εντοπισμό τους στο πεδίο.



**Εικόνα 3-7: Φωτοσταθερά σημεία προς εντοπισμό στο πεδίο**

Από την παραπάνω εικόνα γίνεται φανερό πως η κατανομή των φωτοσταθερών σημείων δεν είναι ομοιόμορφη. Στις πεδινές και εύκολα προσβάσιμες περιοχές, όπως αυτές που απεικονίζονται στην πρώτη λήψη, η πυκνότητα των φωτοσταθερών σημείων (φωτοσταθερά σημεία σε μια ορισμένη έκταση) είναι αυξημένη σε σχέση με αυτή σε ορεινές και δύσβατες περιοχές, όπως αυτές στην τρίτη λήψη. Για να αντισταθμιστεί η ανομοιομορφία αυτή της κατανομής των φωτοσταθερών σημείων, κρίνεται απαραίτητη η χρήση του ορθοφωτοχάρτη από το Υπουργείο Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων για την ορθοδιόρθωση των δορυφορικών λήψεων.

### **3.2.3. Πραγματοποίηση Μετρήσεων Πεδίου**

Μετά τον προσδιορισμό των φωτοσταθερών σημείων πάνω στις δορυφορικές λήψεις ακολουθεί ο εντοπισμός τους στο πεδίο ώστε να γίνει ο προσδιορισμός των συντεταγμένων τους κάνοντας χρήση του δορυφορικού δέκτη Leica GS20. Ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων μπορεί να θεωρηθεί εύκολη και σύντομη διαδικασία μετά την εξοικείωση του χρήστη με τον δορυφορικό δέκτη, όμως ο εντοπισμός τους μπορεί να αποβεί επίπονη και χρονοβόρα διαδικασία.

Οι μετρήσεις στο πεδίο διήρκεσαν 8 ημέρες κατά τη διάρκεια των οποίων εγώ, καθώς και οι συνάδελφοι που με βοήθησαν κατά τη διεξαγωγή τους, διατρέξαμε ένα πολύ μεγάλο μέρος της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη σε αναζήτηση των φωτοσταθερών σημείων. Οι μετακινήσεις προς τα φωτοσταθερά σημεία έγιναν, ως επί των πλείστων, με ένα τετρακίνητο, εκτός δρόμου όχημα το για την διευκόλυνση της πρόσβασης στα δύσβατα σημεία της λεκάνης. Πρέπει να σημειωθεί πως λόγω του είδους των μετρήσεων (απαιτείται συνεχής μετακίνηση και ταυτόχρονη παρακολούθηση χάρτη και οργάνων) η διεξαγωγή τους είναι πολύ δύσκολο να γίνει μόνο από ένα άτομο.

Κάθε φορά πριν από τη μετάβαση μας στο πεδίο για μετρήσεις έπρεπε να ρυθμίζεται ο ένας από τους δυο δορυφορικούς δέκτες GPS Leica GS20 (Reference, Δέκτης αναφοράς) που βρίσκονται στη διάθεση του εργαστηρίου Διαχείρισης Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής. Ο δέκτης αυτός τοποθετούνταν στην ταράτσα των κτιρίων του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος στην Πολυτεχνειούπολη και ρυθμιζόταν έτσι ώστε να παίρνει μια συνεχή μέτρηση στο σημείο αυτό. Η μέτρηση αυτή θα χρησιμοποιηθεί αργότερα για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων του πεδίου (Σημεία Rover). Οι συντεταγμένες του σημείου αυτού προσδιορίζονταν κάθε φορά βάσει των μετρήσεων του σταθερού (και τοποθετημένου σε σημείο γνωστών συντεταγμένων) δορυφορικού δέκτη GPS του εργαστηρίου του καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Σ. Μερτίκα, δέκτης ο οποίος προσδιορίζει τη θέση του συνεχώς. Επομένως, ο ακριβής προσδιορισμός των συντεταγμένων του σημείου που βρίσκεται ο δέκτης αναφοράς (χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις από το σταθερό δέκτη GPS) προηγείται του προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων Rover. Οι

συντεταγμένες των σημείων Rover, στη συνέχεια, προσδιορίζονται χρησιμοποιώντας τις διορθωμένες μετρήσεις του δέκτη αναφοράς. Αιτία που ακολουθήται η παραπάνω διαδικασία και δεν γίνεται κατευθείαν προσδιορισμός των σημείων Rover βάσει του σταθερού δέκτη GPS είναι πως οι δέκτες GPS Leica GS20 που χρησιμοποιήθηκαν (Reference και Rover) ήταν ρυθμισμένοι να προσδιορίζουν τη θέση τους κάθε 1 sec ενώ ο σταθερός δέκτης GPS είναι ρυθμισμένος να προσδιορίζει τη θέση του κάθε 30 sec. Η διαφορά αυτή στις ρυθμίσεις των δεκτών GPS θα προκαλούσε μείωση της ακρίβειας του προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων αν ακολουθούνταν κάποια διαφορετική διαδικασία (Αυτό το διαπιστώσαμε μετά από προσπάθειες προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων Rover και με τους δυο τρόπους).



**Εικόνα 3-8: Δορυφορικός Δέκτης GPS Reference**

Μετά από τις ρυθμίσεις του δορυφορικού δέκτη GPS Leica GS20 που χρησιμοποιήθηκε σαν δέκτης αναφοράς ακολούθησε η ρύθμιση του άλλου δορυφορικού δέκτη GPS που χρησιμοποιήθηκε σαν δέκτης Rover για τη συλλογή των μετρήσεων του πεδίου.



**Εικόνα 3-9: Μετρήσεις στο πεδίο με το δορ. δέκτη Leica GS20 και το AX1201 Pole**

Έχοντας τελειώσει με τις παραπάνω ρυθμίσεις μπορούν να αρχίσουν οι μετρήσεις στο πεδίο, για τον προσδιορισμό των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων στη λεκάνη απορροής του ποταμού Κερίτη.

Για να γίνεται η πλοήγηση στη περιοχή της λεκάνης έπρεπε να εντοπίζεται με ακρίβεια η θέση μας πάνω στη εικόνα ώστε να σχεδιάζεται η διαδρομή προς τα φωτοσταθερά σημεία.

Στη συνέχεια προσδιορίζονται οι συντεταγμένες του σημείου αυτού με τον δορυφορικό δέκτη GPS. Η διαδικασία προσδιορισμού των συντεταγμένων διαρκούσε περίπου 2 min και εξαρτιόταν από την ποιότητα της λήψης του δορυφορικού σήματος. Σε ανοιχτές περιοχές όπου δεν υπήρχε εμπόδιο (βουνά, κτίρια κλπ) μεταξύ του δορυφορικού δέκτη GPS και του ουρανού που να ανακόπτει τη λήψη του σήματος από τους δορυφόρους η λήψη του ήταν αυξημένη και από πολλούς δορυφόρους με αποτέλεσμα η ποιότητα της μέτρησης να είναι αυξημένη και η μέτρηση να διαρκεί μικρότερο χρονικό διάστημα. Σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε να περιμένουμε για ένα μεγαλύτερο χρονικό διάστημα για να πετύχουμε την ίδια ακρίβεια (ο δορυφορικός δέκτης GPS Leica GS20 μας παρέχει τη δυνατότητα να βλέπουμε την ποιότητα της κάθε μέτρησης, η οποία αυξάνεται όσο διαρκεί η κάθε μέτρηση).

Μετά από αυτό έπρεπε να εντοπιστεί το επόμενο φωτοσταθερό σημείο και να επαναληφθεί η ίδια διαδικασία μέχρι να προσδιοριστούν οι

συντεταγμένες όλων των φωτοσταθερών σημείων. Γράφοντας παραπάνω για τις συντεταγμένες όλων των φωτοσταθερών σημείων εννοούνται όλα τα φωτοσταθερά σημεία τα οποία εντοπίστηκαν, καθώς όπως προαναφέρθηκε κάποια φωτοσταθερά σημεία δεν ήταν δυνατό να εντοπιστούν ή η πρόσβαση σε αυτά ήταν αδύνατη. Έτσι προσδιορίστηκαν οι συντεταγμένες 35 φωτοσταθερών σημείων στην πρώτη λήψη, 16 στη δεύτερη και μόλις 2 στην τρίτη, όπου και η πρόσβαση ήταν περισσότερο δύσκολη (ορεινή περιοχή).

Άξιες αναφοράς ήταν και οι δυσκολίες οι οποίες αντιμετωπιστήκαν στο πεδίο κατά την προσπάθεια συλλογής των δεδομένων. Οι σημαντικότερες από αυτές παραθέτονται παρακάτω:

1. Την πρόσβαση σε πάρα πολλά φωτοσταθερά σημεία δυσχέραιναν οι πολύ κακοί δρόμοι που οδηγούσαν σε αυτά.



**Εικόνα 3-10: Δρόμος νότια του Θερίσου**

2. Η διεξαγωγή των μετρήσεων έγινε στο μέσο του χειμώνα, αυτό είχε σαν συνέπεια τα φωτοσταθερά σημεία τα οποία βρίσκονταν σε μεγάλο υψόμετρο να βρίσκονται σε περιοχές καλυμμένες από χιόνι.
3. Όπως προαναφέρθηκε ιδιαίτερα δύσκολη ήταν η προσέγγιση φωτοσταθερών σημείων από δρόμους εκτός της λεκάνης επειδή είναι δύσκολο να αναγνωρισθεί ο δρόμος ο οποίος οδηγεί σε αυτά εφόσον αυτός δεν είναι ορατός πάνω στην μωσαϊκοποιημένη ψηφιακή εικόνα της λεκάνης απορροής του Κερίτη

4. Πολλά από τα φωτοσταθερά σημεία βρισκόντουσαν σε βοσκοτόπια με αποτέλεσμα πρέπει να αντιμετωπισθούν εκτός από τις κακοτοπιές των δρόμων κοπάδια αιγοπροβάτων και περιφράξεις, χωρίς πάντως να υπάρξει κάποιο πρόβλημα.



## 4. Επεξεργασία Μετρήσεων Πεδίου, Δεδομένων και Αποτελέσματα

---

### 4.1. Γενικά

Έχοντας συγκεντρώσει όλα τα απαραίτητα δεδομένα και έχοντας συλλέξει τις απαιτούμενες μετρήσεις από το πεδίο είμαστε σε θέση να αρχίσουμε την επεξεργασία τους ώστε να γίνει η ορθοδιορθώση των δορυφορικών λήψεων και ο προσδιορισμός των χρήσεων γης της λεκάνης απορροής του ποταμού Κερίτη.

Αρχικά λοιπόν θα μεταφερθούν οι μετρήσεις από το πεδίο που είναι αποθηκευμένες στους δορυφορικούς δέκτες GPS Leica GS20 στον σκληρό δίσκο του υπολογιστή όπου θα γίνει η επεξεργασία τους με το πρόγραμμα **Leica Ski-Pro** και με τη βοήθεια μετρήσεων από το σταθερό δορυφορικό δέκτη GPS του εργαστηρίου του καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Σ. Μερτίκα θα βελτιωθεί η ακρίβεια τους.

Στη συνέχεια κάνοντας χρήση του λογισμικού πακέτου Leica Erdas Imagine 9 θα ενωθούν τα τμήματα των δορυφορικών λήψεων από τα 21 CD ώστε να δημιουργηθούν 3 μωσαϊκοποιημένες ψηφιακές εικόνες, μια για κάθε δορυφορική λήψη. Οι εικόνες αυτές στην συνέχεια θα ορθοδιορθωθούν με το λογισμικό πακέτο Leica Photogrammetry Suite 9 του Leica Erdas Imagine 9 χρησιμοποιώντας τις επεξεργασμένες μετρήσεις GPS, το μωσαϊκοποιημένο ορθοφωτοχάρτη του Υπουργείου Αγροτικής Ανάπτυξης και Τροφίμων και του ψηφιακού μοντέλου εδάφους από την Γεωγραφική Υπηρεσία Στρατού.

Τέλος οι ορθοδιορθωμένες αυτές εικόνες θα ταξινομηθούν από αλγορίθμους του λογισμικού πακέτου Leica Erdas Imagine 9 ώστε να προσδιοριστούν οι χρήσεις γης στην υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη.

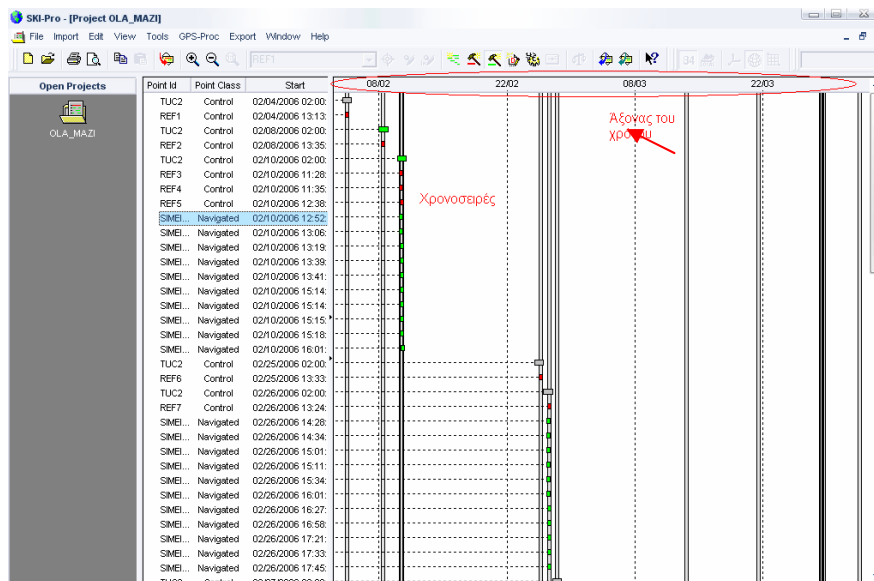
Παρακάτω περιγράφονται αναλυτικότερα οι διαδικασίες που αφορούν την επεξεργασία των δεδομένων και των μετρήσεων του πεδίου.

## 4.2. Επεξεργασία Μετρήσεων Πεδίου

Οι μετρήσεις στο πεδίο για τις οποίες θα γίνει λόγος εδώ είναι οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων που συλλέχθηκαν με το δορυφορικό δέκτη GPS Leica GS20 που χρησιμοποιούνταν σαν Rover με τη διαδικασία που περιγράφηκε στο προηγούμενο Κεφάλαιο (Κεφ.3 Μετρήσεις και Δεδομένα Πεδίου). Οι μετρήσεις αυτές έχουν μειωμένη ακρίβεια λόγω διαφόρων παραγόντων που προκαλούν σφάλματα αλλά και παρεμβολές στο σήμα το οποίο αποστέλλεται από τους δορυφόρους και λαμβάνεται από τους δορυφορικούς δέκτες GPS (βλ. 2.4.3 Βασικές Αρχές Λειτουργίας και Πηγές Σφαλμάτων). Για να αυξηθεί λοιπόν η ακρίβεια αυτών και όλων των διεργασιών που θα γίνουν μετέπειτα χρησιμοποιώντας τις μετρήσεις αυτές (ορθοδιόρθωση) θα πρέπει να τις επεξεργαστούμε κατάλληλα.

Η επεξεργασία αυτή θα γίνει με το πρόγραμμα **Leica Ski-Pro** στο οποίο θα εισαχθούν εκτός από τις μετρήσεις του πεδίου και αυτές από το δορυφορικό δέκτη GPS αναφοράς και από το σταθερό δορυφορικό δέκτη GPS του εργαστηρίου του καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Σ. Μερτίκα (2.4.3 Διαφορικό GPS (DGPS)) ώστε να συσχετισθούν με τις μετρήσεις από το πεδίο και διορθωθούν, να αυξηθεί δηλαδή η ακρίβεια τους, με την L1 διόρθωση.

Αφού εισαχθούν τα σημεία εμφανίζονται σε μια λίστα όπου φαίνονται κάποιες πληροφορίες για αυτά όπως το όνομά τους, ο τύπος τους (Control, Navigated και Estimated ), η ώρα που πάρθηκε η μέτρηση τους και η διάρκεια της κ.α. Δεξιά της λίστας αυτής φαίνεται μια χρονοσειρά για την κάθε σημείο, μια μπάρα δηλαδή που αρχίζει την στιγμή που άρχισε να η μέτρηση για το κάθε σημείο και το μήκος της είναι όση και η διάρκεια της μέτρησης (ο άξονας του χρόνου φαίνεται πάνω από τις χρονοσειρές).



Εικόνα 4-1: Λίστα σημείων στο Leica Ski-Pro

Ο τύπος των σημείων είναι σημαντικός για την επεξεργασία τους. Έτσι σημεία που πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σαν σημεία αναφοράς (Reference) και οι συντεταγμένες τους είναι γνωστές ή έχουν προσδιοριστεί με την L1 διόρθωση με τη βοήθεια του Leica Ski-Pro χαρακτηρίζονται σαν **Control Points**, ενώ τα σημεία των οποίων τις συντεταγμένες θέλουμε να προσδιορίσουμε (Rover) χαρακτηρίζονται ως **Navigated**. Σαν Control Points, στην παρούσα μελέτη, θα χρησιμοποιηθούν αρχικά τα σημεία που προέρχονται από το σταθερό δορυφορικό δέκτη GPS του εργαστηρίου του καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Σ. Μερτικά για να διορθωθούν οι συντεταγμένες των σημείων από το δορυφορικό δέκτη GPS αναφοράς Leica GS20. Στη συνέχεια θα χρησιμοποιηθούν τα σημεία από το δορυφορικό δέκτη GPS αναφοράς σαν Control Points για την διόρθωση των συντεταγμένων των σημείων του πεδίου που προέρχονται από το δορυφορικό δέκτη GPS Rover Leica GS20.

Έχοντας εισάγει τα σημεία και έχοντας τελειώσει με τις παραπάνω ρυθμίσεις μπορεί να αρχίσει η επεξεργασία των μετρήσεων για την βελτίωση της ακρίβειάς τους. Αρχικά θα προσδιοριστούν με ακρίβεια οι συντεταγμένες των σημείων που προέρχονται από το δορυφορικό δέκτη GPS αναφοράς Leica GS20 χρησιμοποιώντας σαν σημεία αναφοράς εκείνα που προέρχονται από το σταθερό δορυφορικό δέκτη GPS του εργαστηρίου του καθηγητή του τμήματος

Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Σ. Μερτίκα. Πρέπει να τονιστεί πως τα σημεία αναφοράς και τα προς διόρθωση σημεία πρέπει να προέρχονται από δέκτες οι οποίοι προσδιόριζαν τη θέση τους κατά το ίδιο χρονικό διάστημα (η χρονοσειρά των προς διόρθωση σημείων πρέπει να αποτελεί τμήμα της χρονοσειράς των σημείων αναφοράς – βλ. Εικόνα 2-1). Στην προκειμένη περίπτωση, εφόσον οι μετρήσεις του σταθερού δέκτη έχουν διάρκεια μιας ημέρας, αρκεί να επιλεγούν εκείνες που πάρθηκαν τις ημέρες κατά τις οποίες πραγματοποιήθηκαν και οι μετρήσεις στο πεδίο.

Έτσι λοιπόν χαρακτηρίζονται σαν Control Points εκείνα που προέρχονται από το σταθερό δορυφορικό δέκτη GPS του εργαστηρίου του καθηγητή του τμήματος Μηχανικών Ορυκτών Πόρων Σ. Μερτίκα και εισάγονται οι συντεταγμένες του σταθερού δέκτη (Grid - EGSA 87 ) που φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

<b>Northing (m)</b>	<b>Easting (m)</b>	<b>Optometric Height (m)</b>
3931888.977	506247.029	137.944

**Πίνακας 4-1: Συντεταγμένες του σταθερού δορυφορικού δέκτη GPS**

Στη συνέχεια χαρακτηρίζονται τα σημεία που προέρχονται από το δορυφορικό δέκτη GPS αναφοράς Leica GS20 σαν Navigated. Μετά από αυτά μπορεί να αρχίσει η L1 διόρθωση των συντεταγμένων των σημείων που χαρακτηρίστηκαν σαν Navigated.

Έχοντας διορθώσει τα σημεία από το δορυφορικό δέκτη GPS αναφοράς Leica GS20 μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να διορθωθούν οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων του πεδίου από το δορυφορικό δέκτη GPS Rover Leica GS20. Η διαδικασία που ακολουθήθηκε είναι η ίδια με αυτή που χρησιμοποιήθηκε για την διόρθωση σημείων από το δορυφορικό δέκτη GPS αναφοράς Leica GS20 με τη βοήθεια του σταθερού δέκτη GPS με τις εξής διαφορές:

1. Σαν Control Points χαρακτηρίζονται εκείνα που προέρχονται από το δορυφορικό δέκτη GPS αναφοράς Leica GS20 και οι συντεταγμένες που

θα εισαχθούν θα είναι αυτές που προέκυψαν από την παραπάνω διαδικασία.

