

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ



## Πτυχιακή εργασία

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΥΠΕΔΑΦΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ  
ΣΥΝΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΕ  
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΜΥΝΑΣ

Μικαέλλα Έλληνα

Λεμεσός 2016



ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ  
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ  
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

## **Πτυχιακή εργασία**

ΑΝΙΧΝΕΥΣΗ ΥΠΕΔΑΦΙΩΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΩΝ  
ΣΥΝΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΔΙΑΣΤΗΜΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΙ  
ΣΥΣΤΗΜΑΤΑ ΓΕΩΓΡΑΦΙΚΩΝ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΣΕ  
ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΩΝ ΚΑΙ ΑΜΥΝΑΣ

Μικαέλλα Έλληνα

Σύμβουλος καθηγητής ή καθηγήτρια  
Δρ. Διόφαντος Χατζιμιτσής

Λεμεσός 2016

## **Πνευματικά δικαιώματα**

Copyright © Μικαέλλα Έλληνα, [2016]

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Η έγκριση της πτυχιακής εργασίας από το Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών και Μηχανικών Γεωπληροφορικής του Τεχνολογικού Πανεπιστημίου Κύπρου δεν υποδηλώνει απαραίτητως και αποδοχή των απόψεων του συγγραφέα εκ μέρους του Τμήματος.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Διόφαντο Χατζιμιτσή, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την συμμετοχή μου σε αυτό το ερευνητικό θέμα, όπως και για την καθοδήγηση του για την διεκπεραίωση της πτυχιακής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να ευχαριστήσω την φίλη και συνεργάτη μου Μαρία Προδρόμου, για την πολύτιμη βοήθεια της και την ευχάριστη συνεργασία που είχαμε.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Αντικείμενο μελέτης της παρούσας εργασίας είναι η δυνατότητα χρήσης των τεχνικών της Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τη χρήση τεχνικών γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (ΓΣΠ), για τον εντοπισμό υπεδάφια κατασκευών και πιο συγκεκριμένα υπεδάφια στρατιωτικών αποθηκών. Λόγω του ότι το συγκεκριμένο θέμα είναι ερευνητικό και βρίσκεται ακόμα στα πρώιμα στάδια μελέτης του, στη μελέτη αυτή παρουσιάζονται η διαδικασία λήψης μετρήσεων με φασματοραδιόμετρο στην περιοχή μελέτης, και η επεξεργασία των μετρήσεων που έχουν παρθεί ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι μετρήσεις έγιναν σε φυσική βλάστηση και στη συνέχεια σε κριθάρι, το οποίο καλλιεργήθηκε στην περιοχή ενδιαφέροντος. Τέλος έγιναν παρατηρήσεις για την ανάπτυξη της καλλιέργειας, όπως επίσης και μελέτη των δεικτών βλάστησης NDVI και SAVI, πριν και μετά τη καλλιέργεια κριθαριού, δηλαδή της φυσικής βλάστησης και της καλλιέργειας, δημιουργώντας διαγράμματα κατανομής των δεικτών βλάστησης στην περιοχή ενδιαφέροντος. Οι δείκτες υπολογίστηκαν βάση των δορυφόρων Landsat7 ETM+ και Landsat 8.

**Λέξεις κλειδιά:** Τηλεπισκόπηση, Άμυνα και ασφάλεια, Υπεδάφια κατασκευές.

## **ABSTRACT**

The purpose of this study is to establish the use of the Technical Satellite Remote Sensing in relation to the Technical Geographical Information Systems GIS, in order subsoil structures to be discovered and more specifically in order to lead at the discovery of military subsoil repositories.

Although, because that specific matter is still in the early stages of its research, this study will indicate the measurements procedure by the spectro-radiometry and the measurements processing that had been presented periodically. At first, measurements have been made in natural vegetation and then to barley which was nourished within an area of high interest.

At the end of the measurement procedures, observations about the foliage growth and development have been stated as well as the research of vegetation indices NDVI and SAVI which have been made before and during the barley undergrowth. Namely, natural foliage and cultivation by creating charts circulation of vegetation indices in the area of interest. Indices were determined by the usage of Landsat 7 and Landsat 8 satellites.

**Keywords:** Remote sensing, Security defense, Subsoil structures.

# ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	iv
ABSTRACT .....	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ .....	vi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ .....	viii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ .....	ix
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	x
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	xi
1 Βασικές Έννοιες.....	1
1.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	1
1.1.1 Ορατό Φάσμα (Visible spectrum) .....	2
1.1.2 Υπέρυθρη Ακτινοβολία (Infrared radiation) .....	2
1.2 Τηλεπισκόπηση (Remote sensing) .....	2
1.3 Ανακλαστικότητα ή Ανάκλαση (Reflectance) .....	3
1.4 Φασματική Υπογραφή ή Φασματική Απόκριση .....	3
1.5 Φασματοραδιόμετρο (Spectrometer).....	4
1.6 Spectral-on Panel.....	5
1.7 Δείκτες βλάστησης .....	5
2 Δορυφόροι.....	7
2.1 Κατηγορίες δορυφόρων.....	7
2.2 Τύποι Δορυφόρων .....	8
2.3 Δορυφόροι Landsat.....	9
2.3.1 Landsat 7 ETM+.....	10
2.3.2 Landsat 8 .....	10
3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση .....	13



3.1	Επιπτώσεις στις υπόγειες στρατιωτικές εγκαταστάσεις – Deeply Buried Facilities: Implications for Military Operations .....	13
3.2	Δείκτες βλάστησης και μετρήσεις πεδίου με φασματοραδιόμετρο για εντοπισμό θαμμένων αρχιτεκτονικών κατάλοιπων - Vegetation indices and field spectroradiometric measurements for validation of buried architectural remains: verification under area surveyed with geophysical campaigns.....	14
3.3	Διερεύνηση του τροπικού δάσους Petén στην βόρεια Γουατεμάλα για τους αρχαίους Μάγια, με Τηλεπισκόπηση – Remote sensing investigation of the ancient Maya in the Petén rainforest of the northern Guatemala .....	15
3.4	Εντοπισμός αρχαίων με τη χρήση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων QuickBird – Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird multispectral imagery .....	16
3.5	Ανίχνευση θαμμένων και μη αρχαίων κατάλοιπων με τη χρήση πολλαπλών αισθητήρων τηλεπισκόπησης – Detection of exposed and subsurface archaeological remains using multi-sensor remote sensing .....	17
4	Φαινολογικός Κύκλος .....	18
4.1	Φαινολογία .....	18
4.2	Καλλιέργεια Κριθαριού .....	18
5	Περιοχή Μελέτης .....	19
6	Μεθοδολογία .....	21
	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	25
	ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ .....	37
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ .....	39
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ .....	40

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Ηλεκτρομαγνητικές Φασματικές Ζώνες.....	1
Πίνακας 2: Μήκος κύματος και χωρική διακριτική ικανότητα για κάθε κανάλι των δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8.....	12

## **ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ**

Διάγραμμα 1: Χρονοδιάγραμμα εκτόξευσης και απόσυρσης δορυφόρων Landsat.....	9
Διάγραμμα 2: Σχηματικό διάγραμμα μεθοδολογίας της διατριβής του συγκεκριμένου θέματος .....	24

## ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

Παρουσιάζονται συνοπτικά όλες οι σημαντικές συντομογραφίες που έχουν χρησιμοποιηθεί στο κείμενο της πτυχιακής εργασίας:

ΤΕΠΑΚ.:	Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
SAVI:	Soil Adjusted Vegetation Index
NDVI :	Normalized Difference Vegetation Index
OLI:	Operation Land Imager
TIRS:	Thermal Infrared Sensor
GIS:	Geographical Information System
DEM:	Digital Elevation Model
RSR:	Relative Spectral Response

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μέσα από το πέρας των ετών η ανθρώπινη ανάγκη για παρακολούθηση και μελέτη της Γης ως οικοσύστημα, και στη συνέχεια για κάλυψη συμφερόντων, δημιούργησε μια νέα σχετικά επιστήμη, η οποία ονομάστηκε τηλεπισκόπηση. Η δυνατότητες της καλύπτουν πλέον ένα ευρύ φάσμα αναγκών όπως μελέτη για οτιδήποτε βρίσκεται πάνω, αλλά και κάτω από την επιφάνεια της γης, όπως επίσης και τις κλιματικές συνθήκες. Η πρώτη παρουσία και εφαρμογή της επιστήμης αυτής έγινε περίπου το 1850, με τις πρώτες φωτογραφίες από αερόστατο.

Μία από αυτές τις δυνατότητες που δίνει η τηλεπισκόπηση είναι και το θέμα της παρούσας εργασίας. Σε αυτή την εργασία ερευνάται κατά πόσο μπορούν να ανιχνευτούν και συνεπώς να εντοπιστούν υπεδάφιος κατασκευές και πιο συγκεκριμένα στρατιωτικές αποθήκες. Λόγω του ότι το θέμα αυτό είναι ερευνητικό, και βρίσκεται στα πρώιμα στάδια έρευνας του, η επέκταση της παρούσας εργασίας είναι περιορισμένη, δηλαδή περιλαμβάνει τα πρώτα στάδια επεξεργασίας, που έγιναν μέσα στο μικρό διάστημα ενός ακαδημαϊκού έτους.

Σκοπός της είναι η μελέτη των δεικτών βλάστησης και πως αυτοί μπορούν να βοηθήσουν σε αρχικό στάδιο στην παρατήρηση αλλά και στον εντοπισμό υπεδάφιων στρατιωτικών κατασκευών. Απώτερος σκοπός του παρόντος ερευνητικού θέματος είναι ο εντοπισμός και η μελέτη υπεδάφιων κατασκευών (στρατιωτικές αποθήκες), αλλά και κατασκευές εδάφους (στρατιωτικές εγκαταστάσεις), οι οποίες καλύπτονται με βλάστηση (φυσική ή τεχνητή κάλυψη) και είναι δύσκολος ο άμεσος εντοπισμός τους από αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες.

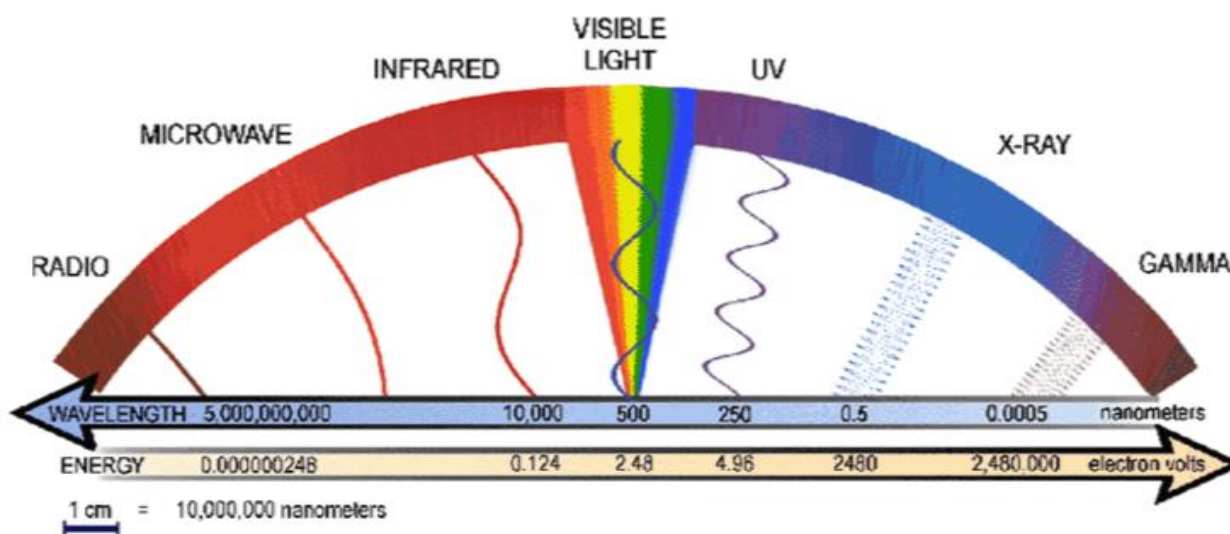
# 1 Βασικές Έννοιες

## 1.1 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα καλείται το εύρος των συχνοτήτων της περιοχής που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες, βάση κάποιων χαρακτηριστικών ιδιοτήτων που έχουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Οι ζώνες που χωρίζεται το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα είναι τα ραδιοκύματα, τα μικροκύματα, η υπέρυθρη ακτινοβολία, η υπεριώδη ακτινοβολία, οι ακτίνες X και οι ακτίνες γ. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα κυμαίνεται από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. (Πιτσιλίδου Ε και Νικολακάκη Κ (2011)).

Περιοχή φάσματος	Περιοχή συχνοτήτων	Ενέργεια φωτονίων
Ραδιοκύματα	0-300 MHz	0- $10^{-5}$ eV
Μικροκύματα	300MHz-300GHz	$10^{-5}$ - $10^{-3}$ eV
Υπέρυθρη ακτινοβολία	300GHz-400THz	$10^{-3}$ -1,6eV
Ορατή ακτινοβολία	400-800THz	1,6-3,2eV
Υπεριώδης ακτινοβολία	800THz- $3 \cdot 10^{17}$ Hz	3-2000eV
Ακτίνες X	$3 \cdot 10^{17}$ - $5 \cdot 10^{19}$ Hz	1200- $2,4 \cdot 10^5$ eV
Ακτίνες Γ	$5 \cdot 10^{19}$ - $3 \cdot 10^{22}$ Hz	$10^5$ - $10^7$ eV
Κοσμικές ακτίνες	$3 \cdot 10^{22}$ Hz-.....	$10^7$ ev-....

Πίνακας 1: Ηλεκτρομαγνητικές Φασματικές Ζώνες



Εικόνα 1: Ηλεκτρομαγνητικές Φασματικές Ζώνες

### **1.1.1 Ορατό Φάσμα (Visible spectrum)**

Ορατό φάσμα καλείται το τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που μπορεί να γίνει αντιληπτό από τον άνθρωπο με το αισθητήριο της όρασης. Αποτελεί ένα μικρό μέρος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Τα μήκη κύματος που είναι ορατά στο ανθρώπινο μάτι κυμαίνονται από 400 έως 700 νανόμετρα. Η κύρια πηγή της ορατής ακτινοβολίας είναι ο ήλιος. (Πιτσιλλίδου Ε και Νικολακάκη Κ (2011))

### **1.1.2 Υπέρυθρη Ακτινοβολία (Infrared radiation)**

Η υπέρυθρη ακτινοβολία είναι τμήμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, και το μήκος κύματος της κυμαίνεται από τα 700 νανόμετρα έως 1 χιλιοστό. Στο φάσμα εισάγονται μικρότερης συχνότητας κύματα από την προέκταση της κόκκινης ορατής ακτινοβολίας. Η εκπομπή υπέρυθρης ακτινοβολίας γίνεται συνήθως από όλα τα σώματα που έχουν κάποια θερμοκρασία. Τα σώματα που έχουν μεγαλύτερη θερμοκρασία εκπέμπουν περισσότερη ακτινοβολία, ενώ γενικά τα σώματα που απορροφούν περισσότερη ακτινοβολία αυξάνεται η θερμοκρασία τους. (Πιτσιλλίδου Ε και Νικολακάκη Κ (2011))

## **1.2 Τηλεπισκόπηση (Remote sensing)**

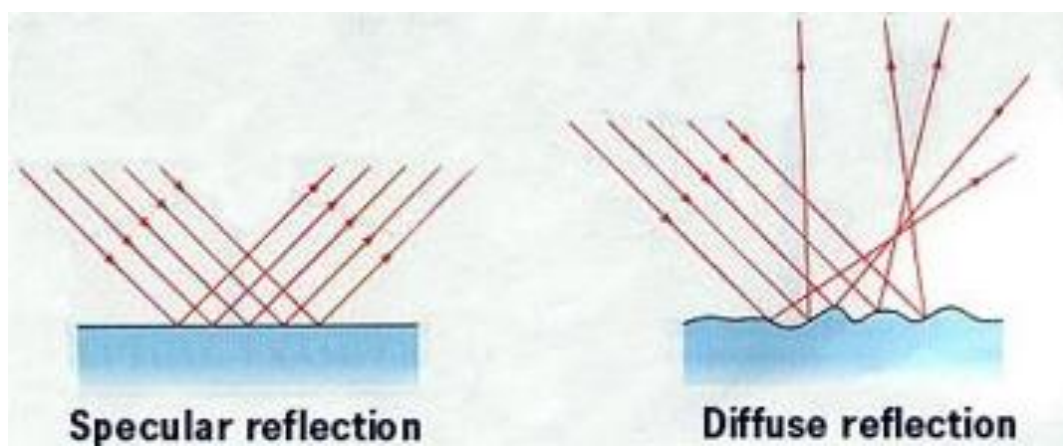
Η λέξη Τηλεπισκόπηση πηγάζει από το αρχαίο επίρρημα ‘τήλε’ που σημαίνει μακρόθεν και το ρήμα ‘επισκοπεύω’ που σημαίνει εξετάζω από ψηλά. Επομένως Τηλεπισκόπηση σημαίνει αντίληψη φαινομένων από απόσταση. Πιο αναλυτικά, Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη που ασχολείται με την ανάκτηση και την ερμηνεία των πληροφοριών που σχετίζονται με το περιβάλλον της Γης και προέρχονται από μετρήσεις χωρίς φυσική επαφή.