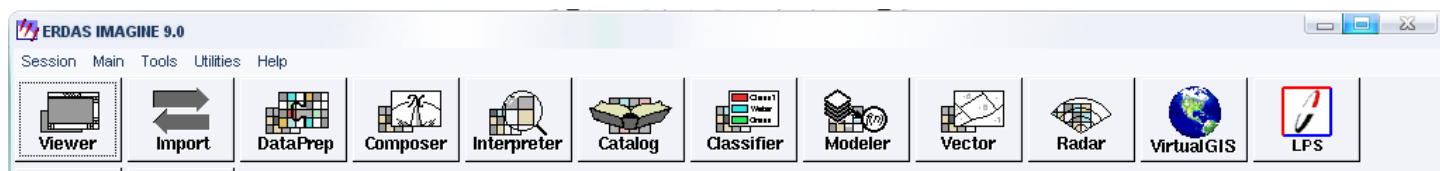
2. Σαν σημεία Navigated - Rover χαρακτηρίζονται εκείνα που προέρχονται από το δορυφορικό δέκτη GPS Rover Leica GS20

Οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων του πεδίου από το δορυφορικό δέκτη GPS Rover Leica GS20 θα μπορούσαν να διορθωθούν κατευθείαν και από τα σημεία του σταθερού δέκτη GPS. Ο λόγος που δεν γίνεται ο προσδιορισμός των συντεταγμένων των φωτοσταθερών σημείων του πεδίου με την μέθοδο αυτή είναι η μειωμένη ακρίβεια σε σχέση με τη μέθοδο που ακολουθήθηκε. Η αιτία για αυτό είναι πως οι δέκτες GPS Leica GS20 που χρησιμοποιήθηκαν (Reference και Rover) ήταν ρυθμισμένοι να προσδιορίζουν τη θέση τους κάθε 1 sec ενώ ο σταθερός δέκτης GPS είναι ρυθμισμένος να προσδιορίζει τη θέση του κάθε 30 sec. Η διαφορά αυτή στις ρυθμίσεις των δεκτών GPS προκαλούσε μείωση της ακρίβειας του προσδιορισμού των συντεταγμένων των σημείων. Κάτι τέτοιο διαπιστώθηκε και όταν δοκιμάστηκε και η μέθοδος αυτή.

### **4.3. Ορθοδιόρθωση δορυφορικών εικόνων**

#### **4.3.1. Μεθοδολογία**

Έχοντας προσδιορισθεί με ακρίβεια οι συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων του πεδίου, οι οποίες προσδιορίστηκαν αρχικά με το δορυφορικό δέκτη GPS Rover Leica GS20, με τη διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω (4.2 Επεξεργασία Μετρήσεων Πεδίου) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ορθοδιόρθωση των δορυφορικών λήψεων της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη με το λογισμικό πακέτο Erdas Imagine 9 και το Leica Photogrammetry Suite 9.



Εικόνα 4-2: Γραμμή εικονιδίων του Erdas Imagine 9.0

Όπως έχει ήδη αναφερθεί στην διάθεση του εργαστηρίου Υδατικών Πόρων και Παράκτιας Μηχανικής του τμήματος Μηχανικών Περιβάλλοντος του Πολυτεχνείου Κρήτης βρίσκονται 3 δορυφορικές λήψεις QuickBird, με μέγεθος pixel 0,7m x 0.7m. Οι λήψεις αυτές είναι σε μορφή Geotiff χωρισμένες σε 21 οπτικούς δίσκους μαζί με άλλα συνοδευτικά αρχεία (π.χ. αρχεία με κατάληξη .RPB για τον εσωτερικό προσανατολισμό).

Χρησιμοποιώντας το **Mosaic Tool** από του Erdas Imagine 9.0 ενώθηκαν τα 21 αρχεία Geotiff σε 3 αρχεία τύπου .IMG, 1 αρχείο για την κάθε λήψη. Για να διαπιστωθεί ποια αρχεία Geotiff ανήκουν στην κάθε λήψη χρησιμοποιήθηκαν τα αρχεία τύπου .RPB. Κάθε λήψη έχει ένα αρχείο .RPB έτσι υπάρχουν 3 διαφορετικά αρχεία .RPB στα 21 cd.


Οι εικόνες – μωσαϊκά που δημιουργήθηκαν έχουν πολύ μεγάλες ανάγκες σε αποθηκευτικό χώρο και το μέγεθος τους είναι της τάξης των 4 περίπου Gigabytes.

Στη συνέχεια για την μετατροπή του προβολικού συστήματος των εικόνων στο EGSA 87 χρησιμοποιήθηκε το **Reproject Image** του Erdas Imagine 9.0.


Μετά από αυτά επιλέγεται το **LPS**(Leica Photogrammetry Suite) από τη γραμμή εικονιδίων του Erdas Imagine 9.0. Αρχικά δημιουργείται ένα καινούριο αρχείο .blk (αρχείο στο οποίο αποθηκεύονται οι παράμετροι της ορθοδιόρθωσης). Κατά τη δημιουργία του αρχείου αυτού πρέπει να προσδιοριστούν ο τύπος των προς ορθοδιόρθωση εικόνων (δορυφορικές φωτογραφίες QuickBird) και το προβολικό σύστημα που θα χρησιμοποιηθεί (EGSA 87). Στη συνέχεια επιλέγεται κάθε φορά η προς ορθοδιόρθωση εικόνα.

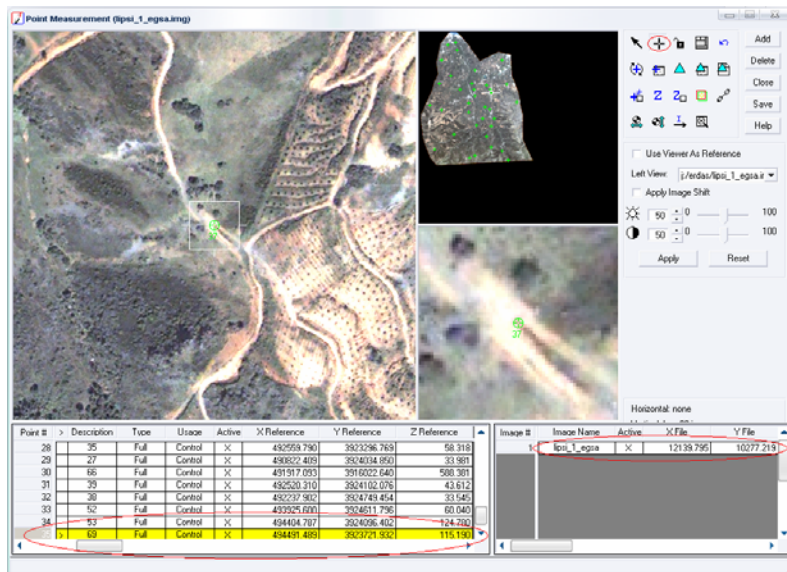
Κατόπιν το πρόγραμμα φτιάχνει τις πυραμίδες (**Pyr**), κάτι που αποτελεί μια αρκετά χρονοβόρα διαδικασία, και επιλέγεται το κατάλληλο αρχείο .RPB, ανάλογα με τη λήψη δηλαδή, για να γίνει ο εσωτερικός προσανατολισμός (**Int**) αλλά και ο εξωτερικός.

Εσωτερικός προσανατολισμός ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία αποκαθίσταται η πορεία της φωτεινής ακτίνας μέσα στη συσκευή λήψης της εικόνας, όπως αυτή υπήρχε κατά τη στιγμή της λήψης. Τα στοιχεία του εσωτερικού περιέχονται στο πιστοποιητικό βαθμονόμησης που συνοδεύει κάθε συσκευή λήψης (αρχείο .RPB). Ενώ εξωτερικός προσανατολισμός μιας λήψης ονομάζεται η διαδικασία κατά την οποία αποκαθίσταται η γεωμετρία αυτής σε σχέση με το επίγειο σύστημα αναφοράς .

Στη συνέχεια επιλέγοντας  από την γραμμή εικονιδίων ανοίγει ένα παράθυρο (Point Measurement) στο οποίο εισάγονται οι απαραίτητες για την ορθοδιόρθωση συντεταγμένες των φωτοσταθερών σημείων του πεδίου. Η εισαγωγή των σημείων αναφοράς (συντεταγμένες φωτοσταθερών σημείων δηλαδή) με σκοπό την αντιστοίχιση των συντεταγμένων των σημείων της εικόνας με συντεταγμένες στο προβολικό σύστημα EGSA 87, γίνεται με δυο τρόπους :

#### **1. Εισαγωγή συντεταγμένων φωτοσταθερών σημείων που μετρήθηκαν με ακρίβεια στο πεδίο με τη βοήθεια δορυφορικών δεκτών GPS.**

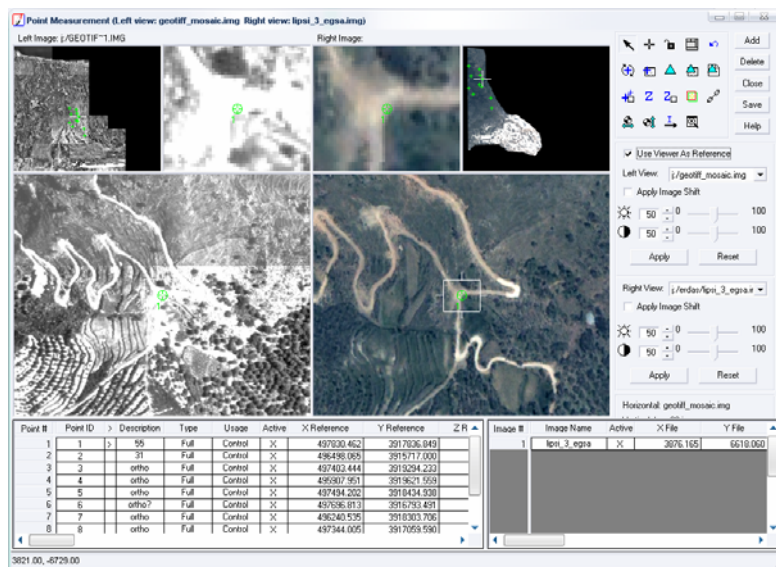
Η εισαγωγή των συντεταγμένων X, Y, Z των φωτοσταθερών σημείων του πεδίου (όπως αυτές προέκυψαν από την επεξεργασία των μετρήσεων του πεδίου) γίνεται με το πληκτρολόγιο (για την Z συντεταγμένη παρέχεται και η δυνατότητα αυτόματης εισαγωγής της από το DEM). Στη συνέχεια, για κάθε σημείο αναφοράς του οποίου οι πραγματικές συντεταγμένες εισήχθησαν πρέπει να γίνει αντιστοίχιση αυτών με τις συντεταγμένες του σημείου αυτού στην δορυφορική εικόνα. Για να γίνει αυτό επιλέγεται κάθε ένα σημείο την εικόνα με το  όπως φαίνεται παρακάτω :



Εικόνα 4-3: Αντιστοίχιση πραγματικών συντεταγμένων με αυτές της εικόνας

## 2. Εισαγωγή συντεταγμένων από ορθοφωτοχάρτες του υπουργείου Γεωργίας



Στην περίπτωση που επιλεγεί να χρησιμοποιηθούν ορθοφωτοχάρτες κατά τη διαδικασία ορθοδιόρθωσης το τμήμα του παράθυρου του Point Measurement όπου εμφανίζεται η εικόνα χωρίζεται στα δυο:



Εικόνα 4-4: Εισαγωγή σημείων αναφοράς από ορθοφωτοχάρτη

Αριστερά υπάρχει ο ορθοφωτοχάρτης και δεξιά η δορυφορική εικόνα. Στη συνέχεια επιλέγεται στον ορθοφωτοχάρτη ένα σημείο (εκεί οι πραγματικές



του συντεταγμένες σε EGSA 87 είναι γνωστές) με το  και μετά πάλι με το  το ίδιο σημείο στη δορυφορική εικόνα ώστε να γίνει η αντιστοίχιση των X και Y συντεταγμένων . Για τις Z συντεταγμένες η εισαγωγή τους γίνεται αυτόματα από το DEM είτε εισάγονται από το πληκτρολόγιο.

Ακολουθώντας λοιπόν την παραπάνω διαδικασία εντοπίστηκαν :

35 φωτοσταθερά σημεία στην 1<sup>η</sup> δορυφορική λήψη(0 από τον ορθοφωτοχάρτη)

24 φωτοσταθερά σημεία στην 2<sup>η</sup> δορυφορική λήψη(8 από τον ορθοφωτοχάρτη)

11 φωτοσταθερά σημεία στην 3<sup>η</sup> δορυφορική λήψη(9 από τον ορθοφωτοχάρτη)

Για τον εντοπισμό των φωτοσταθερών σημείων στις δορυφορικές λήψεις χρησιμοποιήθηκαν τόσο τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με τους δορυφορικούς δέκτες GPS όσο και οι ορθοφωτοχάρτες από το Υπουργείο Γεωργίας και Αγροτικής Ανάπτυξης. Όσο δυσκολότερη ήταν η πρόσβαση στις περιοχές που απεικονίζονταν σε κάθε δορυφορική λήψη τόσο περισσότερα σημεία από τον ορθοφωτοχάρτη χρησιμοποιούνταν, παρ' όλο που η ακρίβεια τους ήταν μειωμένη, και τόσο λιγότερα φωτοσταθερά σημεία στο σύνολο χρησιμοποιούνταν για τη λήψη αυτή. Αυτό φαίνεται ξεκάθαρα στη 3<sup>η</sup> δορυφορική λήψη που απεικονίζει την περισσότερο δύσβατη περιοχή της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη.


Μετά την επιλογή των φωτοσταθερών σημείων και την εισαγωγή των συντεταγμένων τους στο Point Measurement πρέπει να επιλέξουμε το βαθμό του πολωνύμου που θα χρησιμοποιηθεί για την ορθοδιόρθωση της δορυφορικής εικόνας.

Μπορούμε να επιλέξουμε μεταξύ πολωνύμου μηδενικού, πρώτου, δευτέρου και τρίτου βαθμού. Κατά την επιλογή του βαθμού του πολωνύμου πρέπει να έχουμε υπ' όψιν μας πως όσο ο βαθμός του πολωνύμου αυξάνει τόσο αυξάνεται ο αριθμός των απαιτούμενων για τη γεωμετρική διόρθωση

φωτοσταθερών σημείων. Επίσης όσο ο βαθμός του πολυωνύμου αυξάνει τόσο αυξάνει η ακρίβεια της γεωμετρικής διόρθωσης στην περιοχή ανάμεσα στα φωτοσταθερά σημεία αλλά στις περιοχές της εικόνας εκτός αυτών, είναι πιθανή η παραμόρφωση της εικόνας.

Έχοντας υπ' όψιν τα παραπάνω γίνεται επιλογή πολυωνύμου δευτέρου βαθμού, αυτό σημαίνει πως απαιτούνται τουλάχιστον 9 φωτοσταθερά σημεία για την ορθοδιόρθωση μια εικόνας.

Κατά τη διάρκεια της επιλογής των φωτοσταθερών σημείων στην προς ορθοδιόρθωση εικόνα παρέχεται η δυνατότητα στον χρήστη να δει τόσο το ολικό RMSE της ορθοδιόρθωσης σε εικονοστοιχεία (pixels), όσο και τα RMSE για όλα τα φωτοσταθερά σημεία (Report). Το RMSE (Root Mean Square Error) επιτρέπει στον χρήστη να αξιολογήσει την ακρίβεια της ορθοδιόρθωσης (όσο μικρότερο είναι τόσο μεγαλύτερη η ακρίβεια). Επίσης χρησιμοποιώντας το Report ο χρήστης μπορεί να εντοπίσει ποια φωτοσταθερά σημεία έχουν το μεγαλύτερο RMSE και να τα απομονώσει ώστε να αυξηθεί η ακρίβεια της ορθοδιόρθωσης.

Έχοντας τελειώσει με τις παραπάνω ρυθμίσεις και έχοντας κρατήσει τελικά τα φωτοσταθερά σημεία που δίνουν το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα (μικρότερο RMSE) μπορεί να αρχίσει η ορθοδιόρθωση. Από το παράθυρο του LPS που έχει επιλέγεται το  (Ortho Resampling) για να οριστούν οι παράμετροι της ορθοδιόρθωσης:

Σε ότι αφορά τις παραμέτρους της ορθοδιόρθωσης σαν DTM Source επιλέγεται το DEM που χρησιμοποιήθηκε προηγουμένως και σαν μέθοδος ορθοδιόρθωσης η Bilinear Interpolation. Μετά από αυτά η ορθοδιόρθωση μπορεί να αρχίσει.

### 4.3.2. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων

Ακολουθώντας λοιπόν την παραπάνω διαδικασία παράχθηκαν 3 ορθοδιορθωμένες δορυφορικές εικόνες, μια για κάθε λήψη. Το RMSE των εικόνων αυτών φαίνεται παρακάτω :

1<sup>η</sup> δορυφορική λήψη RMSE **17 pixels** με πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού

2<sup>η</sup> δορυφορική λήψη RMSE **18 pixels** με πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού

3<sup>η</sup> δορυφορική λήψη RMSE **17 pixels** με πολυώνυμο 1<sup>ου</sup> βαθμού

Η τρίτη δορυφορική λήψη ορθοδιορθώθηκε με πολυώνυμο 1<sup>ου</sup> βαθμού λόγω του μικρού αριθμού των φωτοσταθερών σημείων σε αυτή (εντοπίστηκαν 11 αλλά χρησιμοποιήθηκαν σαν Control Points τα 9, ελάχιστος απαιτούμενος αριθμός φωτοσταθερών σημείων για το πολυώνυμο 2<sup>ου</sup> βαθμού). Η ακρίβεια της λήψης αυτής ,παρά το γεγονός πως το RMSE είναι κοντινό με αυτό των άλλων λήψεων, δεν είναι συγκρίσιμη με αυτή των άλλων λόγω του περιορισμένου αριθμού των φωτοσταθερών σημείων σε αυτή.

Η ακρίβεια της ορθοδιόρθωσης για τις λήψεις 1 και 2 είναι  $\pm 11,9$  m και  $\pm 12,6$  m αντίστοιχα. Ο υπολογισμός αυτός έγινε πολλαπλασιάζοντας το RMSE, το οποίο μετριέται σε pixels, με τις διαστάσεις του κάθε pixel (στην περίπτωση που εξετάζεται είναι 0.7m x 0.7m). Η τιμή αυτή της ακρίβειας αυτή ήταν αναμενόμενη αν αναλογιστούμε πως το αρχείο DEM είχε πολύ μεγάλο μέγεθος εικονοστοιχείου (30m x 30m) σε σχέση με αυτό των δορυφορικών εικόνων (0.7m x 0.7m) (Χαραλαμποπούλου, 2006). Επομένως το μεγάλο μέγεθος εικονοστοιχείων του αρχείου DEM που χρησιμοποιείται κατά την ορθοδιόρθωση μειώνει την ποιότητά της.

## 4.4. Προσδιορισμός χρήσεων γης

### 4.4.1. Γενικά

Μετά την ορθοδιόρθωση των δορυφορικών λήψεων όπως περιγράφηκε παραπάνω μπορούν οι ορθοδιορθωμένες πλέον λήψεις να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των χρήσεων γης των περιοχών που απεικονίζουν. Όπως προαναφέρθηκε ο προσδιορισμός αυτός θα γίνει ταξινομώντας τις δορυφορικές εικόνες σε τάξεις ανάλογα με τις χρήσεις γης.

Η ταξινόμηση αυτή θα γίνει με δυο τρόπους:

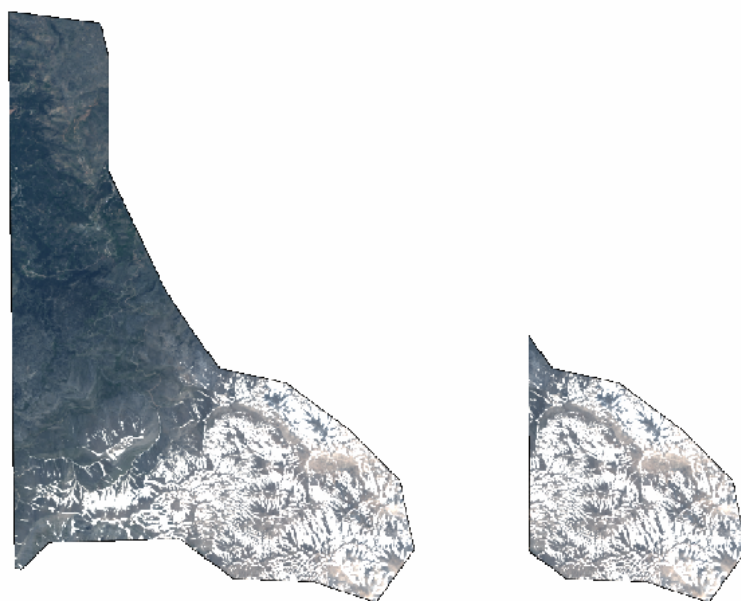
1. **Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση** (αυτοματοποιημένη διαδικασία κατά την οποία ο χρήστης δεν ορίζει το ποιες θα είναι οι τάξεις της ταξινομημένης εικόνας παρά μόνο τον αριθμό τους)
2. **Επιβλεπόμενη ταξινόμηση** (οι τάξεις ορίζονται από τον χρήστη με χρήση υπογραφών – προτύπων για την κάθε τάξη)

Και στις δυο περιπτώσεις για την ταξινόμηση θα χρησιμοποιηθεί το λογισμικό πακέτο Erdas Imagine 9.0.