Η Τηλεπισκόπηση ορίζεται ως η επιστήμη της συλλογής, ανάλυσης και ερμηνείας πληροφοριών γύρω από έναν στόχο για την αναγνώριση και μέτρηση των ιδιοτήτων του εξετάζοντας τις αλληλεπιδράσεις του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, χωρίς στην πραγματικότητα να υπάρχει απευθείας επαφή με αυτόν. Παρόλο που το φάσμα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας είναι ευρύ, εντούτοις στην πράξη περιορίζεται σε συστήματα απεικονίσεων ή εικόνων, όπως οι δορυφορικές εικόνες και οι αεροφωτογραφίες. (Χατζιμιτσής Δ. (2013))

### 1.3 Ανακλαστικότητα ή Ανάκλαση (Reflectance)

Η ανάκλαση του φωτός είναι το φαινόμενο εκείνο κατά το οποίο το φως προσπίπτει σε κάποια επιφάνεια ή στόχο και μία ακτίνα φωτός αλλάζει διεύθυνση. Εξαρτάται από την τραχύτητα της επιφάνειας σε σχέση με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας και αναλόγως χωρίζεται σε ισότροπη ανάκλαση και κατοπτρική ανάκλαση.

Ορίζεται ως ο λόγος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που ανακλάται από ένα σώμα προς το ποσό της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. (Χατζιμιτσής Δ. (2013))



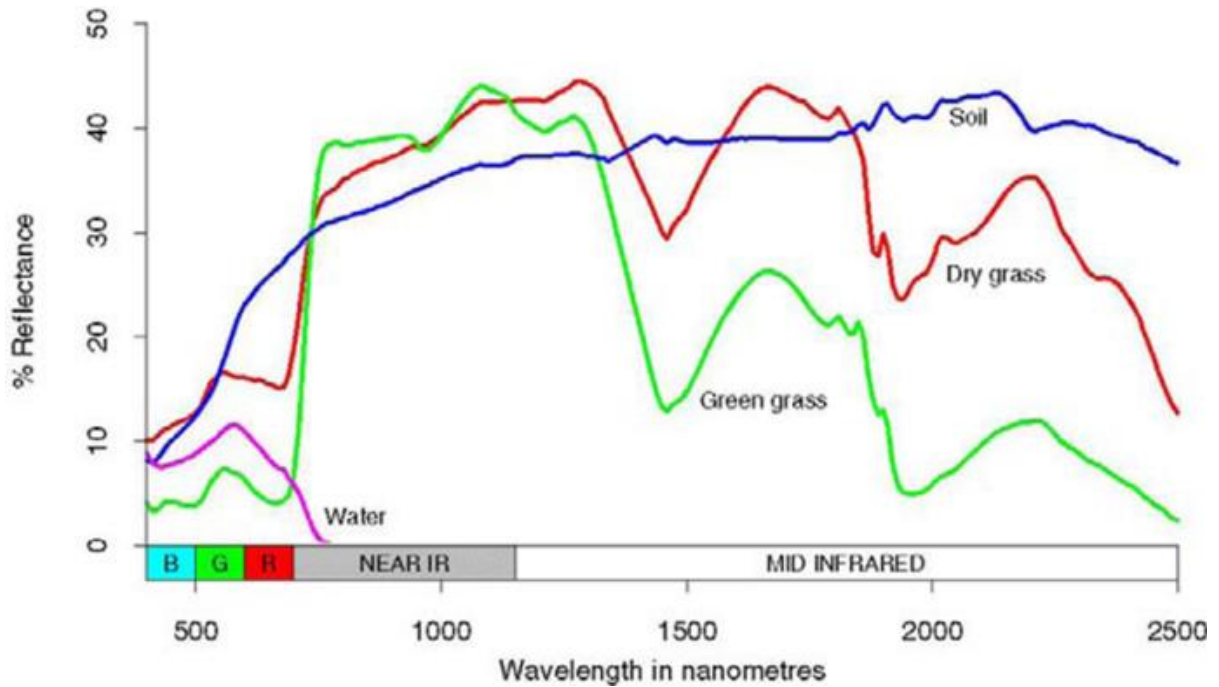
Εικόνα 2: Ισότροπη (αριστερά) και Κατοπτρική ανάκλαση (δεξιά)

### 1.4 Φασματική Υπογραφή ή Φασματική Απόκριση

Κάθε επιφάνεια ή στόχος ή υλικό παρουσιάζει διαφορετική κατανομή ανακλώμενης, εκπεμπόμενης ή απορροφούμενης ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος. Αν επεκτείνουμε την συμπεριφορά σε πολλά μήκη κύματος, μπορούμε να λάβουμε την λεγόμενη φασματική απόκριση του στόχου και να βγάλουμε συμπεράσματα γι' αυτόν που θα ήταν αδύνατα για κάποιο μήκος κύματος.

Η μορφή της καμπύλης της φασματικής απόκρισης ενός στόχου σε σχέση με το μήκος κύματος ορίζεται ως φασματική υπογραφή ή φασματική ταυτότητα. (Χατζιμιτσής Δ. (2013))

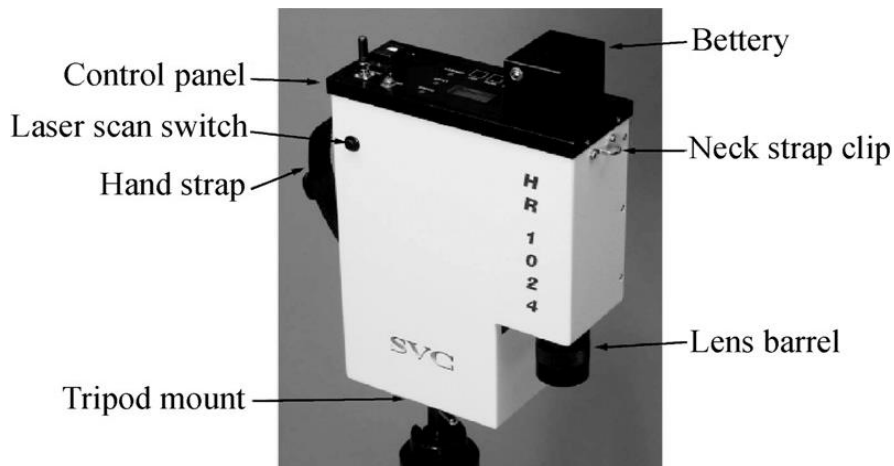




Εικόνα 3: Φασματικές υπογραφές εδάφους, ξηρής και υγιούς βλάστησης και νερού

### 1.5 Φασματοραδιόμετρο (Spectrometer)

Είναι ένα παθητικό σύστημα και ευαισθητοποιείται στην περιοχή των μικροκυμάτων της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Καταγράφει την εκπεμπόμενη ακτινοβολία από τα σώματα ή και την ανακλώμενη ηλιακή μικροκυματική ακτινοβολία από τα σώματα. Γενικά αποτελείται από το οπτικό σύστημα –είσοδο, ανιχνευτή και επεξεργαστή. (Χατζιμιτσής Δ. (2013))



Εικόνα 4: Τα μέρη ενός Φασματοραδιόμετρου

## 1.6 Spectral-on Panel

Είναι ένας πίνακας ο οποίος έχει την υψηλότερη διαχυτική ανάκλαση από οποιοδήποτε γνωστό υλικό για την υπεριώδη, ορατή και εγγύς υπέρυθρη περιοχή του φάσματος. Μπορεί να κατασκευαστεί σε μια ποικιλία σχημάτων για την κατασκευή οπτικών στοιχείων, όπως οι στόχοι σχημάτων για την κατασκευή οπτικών στοιχείων, όπως οι στόχοι βαθμονόμησης. Σε αυτή την περίπτωση της παρούσας εργασίας χρησιμοποιήθηκε για την βαθμονόμηση του φασματοραδιόμετρου, για την απαλοιφή σφαλμάτων λόγω ατμόσφαιρας.

## 1.7 Δείκτες βλάστησης

Οι δείκτες βλάστησης είναι ποσοτική έκφραση, που υπολογίζεται από τις τιμές ανακλαστικότητας των δορυφορικών δεδομένων και σχετίζονται με την κατάσταση της βλάστησης. Η χρήση των δεικτών βλάστησης βασίζεται στο εξής γεγονός: όταν το φύλλωμα που περιέχει χλωροφύλλη καταστρέφεται, τότε η αναλογία κόκκινης και κοντινής υπέρυθρης της ακτινοβολίας αλλάζει.

Χρησιμοποιούνται ως ποιοτικά εργαλεία για την χαρτογράφηση της βλάστησης και ως ποσοτικά εργαλεία για την υποβοήθηση της ταξινόμησης μιας εικόνας (πχ καμένες εκτάσεις). Παράλληλα βοηθούν τον χρήστη στο να καθορίσει με ακρίβεια τον τύπο και την πυκνότητα της βλάστησης.

Η χρήση των δεικτών, επίσης, σε συσχέτιση με διάφορες παραμέτρους που περιγράφουν την κατάσταση της βλάστησης, όπως: ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), η φαινολογία της βλάστησης, το κλάσμα της ενεργού ακτινοβολίας που απορροφάται από τη ξηρότητα και την υγεία της φυσικής και διαχειριζόμενης βλάστησης.

Ο πρώτος δείκτης που χρησιμοποιήθηκε στην εν λόγω εργασία είναι ο NDVI. Είναι ίσως ο πιο πολύ-χρησιμοποιημένος δείκτης βλάστησης, και ο λόγος είναι η ανθεκτικότητα που έχει κάτω από την επίδραση διαφόρων συνθηκών, λόγω του κανονικοποιημένου τύπου του και της υψηλής απορρόφησης της ανακλώμενης ακτινοβολίας που παρουσιάζεις στο μήκος κύματος του φάσματος που βρίσκεται η χλωροφύλλη. Το βασικότερο μειονέκτημα του είναι όταν ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας παίρνει μεγάλες τιμές, δηλαδή υπάρχει πυκνή βλάστηση, μπορεί ο δείκτης να πάθει κορεσμό στα τιμές του και να μην αυξάνεται ανάλογα με την αύξηση της χλωροφύλλης. Οι τιμές που παίρνει κυμαίνονται από -1 έως +1, όμως οι

συνήθεις τιμές που δίνει για υγιή βλάστηση κυμαίνονται από +0.2 έως +1. Ο μαθηματικός του δείκτη NDVI είναι ο πιο κάτω:

$$NDVI = \frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}}$$

Όπου: **p** είναι η ανακλώμενη ακτινοβολία αντίστοιχα σε κάθε διάυλο (μήκος κύματος). (Οικονομάκη Ν. (2008))

Ο επόμενος δείκτης που χρησιμοποιήθηκε είναι ο δείκτης SAVI, ο οποίος είναι ένας εδαφικά προσαρμοσμένος δείκτης βλάστησης. Ο δείκτης SAVI προτάθηκε αρχικά από τον Huete (1988), για την αντιμετώπιση της αδυναμίας που έχει ο δείκτης PVI, που βασίζεται στην υπόθεση ότι θα υπάρχει μόνο ένας τύπος εδάφους κάτω από την βλάστηση. Ο SAVI είναι ένα υβρίδιο μεταξύ του αναλογικού δείκτη NDVI και του κάθετου δείκτη PVI. Ο μαθηματικός τύπος του δείκτη SAVI είναι:

$$[SAVI = ( (NIR-Red) / (NIR+Red+L) ) * (1+L)]$$

Όπου: **L** είναι ένας συντελεστής διόρθωσης και η τιμή του εξαρτάται από την κάλυψη της βλάστησης. Για πλήρη κάλυψη από βλάστηση παίρνει την τιμή μηδέν, και το αποτέλεσμα αυτού είναι ο δείκτης SAVI να γίνεται ίσος με τον δείκτη NDVI. Για πολύ χαμηλή κάλυψη από βλάστηση, ο συντελεστής παίρνει την τιμή ένα. Όταν η κάλυψη της βλάστησης είναι άγνωστη, η τιμή του συντελεστή είναι ίση με 0,5.

Στην εργασία χρησιμοποιήθηκε η τιμή 0,5, αφού με αυτή την τιμή αντιπροσωπεύεται την ενδιάμεση κάλυψη από βλάστηση. (Anonymous (2016))

## 2 Δορυφόροι

Δορυφόρος είναι ένα μη επανδρωμένο διαστημικό όχημα, που τίθεται σε τροχιά γύρω από τη Γη σε ύψος μεταξύ 500 και 35.000 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της, και εξοπλισμένο με κατάλληλα όργανα συλλέγει εικόνες και στοιχεία, τα οποία μεταδίδει σε επίγειους σταθμούς.

Ιστορικά, από το 1957 πραγματοποιήθηκε η εκτόξευση του πρώτου δορυφόρου (Sputnik1). Έως τα μέσα της δεκαετίας του 1990 έχουν εκτοξευθεί και τεθεί σε τροχιά χιλιάδες δορυφόροι που καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα ερευνών και εφαρμογών, άλλοι πραγματοποιώντας επιστημονικές παρατηρήσεις και μετρήσεις (επιστημονικοί δορυφόροι) και άλλοι εξυπηρετώντας οικονομικούς και εμπορικούς σκοπούς (δορυφόροι εφαρμογής). Έτσι μέσω αυτών πραγματοποιούνται αστρονομικές παρατηρήσεις, μετρήσεις κοσμικής ακτινοβολίας, μετεωρολογικές προβλέψεις, γεωλογικές έρευνες, χαρτογράφηση ηπείρων και ωκεανών, περιβαλλοντολογικές έρευνες, διεξαγωγή τηλεπικοινωνιών, κατασκόπευση στρατιωτικών στόχων κλπ. (Πιτσιλίδου Ε και Νικολακάκη Κ (2011).)

### 2.1 Κατηγορίες δορυφόρων

- **Τηλεπικοινωνιακοί δορυφόροι**

Διεκπεραιώνουν τηλεφωνικές συνδιαλέξεις, αναμεταδίδουν τηλεοπτικά προγράμματα, δεδομένα κλπ.

- **Δορυφόροι πλοήγησης**

Αποτελούν βάση ενός συστήματος προσανατολισμού και καθορισμού πορείας, κυρίως για αεροπλάνα και πλοία.

- **Δορυφόροι γεωλογικών ερευνών**

Χρησιμοποιούνται τόσο για τον εντοπισμό ορυκτών κοιτασμάτων και την παρατήρηση γεωλογικών σχηματισμών όσο και για τη συλλογή σεισμολογικών δεδομένων.

- **Μετεωρολογικοί δορυφόροι**

Χρησιμοποιούνται για παρακολούθηση των γήινων καιρικών φαινομένων.

- **Δορυφόροι γεωλογικών ερευνών**

Μελετούν το χερσαίο και θαλάσσιο περιβάλλον και καταγράφουν τα φαινόμενα και τις μεταβολές που συμβαίνουν σε αυτό, καθώς και στην ατμόσφαιρα του πλανήτη.

- **Περιβαλλοντικοί δορυφόροι**

Συλλέγουν εικόνες και στοιχεία, τα οποία μπορούν να αξιοποιήσουν για την αντιμετώπιση της ρύπανσης του περιβάλλοντος, μετεωρολογικών φαινομένων, την πρόληψη και τον εντοπισμό πυρκαγιών, την παρακολούθηση καλλιιεργειών, την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, καθώς και για την έρευνα, με απώτερο στόχο τη βελτίωση της ζωής σε όλο τον πλανήτη. Έχουν δυνατότητα παρατήρησης όλο το 24ωρο και είναι εξοπλισμένοι με όργανα υψηλής διακριτικής ικανότητας (ραδιόμετρα, μονάδα διερεύνησης με μικροκύματα, ανιχνευτές υπέρυθρης ακτινοβολίας, ανιχνευτές πρωτονίων και νετρονίων). Χαρτογραφούν όλα τα χαρακτηριστικά εδάφους, τη βλάστηση, την επιφανειακή θερμοκρασία ποταμών, λιμνών και θαλασσών, τις περιοχές με ηφαιστειακή δραστηριότητα, τις μετεωρολογικές μεταβολές και τα νέφη, τόσο την ημέρα όσο και την νύχτα, καθώς και την κατάσταση του όζοντος στη στρατόσφαιρα. Τα στοιχεία που συλλέγουν περνούν από επεξεργασία και μετατρέπονται σε εικόνες υψηλής ευκρίνειας. Σε αυτές χρησιμοποιούνται διαφορετικά χρώματα, για να απεικονιστούν οι διαφορές μεταξύ των περιοχών και οι διακυμάνσεις που παρουσιάζει το κάθε υπό μέτρηση μέγεθος σε αυτές. (Πιτσιλλίδου Ε και Νικολακάκη Κ (2011))

## **2.2 Τύποι Δορυφόρων**

- **Δορυφόροι Πολικής Τροχιάς**

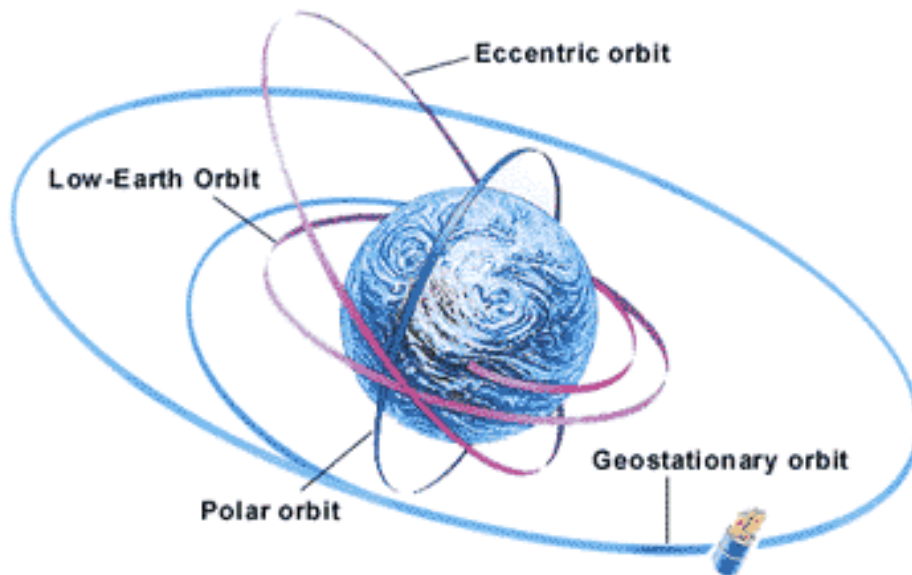
Η τροχιά του δορυφόρου είναι πολύ κοντά στους πόλους της Γης και σχηματίζει σχεδόν 90 μοίρες κάθετα προς τον ισημερινό.