Πρέπει να σημειωθεί πως στην τρίτη δορυφορική λήψη δεν προσδιορίστηκαν οι χρήσεις γης. Οι λόγοι για αυτό είναι οι εξής :

1. Η κακή ποιότητα της ορθοδιόρθωσης.
2. Πολύ μεγάλο μέρος της καλύπτεται από ορεινούς όγκους οι οποίοι με τη σειρά τους είναι καλυμμένοι από χαμηλή, ποώδη βλάστηση, και χρησιμοποιούνται σαν βοσκότοποι, και από χιόνια. Η έλλειψη λοιπόν καλλιεργειών κάνει την ανάγκη προσδιορισμού των χρήσεων γης για τη λήψη αυτή μικρότερη σε σχέση με την ανάγκη προσδιορισμού των χρήσεων γης για τις άλλες δυο λήψεις.
3. Το δύσβατο της περιοχής θα δυσκόλευε πολύ τη συλλογή των απαραίτητων για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση υπογραφών – προτύπων

4. Και ο τελευταίος αλλά και σημαντικότερος λόγος είναι πως το μεγαλύτερο μέρος της περιοχής που απεικονίζεται στη τρίτη λήψη και το πιο πεδινό, όπου υπάρχει η πλειοψηφία των καλλιεργειών, απεικονίζεται και στις άλλες δυο λήψεις, λόγω της επικάλυψης που υπάρχει μεταξύ των λήψεων. Αυτό θα έχει σαν αποτέλεσμα να μη ταξινομηθεί ένα μικρό μέρος του συνόλου της περιοχής μελέτης το οποίο εμφανίζεται καλυμμένο με χιόνια, όπως φαίνεται και παρακάτω :



Εικόνα 4-5: Ολόκληρη η τρίτη λήψη έναντι του τμήματος της που δεν εμφανίζεται στις άλλες δυο

#### 4.4.2. Μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Unsupervised Classification)

Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση είναι μια αυτοματοποιημένη διαδικασία κατά την οποία τα στοιχεία εκπαίδευσης για τις τάξεις της ταξινόμησης ορίζονται αυθαίρετα από το λογισμικό με το οποίο γίνεται η ταξινόμηση της εικόνας το οποίο στην προκειμένη περίπτωση ήταν το Erdas Imagine 9.0 (περισσότερες πληροφορίες για την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στο κεφάλαιο 2.5.2).

Πριν από την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση των ορθοδιορθωμένων λήψεων 1 και 2 της περιοχής μελέτης με το Erdas Imagine 9.0 θα πρέπει αυτές να υποστούν κάποια επεξεργασία. Πιο συγκεκριμένα θα πρέπει να αφαιρεθεί η αλληλοεπικάλυψη μεταξύ τους ώστε η ταξινόμηση για κάθε ένα εικονοστοιχείο των δορυφορικών εικόνων αυτών να είναι μοναδική. Έτσι επιλέγεται να αφαιρεθεί από την λήψη 2 το βόρειο τμήμα της που υπάρχει και στην πρώτη λήψη. Ο λόγος που επιλέχθηκε να επεξεργαστεί η δεύτερη λήψη έναντι της πρώτης είναι πως η πρώτη θεωρήθηκε πως περιέχει περισσότερες και χρησιμότερες πληροφορίες (π.χ. μεγαλύτερο αριθμό και μεγαλύτερη ποικιλία καλλιεργειών) από την δεύτερη για να υποστεί οποιαδήποτε επεξεργασία. Η αποκοπή της επικάλυψης των δυο λήψεων έγινε με το ArcGIS 9. Αξίζει να σημειωθεί πως η λήψη 1 και η επεξεργασμένη λήψη 2 που θα χρησιμοποιηθούν κατά τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση θα χρησιμοποιηθούν αργότερα και για την επιβλεπόμενη.



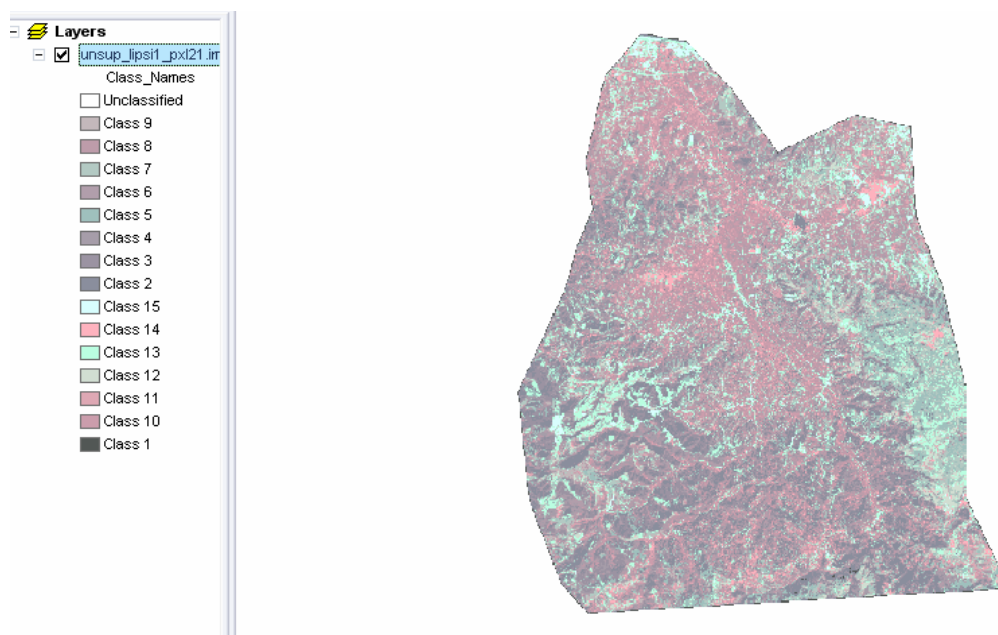
**Εικόνα 4-6: Αφαίρεση της επικάλυψης από τη λήψη 2**

Μετά από αυτό μπορεί να αρχίσει η διαδικασία της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Αρχικά επιλέγεται από τη γραμμή εικονιδίων του Erdas Imagine 9.0 το εικονίδιο Classifier και από τον κατάλογο που εμφανίζεται το Unsupervised Classification. Στο παράθυρο που εμφανίζεται εισάγονται :

1. Η προς ταξινόμηση εικόνα
2. Ο αριθμός των διαφορετικών τάξεων της ταξινόμησης (στην προκειμένη περίπτωση επιλέγεται η ταξινομημένη εικόνα να έχει 15 τάξεις)
3. Ο αριθμός των επαναλήψεων για τον αλγόριθμο της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης (επιλέγονται 10 επαναλήψεις)

4. Coverage Treshold (επιλέγεται 0,95, αυτό σημαίνει πως όταν η ομοιότητα μεταξύ των αποτελεσμάτων της ταξινόμησης είναι όμοια κατά ποσοστό 95% με τα αποτελέσματά της ταξινόμησης της προηγούμενης επανάληψης τότε ο αλγόριθμος τερματίζεται)

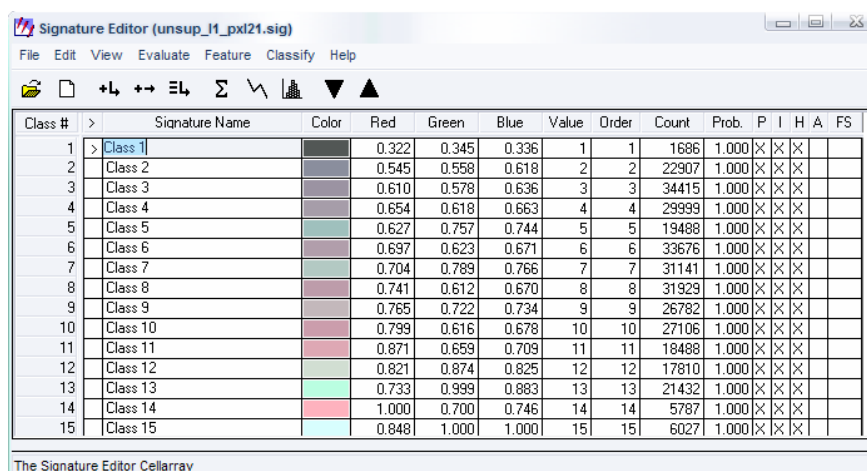
Αφού εισαχθούν τα παραπάνω η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας μπορεί να αρχίσει. Μετά τη λήξη της παράγεται μια ταξινομημένη εικόνας καθώς και ένα αρχείο που περιέχει πληροφορίες για τις τάξεις που δημιουργηθήκαν (Signature File).



**Εικόνα 4-7: Η λήψη 1 μετά από μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στο ArcGIS 9.0**

Παραπάνω φαίνεται η ταξινομημένη εικόνα και αριστερά το υπόμνημα όπου φαίνεται το χρώμα της κάθε τάξης και το όνομα της τα οποία επιλέγονται αυτόματα. Για να μπορέσει η ταξινομημένη εικόνα να χρησιμοποιηθεί περαιτέρω θα πρέπει να προσδιοριστούν οι χρήσεις γης που αντιστοιχούν στην κάθε τάξη. Αυτό θα γίνει αργότερα αφού ολοκληρωθεί και η επιβλεπόμενη ταξινόμηση με αντιπαραβολή της εικόνας από τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση πάνω στην εικόνα από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση

Το αρχείο signature file ανοίγει με το **Signature Editor** από τον κατάλογο του Classifier του Erdas Imagine 9.0, οπότε φαίνεται ένα παράθυρο σαν το παρακάτω :



Class #	>	Signature Name	Color	Red	Green	Blue	Value	Order	Count	Prob.	P	I	H	A	FS
1	>	Class 1		0.322	0.345	0.336	1	1	1686	1.000	X	X	X		
2		Class 2		0.545	0.558	0.618	2	2	22907	1.000	X	X	X		
3		Class 3		0.610	0.578	0.636	3	3	34415	1.000	X	X	X		
4		Class 4		0.654	0.618	0.663	4	4	29999	1.000	X	X	X		
5		Class 5		0.627	0.757	0.744	5	5	19488	1.000	X	X	X		
6		Class 6		0.697	0.623	0.671	6	6	33676	1.000	X	X	X		
7		Class 7		0.704	0.789	0.766	7	7	31141	1.000	X	X	X		
8		Class 8		0.741	0.612	0.670	8	8	31929	1.000	X	X	X		
9		Class 9		0.765	0.722	0.734	9	9	26782	1.000	X	X	X		
10		Class 10		0.799	0.616	0.678	10	10	27106	1.000	X	X	X		
11		Class 11		0.871	0.659	0.709	11	11	18488	1.000	X	X	X		
12		Class 12		0.821	0.874	0.825	12	12	17810	1.000	X	X	X		
13		Class 13		0.733	0.999	0.883	13	13	21432	1.000	X	X	X		
14		Class 14		1.000	0.700	0.746	14	14	5787	1.000	X	X	X		
15		Class 15		0.848	1.000	1.000	15	15	6027	1.000	X	X	X		

**Εικόνα 4-8:Signature file στο Signature Editor του Erdas Imagine 9**

Παραπάνω φαίνονται σημαντικές πληροφορίες σχετικά με τις τάξεις που δημιουργήθηκαν όπως το όνομα της κάθε τάξης, το χρώμα με το οποίο αυτή απεικονίζεται και άλλα. Πολύ σημαντικές πληροφορίες περιέχονται στη στήλη **Count**. Πιο συγκεκριμένα στη στήλη αυτή υπάρχει ο αριθμός των εικονοστοιχείων που τοποθετήθηκαν στην κάθε τάξη. Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό αυτό με τις διαστάσεις του εικονοστοιχείου μπορούμε να υπολογίσουμε την έκταση της κάθε τάξης, της κάθε χρήσης γης.

Η μεγάλη χωρική διαχωριστική ικανότητα των δορυφορικών λήψεων μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα κατά την ταξινόμηση τους. Σε μια δεντροκαλλιέργεια για παράδειγμα το έδαφος ανάμεσα σε δυο δέντρα κατά πάσα πιθανότητα θα ταξινομηθεί σε διαφορετική τάξη από τα δέντρα. Κάτι τέτοιο όμως θα ήταν λανθασμένο. Σε μια προσπάθεια να αντιμετωπισθεί η δυσκολία αυτή δημιουργούνται από τις αρχικές λήψεις άλλες με μικρότερη χωρική διαχωριστική ικανότητα. Για την ακρίβεια θα δημιουργηθούν 3 ακόμα εικόνες για κάθε μια από τις δυο προς ταξινόμηση εικόνες (την ορθοδιορθωμένη λήψη 1 και την ορθοδιορθωμένη – επεξεργασμένη λήψη 2) με μέγεθος εικονοστοιχείου **3,5m x 3,5m** , **7m x 7m** και **21m x 21m** αντίστοιχα με σκοπό να επιτευχθεί η κατά το δυνατό καλύτερη ταξινόμηση. Η δημιουργία των



εικόνων αυτών έγινε με το ‘εργαλείο’ Resample’ του ArcGIS 9 και η μέθοδος που δειγματοληψίας που χρησιμοποιήθηκε είναι η Nearest Αυτό για την περίπτωση, παραδείγματος χάρη , της εικόνας με μέγεθος εικονοστοιχείου 3,5 m που δημιουργήθηκε από την αρχική όπου το μέγεθος του κάθε εικονοστοιχείου ήταν 0,7 m σημαίνει πως 25 εικονοστοιχεία από την αρχική εικόνα (ένα τετράγωνο με 5 εικονοστοιχεία στην κάθε πλευρά) ομαδοποιήθηκαν σε ένα του οποίου η φωτεινότητα ισούται με το μέσο όρο των τιμών της φωτεινότητας των 25 εικονοστοιχείων της αρχικής εικόνας. Παρακάτω φαίνεται η επίδραση της παραπάνω διαδικασίας στην αρχική εικόνα:



**Μέγεθος εικονοστοιχείου 0,7 m x 0,7 m**



**Μέγεθος εικονοστοιχείου 3,5 m x 3,5**

**m**



**Μέγεθος εικονοστοιχείου 7 m x 7 m**



**Μέγεθος εικονοστοιχείου 21 m x21 m**

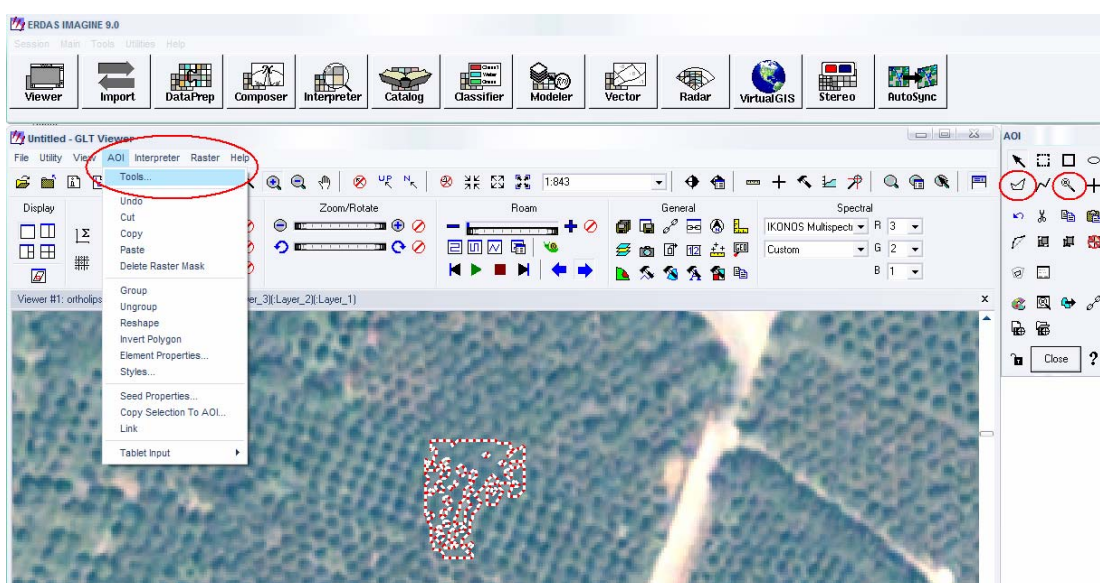
**Εικόνα 4-9: Μείωση της χωρικής διαχωριστικής ικανότητας των αρχικών εικόνων**

Η διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω (της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης) επαναλαμβάνεται για την κάθε μια από τις έξι εικόνες που θα δημιουργηθούν.

#### 4.4.3. Επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Supervised Classification)


Κατά την επιβλεπόμενη ταξινόμηση ορίζονται από τον χρήστη κάποια πρότυπα εικονοστοιχεία (υπογραφές - signatures) για την κάθε τάξη, δηλαδή για την κάθε χρήση γης, με τα οποία συγκρίνονται τα υπόλοιπα εικονοστοιχεία της εικόνας ώστε να ταξινομηθούν, δηλαδή να τοποθετηθούν στην τάξη της οποίας τα πρότυπα εικονοστοιχεία εμφανίζουν τη μεγαλύτερη ομοιότητα με αυτά. Έτσι λοιπόν η επιβλεπόμενη ταξινόμηση, σε αντίθεση με την μη επιβλεπόμενη, είναι μια διαδικασία ελεγχόμενη από τον χρήστη (περισσότερες πληροφορίες για την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση στο κεφάλαιο 2.5.3).



Το λογισμικό πακέτο Erdas Imagine 9.0 παρέχει στον χρήστη τη δυνατότητα να ορίσει τα πρότυπα για την κάθε τάξη εικονοστοιχεία, τις υπογραφές δηλαδή για την κάθε τάξη, και στη συνέχεια να προβεί σε επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας. Ο ορισμός των υπογραφών γίνεται με τη βοήθεια των εργαλείων ΑΟΙ που βρίσκονται στο **Viewer** του Erdas Imagine 9.




Εικόνα 4-10: AOI Tools στο Erdas Imagine 9

Χρησιμοποιώντας τα εργαλεία ΑΟΙ μπορούν να οριστούν υπογραφές με δυο τρόπους :

Επιλέγοντας το εικονίδιο  σχεδιάζουμε ένα πολύγωνο το οποίο να περικλείει την περιοχή ενδιαφέροντος μας, τα πρότυπα για την εκάστοτε τάξη εικονοστοιχεία.

Εναλλακτικά μπορεί ο χρήστης να επιλέξει το εικονίδιο  και να κάνει «κλικ» σε κάποιο σημείο - εικονοστοιχείο της εικόνας, χαρακτηριστικό για κάποια τάξη οπότε και δημιουργείται ένα πολύγωνο στο οποίο περικλείονται εικονοστοιχεία γειτονικά στο σημείο που επελέγη και με «κοντινές» σε αυτό τιμές φωτεινότητας. Για να είναι η υπογραφή που δημιουργήθηκε χαρακτηριστική της τάξης θα πρέπει προηγουμένως να έχουν οριστεί παράμετροι σχετικές με το αριθμό των εικονοστοιχείων της υπογραφής, τις διαφορές της φωτεινότητας μεταξύ των εικονοστοιχείων κ.α. Για να οριστούν οι παράμετροι αυτές πρέπει να επιλεγεί το εικονίδιο .

Αφού δημιουργηθεί το πολύγωνο που περικλείει τα πρότυπα για την εκάστοτε τάξη εικονοστοιχεία πρέπει να καταχωρηθεί ως υπογραφή για την τάξη αυτή. Αυτό γίνεται με τη βοήθεια του **Signature Editor** που βρίσκεται στον κατάλογο του εικονιδίου **Classifier** του Erdas Imagine 9.0.

Ενώ είναι επιλεγμένο το πολύγωνο που δημιουργήθηκε προηγουμένως επιλέγεται το εικονίδιο  για να καταχωρηθεί η υπογραφή της εκάστοτε τάξης. Στην συνέχεια μπορεί να επιλεγεί όνομα αλλά και χρώμα για την τάξη αυτή ώστε μετά την ταξινόμηση να ξεχωρίζει από τις υπόλοιπες. Μόλις καταχωρηθούν με τον ίδιο τρόπο οι υπογραφές για όλες τις τάξεις αποθηκεύονται σε ένα αρχείο (signature file).

Η επιλογή των υπογραφών είναι καθοριστικής σημασίας για την ποιότητα της ταξινόμησης για αυτό πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή. Πιο

συγκεκριμένα κατά την επιλογή των υπογραφών ο χρήστης θα πρέπει να προσέξει τα εξής :

1. Στα πολύγωνα των υπογραφών θα πρέπει να περικλείονται, κατά το δυνατό, μόνο πρότυπα εικονοστοιχεία της εκάστοτε τάξης.
2. Θα πρέπει να οριστεί τουλάχιστον μια υπογραφή για κάθε σημαντική τάξη – χρήση γης της περιοχής που απεικονίζεται στην δορυφορική εικόνα ώστε να αποφευχθεί υπερβολική γενίκευση, χωρίς αυτή να είναι δυνατό να αποφευχθεί τελείως.
3. Για τάξεις στις οποίες ανήκουν εικονοστοιχεία τα οποία εμφανίζουν, για διάφορους λόγους, μεγάλες φασματικές διαφορές μεταξύ τους είναι πιθανό να χρειαστούν περισσότερες από μια υπογραφές.
4. Το μέγεθος των υπογραφών θα πρέπει να είναι περίπου το ίδιο για όλες, και δεν πρέπει να είναι ούτε πολύ μεγάλο για αποφευχθεί γενίκευση, ούτε πολύ μικρό ώστε να δημιουργηθεί σύγχυση μεταξύ των τάξεων.