- **Δορυφόροι Γεωσύγχρονης Τροχιάς**

Η Γεωσύγχρονη τροχιά είναι η τροχιά που έχει περίοδο ίση με τον χρόνο περιστροφής της Γης γύρω από τον εαυτό της. Αυτό το είδος δορυφόρου 'βλέπει' μόνο ένα σταθερό σημείο της Γης.

- **Δορυφόροι Ηλιοσύγχρονης Τροχιάς**

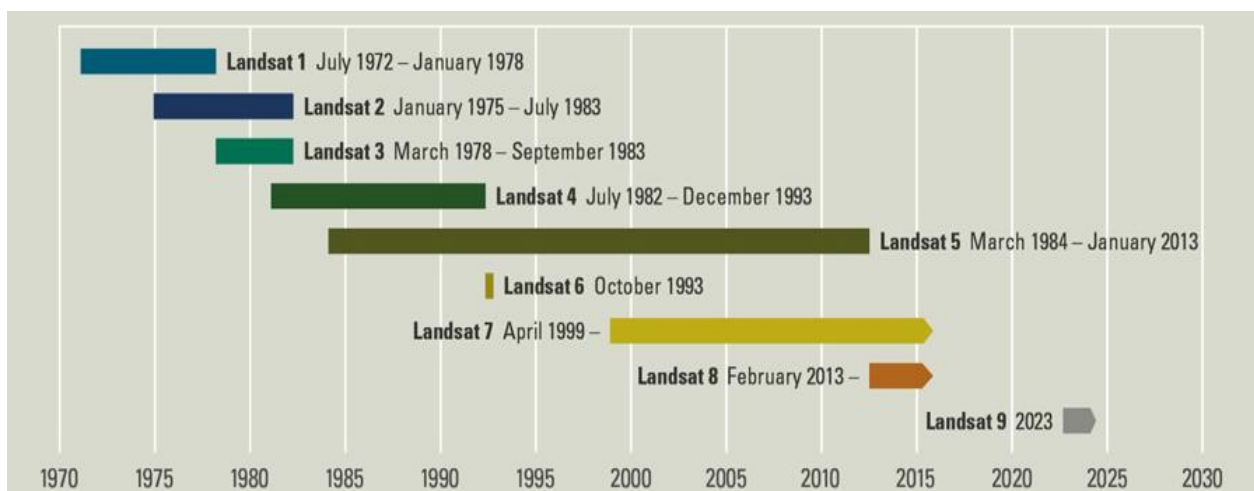
Ο προσανατολισμός το τροχιακού επιπέδου είναι σχετικός με τον Ήλιο. (Πιτσιλλίδου Ε και Νικολακάκη Κ (2011))



Εικόνα 5: Τύποι τροχιάς δορυφόρων

### 2.3 Δορυφόροι Landsat

Το πρόγραμμα Landsat είναι η επιχείρηση με την μακρύτερη λειτουργία για την απόκτηση εικόνων της γης από το διάστημα. Ο πρώτος δορυφόρος Landsat (της σειράς Landsat1) εκτοξεύθηκε το 1972 με το αρχικό όνομα ERTS.A (Earth Resources Technology Satellite) και μέχρι σήμερα έχουν εκτοξευθεί επιτυχώς συνολικά οκτώ δορυφόροι.



Διάγραμμα 1: Χρονοδιάγραμμα εκτόξευσης και απόσυρσης δορυφόρων Landsat

### 2.3.1 Landsat 7 ETM+

Ο δορυφόρος Landsat 7 εκτοξεύτηκε στις 15 Απριλίου το 1999. Καταγράφει το μπλε, πράσινο και κόκκινο φώς του ορατού φάσματος, όπως επίσης και το εγγυής υπέρυθρο, μέσο υπέρυθρο και θερμικό υπέρυθρο φως. Οι εικόνες του Landsat 7 έχουν χωρική ανάλυση 15 μέτρα σε παγχρωματική λειτουργία, 30 μέτρα σε πολύ-φασματική λειτουργία και 60 μέτρα στο θερμικό υπέρυθρο κανάλι. Έχει ηλιοσύγχρονη τροχιά με ύψος πτήσης 705 χιλιόμετρα και ο κύκλος επανάλιψης απόκτησης των δεδομένων από τον δορυφόρο για την ίδια περιοχή είναι 16 ημέρες.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα του είναι:

- ✓ Περιέχει ένα παγχρωματικό κανάλι με 15 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα το οποίο καταγράφει δεδομένα στο φάσμα 0,52-0,9 μικρό-μέτρα (μm). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα βελτιωμένο λόγο σχήματος/ θόρυβο και κατ' επέκταση καλύτερο διαχωρισμό της βλάστησης. Επιπρόσθετα, η ταυτόχρονη εγκατάσταση με τα πολύ-φασματικά κανάλια δίνει εξαιρετική ποιότητα όταν συγχωνεύονται τα δεδομένα τους.
- ✓ Φέρει ένα ηλιακό βαθμονομητή μαζί με μια εσωτερική λάμπα βαθμονόμησης, που ο συνδυασμός τους βελτιώνει την ικανότητα βαθμονόμησης του οργάνου.
- ✓ Η γεωδαιτική του ακρίβεια είναι 400 μέτρα κατά μήκος του κάθετου ίχνους.
- ✓ Υπάρχει δυνατότητα μετάδοσης των δεδομένων που λήφθηκαν με τρεις τρόπους: απευθείας, μέσω του data relay satellite system, με αποθήκευση και αργότερα μετάδοση.

### 2.3.2 Landsat 8

Ο δορυφόρος Landsat 8 εκτοξεύτηκε στις 11 Φεβρουαρίου 2013. Ο συγκεκριμένος δορυφόρος μεταφέρει δύο όργανα καταγραφής: το Operation Land Imager (OLI) και Thermal Infrared Sensor (TIRS). Οι αισθητήρες αυτοί παρέχουν εποχική κάλυψη της παγκόσμιας ξηράς με χωρική ανάλυση 30 μέτρων για τα κανάλια που βρίσκονται στο ορατό, κοντινό υπέρυθρο και μικροκυμματικό υπέρυθρο, 100 μέτρων για τα θερμικά κανάλια και 15 μέτρων για το παγχρωματικό κανάλι. Ο αισθητήρας OLI συλλέγει δεδομένα στο ορατό κοντινό υπέρυθρο, μικροκυμματικό υπέρυθρο καθώς και στο παγχρωματικό τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Επίσης παρέχει δύο νέες φασματικές ζώνες, μία προσαρμοσμένη ειδικά για την ανίχνευση νεφών (band 9) και μια για παρατηρήσεις της

παράκτιας ζώνης (band 1). Ο αισθητήρας TIRS συλλέγει δεδομένα σε δύο φασματικά κανάλια.

➤ Φασματικό κανάλι 1

Ανιχνεύει το βαθύ μπλε. Οι μπλε δέσμες ακτινοβολίας είναι δύσκολο να ανιχνευτούν από το διάστημα, γιατί διασκορπίζεται εύκολα από τα μικροσκοπικά κομμάτια σκόνης και νερού που υπάρχουν στον αέρα, αλλά και από τα ίδια τα μόρια του αέρα. Σε αυτό οφείλεται το ότι τα πολύ μακρινά αντικείμενα εμφανίζονται με γαλαζωπά, όπως δηλαδή βλέπουμε και το χρώμα του ουρανού. Αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι δύσκολο να συλλεχθεί με αρκετή ευαισθησία, έτσι το φασματικό κανάλι 1 είναι το μόνο όργανο του είδους του που παράγει ανοιχτά δεδομένα αυτή την ανάλυση. Ονομάζεται και κανάλι coastal/aerosol λόγω των λεπτών σωματιδίων όπως η σκόνη και ο καπνός.

➤ Φασματικά κανάλια 2, 3, 4

Είναι τα μπλε, το πράσινο και το κόκκινο του ορατού φάσματος.

➤ Φασματικό κανάλι 5

Μετρά το κοντινό υπέρυθρο. Αυτό το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος είναι ιδιαίτερα σημαντικό για την οικολογία γιατί τα υγιή φυτά το ανακλούν. Η υγρασία στα φύλλα τους σκεδάζει τα κύματα πίσω στον ουρανό. Συγκρίνοντας το με άλλα κανάλια, μπορούν να υπολογιστούν δείκτες βλάστηση.

➤ Φασματικά κανάλια 6, 7

Καλύπτουν διαφορετικά τμήματα του μικροκυματικού υπέρυθρου. Είναι χρήσιμο για τον διαχωρισμό του υγρού και ξηρού εδάφους και γενικότερα για τη γεωλογία, δηλαδή σε πετρώματα και εδάφη που φαίνονται παρόμοια σε άλλα φασματικά κανάλια, στο μικροκυματικό υπέρυθρο δημιουργούνται ισχυρές αντιθέσεις.

➤ Φασματικό κανάλι 8

Είναι το παγχρωματικό κανάλι και λειτουργεί όπως ένα ασπρόμαυρο φιλμ. Σε αυτό το κανάλι γίνεται ένας συνδυασμός όλων των ορατών χρωμάτων, και λόγω του ότι ο αισθητήρας μπορεί να ανιχνεύσει πιο πολύ φως ταυτόχρονα, είναι το πιο ευκρινές κανάλι με 15 μέτρα χωρική διακριτική ικανότητα.



➤ Φασματικό κανάλι 9

Είναι ένα από τα πιο ενδιαφέροντα χαρακτηριστικά του Landsat 8, γιατί μετατρέπει την ικανότητα της ατμόσφαιρας να απορροφά την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε πλεονέκτημα του. Πιο συγκεκριμένα, λόγω του ότι το έδαφος είναι ελάχιστα ορατό στο κανάλι αυτό, οτιδήποτε εμφανίζεται σε αυτό καθαρά, το ανακλά πολύ φωτεινά και βρίσκεται πάνω από το μεγαλύτερο μέρος της ατμόσφαιρας. Έτσι το κανάλι 9 καταγράφει τη λιγότερη πληροφορία και πιο συγκεκριμένα είναι μόνο για την καταγραφή των σύννεφων.

➤ Φασματικά κανάλια 10, 11

Βρίσκονται στο θερμικό υπέρυθρο και καταγράφει τη θερμοκρασία του εδάφους. (Department of the Interior U.S. Geological Survey. (2015))

Landsat-7 ETM+ Bands ( $\mu\text{m}$ )			Landsat-8 OLI and TIRS Bands ( $\mu\text{m}$ )		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 - 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 - 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

**Πίνακας 2: Μήκος κύματος και χωρική διακριτική ικανότητα για κάθε κανάλι των δορυφόρων Landsat 7 και Landsat 8**

### **3 Βιβλιογραφική ανασκόπηση**

Το κεφάλαιο αυτό περιέχει μία ανασκόπηση της βιβλιογραφίας μέσα από την οποία μελετήθηκε ο τρόπος αντιμετώπισης παρόμοιων προβλημάτων με αυτό που πραγματεύεται η συγκεκριμένη εργασία. Λόγω της πρωτοτυπίας που έχει το θέμα της παρούσας εργασίας, αλλά και λόγω του ότι σχετίζεται με θέματα άμυνας και υπάρχει ευαισθησία στην ανοιχτή προς το κοινό πρόσβαση σε τέτοιου είδους δεδομένα (απόρρητα δεδομένα), γίνονται η αιτία που υπάρχει ένα μεγάλο κενό στην βιβλιογραφία. Η έρευνα που έγινε για την μελέτη της διαδικασίας που ακολουθήθηκε για συναφή θέμα ήταν πολύ περιορισμένη και έτσι επιλέγηκαν θέματα που σχετίζονται με αρχαιολογία και γενικότερα η παρατήρηση αρχαιολογικών χώρων ή περιοχών που υπήρχαν θαμμένα αρχαία ευρήματα, με τη χρήση τηλεπισκόπησης.

#### **3.1 Επιπτώσεις στις υπόγειες στρατιωτικές εγκαταστάσεις – Deeply Buried Facilities: Implications for Military Operations**

Θέμα αυτής της έρευνας είναι η παρατήρηση, και πιο συγκεκριμένα ο εντοπισμός των υπόγειων αλλά και υπεδάφειων στρατιωτικών εγκαταστάσεων. Με αυτό τον τρόπο δίνει λύση στο ερωτήματα: πώς θα προσεγγίσει το πρόβλημα, με ποιόν τρόπο θα εργαστεί για τον εντοπισμό των εγκαταστάσεων και με ποιες τεχνολογίες οι υπόγειες εγκαταστάσεις θα μπορούν να εντοπισθούν. Έτσι χρησιμοποιώντας ένα συνδυασμό από κοινές γεωφυσικές μεθόδους, όπως χαρτογράφηση πεδίου του βαρύτητας, χαρτογράφηση του μαγνητικού πεδίου, χρήση γεωραντάρ, σεισμική μέθοδος, ηλεκτρομαγνητική μέθοδος, μέθοδος ηλεκτρικής αγωγιμότητας και μέθοδος ραδιενέργειας, όπως επίσης και χρήση δορυφορικών δεδομένων, μπορούν να δώσουν το επιθυμητό αποτέλεσμα που είναι ο εντοπισμός των υπόγειων κατασκευών. Επίσης, οι δορυφορικές εικόνες σε συνδυασμό με τις δυνατότητες που δίνουν τα κανάλια των δορυφόρων, μπορούν να υποδείξουν την παρουσία και την θέση των υπόγειων εγκαταστάσεων.

Επεκτείνοντας όμως το φάσμα παρατήρησης, οι εγκαταστάσεις αυτές μπορούν να εντοπιστούν, όμως είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί το σχήμα, το βάθος, καθώς και το είδος της κατασκευής. Παράλληλα μέσα από αυτήν την έρευνα γίνεται ένας διαχωρισμός των κατασκευών και γενικότερα των εγκαταστάσεων άμυνας, που βρίσκονται σε μεγάλο βάθος, ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής τους. Οι κατασκευές που βρίσκονται στο υπέδαφος και

κατασκευάστηκαν αφαιρώντας έδαφος και μετά το τέλος την κατασκευής προστέθηκε το αφαιρούμενο έδαφος, αναφέρονται ως ‘cut and cover’, δηλαδή είναι οι υπεδάφειες κατασκευές. Οι κατασκευές που κατασκευάστηκαν με διάνοιξη εδάφους, αναφέρονται ως ‘deeply buried’, δηλαδή είναι οι υπόγειες κατασκευές. (Sepp E.M. (2000))

### **3.2 Δείκτες βλάστησης και μετρήσεις πεδίου με φασματοραδιόμετρο για εντοπισμό θαμμένων αρχιτεκτονικών κατάλοιπων - Vegetation indices and field spectroradiometric measurements for validation of buried architectural remains: verification under area surveyed with geophysical campaigns**

Μέσα από αυτήν την έρευνα παρουσιάζεται ένας εναλλακτικός τρόπος ανίχνευσης θαμμένων αρχαιολογικών κατάλοιπων, με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat TM και ETM+ μέτριας ανάλυσης αλλά και μετρήσεις με φασματοραδιόμετρο σε βλάστηση στην περιοχή ενδιαφέροντος. Οι μετρήσεις πάρθηκαν καθ’ όλη την διάρκεια του φαινολογικού κύκλου σε καλλιέργεια σιτηρών και πιο συγκεκριμένα , που καλλιεργήθηκαν στην περιοχή μελέτης. Η βάση της μεθόδου που χρησιμοποιήθηκε απορρέει από το ότι η φασματική υπογραφή για κάθε αντικείμενο είναι μοναδική, και έτσι η υγιής βλάστηση διαφοροποιείται από την στρεσαρισμένη και μη υγιή βλάστηση. Τα χαρακτηριστικά της βλάστησης χωρίζονται με δύο κριτήρια: το πρώτο είναι η ομοιότητα των εδαφικών χαρακτηριστικών και το δεύτερο χαρακτηριστικό είναι οι όμοιες κλιματικές συνθήκες.

Τα πρώτα βήματα της έρευνας ήταν η γεωμετρική και ραδιομετρική διόρθωση των δορυφορικών εικόνων. Στη συνέχεια εφαρμόστηκε ο αλγόριθμος του δείκτη NDVI σε τρεις περιοχές επιλογής. Επίσης επισημάνεται ότι οι διαφοροποιήσεις στην βλάστηση γίνονται πιο εύκολα ορατές στο υπέρυθρο κανάλι (NIR). Οι επίγειες μετρήσεις που έγιναν με φασματοραδιόμετρο στην καλλιέργεια σιταριού, διήρκησαν ένα χρόνο, και οι παρατηρήσεις-μετρήσεις γίνονταν σε όλα τα στάδια ανάπτυξης του φυτού. Έτσι με τη χρήση δορυφορικών εικόνων σε συνδυασμό με τις επίγειες μετρήσεις ορίστηκαν πιθανά σημεία με κατάλοιπα αρχαίων.