Οι τάξεις που δημιουργούνται στις εικόνες είναι οι παρακάτω :

A/a	Ονομασία Τάξης
	Λήψη 1
1	Ελιές
2	Θάμνοι
3	Κηπευτικά
4	Βράχος
5	Κτίρια
6	Ακαλλιέργητο Έδαφος
7	Δρόμος
8	Δρόμος Εθνική
9	Θάλασσα
10	Λίμνη
11	Ποταμός
12	Πορτοκαλιές
13	Πλατάνια

A/a	Ονομασία Τάξης
	Λήψη 2
1	Ελιές
2	Θάμνοι
3	Κηπευτικά
4	Βράχος
5	Κτίρια
6	Ακαλλιέργητο Έδαφος - Βοσκότοποι
7	Δρόμος Ασφαλτος
8	Χωματόδρομος
9	Εκτατικές Καλλιέργειες Μικρού Ύψους
10	Λιβάδι
11	Χιόνι
12	Κυπαρίσσια

**Πίνακας 4-2 : Ονομασίες Τάξεων**

Όπως προαναφέρθηκε οι παραπάνω τάξεις μπορούν να χωριστούν σε υποτάξεις με διαφορετικές υπογραφές ώστε να συμπεριληφθούν στις τάξεις αυτές και εικονοστοιχεία τα οποία εμφανίζουν μεγάλες φασματικές διαφορές μεταξύ τους.

Το τι περιέχεται στην κάθε τάξη φαίνεται από την ονομασία της κάθε μίας. Παρόλα αυτά κρίνεται σκόπιμο αυτό να διευκρινιστεί για ορισμένες από τις παραπάνω τάξεις. Έτσι στην τάξη **Ακαλλιέργητο Έδαφος** περιέχονται τμήματα των εικόνων που απεικονίζουν χέρσα, ακαλλιέργητη γη στην οποία μπορεί να εμφανίζεται πολύ αραιά θαμνώδης βλάστηση και να χρησιμοποιείται σαν βοσκότοπος. Επίσης στην τάξη **Εκτατικές Καλλιέργειες Μικρού Ύψους** περιέχονται τμήματα των εικόνων που απεικονίζουν καλλιέργειες Σιτηρών και Τριφυλλίου (οροπέδιο Ομαλού). Παρόμοιου τύπου καλλιέργειες είναι και αυτές που περιέχονται στην τάξη **Λιβάδι**, με διαφορά το έντονο πράσινο χρώμα των φυτών (χλωρά φυτά)

Μετά τον ορισμό των υπογραφών για όλες της τάξεις της περιοχής που απεικονίζεται στην δορυφορική εικόνα και τη δημιουργία ενός signature file είναι δυνατή η επιβλεπόμενη ταξινόμηση της εικόνας. Οπότε γίνεται επιλογή του **Supervised Classification** από τον κατάλογο του εικονιδίου **Classifier** του Erdas Imagine 9.0. Στο παράθυρο που εμφανίζεται εισάγονται:

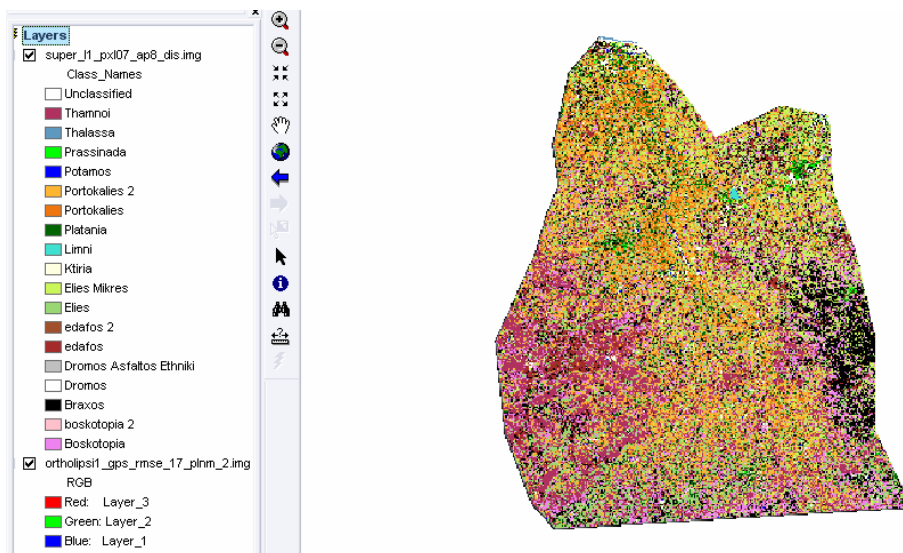
1. Η εικόνα που πρόκειται να ταξινομηθεί
2. Το signature file που θα χρησιμοποιηθεί

Μετά την εισαγωγή των παραπάνω μπορεί να αρχίσει η επιβλεπόμενη ταξινόμηση, η οποία μπορεί να διαρκέσει μεγάλο χρονικό διάστημα. Μόλις αυτή ολοκληρωθεί παράγονται δυο αρχεία :

1. Η ταξινομημένη εικόνα
2. Ένα distance file (το οποίο θα χρησιμοποιηθεί για την μετέπειτα βελτίωση της ταξινόμησης).

Το αποτέλεσμα της ταξινόμησης των δύο από τις εικόνες φαίνεται παρακάτω στο ArcGIS 9 όπου φαίνεται η ταξινομημένη εικόνα και αριστερά το υπόμνημα όπου φαίνεται το χρώμα της κάθε τάξης και το όνομα της τα οποία επιλέχθηκαν προηγουμένως από τον χρήστη.





Εικόνα 4-11: Η λήψη 1 μετά από επιβλεπόμενη ταξινόμηση στο ArcGIS 9.0

Αν από τον κατάλογο Raster στο Viewer του Erdas Imagine 9.0 επιλεγεί το **Attributes** εμφανίζεται ο παρακάτω πίνακας ο οποίος περιέχει σημαντικές πληροφορίες για την ταξινόμηση. Στη στήλη **Histogram** εμφανίζεται ο αριθμός των εικονοστοιχείων που τοποθετήθηκαν στην κάθε τάξη που δημιουργήθηκε προηγουμένως. Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό αυτό με τις διαστάσεις του εικονοστοιχείου είναι δυνατός ο υπολογισμός της έκτασης της κάθε τάξης, της κάθε χρήσης γης :

Raster Attribute Editor - super_11_pxl07_ap8_dis.img(:Layer_1)							
File Edit Help							
Layer Number: 1							
Row	Histogram	Color	Red	Green	Blue	Opacity	Class Names
0	237645511		0	0	0	0	Unclassified
1	12681590		0	0.39	0	0	1 Platania
2	18314537		0.94	0.46	0.06	0	1 Portokallies
3	48308816		1	0.71	0.2	0	1 Portokallies 2
4	101355		0.37	0.6	0.75	0	1 Thalassa
5	170647		0.25	0.88	0.82	0	1 Limni
6	38798147		0.79	0.96	0.35	0	1 Elies Mikres
7	2868642		1	1	0.88	0	1 Ktiria
8	2757986		1	1	1	0	1 Dromos
9	36600229		0.6	0.84	0.45	0	1 Elies
10	782039		0	1	0	0	1 Prassinada
11	13956452		0.65	0.16	0.16	0	1 edafos
12	29878		0.75	0.75	0.75	0	1 Dromos Asfaltos Ethniki
13	44775128		0.69	0.19	0.38	0	1 Thamnoi
14	1454721		0.63	0.32	0.17	0	1 edafos 2
15	37114268		0	0	0	0	1 Braxos
16	908502		0	0	1	0	1 Potamos
17	30699599		0.93	0.51	0.93	0	1 Boskotopia
18	3338484		1	0.75	0.8	0	1 boskotopia 2

Εικόνα 4-12: Attributes στο Viewer Erdas Imagine 9

Η παραπάνω διαδικασία, κυρίως ο ορισμός των υπογραφών, θα πρέπει να επαναληφθεί όσες φορές χρειαστεί μέχρι η ταξινομημένη εικόνα που να

προκύψει να είναι όσο το δυνατό πιο ακριβής. Η διαδικασία λοιπόν αυτή μπορεί να αποβεί επίπονη και χρονοβόρα καθώς μπορεί να χρειαστούν πολλές επαναλήψεις και πειραματισμοί μέχρι να επιτευχθούν ακριβή αποτελέσματα. Η παραπάνω διαδικασία, συμπεριλαμβανομένων των πειραματισμών με σκοπό τη λήψη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος πρέπει να επαναληφθεί και για τις δυο λήψεις (την ορθοδιορθωμένη λήψη 1 και την ορθοδιορθωμένη λήψη 2 στην οποία αφαιρέθηκε η επικάλυψη της λήψης 1). Επιπρόσθετα η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί και για τις εικόνες μικρότερης ανάλυσης από τις αρχικές που δημιουργήθηκαν (οι αρχικές εικόνες έχουν μέγεθος εικονοστοιχείου 0,7m x 0.7m και αυτές που δημιουργήθηκαν από τις αρχικές έχουν μέγεθος εικονοστοιχείου 3.5m x 3.5m , 7m x 7m και 21m x 21m). Επομένως η διαδικασία θα πρέπει να επαναληφθεί 8 φορές.

Όπως αναφέρθηκε και στην παραπάνω παράγραφο η διαδικασία του ορισμού των πρότυπων για την εκάστοτε τάξη εικονοστοιχείων, των υπογραφών δηλαδή, πρέπει να πραγματοποιηθεί και για τις εικόνες μικρότερης ανάλυσης από τις αρχικές (με μέγεθος εικονοστοιχείου 0,7m x 0.7m) που δημιουργήθηκαν. Αξίζει να αναφερθεί πως όσο μικρότερη γίνεται η χωρική διαχωριστική ικανότητα της εικόνας τόσο δυσκολότερη γίνεται η διαδικασία εντοπισμού των προτύπων εικονοστοιχείων, καθώς λόγω της ομαδοποίησης των εικονοστοιχείων η διάκριση αντικειμένων πάνω στην δορυφορική εικόνα γίνεται δυσκολότερη. Επίσης όσο μικρότερη γίνεται η χωρική διαχωριστική ικανότητα της εικόνας τόσο λιγότερα εικονοστοιχεία πρέπει να αποτελούν την κάθε υπογραφή, ώστε οι υπογραφές να καταλαμβάνουν περίπου την ίδια έκταση στις εικόνες όλων των αναλύσεων.

Αφού λοιπόν ολοκληρωθούν οι απαραίτητες επαναλήψεις ώστε να προκύψουν ακριβή αποτελέσματα για τις δορυφορικές εικόνες όλων των αναλύσεων και για τις δυο λήψεις, αυτά μπορούν να επεξεργαστούν περαιτέρω ώστε να βελτιωθεί η ακρίβειά τους. Αναλυτικότερα η ομοιογένεια των τάξεων μπορεί να αυξηθεί ταξινομώντας εικονοστοιχεία που αρχικά ανήκουν σε μια τάξη Α αλλά περιβάλλονται από εικονοστοιχεία που ανήκουν σε μια τάξη Β στην τάξη Β. Για παράδειγμα αν εμφανίζεται ένα εικονοστοιχείο να ανήκει στην τάξη με όνομα Θάμνοι σε ένα κομμάτι της εικόνας που όλα τα γειτονικά

του ανήκουν στην τάξη με όνομα Ελιές τότε και αυτό ταξινομείται στην τάξη Ελιές. Η διαδικασία αυτή γίνεται με το **Fuzzy Convolution** από τον κατάλογο του εικονιδίου Classifier.

Στο παράθυρο του Fuzzy Convolution εισάγονται:

1. Η προς βελτίωση ταξινομημένη εικόνα
2. Το distance file που δημιουργήθηκε κατά την ταξινόμηση
3. Window Size (για τις εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείου 0,7m x 0,7m χρησιμοποιήθηκε window size 7x7, για τις εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείου 3,5m x 3,5m και 7m x 7m χρησιμοποιήθηκε window size 5x5 και τέλος για τις εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείου 21 m x 21 m χρησιμοποιήθηκε window size 3x3)
4. Neighbor Weight Factor (0,75)

Μετά την ολοκλήρωση της παραπάνω διαδικασίας παράγεται μια ταξινομημένη εικόνα με μεγαλύτερη ομοιογένεια.

#### **4.4.4. Παρουσίαση Αποτελεσμάτων Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης**

Ακολουθώντας την διαδικασία που περιγράφηκε παραπάνω προέκυψαν 8 ταξινομημένες εικόνες (4 για κάθε μια από τις δυο λήψεις με μέγεθος εικονοστοιχείου 0.7m x 0.7m, 3.5m x3.5m, 7m x7m και 21m x21m). Η ακρίβεια της ταξινόμησης για τις εικόνες αυτές εκτιμήθηκε από τον χρήστη με σύγκριση τους με τις αρχικές εικόνες αλλά και με επιτόπου παρατήρηση στο πεδίο. Παρακάτω ακολουθεί παρουσίαση των αποτελεσμάτων αυτών και σχολιασμός τους χρησιμοποιώντας και τις παρατηρήσεις που προέκυψαν από την σύγκριση τους με τις αρχικές εικόνες και το πεδίο.

Για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση των δυο δορυφορικών λήψεων της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη (για κάθε μια υπάρχουν 4 εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείου 0.7m x 0.7m, 3.5m x3.5m, 7m x7m και 21m x21m)



χρησιμοποιήθηκαν 18 και 22 υπογραφές αντίστοιχά ώστε να ταξινομηθούν οι εικόνες στις τάξεις που φαίνονται στον πίνακα 4.2 (οι υπογραφές παρουσιάζονται περισσότερες από τις τάξεις επειδή πολλές από τις παραπάνω τάξεις παραπάνω έπρεπε να χωριστούν σε υποτάξεις με διαφορετικές υπογραφές ώστε να συμπεριληφθούν στις τάξεις αυτές και εικονοστοιχεία τα οποία εμφανίζουν μεγάλες φασματικές διαφορές μεταξύ τους).

Μετά το πέρας της ταξινόμησης η αρχική εικόνα χωρίζεται σε τόσες τάξεις όσες υπογραφές χρησιμοποιήθηκαν. Ο αριθμός των εικονοστοιχείων που ταξινομήθηκαν στην κάθε τάξη εμφανίζεται αν από τον κατάλογο Raster στο Viewer του Erdas Imagine 9.0 επιλεγεί το **Attributes** στη στήλη **Histogram** (βλ. Εικόνα 4-41). Πολλαπλασιάζοντας τον αριθμό αυτό με τις διαστάσεις του κάθε εικονοστοιχείου είναι δυνατός ο υπολογισμός της έκτασης που καταλαμβάνει η κάθε τάξη στην περιοχή. Έτσι για την πρώτη λήψη, για όλες τις διαστάσεις των εικονοστοιχείων, προκύπτει ο παρακάτω πίνακας.

Λήψη 1									
Α/α	Εικονοστοιχείο Όνομα Τάξης	0.7m x 0.7m		3.5m x 3.5m		7m x 7m		21m x 21m	
		# pixel	Έκταση (m <sup>2</sup> )	# pixel	Έκταση (m <sup>2</sup> )	# pixel	Έκταση (m <sup>2</sup> )	# pixel	Έκταση (m <sup>2</sup> )
1	Unclassified	237.645.511	116.446.300,4	946.6866	115.969.108,5	2.378.000	116.522.000,0	263.459	116.185.419,0
2	Θάλασσά	101.355	49.664,0	3.248	39.788,0	770	37.730,0	1.121	494.361,0
3	Ακαλλιέργητο Έδαφος	13.956.452	6.838.661,5	433.368	5.308.758,0	86.204	4.223.996,0	2.311	1.019.151,0
4	Δρόμος Εθνική	29.878	14.640,2	21.262	260.459,5	1.837	90.013,0	15.127	6.671.007,0
5	Δρόμος	2.757.986	1.351.413,1	176.162	2.157.984,5	114.620	5.616.380,0	0	0
6	Πλατάνια	12.681.590	6.213.979,1	352.112	4.313.372,0	117.362	5.750.738,0	0	0
7	Πορτοκαλιές 1	18.314.537	8.974.123,1	1.434.300	17.570.175,0	145.602	7.134.498,0	123.724	54.562.284,0
8	Λίμνη	170.647	83.617,0	6.869	84.145,3	1.696	83.104,0	263	115.983,0
9	Κηπευτικά	782.039	383.199,1	15.744	192.864,0	7.947	389.403,0	5.638	2.486.358,0
10	Ποταμός	908.502	445.166,0	50.022	612.769,5	7.957	389.893,0	0	0
11	Ελιές Μικρές	38.798.147	19.011.092,0	1.396.211	17.103.584,8	135.620	6.645.380,0	30.493	13.447.413,0
12	Κτίρια	2.868.642	1.405.634,6	88.029	1.078.355,3	29.894	1.464.806,0	0	0
13	Πορτοκαλιές 2	48.308.816	23.671.319,8	1.587.539	19.447.352,8	590.709	28.944.741,0	0	0
14	Βράχος	37.114.268	18.185.991,3	1.251.373	15.329.319,3	262.624	12.868.576,0	54.263	23.929.983,0
15	Θάμνοι 1	44.775.128	21.939.812,7	1.839.761	22.537.072,3	510.610	25.019.890,0	31	13.671,0
16	Θάμνοι 2	30.699.599	15.042.803,5	1.089.510	13.346.497,5	30.153	1.477.497,0	0	0
17	Θάμνοι 3	3.338.484	1.635.857,2	164.338	2.013.140,5	138.430	6.783.070,0	4.270	1.883.070,0
18	Ακαλλιέργητο Έδαφος 2	1.454.721	712.813,3	243.618	2.984.320,5	78.295	3.836.455,0	91.432	40.321.512,0
19	Ελιές	36.600.229	17.934.112,2	1.558.440	19.090.890,0	686.230	33.625.270,0	0	0
	<b>Άθροισμα</b>	<b>531.306.531</b>	<b>260.340.200,1</b>	<b>21.178.772</b>	<b>259.439.957,3</b>	<b>5.324.560</b>	<b>260.903.440</b>	<b>592.132</b>	<b>261.130.212</b>

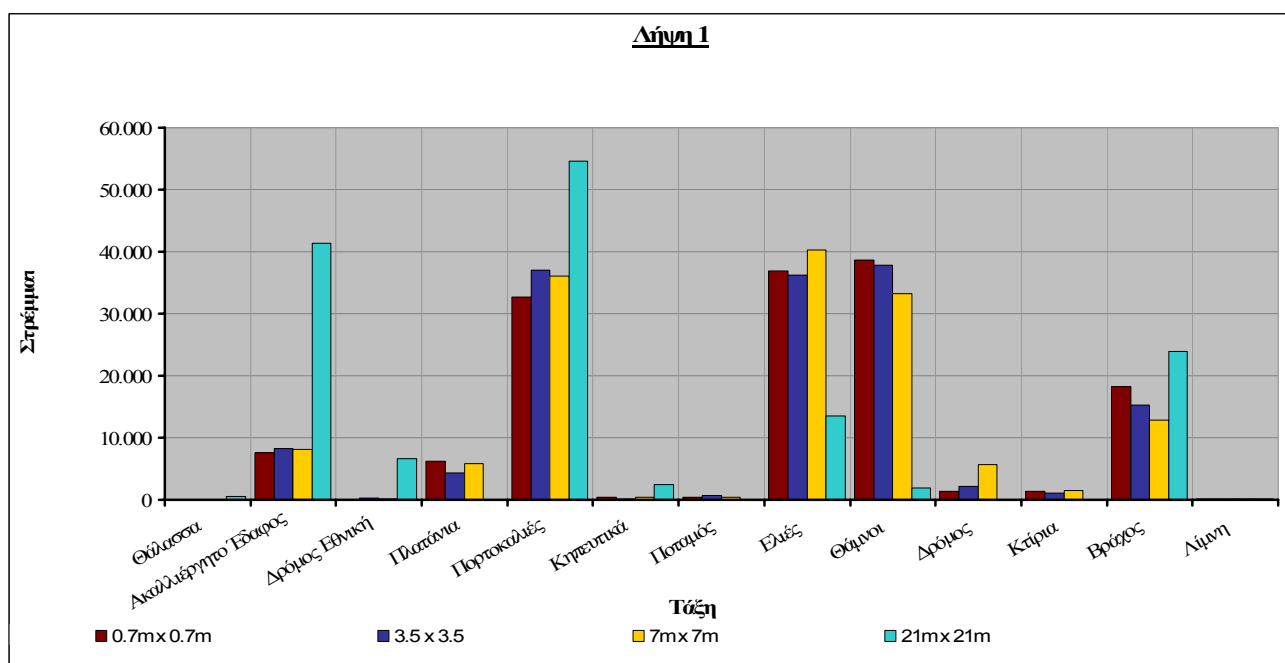
Πίνακας 4-3: Αριθμός εικονοστοιχείων και έκταση ανά τάξη για την λήψη 1

Προσθέτοντας τις όμοιες τάξεις (υποτάξεις) προκύπτει ο παρακάτω πίνακας ο οποίος περιέχει τις τάξεις όπως αυτές εμφανίζονται στον πίνακα 4-1 και την έκταση της κάθε τάξης σε στρέμματα:

Λήψη 1					
A/a	Εικονοστοιχείο Όνομα Τάξης	0.7m x 0.7m Έκταση (Στρέμματα)	3.5m x 3.5m Έκταση (Στρέμματα)	7m x 7m Έκταση (Στρέμματα)	21m x 21m Έκταση (Στρέμματα)
1	Θάλασσα	49,66	39,79	37,73	494,36
2	Ακαλλιέργητο Έδαφος	7.551,47	8.293,08	8.060,45	41.340,66
3	Δρόμος Εθνική	14,64	260,46	90,01	6.671,01
4	Πλατάνια	6.213,98	4.313,37	5.750,74	0,00
5	Πορτοκαλιές	32.645,44	37.017,53	36.079,24	54.562,28
6	Κηπευτικά	383,20	192,86	389,40	2.486,36
7	Ποταμός	445,17	612,77	389,89	0,00
8	Ελιές	36.945,20	36.194,47	40.270,65	13.447,41
9	Θάμνοι	38.618,47	37.896,71	33.280,46	1.896,74
10	Δρόμος	1.351,41	2.157,98	5.616,38	0,00
11	Κτίρια	1.405,63	1.078,36	1.464,81	0,00
12	Βράχος	18.185,99	15.329,32	12.868,58	23.929,98
13	Λίμνη	83,62	84,15	83,10	115,98
	Αθροισμα	143.893,88	143.470,85	144.381,44	144.944,78

Πίνακας 4-4: Έκταση τάξεων για την λήψη 1

Με βάση τον παραπάνω πίνακα κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα που παρουσιάζει τον αριθμό στρεμμάτων ανά τάξη για όλες τις διαστάσεις εικονοστοιχείων για την λήψη 1:



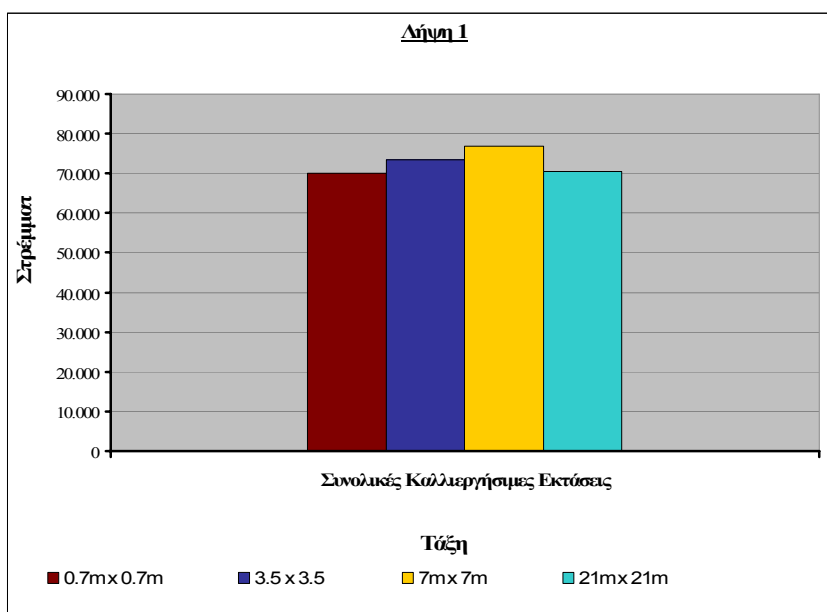
Διάγραμμα 4-1: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη για την λήψη 1

Αθροίζοντας τις τάξεις οι οποίες αναφέρονται σε καλλιέργειες (Πορτοκαλιές, Ελιές, Κηπευτικά) μπορούν να υπολογιστούν οι συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής που απεικονίζονται στην 1<sup>η</sup> λήψη :

<b>Λήψη 1</b>				
<b>Εικονοστοιχείο</b>	<b>0.7m x 0.7m</b>	<b>3.5m x 3.5m</b>	<b>7m x 7m</b>	<b>21m x 21m</b>
<b>Όνομα Τάξης</b>	<b>Έκταση (Στρέμματα)</b>	<b>Έκταση (Στρέμματα)</b>	<b>Έκταση (Στρέμματα)</b>	<b>Έκταση (Στρέμματα)</b>
<b>Πορτοκαλιές</b>	32.645,44	37.017,53	36.079,24	54.562,28
<b>Κηπευτικά</b>	383,20	192,86	389,40	2.486,36
<b>Ελιές</b>	36.945,20	36.194,47	40.270,65	13.447,41
<b>Συνολικές Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις</b>	<b>69.973,84</b>	<b>73.404,86</b>	<b>76.739,29</b>	<b>70.496,05</b>

**Πίνακας 4-5: Συνολικές Καλλιεργήσιμες εκτάσεις για την λήψη 1**

Ακολουθεί ένα διάγραμμα που παρουσιάζει τον αριθμό στρεμμάτων των συνολικών καλλιεργήσιμων εκτάσεων για όλες τις διαστάσεις εικονοστοιχείων για την λήψη 1 με βάση τον παραπάνω πίνακα:



**Διάγραμμα 4-2: Αριθμός καλλιεργήσιμων στρεμμάτων για την λήψη 1**

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα και πίνακες μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα σχετικά με τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την πρώτη λήψη:

1. Το μέγεθος των τάξεων εμφανίζεται σχετικά 'κοντά' για τα τις εικόνες της πρώτης λήψης με μέγεθος εικονοστοιχείου 0.7m x 0.7m, 3.5m x 3.5m και

7m x 7m. Κάτι τέτοιο δεν φαίνεται να συμβαίνει με την εικόνα με μέγεθος 21m x 21m (Αν και στις συνολικές καλλιέργειες δεν εμφανίζονται μεγάλες διαφορές). Η 'ασυμφωνία' αυτή μεταξύ των αποτελεσμάτων οφείλεται στην μικρή χωρική διαχωριστική ικανότητα της εικόνας (λόγω της ομαδοποίησης των εικονοστοιχείων), η οποία δυσκολεύει τη διαδικασία εντοπισμού υπογραφών. Για τον ίδιο λόγο γίνεται δυσκολότερη και η διάκριση αντικειμένων πάνω στην δορυφορική εικόνα. Ο συνδυασμός των δυο παραπάνω μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα κακής ποιότητας ταξινόμηση. Είναι χαρακτηριστικό άλλωστε πως στην τάξη αυτή εμφανίζονται και τάξεις με μηδενικό μέγεθος.

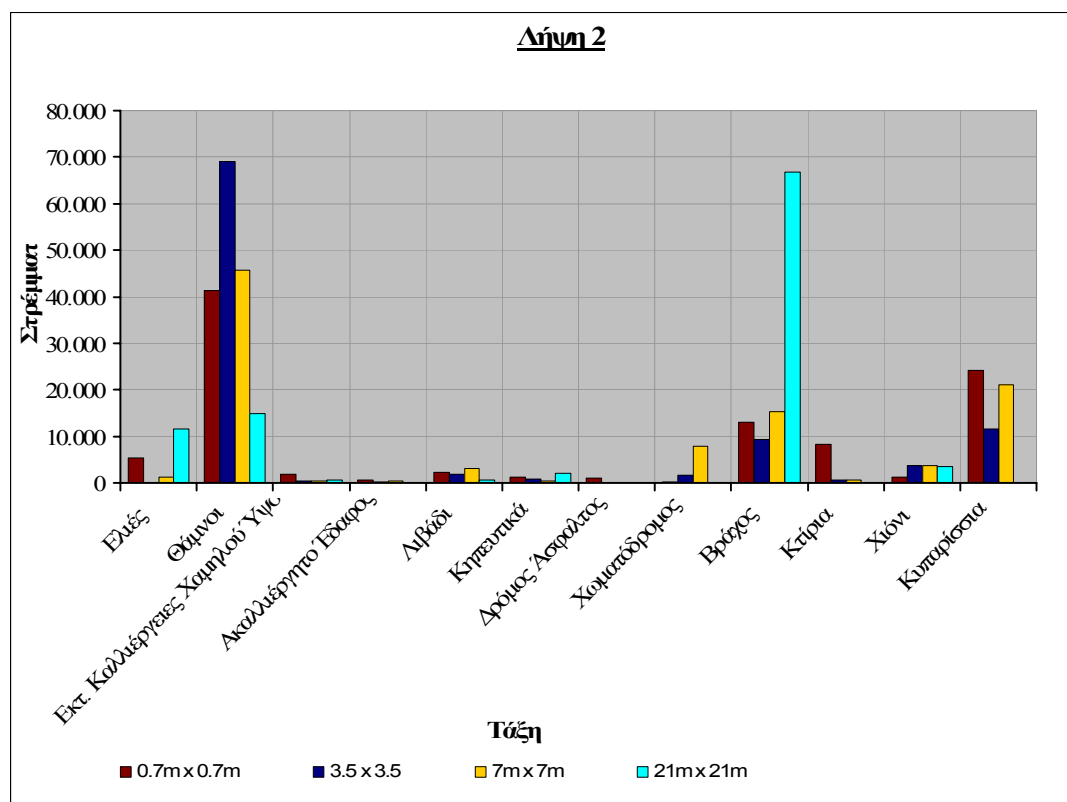
2. Εικονοστοιχεία ταξινομημένα στην τάξη **Πλατάνια** εμφανίζονται σε τμήματα των εικόνων που δεν υπάρχουν πλατάνια αλλά άλλου είδους βλάστηση. Κάτι τέτοιο μπορεί αλλοιώσει τα αποτελέσματα της ταξινόμησης όμως δεν μπορεί να αποφευχθεί. Στην παρούσα μελέτη εκτιμάται πως ο βαθμός αλλοίωσης των αποτελεσμάτων δεν είναι σημαντικός.
3. Στην τάξη **Ποταμός** εκτός από εικονοστοιχεία που απεικονίζουν τον ποταμό ταξινομούνται και εικονοστοιχεία που απεικονίζουν σκιές κτιρίων.
4. Αδυναμία διάκρισης μεταξύ κτιρίων και δρόμων, λόγω της μεγάλης ανακλαστικότητας που εμφανίζουν.

Η παραπάνω διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τα αποτελέσματα από την δεύτερη λήψη οπότε και προκύπτει ο παρακάτω πίνακας με τις τάξεις της ταξινομημένης εικόνας όπως αυτές εμφανίζονται στον πίνακα 4-1 και την έκταση της κάθε τάξης σε στρέμματα για όλα τα μεγέθη εικονοστοιχείων :

Λήψη 2					
A/a	Εικονοστοιχείο	0.7m x 0.7m	3.5m x 3.5m	7m x 7m	21m x 21m
	Όνομα Τάξης	Έκταση (Στρέμματα)			
1	Ελιές	5.452,76	0,00	1.215,25	11.533,03
2	Θάμνοι	41.352,59	68.956,00	45.608,81	14.816,72
3	Εκτατικές Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους	1.775,74	496,88	332,17	688,84
4	Ακαλλιεργητο Έδαφος	583,91	288,71	337,46	0,00
5	Λιβάδι	2.359,82	1.787,52	3.013,40	650,92
6	Κηπευτικά	1.193,73	762,60	474,52	2.085,05
7	Δρόμος Ασφαλτος	1.057,94	0,00	0,00	0,00
8	Χωματόδρομος	206,41	1.628,40	7.773,75	0,00
9	Βράχος	13.001,62	9.246,26	15.241,21	66.691,99
10	Κτίρια	8.188,23	525,57	692,91	0,00
11	Χιόνι	1.281,66	3.618,70	3.649,23	3.438,04
12	Κυπαρίσσια	24.234,11	11.516,70	21.127,92	0,00
	Αθροισμα	100.688,52	98.827,34	99.466,63	99.904,59

Πίνακας 4-6: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη για την λήψη 2

Με βάση τον παραπάνω πίνακα κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα που παρουσιάζει τον αριθμό στρεμμάτων ανά τάξη για όλες τις διαστάσεις εικονοστοιχείων για την λήψη 1:



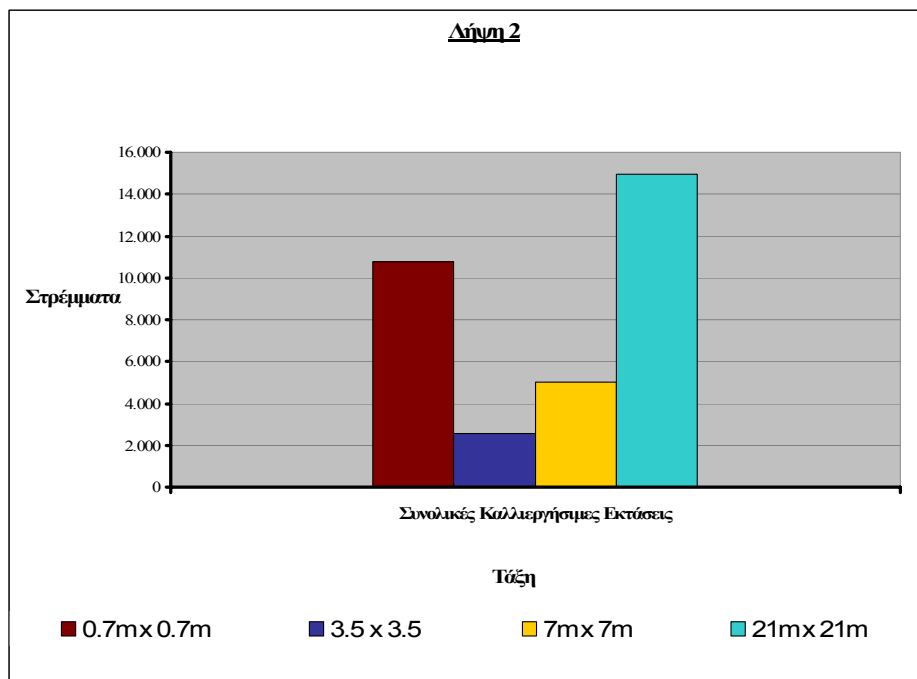
**Διάγραμμα 4-3: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη για την λήψη 2**

Αθροίζοντας και πάλι τις τάξεις οι οποίες αναφέρονται σε καλλιέργειες (Εκτατικές Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους, Ελιές, Κηπευτικά) μπορούν να υπολογιστούν οι συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής που απεικονίζονται στην 2<sup>η</sup> λήψη :

<b>Λήψη 2</b>				
<b>Εικονοστοιχείο</b>	<b>0.7m x 0.7m</b>	<b>3.5m x 3.5m</b>	<b>7m x 7m</b>	<b>21m x 21m</b>
<b>Όνομα Τάξης</b>	<b>Έκταση (Στρέμματα)</b>			
<b>Εκτατικές Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους</b>	1.775,74	496,88	332,17	688,84
<b>Κηπευτικά</b>	1.193,73	762,60	474,52	2.085,05
<b>Λιβάδι</b>	2.359,82	1.290,71	3.013,40	650,92
<b>Ελιές</b>	5.452,76	0,00	1.215,25	11.533,03
<b>Συνολικές Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις</b>	<b>10.782,05</b>	<b>2.550,19</b>	<b>5.035,34</b>	<b>14.957,84</b>

**Πίνακας 4-7: Συνολικές Καλλιεργήσιμες εκτάσεις για την λήψη 2**

Ακολουθεί ένα διάγραμμα που παρουσιάζει τον αριθμό στρεμμάτων των συνολικών καλλιεργήσιμων εκτάσεων για όλες τις διαστάσεις εικονοστοιχείων για την λήψη 2 με βάση τον παραπάνω πίνακα:



**Διάγραμμα 4-4: Αριθμός καλλιεργήσιμων στρεμμάτων για την λήψη 2**

Με βάση τα παραπάνω διαγράμματα και πίνακες μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα σχετικά με τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης και για την δεύτερη λήψη:

1. Το μέγεθος των τάξεων εμφανίζεται σχετικά 'κοντά' για τα τις εικόνες της δεύτερης λήψης με μέγεθος εικονοστοιχείου 0.7m x 0.7m και 7m x 7m. (όχι για την τάξη **Ελιές**). Κάτι τέτοιο δεν φαίνεται να συμβαίνει με τις εικόνες με μέγεθος 3,5m x 3.5m και 21m x 21m οι οποίες εμφανίζουν σημαντικές διαφορές και μεταξύ τους. Η 'ασυμφωνία' αυτή μεταξύ των αποτελεσμάτων για την λήψη με μέγεθος εικονοστοιχείου 21m x 21m οφείλεται στην μικρή χωρική διαχωριστική ικανότητα της εικόνας όπως και παραπάνω. Όπως και στην πρώτη λήψη, έτσι και τώρα στην τάξη αυτή εμφανίζονται και τάξεις με μηδενικό μέγεθος.
2. Αδυναμία διάκρισης μεταξύ κτιρίων και χιονιού, λόγω της μεγάλης ανακλαστικότητας που εμφανίζουν με αποτέλεσμα να εμφανίζεται αυξημένη η

έκταση της τάξης **Κτίρια** σε σχέση με την πραγματικότητα (Κυρίως για την λήψη με μέγεθος εικονοστοιχείου 0,7m x 0,7m). Ωστόσο η αδυναμία αυτή φαίνεται να εξομαλύνεται όσο μικραίνει η χωρική διαχωριστική ικανότητα της εικόνας

3. Η τάξη **Δρόμος Ασφαλτος** εμφανίζεται να έχει μηδενικό μέγεθος για τις όλες τις εικόνες εκτός αυτής με μέγεθος εικονοστοιχείου 0,7m x 0,7m. Κάτι τέτοιο δεν συνέβη στην πρώτη λήψη παρά μόνο στην εικόνα με μέγεθος εικονοστοιχείου 21m x 21m, ενώ στην δεύτερη δεν κατέστη δυνατό να ταξινομηθούν στην τάξη αυτή τα εικονοστοιχεία που απεικονίζουν τους δρόμους, αλλά ταξινομούνται στην τάξη **Βράχος**. Αιτία για την διαφορά αυτή μεταξύ των δυο λήψεων ίσως να είναι πως το οδικό δίκτυο που απεικονίζεται στην δεύτερη λήψη είναι πιο αραιό και αποτελείται από πιο στενούς δρόμους. Ωστόσο κάτι τέτοιο δεν αναμένεται να επηρεάσει σημαντικά τα αποτελέσματα λόγω της μικρής έκτασης της τάξης αυτής και επειδή η παρούσα μελέτη επικεντρώνει περισσότερο στις καλλιέργειες.

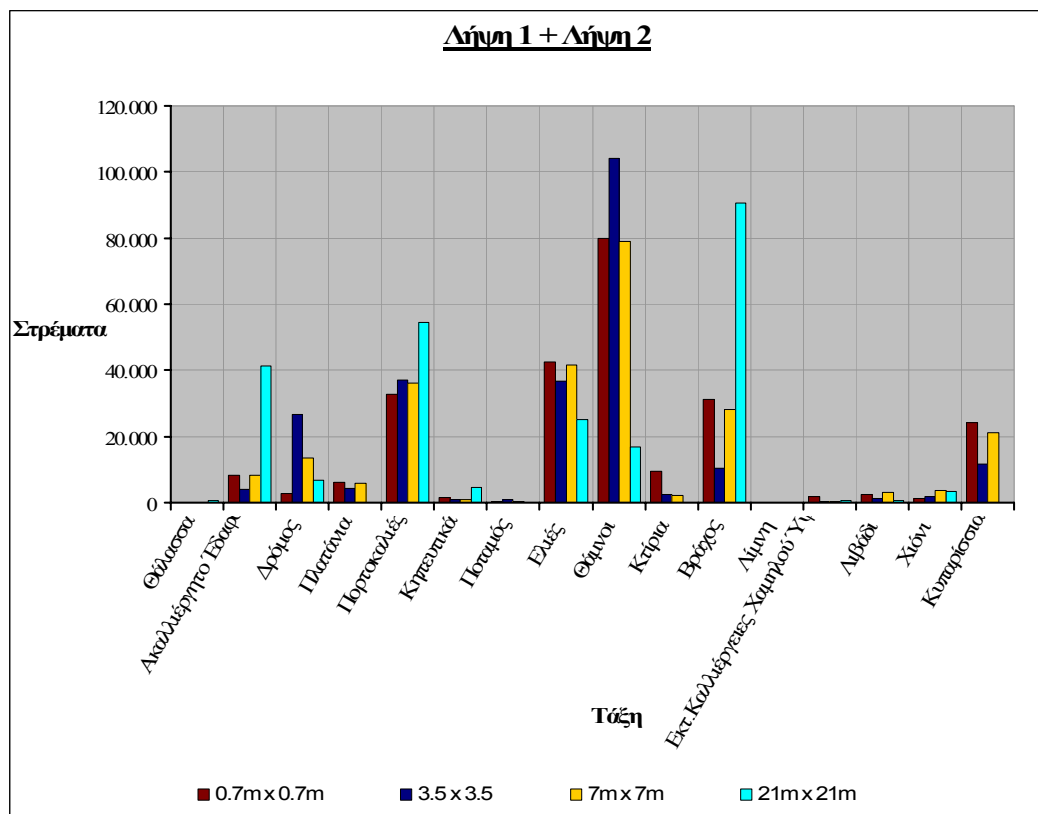
Έχοντας παρουσιάσει και αναλύσει τα αποτελέσματα που προέκυψαν από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση των δυο λήψεων μπορούν να παρουσιαστούν και να αναλυθούν τα συνολικά αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη. Πρέπει να σημειωθεί πως η τρίτη λήψη δεν ελήφθη υπόψη (το τμήμα της που δεν εμφανίζεται στις άλλες δυο λήψεις έχει πολύ μικρή έκταση και απεικονίζει χιονισμένες εκτάσεις). Αυτό μπορεί να επηρεάσει τα συνολικά αποτελέσματα για τις τάξεις **Χιόνι**, **Βράχος** και ίσως την τάξη **Θάμνοι**. Οι προηγούμενες τάξεις δεν θεωρούνται καθοριστικές για τη αξία των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης. Αρχικά αθροίζονται οι τάξεις που εμφανίζονται και στις δυο λήψεις και παρουσιάζονται μαζί με τις υπόλοιπες στον παρακάτω πίνακα :



Λήψη 1 + Λήψη 2					
A/a	Εικονοστοιχείο	0.7m x 0.7m	3.5m x 3.5m	7m x 7m	21m x 21m
	Όνομα Τάξης	Έκταση (Στρέμματα)			
1	Θάλασσα	49,66	35,30	37,73	494,36
2	Ακαλλιέργητο Έδαφος	8.135,38	4.105,56	8.397,91	41.340,66
3	Δρόμος	2.630,41	26.503,51	13.480,15	6.671,01
4	Πλατάνια	6.213,98	4.168,59	5.750,74	0,00
5	Πορτοκαλιές	32.645,44	36.946,60	36.079,24	54.562,28
6	Κηπευτικά	1.576,93	855,59	863,92	4.571,41
7	Ποταμός	445,17	823,92	389,89	0,00
8	Ελιές	42.397,97	36.748,74	41.485,90	24.980,45
9	Θάμνοι	79.971,06	104.181,82	78.889,27	16.713,46
10	Κτίρια	9.593,87	2.568,09	2.157,72	0,00
11	Βράχος	31.187,61	10.488,76	28.109,78	90.621,97
12	Λίμνη	83,62	83,35	83,10	115,98
13	Εκτακτικές Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους	1.775,74	278,21	332,17	688,84
14	Λιβάδι	2.359,82	1.290,71	3.013,40	650,92
15	Χιόνι	1.281,66	1.707,58	3.649,23	3.438,04
16	Κυπαρίσσια	24.234,11	11.511,88	21.127,92	0,00
	Αθροισμα	244.582,43	242.298,21	243.848,07	244.849,38

Πίνακας 4-8: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη και για τις δυο λήψεις

Με βάση τον παραπάνω πίνακα κατασκευάζεται το παρακάτω διάγραμμα που παρουσιάζει τον αριθμό στρεμμάτων για όλες τις τάξεις για όλες τις διαστάσεις εικονοστοιχείων και για τις δυο λήψεις:



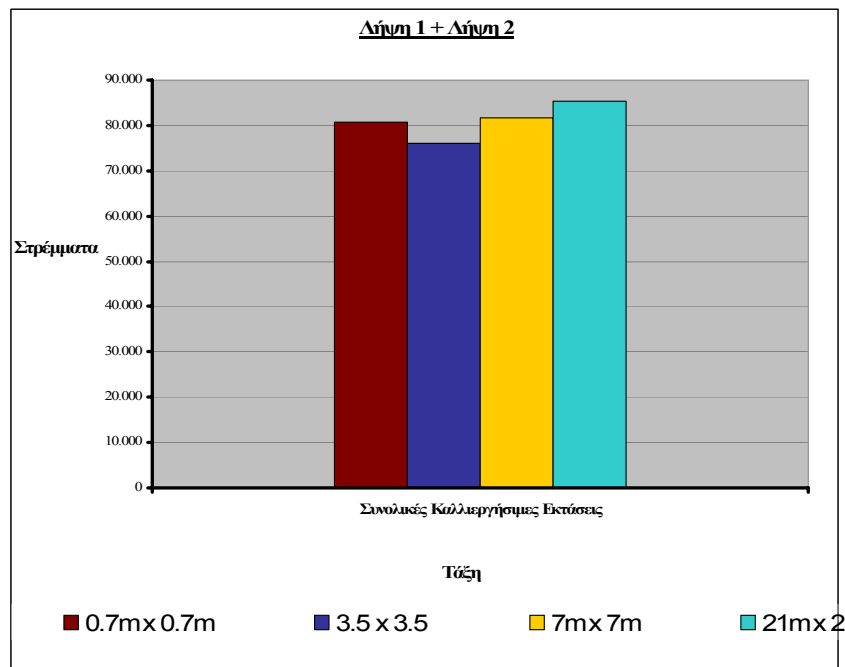
Διάγραμμα 4-5: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη και για τις δυο λήψεις

Αθροίζοντας όπως και προηγουμένως τις τάξεις οι οποίες αναφέρονται σε καλλιέργειες (Πορτοκαλιές, Ελιές, Κηπευτικά, Εκτατικές Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους) μπορούν να υπολογιστούν οι συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής που απεικονίζονται και στις δυο λήψεις. Συγκεκριμένα για τις καλλιέργειες μπορεί να θεωρηθεί πως το άθροισμα των καλλιεργήσιμων εκτάσεων από τις δυο λήψεις ισούται με τις συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις της υδρολογικής λεκάνης του Κερίτη:

<b>Λήψη 1 + Λήψη 2</b>				
<b>Εικονοστοιχείο</b>	<b>0.7m x 0.7m</b>	<b>3.5m x 3.5m</b>	<b>7m x 7m</b>	<b>21m x 21m</b>
<b>Όνομα Τάξης</b>	<b>Έκταση (Στρέμματα)</b>			
<b>Εκτατικές Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους</b>	1.775,74	278,21	332,17	688,84
<b>Λιβάδι</b>	2.359,82	1.290,71	3.013,40	650,92
<b>Κηπευτικά</b>	1.576,93	855,59	863,92	4.571,41
<b>Ελιές</b>	42.397,97	36.748,74	41.485,90	24.980,45
<b>Πορτοκαλιές</b>	32.645,44	36.946,60	36.079,24	54.562,28
<b>Συνολικές Καλλιεργήσιμες Εκτάσεις</b>	<b>80.755,9</b>	<b>76.119,85</b>	<b>81.774,63</b>	<b>85.453,9</b>

**Πίνακας 4-9: Συνολικές Καλλιεργήσιμες εκτάσεις για την λήψη 2**

Στο παρακάτω διάγραμμα παρουσιάζεται ο αριθμός των στρεμμάτων των συνολικών καλλιεργήσιμων εκτάσεων για όλες τις διαστάσεις εικονοστοιχείων και για δυο λήψεις με βάση τον παραπάνω πίνακα:



**Διάγραμμα 4-6: Αριθμός καλλιεργήσιμων στρεμμάτων και για τις δυο λήψεις**

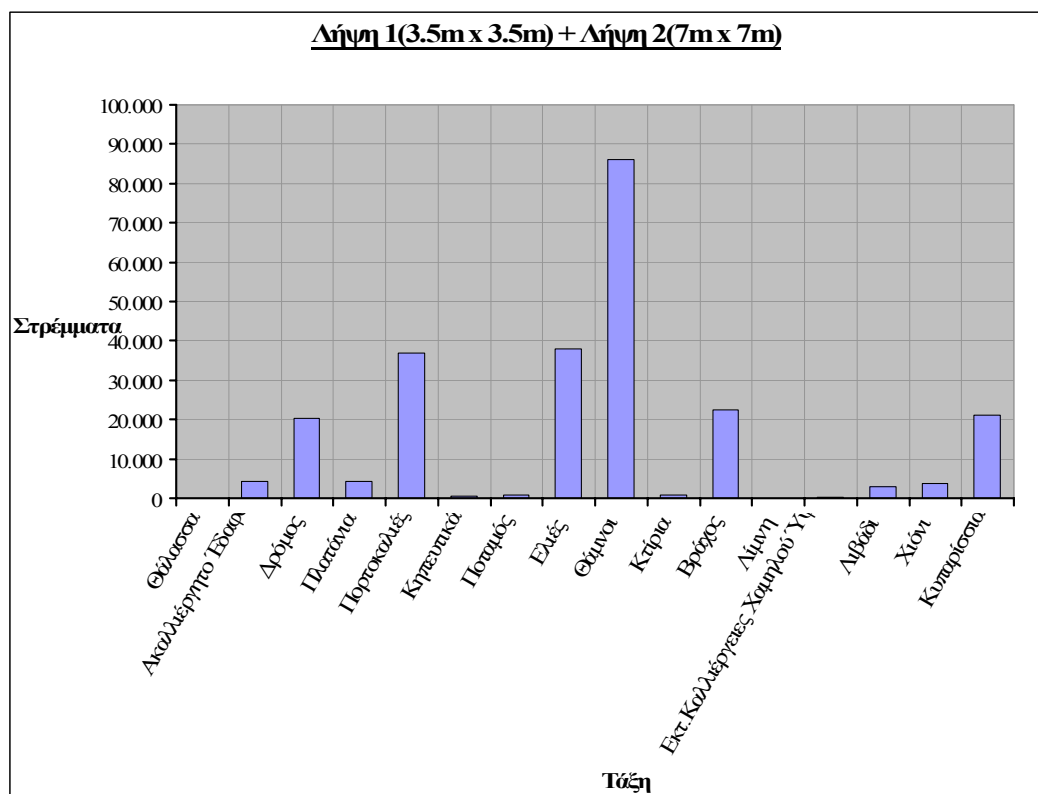
Από τα δυο παραπάνω διαγράμματα μπορεί να εξαχθεί το συμπέρασμα πως ενώ μόνο οι εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείων 0.7m x 0.7m και 7m x 7m εμφανίζουν ‘κοντινά’ αποτελέσματα όλες οι εικόνες εμφανίζουν ‘κοντινά’ αποτελέσματα για τις συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις (πάλι όμως οι προαναφερθείσες εικόνες βρίσκονται ακόμα πιο κοντά).

Έχοντας παρουσιαστεί και σχολιαστεί τα αποτελέσματα από όλες τις λήψεις και αναλύσεις είναι δυνατό πλέον να αποφασιστεί ποιας ανάλυσης δορυφορική εικόνα είναι αντιπροσωπευτικότερή για την κάθε λήψη. Αρχικά πρέπει να επισημανθεί πως οι εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείου 21m x 21m δεν είναι αντιπροσωπευτικές για καμία λήψη λόγω της μικρής τους χωρικής διαχωριστικής ικανότητας. Για τη λήψη 1 αντιπροσωπευτικότερή θεωρείται η δορυφορική εικόνα με μέγεθος εικονοστοιχείου 3.5m x 3.5m, ενώ για την λήψη 2 αντιπροσωπευτικότερή θεωρείται η δορυφορική εικόνα με μέγεθος εικονοστοιχείου 7m x 7m. Τα παραπάνω συμπεράσματα προέκυψαν από σύγκριση των παραπάνω εικόνων με τις αρχικές εικόνες αλλά και με επιτόπου παρατήρηση στο πεδίο, οπότε και διαπιστώθηκε η αυξημένη ακρίβεια τους σε σχέση με τις υπόλοιπες εικόνες. Παρακάτω παρουσιάζονται οι εκτάσεις σε στρέμματα για όλες τις τάξεις για τις παραπάνω εικόνες :

<b>Λήψη 1(3.5m x 3.5m) + Λήψη 2(7m x 7m)</b>		
<b>A/a</b>	<b>Όνομα Τάξης</b>	<b>Έκταση (Στρέμματα)</b>
1	Θάλασσα	35,30
2	Ακαλλιέργητο Έδαφος	4.237,84
3	Δρόμος	20.412,03
4	Πλατάνια	4.168,59
5	Πορτοκαλιές	36.946,60
6	Κηπευτικά	667,36
7	Ποταμός	823,92
8	Ελιές	37.963,99
9	Θάμνοι	86.076,88
10	Κτίρια	909,87
11	Βράχος	22.489,03
12	Λίμνη	83,35
13	Εκτατικές Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους	332,17
14	Λιβάδι	3.013,40
15	Χιόνι	3.649,23
16	Κυπαρίσσια	21.127,92
<b>Άθροισμα</b>		<b>242.937,48</b>

**Πίνακας 4-10: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη και για τις δυο λήψεις (χρησιμοποιώντας την κάθε φορά αντιπροσωπευτικότερη εικόνα)**

Βάσει του παραπάνω πίνακα δημιουργείται το παρακάτω διάγραμμα:



**Διάγραμμα 4-7: Αριθμός στρεμμάτων ανά τάξη και για τις δυο λήψεις (χρησιμοποιώντας την κάθε φορά αντιπροσωπευτικότερη εικόνα)**

Αν όπως και πριν προστεθούν οι εκτάσεις των καλλιεργειών αυτές προκύπτουν ίσες με **78.923,52 στρέμματα**.

#### **4.4.5. Σύγκριση Αποτελεσμάτων Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης με τα Αποτελέσματα της Μη Επιβλεπόμενης**

Η σύγκριση των αποτελεσμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με αυτά της μη επιβλεπόμενης έδειξε πως κατά τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση μεγάλο ποσοστό εικονοστοιχείων που απεικονίζουν το ίδιο είδος πληροφορίας σε διαφορετικές τάξεις με αποτέλεσμα στην ίδια τάξη να εμπεριέχονται εικονοστοιχεία που απεικονίζουν διαφορετικό είδος πληροφορίας. Ενδεικτικά παραθέτεται ο παρακάτω πίνακας που δείχνει σε ποια τάξη, σύμφωνα με την επιβλεπόμενη ταξινόμηση, ανήκουν τα εικονοστοιχεία που τοποθετήθηκαν στις 15 τάξεις που δημιουργήθηκαν από την μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση σε όλες τις εικόνες διαφορετικών αναλύσεων των δυο λήψεων (Οι εικόνες με μέγεθος εικονοστοιχείου 21m x 21m δεν συγκρίθηκαν καθώς δεν θεωρούνται ακριβής) :

Λήψη 1			
Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση		
	0.7m x 0.7m	3.5m x 3.5m	7m x 7m
Class 1	Λίμνη, Θάλασσά	Λίμνη, Θάλασσά, Πορτοκαλιές	Λίμνη, Θάλασσά, Ελιές, Θάμνοι
Class 2	Θάμνοι	Θάμνοι	Θάμνοι
Class 3	Θάμνοι	Θάμνοι, Ελιές	Θάμνοι
Class 4	Θάμνοι	Θάμνοι, Ελιές	Θάμνοι, Ελιές
Class 5	Θάμνοι	Θάμνοι, Βράχος	Θάμνοι, Βράχος
Class 6	Πορτοκαλιές, Ελιές	Πορτοκαλιές, Ελιές	Θάμνοι, Βράχος, Ακαλλιέργητο Έδαφος
Class 7	Βράχος, Ελιές, Θάμνοι, Ακαλλιέργητο Έδαφος	Βράχος, Ελιές, Δρόμος, Θάμνοι, Ακαλλιέργητο Έδαφος	Θάμνοι, Ελιές
Class 8	Θάμνοι, Ελιές	Βράχος, Θάμνοι, Ελιές	Ελιές
Class 9	Βράχος	Πορτοκαλιές	Πορτοκαλιές, Ελιές
Class 10	Βράχος, Θάμνοι	Πορτοκαλιές, Ελιές	Πορτοκαλιές, Ελιές
Class 11	Πορτοκαλιές	Πορτοκαλιές, Ελιές	Ελιές, Ακαλλιέργητο Έδαφος
Class 12	Ελιές, Πορτοκαλιές, Πλατάνια	Ελιές, Ακαλλιέργητο Έδαφος	Ελιές, Κηπευτικά, Πλατάνια
Class 13	Ακαλλιέργητο Έδαφος, Βράχος	Ακαλλιέργητο Έδαφος, Κτίρια, Δρόμος	Ακαλλιέργητο Έδαφος, Κτίρια, Δρόμος
Class 14	Κηπευτικά, Πλατάνια	Κηπευτικά, Πλατάνια	Κηπευτικά, Πλατάνια
Class 15	Κτίρια, Δρόμος	Κτίρια, Δρόμος, Ακαλλιέργητο Έδαφος	Κτίρια, Δρόμος, Ακαλλιέργητο Έδαφος

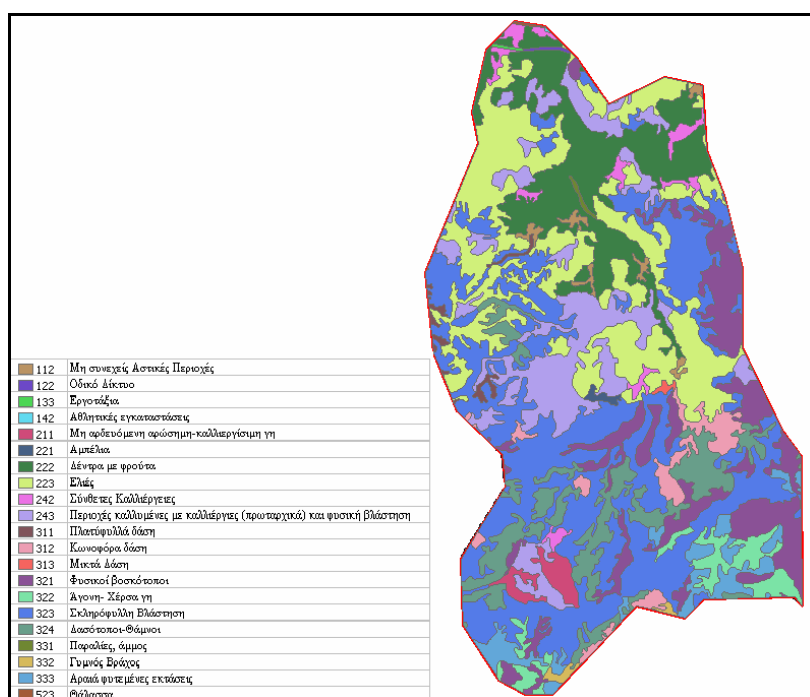
Λήψη 2			
Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση		
	0.7m x 0.7m	3.5m x 3.5m	7m x 7m
Class 1	Κυπαρίσσια	Περίγραμμα εικόνας	Περίγραμμα εικόνας
Class 2	Κυπαρίσσια	Κυπαρίσσια	Κυπαρίσσια
Class 3	Κυπαρίσσια	Κυπαρίσσια	Κυπαρίσσια
Class 4	Θάμνοι, Ελιές	Κυπαρίσσια, Θάμνοι	Κυπαρίσσια, Θάμνοι
Class 5	Θάμνοι, Κυπαρίσσια	Θάμνοι, Κυπαρίσσια	Θάμνοι, Κυπαρίσσια
Class 6	Θάμνοι, Κυπαρίσσια	Θάμνοι	Θάμνοι, Ελιές
Class 7	Θάμνοι	Θάμνοι	Θάμνοι, Κυπαρίσσια
Class 8	Θάμνοι	Θάμνοι, Εκτατικές Καλλιέργειες Μικρού Ύψους	Θάμνοι, Εκτατικές Καλλιέργειες Μικρού Ύψους
Class 9	Ελιές, Βράχος, Θάμνοι	Θάμνοι	Θάμνοι, Ακαλλιέργητο Έδαφος
Class 10	Λιβάδι, Κηπευτικά	Λιβάδι, Κηπευτικά	Λιβάδι, Κηπευτικά
Class 11	Βράχος, Ακαλλιέργητο Έδαφος	Βράχος, Ακαλλιέργητο Έδαφος	Βράχος, Ακαλλιέργητο Έδαφος
Class 12	Εκτατικές Καλλιέργειες Μικρού Ύψους	Θάμνοι, Δρόμος, Βράχος	Θάμνοι, Δρόμος, Βράχος
Class 13	Δρόμος, Βράχος, Ακαλλιέργητο Έδαφος	Βράχος	Βράχος, Δρόμος
Class 14	Χιόνι	Χιόνι	Χιόνι
Class 15	Χιόνι	Χιόνι	Χιόνι

Πίνακας 4-11: Σύγκριση Επιβλεπόμενης και μη Ταξινόμησης

Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να συμπεράνουμε **αδυναμία διάκρισης μεταξύ των διαφορετικών τάξεων κατά τη μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση**, ή τουλάχιστον μεγαλύτερη αδυναμία από αυτή της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Αποτέλεσμα της αδυναμίας αυτής είναι η μη χρηστικότητα των αποτελεσμάτων της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Αιτία μπορεί να είναι η μεγάλη ποικιλία καλλιεργειών που υπάρχει στην περιοχή, η ασυνέχεια τους και οι μικρές φασματικές διαφορές που έχουν μεταξύ τους οι καλλιέργειες.