Σε μεταγενέστερα στάδια ανάπτυξης της παρούσας έρευνας καλλιεργήθηκαν πολλά είδη φυτών όπως σιτάρι, κριθάρι και κουκιά, για να εξετασθεί πιο φυτό θα συμπεριφερόταν και γενικότερα θα ανταποκρινόταν καλύτερα στις φασματικές μετρήσεις. Επιλέγηκαν αυτά τα

είδη φοιτών διότι είναι εύκολα στην καλλιέργεια τους , δεν έχουν ιδιαίτερες απαιτήσεις νερού, είναι κατάλληλα για τις καιρικές συνθήκες της Κύπρου και ευνοούνται από την υγρασία. Το κριθάρι αποδείχτηκε το πιο κατάλληλο είδος φυτού για τέτοιου είδους εργασίες, λόγω της καλής λειτουργίας που έχει στους δείχτες βλάστησης. (Hadjimitsis D.G. and Agariou A (2011))

### **3.3 Διερεύνηση του τροπικού δάσους Petén στην βόρεια Γουατεμάλα για τους αρχαίους Μάγια, με Τηλεπισκόπηση – Remote sensing investigation of the ancient Maya in the Petén rainforest of the northern Guatemala**

Στη συγκεκριμένη έρευνα παρακολουθείται ο χώρος του τροπικού δάσους Petén, όπου είχε αναπτυχθεί ο αρχαίος πολιτισμός των Μάγια, με την χρήση τηλεπισκόπησης, για τον εντοπισμό ευρημάτων που αφορούν τις μεταφορές όλων των ειδών αυτού του λαού ή γενικότερα νέα δεδομένα όσο αφορά την ζωή του, αλλά και μία γενική εικόνα της ευρύτερης περιοχής. Λόγω του ότι το δάσος είναι πάρα πολύ πυκνό με πολύ ψηλά τροπικά δέντρα η αναζήτηση περισσότερων ευρημάτων γίνεται ακόμα πιο δύσκολη.

Οι ερευνητές σε αυτή την περίπτωση προσπάθησαν να εντοπίσουν χαρακτηριστικά που θα μπορούσαν να σχετίζονται με δρόμους ή κάποιο είδος οδοστρώματος που πιστεύεται ότι υπήρχε εκείνη την εποχή ή συστήματα καναλιών. Παράλληλα έγινε μία συσχέτιση με τα πρότυπα του οικισμού σε σχέση με τη βλάστηση που υπάρχει στην ευρύτερη περιοχή, με τα υδρολογικά και γεωλογικά χαρακτηριστικά του κρατικού τοπογραφικού τοπίου. Έτσι απομονώθηκαν οι πιθανές περιοχές που βρίσκονται τα ζητούμενα και αυτό έγινε με μεγάλη λεπτομέρεια. Έγιναν χάρτες με τα πρότυπα αποστράγγισης των νερών, που μπορούν να δώσουν μία γενική εικόνα για την διαχείριση των υδάτων στον οικισμό, όπως επίσης και πληροφορίες για την ικανότητα αποθήκευσης. Επίσης δημιουργήθηκαν λεπτομερέστατοι χάρτες για την βλάστηση, έτσι ώστε να πάρουν πληροφορίες για τη σχέση μεταξύ της κάλυψης της γης, της υδρολογίας του εδάφους και τις στρατηγικές επιβίωσης του οικισμού.

Για να έχουν τα επιθυμητά αποτελέσματα χρησιμοποίησαν δορυφορικές εικόνες Landsat TM και ETM, δορυφορικές εικόνες IKONOS με χωρική διακριτική ικανότητα 1 μέτρο και εικόνες ραντάρ STAR - 3i με οπισθοσκέδαση 2,5 μέτρα και ακρίβεια ψηφιακού μοντέλου εδάφους (DEM) 10 μέτρα. Έχοντας επεξεργαστεί τα δεδομένα που είχαν, στη συνέχεια έγινε

χρήση ανάλογου λογισμικού για διαχείριση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών γης (ΓΣΠ - GIS) και δημιουργήθηκαν οι χάρτες που αναφέρονται πιο πάνω. Με αυτά τα δεδομένα δόθηκε η ικανότητα στην ερευνητική ομάδα να κατανοήσει πώς αυτός ο πολιτισμός κατάφερε να επιζήσει για αιώνες. (Sever T.L and Irwin D.E (2003))

### **3.4 Εντοπισμός αρχαίων με τη χρήση πολυφασματικών δορυφορικών εικόνων QuickBird – Detection of archaeological crop marks by using satellite QuickBird multispectral imagery**

Στην εν λόγω έρευνα γίνεται μία προσπάθεια για τον εντοπισμό αρχαίων κατάλοιπων στην νότια Ιταλία, τα οποία πιστεύεται ότι ανήκουν στην μεσαιωνική εποχή. Η βλάστηση που επικρατεί στην περιοχή είναι βλάστηση ποωδών φυτών τα οποία έχουν ένα διαφορετικό φαινολογικό κύκλο.

Η μεθοδολογία που ακολουθήθηκε ήταν βασισμένη στη χρήση αλγόριθμων, που θα βοηθούσαν στον εντοπισμό των διαφοροποιήσεων της φασματικής ανταπόκρισης της βλάστησης. Για την επίτευξη αυτού χρησιμοποιήθηκε το υπέρυθρο κανάλι, στο οποίο οι διαφοροποιήσεις ήταν πιο εμφανή και μετά χρησιμοποιήθηκε ο δείκτης βλάστησης NDVI.

Ο βασικότερος λόγος που χρησιμοποιήθηκαν δορυφορικά δεδομένα QuickBird είναι γιατί προσφέρονται παγχρωματικές εικόνες με πολύ υψηλή ανάλυση που κυμαίνεται από 61 μέχρι 72 εκατοστά. Επίσης στο πολυφασματικό κανάλι η ανάλυση κυμαίνεται από 2,44 μέχρι 2,88 μέτρα.

Η αναγνώριση των αρχαίων κατάλοιπων έγινε με ανάλυση του αλγόριθμου ανίχνευσης ακμών, ο οποίος εφαρμόστηκε σε κάθε κανάλι ξεχωριστά και αποδείχτηκε ότι στο υπέρυθρο κανάλι οι αποδείξεις για την ύπαρξη αρχαίων στην περιοχή ήταν περισσότερο ορατές από άλλα κανάλια. Ακολούθως δημιουργήθηκε ένας χάρτης με τον δείκτη βλάστησης NDVI για μία περιοχή διαστάσεων  $45 \times 100$  μέτρα. Έτσι παρατηρήθηκε ότι τα αποτελέσματα μετά την εφαρμογή του αλγόριθμου συμφωνούσαν με αυτά που παρουσιάστηκαν από τον χάρτη του δείκτη NDVI. Παράλληλα, για να διαπιστωθεί η ορθότητα του δείκτη NDVI στο QuickBird παρατηρήθηκε η ποιότητα της βλάστησης και παρουσιάστηκε ότι η βλάστηση η οποία βρισκόταν πάνω από τα αρχαία είχε την τάση να παράγει λιγότερη χλωροφύλλη και αυτό φάνηκε και στις μειωμένες τιμές του δείκτη. (Lasaponara R. and Masini N (2016))

### **3.5 Ανίχνευση θαμμένων και μη αρχαίων κατάλοιπων με τη χρήση πολλαπλών αισθητήρων τηλεπισκόπησης – Detection of exposed and subsurface archaeological remains using multi-sensor remote sensing**

Έχοντας μελετήσει μέχρι το παρόν στάδιο μεθόδους εντοπισμού αρχαίων, είχαν το κοινό στοιχείο των δορυφορικών εικόνων. Σε αυτή την περίπτωση γίνεται μια εναλλαγή, δηλαδή χρησιμοποιήθηκε αερομεταφερόμενος πολυαισθητήρας και δεδομένα ραντάρ, για την παρακολούθηση της περιοχής Ίτανος στο νησί της Κρήτης. Πιο συγκεκριμένα χρησιμοποιήθηκαν CASI, ATM και δεδομένα Lidar, Για ανίχνευση ανωμαλιών όσο αφορά το έδαφος, δηλαδή τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του, τα οποία συνδέονται με την ύπαρξη αρχαίων κατάλοιπων.

Όπως αναφέρεται, από αεροφωτογραφίες αλλά και από τεχνικές που βασίζονται σε επίγειες μετρήσεις όπως είναι το ραντάρ εδάφους (επίγειο), έλεγχος πεδίου βαρύτητας, σύστασης εδάφους, έχουν τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα τους. Το κυριότερο μειονέκτημα τους είναι ότι κοστίζουν και η ακρίβεια που δίνουν δεν είναι ανάλογη του κόστους, ιδιαίτερος στην χωρική ανάλυση και τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που μπορούν να δοθούν στο ορατό φάσμα. Έτσι οι αερομεταφερόμενοι αισθητήρες φωτός και τα ραντάρ, όπως και η τηλεπισκόπηση στο υπερφασματικό εύρος, είναι τα πιο συνήθη στην ανίχνευση αρχαίων κατάλοιπων τα τελευταία χρόνια.