#### 4.4.6. Σύγκριση Αποτελεσμάτων Επιβλεπόμενης Ταξινόμησης με το Corine 2000

Αρχικά απομονώθηκε από τον αρχικό χάρτη του Corine Land Cover η περιοχή που αντιστοιχεί σε αυτή που απεικονίζεται στις δυο δορυφορικές λήψεις που ταξινομήθηκαν, οπότε και μένει ο παρακάτω χάρτης (στο υπόμνημα φαίνονται οι τάξεις του τρίτου επιπέδου που εμφανίζονται στη περιοχή, ο κωδικός τους και το χρώμα που χρησιμοποιείται για την απεικόνιση τους):



**Εικόνα 4-13: Corine Land Cover για την περιοχή μελέτης**

Παρακάτω φαίνονται οι τάξεις του CLC 2000 που εμφανίζονται παραπάνω χωρισμένες σε τρία επίπεδα και η έκτασή τους σε στρέμματα :

Level 1	Level 2	Level 3
1. Τεχνητές επιφάνειες (ανθρωπογενείς) 1.997,14	1.1. Αστικές περιοχές 1.663,63	1.1.2. Μη συνεχείς αστικές περιοχές 1.663,63
	1.2. Βιομηχανικές, εμπορικές και μεταφορικές περιοχές 181,52	1.2.2. Οδικό δίκτυο 181,52
	1.3. Ορυχεία, χωματερές και Εργοστάσια 129,13	1.3.3. Εργοστάσια 129,13
	1.4. Περιοχές με τεχνητή μη φυσική βλάστηση 22,85	1.4.2. Αθλητικές εγκαταστάσεις 22,85
2. Καλλιεργήσιμες περιοχές 106.157,51	2.1. Αρόσιμη γη 2.931,52	2.1.1. Μη αρδεύσιμη αρόσιμη γη 2.931,52
	2.2. Μόνιμες καλλιέργειες 73.905,11	2.2.1. Αμπέλια 445,29 2.2.2. Δέντρα με φρούτα 28.506,59 2.2.3. Ελιές 44.953,24
	2.4. Ετερογενείς αγροτικές περιοχές 29.320,87	2.4.2. Σύνθετες καλλιέργειες 3.885,43 2.4.3. Περιοχές πρωταρχικά καλυμμένες με καλλιέργειες και με φυσική βλάστηση 25.435,44
3. Δάση και ημι – φυσικές περιοχές 135.638,61	3.1. Δάση 7.226,36	3.1.1. Πλατύφυλλα δάση 1.203,37 3.1.2. Κωνοφόρα δάση 5.772,62 3.1.3. Μικτά δάση 250,38
	3.2. Θάμνοι και/ ή ποώδεις βλάστηση 119.817,87	3.2.1. Φυτικοί βοσκότοποι 25.310,48 3.2.2. Άγονη χέρσα γη 6.585,33 3.2.3. Σκληρόφυλλική βλάστηση 62.211,89 3.2.4. Δασότοποι Θάμνοι 18.710,16
	3.3. 'Ανοικτές' περιοχές με λίγη ή καθόλου βλάστηση 8.594,38	3.3.1. Παραλίες, άμμος 250,63 3.3.2. Γυμνός βράχος 666,97 3.3.3. Αραιά φυτεμένες περιοχές 7.676,78
5. Υδάτινες Μάζες 98,81	5.2 Θάλασσα 98,81	5.2.3 Θάλασσα 98,81

**Πίνακας 4-12: Τάξεις του CLC 2000 στην περιοχή μελέτης**

Σε κάθε επίπεδο το άθροισμα των εκτάσεων ισούται με 243.892,06 στρέμματα.

Στη συνέχεια πρέπει να γίνει η αντιστοίχιση των τάξεων του CLC 2000 με τις τάξεις που δημιουργήθηκαν κατά την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Η αντιστοίχιση αυτή δεν ήταν εύκολη. Το CLC 2000 περιλαμβάνει όλα τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι τάξεις στις οποίες είναι χωρισμένο να είναι πολύ γενικές, σε σχέση με αυτές που δημιουργήθηκαν στην παρούσα εργασία. Επίσης τάξεις με μικρή έκταση, όπως οι τάξεις **Χιόνι**, **Λίμνη** και **Ποταμός** αγνοούνται, καθώς η ελάχιστη έκταση των τάξεων που απεικονίζονται στο CLC 2000 είναι 250 στρέμματα (Η παράληψη της τάξεως **Χιόνι** ίσως οφείλεται στην εποχή που τραβηχτήκαν οι δορυφορικές εικόνες που

χρησιμοποιήθηκαν στο CLC 2000, καθώς το καλοκαίρι τα χιόνια λιώνουν) . Η αντιστοίχιση που έγινε φαίνεται παρακάτω:

Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση	Corine Land Cover 2000
Θάλασσα	Θάλασσα
Θάμνοι + Ακαλλιέργιτο Έδαφος	Θάμνοι και/ή ποώδης βλάστηση(επίπεδο 2)
Δρόμος	Οδικό Δίκτυο
Πλατάνια	Πλατύφυλλα δάση
Πορτοκαλιές	Δέντρα με φρούτα
Κηπευτικά	Σύνθετες Καλλιέργειες + Αμπέλια
Ελιές	Ελιές
Κτίρια	Εργοτάξια + Μη συνεχείς Αστικές Περιοχές + Αθλητικές εγκαταστάσεις
Βράχος	"Ανοιχτοί" χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση (επίπεδο 2)
Εκτατικές Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους + Λιβάδι	Μη αρδευόμενη αρόσιμη - καλλιεργήσιμη γη
Κυπαρίσσια	Κωνοφόρα δάση + Μικτά Δάση

**Πίνακας 4-13: Αντιστοίχιση τάξεων επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000**

Η παραπάνω αντιστοίχιση έγινε σύμφωνα με την περιγραφή των απεικονιζόμενων σε κάθε τάξη περιοχών κατά την European Topic Centre on Terrestrial Environment (European Topic Centre on Terrestrial Environment, 2006). Από τον παραπάνω πίνακα μπορούμε να διαπιστώσουμε πως οι τάξεις **Χιόνι**, **Λίμνη** και **Ποταμός** που δημιουργήθηκαν κατά την επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν αντιστοιχήθηκαν με κάποια από τις τάξεις του CLC 2000. Κάτι τέτοιο όμως δεν αναμένεται να επηρεάσει τα αποτελέσματα της σύγκρισης των δυο μελετών. Το ίδιο όμως δεν ισχύει με την τάξη του CLC 2000 **2.4.3. Περιοχές πρωταρχικά καλυμμένες με καλλιέργειες και με φυσική βλάστηση**, , λόγω της μεγάλης της έκτασης (28.506,59 στρέμματα, περίπου 10% της περιοχής μελέτης). Η τάξη αυτή λόγω της γενικότητας της (το ποσοστό της καλλιεργήσιμης έκτασης προς τη συνολική κυμαίνεται από 25% - 75% και δεν προσδιορίζεται το είδος των καλλιεργειών) δεν στάθηκε δυνατό να αντιστοιχηθεί με κάποια από τις τάξεις της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Σύμφωνα με την Environmental Protection Agency (EPA, 2006) η τάξη αυτή θεωρείται “μικτή” τάξη (μαζί με την τάξη **Μη συνεχείς Αστικές Περιοχές**). Αυτό σημαίνει πως η τάξη αυτή πρόκειται να υποστεί αλλαγές και τμήματά της να τοποθετηθούν σε διαφορετικές τάξεις (αποτελεί δηλαδή μια μεταβατική τάξη). Για να αντιστοιχιστεί η τάξη αυτή με τις τάξεις της επιβλεπόμενης ταξινόμησης θεωρήθηκε δόκιμο να διαμοιραστεί η έκτασή της στις



άλλες τάξεις του CLC 2000 στις οποίες εμφανίζονται καλλιέργειες ή φυσική βλάστηση. Οι τάξεις αυτές είναι οι :

1. **Θάμνοι και/ή ποώδης βλάστηση (επίπεδο 2)**
2. **Πλατύφυλλα δάση**
3. **Δέντρα με φρούτα**
4. **Σύνθετες Καλλιέργειες + Αμπέλια**
5. **Ελιές**
6. **"Ανοιχτοί" χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση (επίπεδο 2)**
7. **Μη αρδευόμενη άροση - καλλιεργήσιμη γη**
8. **Κωνοφόρα δάση + Μικτά Δάση**

Ένα ποσοστό λοιπόν της έκτασης της τάξης **Περιοχές πρωταρχικά καλυμμένες με καλλιέργειες με φυσική βλάστηση** προστέθηκε στην κάθε μια από τις παραπάνω τάξεις. Το ποσοστό αυτό υπολογίσθηκε διαιρώντας την έκταση της κάθε μίας από τις παραπάνω τάξεις με το άθροισμά των εκτάσεών τους. Όπως φαίνεται στον παρακάτω πίνακα :

Τάξη	Έκταση (Στρέμματα)	Ποσοστό	Έκταση που θα προστεθεί (Στρέμματα)	Έκταση τάξης μετά την πρόσθεση
<b>Θάμνοι και/ή ποώδης βλάστηση(επίπεδο 2)</b>	119.817,87	55,38%	14.085,83	133.903,70
<b>Πλατύφυλλα δάση</b>	1.203,37	0,56%	141,47	1.344,84
<b>Δέντρα με φρούτα</b>	28.506,59	13,18%	3.351,24	31.857,83
<b>Σύνθετες Καλλιέργειες + Αμπέλια</b>	4.330,72	2,00%	509,12	4.839,85
<b>Ελιές</b>	44.953,24	20,78%	5.284,72	50.237,95
<b>"Ανοιχτοί" χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση (επίπεδο 2)</b>	8.594,38	3,97%	1.010,36	9.604,73
<b>Μη αρδευόμενη αρόσιμη-καλλιεργήσιμη γη</b>	2.931,52	1,35%	344,63	3.276,16
<b>Κωνοφόρα δάση + Μικτά Δάση</b>	6.022,99	2,78%	708,07	6.731,06
<b>Άθροισμα</b>	<b>216.360,68</b>	<b>100,00%</b>	<b>25.435,44</b>	<b>241.796,12</b>

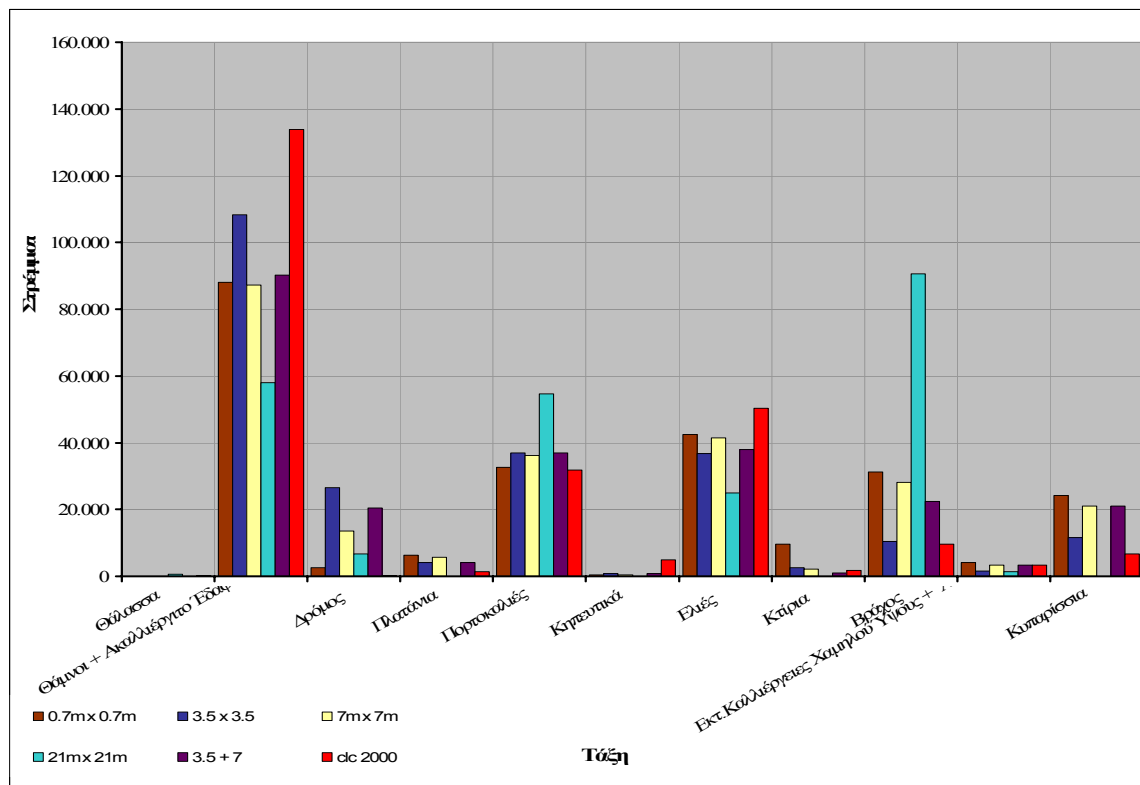
**Πίνακας 4-14: Καταμερισμός της τάξης "Περιοχές πρωταρχικά καλυμμένες με καλλιέργειες με φυσική βλάστηση" σε άλλες τάξεις του CLC 2000**

Τώρα μπορούν να συγκριθούν οι εκτάσεις των τάξεων του CLC 2000 (Πίνακες 4-12 και 4-14) με αυτές της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για τις δορυφορικές εικόνες με όλα τα μεγέθη εικονοστοιχείων που χρησιμοποιήθηκαν καθώς και για τις εικόνες που εκτιμήθηκε πως η ταξινόμηση τους είναι ακριβέστερη (για την λήψη 1 η εικόνα με μέγεθος με μέγεθος εικονοστοιχείου 3.5m x 3.5m και για την λήψη 2 εκείνη με μέγεθος με μέγεθος εικονοστοιχείου 7m x 7m). Η σύγκριση αυτή φαίνεται στον παρακάτω πίνακα όπου οι τάξεις εμφανίζονται όπως στον πίνακα 4-13:

Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση						Corine Land Cover 2000	
Μέγεθος εικονοστοιχείου	0.7m x 0.7m	3.5m x 3.5m	7m x 7m	21m x 21m	3.5m + 7m	Τάξη	Έκταση (Στρέμματα)
Τάξη	Έκταση (Στρέμματα)						
Θάλασσα	49,66	35,30	37,73	494,36	35,30	Θάλασσα	98,81
Θάμνοι + Ακαλλιέργητο Έδαφος	88.106,45	108.287,38	87.287,18	58.054,12	90.314,72	Θάμνοι και/ή ποώδης βλάστηση(επίπεδο 2)	133.903,70
Δρόμος	2.630,41	26.503,51	13.480,15	6.671,01	20.412,03	Οδικό Δίκτυο	181,52
Πλατάνια	6.213,98	4.168,59	5.750,74	0,00	4.168,59	Πλατύφυλλά δάση	1.344,84
Πορτοκαλιές	32.645,44	36.946,60	36.079,24	54.562,28	36.946,60	Λέντρα με φρούτα	31.857,83
Κηπευτικά	445,17	823,92	389,89	0,00	823,92	Σύνθετες Καλλιέργειες + Αμπέλια	4.839,85
Ελιές	42.397,97	36.748,74	41.485,90	24.980,45	37.963,99	Ελιές	50.237,95
Κτίρια	9.593,87	2.568,09	2.157,72	0,00	909,87	Εργοτάξια + Μη συνεχείς Αστικές Περιοχές +Αθλητικές εγκαταστάσεις	1.815,62
Βράχος	31.187,61	10.488,76	28.109,78	90.621,97	22.489,03	"Ανοιχτοί" χώροι με λίγη ή καθόλου βλάστηση (επίπεδο 2)	9.604,73
Εκτ. Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους + Λιβάδι	4.135,56	1.568,92	3.345,57	1.339,76	3.345,57	Μη αρδευόμενη αρόσιμη-καλλιεργήσιμη γη	3.276,16
Κυπαρίσσια	24.234,11	11.511,88	21.127,92	0,00	21.127,92	Κωνοφόρα δάση + Μικτά Δάση	6.731,06

Πίνακας 4-15: Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000

Βάσει του παραπάνω πίνακα δημιουργείται το παρακάτω διάγραμμα στο οποίο εμφανίζεται γραφικά η σύγκριση της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με το CLC 2000:



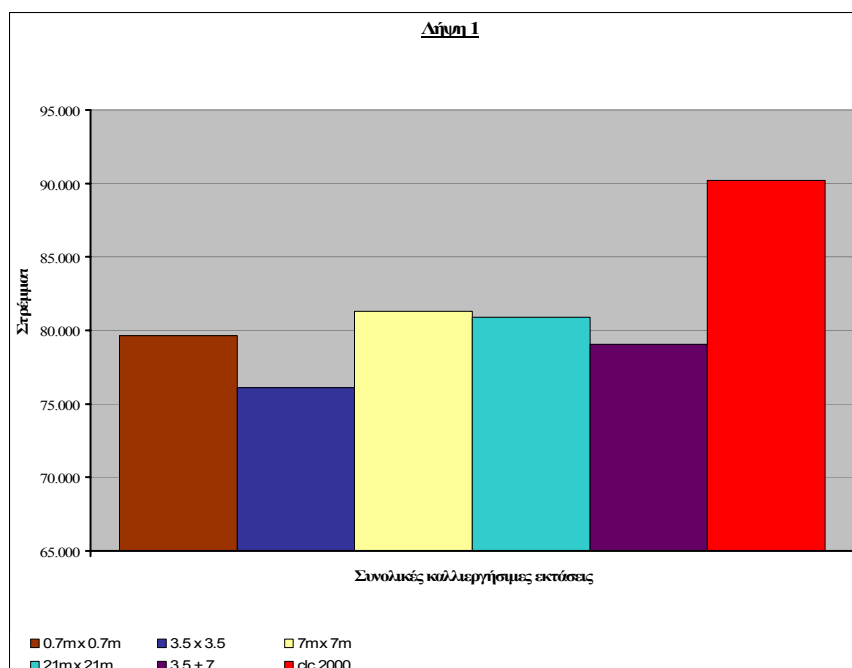
Διάγραμμα 4-8: Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000

Η σύγκριση για τις συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις της περιοχής μελέτης παρουσιάζεται στον παρακάτω πίνακα:

Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση						Corine Land Cover 2000	
Μέγεθος εικονοστοιχείου	0.7m x 0.7m	3.5m x 3.5m	7m x 7m	21m x 21m	3.5m + 7m	Τάξη	Έκταση (Στρέμματα)
Τάξη	Έκταση (Στρέμματα)	Έκταση (Στρέμματα)	Έκταση (Στρέμματα)	Έκταση (Στρέμματα)	Έκταση (Στρέμματα)		
Πορτοκαλιές	32.645,44	36.946,60	36.079,24	54.562,28	36.946,60	Δέντρα με φρούτα	31.857,83
Κηπευτικά	445,17	823,92	389,89	0,00	823,92	Σύνθετες Καλλιέργειες + Αμπέλια	4.839,85
Ελιές	42.397,97	36.748,74	41.485,90	24.980,45	37.963,99	Ελιές	50.237,95
Εκτ. Καλλιέργειες Χαμηλού Ύψους + Λιβάδι	4.135,56	1.568,92	3.345,57	1.339,76	3.345,57	Μη αρδευόμενη αρόσιμη-καλλιεργήσιμη γη	3.276,16
Αθροισμα	79.624,14	76.088,18	81.300,6	80.882,49	79.080,08	Αθροισμα	90.211,79

Πίνακας 4-16: Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000 για τις καλλιέργειες

Βάσει του παραπάνω πίνακα δημιουργείται το παρακάτω διάγραμμα :



Διάγραμμα 4-9: Σύγκριση επιβλεπόμενης ταξινόμησης- CLC 2000 για τις καλλιέργειες

Με βάση τα παραπάνω μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα σχετικά με την σύγκριση ορισμένων τάξεων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης και του CLC 2000:

1. Η τάξη **Θάμνοι και/ή ποώδης βλάστηση(επίπεδο 2)** του CLC 2000 εμφανίζεται αυξημένη σε σχέση με την αντίστοιχη τάξη της επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Αυτό πιθανώς συμβαίνει επειδή στην τάξη αυτή προστέθηκε λίγη περισσότερη από τη μισή έκταση της τάξης **Περιοχές πρωταρχικά καλυμμένες με καλλιέργειες και με φυσική βλάστηση**. Επίσης περιοχές ταξινομημένες στην τάξη **Χιόνι** της επιβλεπόμενης ταξινόμησης στο CLC 2000 εμφανίζονται καλυμμένες από θάμνους (στην περίπτωση που η τάξη αυτή προσθέτονταν στην τάξη **Θάμνοι** τα αποτελέσματα δεν θα άλλαζαν πολύ λόγω της μικρής έκτασης της τάξης αυτής σε σχέση με την τάξη **Θάμνοι**). Τέλος αγνοούνται άλλου είδους καλλιέργειες ή φυσική βλάστηση έκτασης μικρότερης από 250 στρέμματα που βρίσκονται εν μέσω θαμνωδών περιοχών με αποτέλεσμα την αύξηση της έκτασης της τάξης αυτής. Σε μια

περιοχή που εμφανίζεται περίπου κατά 40% καλυμμένη από θαμνώδεις εκτάσεις ο λόγος αυτός φαίνεται επικρατέστερος των άλλων.

2. Η τάξη **Οδικό Δίκτυο** του CLC 2000 δεν θεωρείται αντιπροσωπευτική της περιοχής καθώς αποτελείται μόνο από ένα τμήμα της εθνικής οδού Χανίων – Κισσάμου, ενώ το υπόλοιπο οδικό δίκτυο της περιοχής αγνοείται.
3. Η τάξη **Πλατύφυλλα δάση** του CLC 2000 αν και γενικότερη της τάξης **Πλατάνια** εμφανίζεται να καταλαμβάνει μικρότερη έκταση. Αιτία για αυτό πιθανώς να είναι πως τα πλατάνια στην περιοχή υπάρχουν ασυνεχώς στις όχθες του ποταμού με αποτέλεσμα να αγνοούνται. Επιπρόσθετα στην τάξη **Πλατάνια** έχουν ταξινομηθεί και εικονοστοιχεία από άλλα εικονοστοιχεία (βλ. Κεφ 4.4.4)
4. Η τάξη **Δέντρα με φρούτα** του CLC 2000 σωστά αντιστοιχίζεται με την τάξη **Πορτοκαλιές** της επιβλεπόμενης ταξινόμησης καθώς οι πορτοκαλιές αποτελούν την συντριπτική πλειοψηφία των δέντρων, εκτός των ελιών, στην περιοχή.
5. Η τάξη **Σύνθετες Καλλιέργειες** του CLC 2000 εμφανίζεται αυξημένη σε σχέση με την τάξη **Κηπευτικά** της επιβλεπόμενης ταξινόμησης καθώς σε αυτήν εκτός των κηπευτικών συμπεριλαμβάνονται και άλλων ειδών καλλιέργειες (π.χ μόνιμες καλλιέργειες )
6. Η τάξη **Κωνοφόρα δάση** του CLC 2000 εμφανίζεται μειωμένη έναντι της τάξης **Κυπαρίσσια** της επιβλεπόμενης ταξινόμησης καθώς τα κυπαρίσσια εμφανίζονται εν μέσω θαμνωδών εκτάσεων και αγνοούνται.

Αξίζει να αναφερθεί πως τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης των εικόνων με μέγεθος εικονοστοιχείου 3.5m x 3.5m φαίνονται να είναι “κοντινότερα” στο CLC 2000.

Γενικά η μεγάλη κλίμακα της μελέτης του CLC 2000 μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα ορισμένες τάξεις να αγνοούνται ή εμφανίζονται με μικρότερη έκταση από την πραγματική τους με αποτέλεσμα οι τάξεις με την μεγαλύτερη έκταση στην περιοχή να εμφανίζονται ακόμα μεγαλύτερες. Για το λόγο αυτό οι συνολικές καλλιεργήσιμες εκτάσεις εμφανίζονται αυξημένες στο CLC 2000.

Η σύγκριση λοιπόν των αποτελεσμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με το CLC 2000 κρίνεται ικανοποιητική. Παρόλα αυτά η κλίμακα του CLC 2000 (1:100.000) μιας μελέτης που αφορά τις χρήσεις γης των κρατών μελών της Ευρωπαϊκής Ένωσης δεν θεωρείται επαρκής για εφαρμογές τοπικές όπως είναι η παρούσα μελέτη. Για τέτοιου είδους μελέτες απαιτείται μεγαλύτερη ακρίβεια και γνώση των ιδιοτεροτήτων της περιοχής. Επομένως τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης θεωρούνται ακριβέστερα από το Corine Land Cover 2000.

#### 4.4.7. Υπολογισμός απαιτούμενου για άρδευση νερού

Μια από τις εφαρμογές του χάρτη με τις χρήσεις γης που δημιουργήθηκε παραπάνω είναι ο υπολογισμός της ποσότητας νερού που απαιτείται για την άρδευση των καλλιεργειών της περιοχής για ένα έτος. Ο υπολογισμός αυτός γίνεται πολλαπλασιάζοντας την έκταση της κάθε καλλιέργειας που υπολογίστηκε παραπάνω (βλ. Κεφ. 4.4.4) με την ποσότητα νερού που χρειάζεται η καλλιέργεια αυτή για ένα έτος.

Οι αρδευόμενες καλλιέργειες βρίσκονται στα πεδινά της υδρολογικής λεκάνης του Κερίτη, στην περιοχή δηλαδή που απεικονίζεται από την πρώτη λήψη. Από τις τάξεις που απεικονίζονται στην πρώτη λήψη αρδευόμενες καλλιέργειες μπορούν να θεωρηθούν οι τάξεις **Πορτοκαλιές**, **Ελιές** και **Κηπευτικά**

Οι απαιτούμενες για άρδευση ποσότητες νερού για ένα στρέμμα από τις παραπάνω καλλιέργειες εμφανίζονται στον παρακάτω πίνακα, για ένα ξηρό και ένα υγρό έτος:

Είδος Καλλιέργειας	Απαιτήσεις σε νερό για υγρό έτος (m <sup>3</sup> /έτος/στρέμμα)	Απαιτήσεις σε νερό για ξηρό έτος (m <sup>3</sup> /έτος/στρέμμα)
Πορτοκαλιές	300	400
Ελιές	150	220
Κηπευτικά	400	450

Πίνακας 4-17: Απαιτήσεις καλλιεργειών σε νερό

Πολλαπλασιάζοντας τώρα την απαιτούμενη για άρδευση ποσότητα νερού για ένα στρέμμα για κάθε μια από τις παραπάνω καλλιέργειες με την έκταση που προέκυψε από την επιβλεπόμενη ταξινόμηση για την καλλιέργεια αυτή (για τις εικόνες με όλα τα μεγέθη εικονοστοιχείου που χρησιμοποιήθηκαν – Πίνακας 4-5) προκύπτουν οι παρακάτω πίνακες με την ποσότητα νερού για άρδευση για κάθε καλλιέργεια αλλά και με την συνολική ποσότητα νερού για την άρδευση της υδρολογικής λεκάνης του Κερίτη για ένα ξηρό και ένα υγρό έτος :

Καλλιέργεια	Μέγεθος Εικονοστοιχείου			
	0.7m x 0.7m	3.5m x 3.5m	7m x 7m	21m x 21m
Πορτοκαλιές	13.058.177,19	14.807.011,10	14.431.695,60	21.824.913,60
Ελιές	8.127.944,93	7.962.784,45	8.859.543,00	2.958.430,86
Κηπευτικά	172.439,60	86.788,80	175.231,35	1.118.861,10
<b>Αθροισμα</b>	<b>21.358.562,42</b>	<b>22.856.587,85</b>	<b>23.466.476,95</b>	<b>25.902.226,56</b>

**Πίνακας 4-18: Απαιτούμενη ποσότητα νερού για άρδευση για ένα ξηρό έτος**

Καλλιέργεια	Μέγεθος Εικονοστοιχείου			
	0.7m x 0.7m	3.5m x 3.5m	7m x 7m	21m x 21m
Πορτοκαλιές	9.793.632,89	11.105.258,33	10.823.771,70	16.368.685,20
Ελιές	5.541.780,64	5.429.171,21	6.040.597,50	2.017.111,95
Κηπευτικά	153.279,64	77.145,60	155.761,20	994.543,20
<b>Αθροισμα</b>	<b>15.488.693,87</b>	<b>16.611.578,64</b>	<b>17.020.137,40</b>	<b>19.380.361,35</b>

**Πίνακας 4-19: Απαιτούμενη ποσότητα νερού για άρδευση για ένα υγρό έτος**

Βάσει των προηγούμενων εκτιμήσεων σχετικά με την ακρίβεια των αποτελεσμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης για την λήψη 1 (θεωρούνται ακριβέστερα τα αποτελέσματα της ταξινόμησης της εικόνας με μέγεθος εικονοστοιχείου 3.5m x 3.5m) εκτιμάται πως η συνολική απαιτούμενη ποσότητα νερού για άρδευση για την υδρολογική λεκάνη του Κερίτη ισούται με **16.611.578,64 m<sup>3</sup>/ υγρό έτος** και **22.856.587,85 m<sup>3</sup>/ ξηρό έτος**. Σύμφωνα την Υπηρεσία Εγγείων Βελτιώσεων οι ανάγκες για άρδευση είναι 15 Mm<sup>3</sup>/έτος. Τα αποτελέσματά στους παραπάνω πίνακες εμφανίζονται αυξημένα σε σύγκρισή με αυτά της Υπηρεσίας Εγγείων Βελτιώσεων. Αιτία για αυτό είναι πως για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων των πινάκων χρησιμοποιήθηκαν και μη αρδευόμενες καλλιέργειες, καθώς δεν γίνεται διάκρισή τους.

## **5. Συμπεράσματα - Προτάσεις**

---

### **5.1 Συμπεράσματα**

Μετά από την εκπόνηση της μελέτης αυτής και της προσεχτικής μελέτης των αποτελεσμάτων της εξάγονται ορισμένα συμπεράσματα τα οποία μπορούν να ληφθούν υπ' όψιν για μελλοντικές μελέτες. Αυτά συνοψίζονται παρακάτω :

1. Η ακρίβεια των μετρήσεων από τους δορυφορικούς δέκτες που συλλέγουν δεδομένα πεδίου είναι υψηλότερη όταν αυτά συσχετισθούν με μετρήσεις από δορυφορικούς δέκτες αναφοράς οι οποίοι προσδιορίζουν την θέση τους σε ίσα χρονικά διαστήματα.
2. Τα αποτελέσματά της ορθοδιόρθωσης θα ήταν ακριβέστερα αν χρησιμοποιούνταν DEM με μικρότερο μέγεθος εικονοστοιχείου καθώς η ύπαρξη DEM με μικρή ακρίβεια φαίνεται να είναι ο σημαντικότερος παράγοντας σφάλματος στην ορθοδιόρθωση.
3. Η χρήση του μικρότερου δυνατού μεγέθους εικονοστοιχείου σε μια δορυφορική εικόνα δεν συνεπάγεται και το καλύτερό δυνατό αποτέλεσμα κατά την ταξινόμηση της. Ειδικότερα, τα καλύτερα αποτελέσματα για την πρώτη λήψη προέκυψαν από την εικόνα με μέγεθος εικονοστοιχείου 3.5m x 3.5m και για την δεύτερη λήψη για την εικόνα με μέγεθος εικονοστοιχείου 7m x 7m. Και στις δύο περιπτώσεις, η αρχική εικόνα με μέγεθος εικονοστοιχείου 0.7m x 0.7m είχε χειρότερα αποτελέσματα. Παρόλα αυτά, το μικρότερο δυνατό μέγεθος εικονοστοιχείου πρέπει να χρησιμοποιείται σε μια μελέτη όταν σκοπός της είναι η διάκριση αντικειμένων στην εικόνα (π.χ. δρόμων κτιρίων δέντρων κλπ.) οπότε η αυξημένη χωρική διαχωριστική ικανότητα της εικόνας είναι απαραίτητη για την εξαγωγή σωστών αποτελεσμάτων.
4. Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση δεν αποτελεί δόκιμη μέθοδο ταξινόμησης για την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη καθώς διαπιστώνεται αδυναμία



διάκρισης μεταξύ των διαφορετικών χρήσεων γης που εμφανίζονται στην περιοχή.

5. Οι ανάγκες της περιοχής σε νερό για άρδευση υπερεκτιμούνται λόγω της αδυναμίας διάκρισης της επιβλεπόμενης ταξινόμησης μεταξύ αρδευόμενων και μη καλλιεργειών,
6. Τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης είναι ακριβέστερα και λεπτομερέστερα από την ταξινόμηση του Corine Land Cover 2000. Αιτία για αυτό είναι πως το CLC 2000 είναι μια μελέτη πολύ μεγάλης κλίμακας (1:100.000) με περιοχή μελέτης τα κράτη μέλη της Ευρωπαϊκής Ένωσης. Μια μελέτη της κλίμακας αυτής λοιπόν, δεν θεωρείται επαρκής για τοπικές εφαρμογές όπως ο προσδιορισμός των χρήσεων γης της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη. Χαρακτηριστικά αναφέρονται:
  - α) Για να απεικονιστεί μια τάξη στο CLC 2000 πρέπει να έχει έκταση τουλάχιστον 250 στρέμματα.
  - β) Στο CLC 2000 υπάρχουν μικτές τάξεις των οποίων η χρησιμότητα είναι μειωμένη καθώς δεν μπορεί να καθοριστεί τι απεικονίζουν.
7. Το πιο χρονοβόρο και δύσκολο στη διεκπεραίωση του τμήμα της παρούσας μελέτης ήταν αυτό της ορθοδιόρθωσης των δορυφορικών εικόνων της περιοχής. Αιτία για αυτό ήταν τόσο οι πολύ απαιτητικές μετρήσεις στο πεδίο όσο και η ίδια διαδικασία της ορθοδιόρθωσης. Ειδικότερά σε ότι αφορά την διαδικασία της ορθοδιόρθωσης, αυτή εμπεριέχει πολλούς πειραματισμούς μέχρι την επίτευξη του καλύτερου δυνατού αποτελέσματος και απαιτεί πολύ μεγάλα χρονικά διαστήματα για τον εντοπισμό των φωτοσταθερών σημείων πάνω στη δορυφορική εικόνα.
8. Τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης, σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα, μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την δημιουργία ενός σχεδίου διαχείρισης υδατικών πόρων για την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη. Μερικά από τα στοιχεία από την παρούσα εργασία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι:

- α) Η φυτοκάλυψη της περιοχής (έκταση που καλύπτεται από φυτά προς την συνολική έκταση). Η φυτοκάλυψη μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τον υπολογισμό της κατείσδυσης, της επιφανειακής απορροής κλπ.
- β) Οι εκτάσεις των καλλιεργειών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της απαιτούμενης για άρδευση ποσότητας νερού.

## 5.2 Προτάσεις

Τα αποτελέσματά και τα συμπεράσματα της παρούσας μελέτης καθώς και η εμπειρία που αποκτήθηκε κατά την εξαγωγή τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μελλοντική διεξαγωγή ακριβέστερων μελετών πάνω στο ίδιο αντικείμενο. Επίσης αυτά μπορούν να συσχετισθούν με τα αποτελέσματά μελλοντικών μελετών για την εξαγωγή συμπερασμάτων με βάθος χρόνου για την περιοχή μελέτης. Έτσι μερικές προτάσεις για μελλοντικές μελέτες – εργασίες, που θα μπορούσαν είτε να χρησιμοποιήσουν τα αποτελέσματα – συμπεράσματα της παρούσας εργασίας είτε να τα βελτιώσουν θα μπορούσαν να είναι οι ακόλουθες :

1. Ταξινόμηση δορυφορικών εικόνων της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη διαφορετικής περιόδου και σύγκρισή των αποτελεσμάτων τους με τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης. Σκοπός μιας τέτοιας μελέτης είναι ο διαχωρισμός των εποχικών καλλιεργειών από τις μόνιμες αλλά και τη διάκριση μεταξύ διαφορετικού είδους δέντρων (βάσει της διαφορετικής περιόδου ανθοφορίας του κάθε είδους).
2. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης με αποτελέσματά μελλοντικών ταξινομήσεων της υδρολογικής λεκάνης του ποταμού Κερίτη με σκοπό τον εντοπισμό αλλαγών στις χρήσεις γης. Οι αλλαγές στις χρήσεις γης μιας περιοχής έχουν σαν άμεση συνέπεια την αλλαγή των αναγκών της σε νερό (για άρδευση - ύδρευση). Επομένως μελέτες σχετικές με τις αλλαγές στις χρήσεις γης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την προσαρμογή της υδατικής πολιτικής της περιοχής ώστε αυτή να συμπεριλάβει και τις αλλαγές στις ανάγκες της σε νερό.

3. Σύγκριση των αποτελεσμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με τον χάρτη αλλαγών του Corine Land Cover όπου το μικρότερο πολύγωνο (που απεικονίζει αλλαγές στις χρήσεις γης σε σχέση με το CLC 2000) έχει έκταση 50 στρεμμάτων (έναντι των 250 στρεμμάτων του CLC 2000). Με τον τρόπο αυτό επίσης θα εντοπιστούν πιθανές αλλαγές στις χρήσεις γης και θα επιτευχθεί μια καλύτερη σύγκριση με τα αποτελέσματα της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, καθώς μικραίνει το μέγεθος του ελάχιστου απεικονιζόμενου εικονοστοιχείου και μειώνεται η έκταση των μικτών τάξεων.
4. Ποσοτικοποίηση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με κάποια στατιστική μέθοδο. Επειδή δεν είναι δυνατό με επιτόπου παρατήρηση να υπολογιστεί η ακρίβεια της επιβλεπόμενης ταξινόμησης, λόγω της μεγάλης έκτασης της περιοχής μελέτης, προτείνεται αυτό να γίνει για ορισμένα προσεχτικά επιλεγμένα τμήματα της περιοχής (δειγματοληψία) και τα αποτελέσματα να αναχθούν για το σύνολο της υδρολογικής μελέτης του ποταμού Κερίτη.
5. Να επαναληφθεί η επιβλεπόμενη ταξινόμηση με τον ορισμό ειδικότερων τάξεων και ιεράρχηση αυτών σε επίπεδα κατά τα πρότυπα του CLC 2000. Κατόπιν η σύγκριση των αποτελεσμάτων της επιβλεπόμενης ταξινόμησης με το CLC 2000 μπορεί να επαναληφθεί.
6. Να επαναληφθεί ο προσδιορισμός των χρήσεων γης κάνοντας χρήση διαφορετικού αλγόριθμου ταξινόμησης από αυτόν που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία και μετέπειτα σύγκριση των αλγορίθμων ταξινόμησης.
7. Κατασκευή DEM με μικρότερο μέγεθος εικονοστοιχείου (αγορά στερεοζεύγους) από αυτό που χρησιμοποιήθηκε στην παρούσα εργασία (30m x 30m) και επανάληψη της ορθοδιόρθωσης των δορυφορικών εικόνων της περιοχής μελέτης. Οι ορθοδιόρθωμένες εικόνες που θα προκύψουν από την διαδικασία αυτή θα είναι ακριβέστερες από αυτές που παρήχθησαν στην παρούσα μελέτη (τόσο ακριβέστερες όσο μικρότερο μέγεθος εικονοστοιχείου έχει το DEM). Κατόπιν προτείνεται να επαναληφθεί η διαδικασία του

προσδιορισμού χρήσεων γης (αν και τα αποτελέσματα αυτών σε στρέμματα δεν αναμένεται να αλλάξουν).

8. Εγκατάσταση ενός σταθερού δέκτη GPS ο οποίος να προσδιορίζει την θέση του ανά μικρότερα χρονικά διαστήματα από τον είδη υπάρχοντα. Κάτι τέτοιο βέβαια θα αύξανε τον όγκο των παραγόμενων μετρήσεων.
9. Δημιουργία ενός σχεδίου – πολιτικής διαχείρισης υδατικών πόρων για την υδρολογική λεκάνη του ποταμού Κερίτη χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματά της παρούσας εργασίας σε συνδυασμό με άλλα δεδομένα. Τα πλεονεκτήματα ενός σχεδίου διαχείρισης υδατικών πόρων το οποίο βασίζεται σε τέτοιου είδους δεδομένα είναι πως έχει όλα τα πλεονεκτήματα των μεθόδων της τηλεπισκόπησης. Μερικά από αυτά είναι η ταχύτητα, προσαρμοστικότητα σε αλλαγές, η μεγάλη κλίμακά κλπ.
10. Προτείνεται, σε περίπτωση που χρειαστεί να επαναληφθεί μια τέτοιου είδους μελέτη σε διαφορετική περιοχή, να χρησιμοποιηθεί ορθοδιορθωμένη δορυφορική λήψη της περιοχής. Με τον τρόπο αυτό οι χρονοβόρες μετρήσεις πεδίου θα περιοριστούν όπως και το χρονικό διάστημα για την ολοκλήρωση της μελέτης. Επιπροσθέτως οι ορθοδιορθωμένες λήψεις θα είναι κατά πολύ ακριβέστερες από ότι αν γινόταν η ορθοδιόρθωση με οποιοδήποτε άλλο τρόπο.

## 6. Βιβλιογραφία

---

1. Μερτίκας Σ., 1998, “Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας”, Εκδόσεις
2. Τριπολιτσιώτης, 1998, “Γεωμετρική Διόρθωση”, Μεταπτυχιακή διατριβή, Χανιά
3. Σαιραδάκης Κ., 2005, “Εφαρμογή Τεχνολογιών Αιχμής στην Διαχείριση Υδατικών Πόρων της Υδρολογικής Λεκάνης του Κερίτη”, Μεταπτυχιακή διατριβή, Χανιά
4. Σκούλος Μ., 2000, “Το νερό στη Μεσόγειο”, Εισαγωγή για την εκπαιδευτική προσέγγιση με στόχο την Αειφορία
5. Χαραλαμποπούλου, Μ., 2006, Μέλος του προσωπικού της αποκλειστικής αντιπροσώπου της EDRAS για το λογισμικό Imagine και της Leica για το λογισμικό LPS, στην Ελλάδα. Προσωπική επικοινωνία, Μάιος 2006.
6. EPA 2006, Enviromental Protection Agency, βρέθηκε τον Αύγουστο 2006 <http://www.epa.ie/OurEnvironment/Land/CorineLandCover/>
7. European Topic Centre on Terrestrial Environment 2006, βρέθηκε τον Αύγουστο 2006 <http://terrestrial.eionet.europa.eu/CLC2000>
8. H. Dana, 1994, Department of Geography, University of Texas, βρέθηκε τον Φεβρουάριο 2006 [http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps\\_f.html](http://www.colorado.edu/geography/gcraft/notes/gps/gps_f.html)