Με αυτή την μέθοδο δίνεται η δυνατότητα στον χρήστη να διαχειριστεί υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας αλλά και μεγάλου φάσματος δεδομένα, σε συνδυασμό με Lidar σε μια περιοχή η οποία είναι άγνωστο το τι κρύβει στο υπέδαφος της. Το CASI χρησιμοποιήθηκε για επίγειες μετρήσεις με φασματοραδιόμετρο, ενώ τα ATM δεδομένα διορθώθηκαν ατμοσφαιρικά. Τα δεδομένα Lidar πάρθηκαν μαζί με το προφίλ θερμοκρασιών εδάφους. Ακολούθως έγινε εφαρμογή του δείκτη NDVI και μετά έγινε ταξινόμηση στα δεδομένα. Τέλος εφαρμόστηκε ένας μη επιβλεπόμενος αλγόριθμος ανίχνευσης για άγνωστους στόχους, οι οποίοι είναι σαφείς όσο αφορά την φασματική τους ταυτότητα στην εικόνα. (Rowlands A. and Sarris A. (2016))

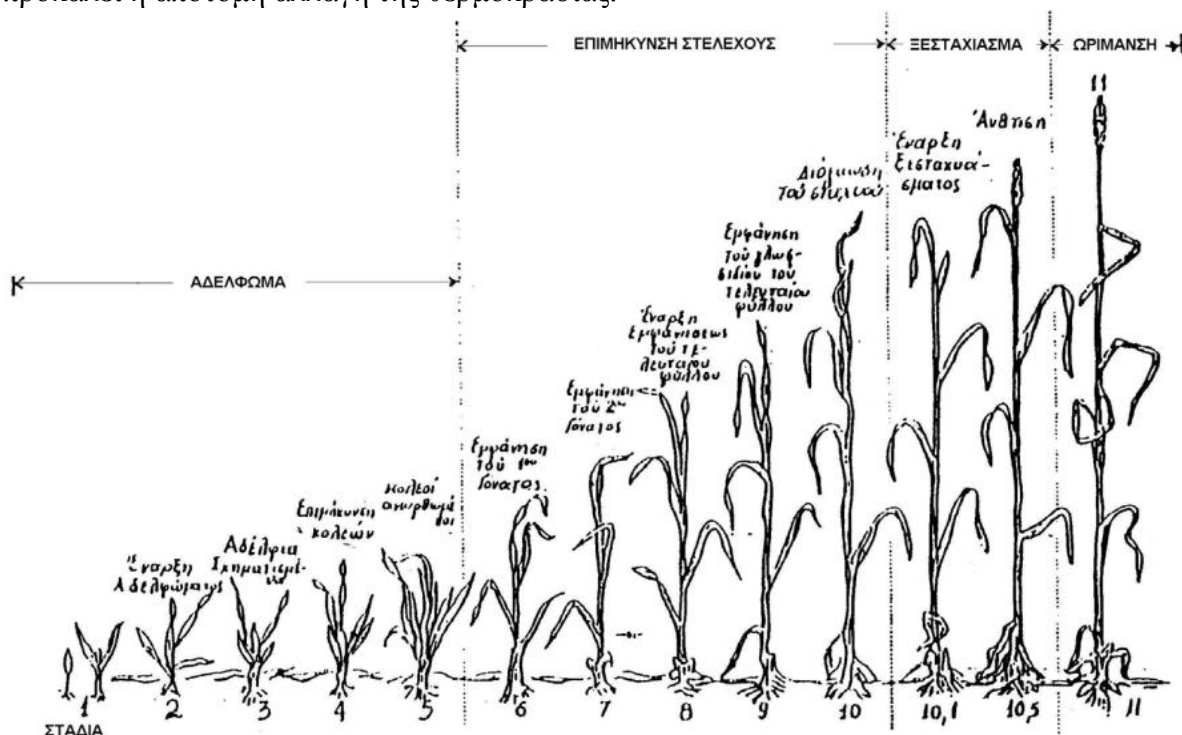
## 4 Φαινολογικός Κύκλος

### 4.1 Φαινολογία

Τα φαινολογικά στάδια ανάπτυξης η ή διάρκεια ανάμεσα σε δύο στάδια, αντικατοπτρίζει την πολυπλοκότητα των καιρικών συνθηκών ή του κλίματος της περιοχής των υπό παρατήρηση φυτών. Ο πρωταρχικός παράγοντας επηρεασμού που εμφανίζει ένα πρόσκαιρα διαφορετικό αναπτυξιακό στάδιο είναι η θερμοκρασία, το ίδιο και οι βροχοπτώσεις, μέχρι ενός σημείου. Συνεπώς, η παρουσίαση της έναρξης μιας φάσης ανάπτυξης σε μια περιοχή, υπό μορφή χάρτη, καταλήγει σε μία εικόνα παρουσίασης των διαφοροποιήσεων της πορείας της θερμοκρασίας στη διάρκεια μιας συγκεκριμένης αναπτυξιακής περιόδου των φυτών. (Δαλέζιος Ν.Ρ. (2015))

### 4.2 Καλλιέργεια Κριθαριού

Το κριθάρι μπορεί να χαρακτηριστεί ως το φυτό με τη μεγαλύτερη προσαρμοστικότητα σε σχέση με τα υπόλοιπα σιτάρα. Η προσαρμοστικότητα του οφείλεται στους πρώιμους τύπους του, που ωριμάζουν σχετικά γρήγορα, για αποφυγή των δυσάρεστων επιπτώσεων που προκαλεί η απότομη αλλαγή της θερμοκρασίας.



Εικόνα 5: Τα στάδια ανάπτυξης του κριθαριού.

## 5 Περιοχή Μελέτης

Η επιλογή της περιοχής μελέτης ήταν αρκετά δύσκολη και χρονοβόρα εργασία, γιατί σχετίζεται με ευαίσθητα δεδομένα. Λόγω του ότι βρισκόμαστε σε ελεγχόμενο πεδίο και υπάρχουν ευαίσθητες πληροφορίες, ζητήθηκε ειδική άδεια από τους αρμόδιους φορείς (Υπουργείο Άμυνας, Κυπριακή Υπηρεσία Πληροφοριών και ΓΕΕΦ), για την πραγματοποίηση εργασιών πεδίου και δεν δόθηκε άδεια για άλλες περιοχές μελέτης. Έτσι ο χώρος μελέτης ήταν αρκετά περιορισμένος και για τους πιο πάνω λόγους δεν θα αναφερθεί η ονομασία της περιοχής.

Το ελεγχόμενο πεδίο είναι μια στρατιωτική περιοχή και πιο συγκεκριμένα είναι στρατιωτικές αποθήκες. Οι επίγειες μετρήσεις έγιναν σε δύο αποθήκες, όπου υπήρχε εύκολη πρόσβαση σε αγροτικό όχημα για την μετέπειτα σπορά του κριθαριού. Η περιοχή έχει χωριστεί σε αποθήκες (αποθήκη 1, 2 και 3) και εικονικά πεδία (χώροι ενδιάμεσα από τις αποθήκες 1 και 2, και τις αποθήκες 2 και 3).



Εικόνα 6: Δορυφορική εικόνα της περιοχής μελέτης



Όπως φαίνεται και στην πιο πάνω εικόνα η αρχική μορφή του πεδίου περιείχε την θαμνώδη φυτό-κάλυψη που υπάρχει γενικότερα στο νησί της Κύπρου. Επίσης πρέπει να αναφερθεί ότι το συγκεκριμένο σημείο θεωρήθηκε κατάλληλο, γιατί η κατάσταση των αποθηκών αφέθηκε στον χρόνο και η βλάστηση ήταν φυσική χωρίς παρεμβάσεις.



**Εικόνα 7: Γενικές φωτογραφίες πεδίου από τις στρατιωτικές αποθήκες με φυσική κάλυψη**

Οι αποθήκες είναι τύπου NATO και είναι υπεδάφειες κατασκευές, δηλαδή για την κατασκευή τους αφαιρέθηκε μέρος του εδάφους, ακολούθως κατασκευάστηκε η αποθήκη και τέλος προστέθηκε το αφαιρούμενο έδαφος. Περισσότερες πληροφορίες για την κατασκευή των αποθηκών δεν ήταν εφικτό να δοθούν.



**Εικόνα 8: Φωτογραφίες πρόσοψης Στρατιωτικής Αποθήκης 3**

## 6 Μεθοδολογία

Στο κεφάλαιο αυτό παρουσιάζεται η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε στα πλαίσια της έρευνας και αναλύεται κάθε βήμα ξεχωριστά. Για την παρούσα εργασία χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα από τους δορυφόρους Landsat7 ETM+ και Landsat 8 . Παράλληλα παρουσιάζεται και σχηματικά πιο κάτω.

- **Επιλογή περιοχής μελέτης:**

Το πρώτο στάδιο αφορά την ανάλυση για την επιλογή των περιοχών μελέτης. Έγινε έρευνα για όλες τις πιθανές περιοχές μελέτης και παράλληλα ζητήθηκε ειδική άδεια από την αρμόδια αρχή. Στην ερευνητική ομάδα δόθηκε μόνο μια περιοχή μελέτης η οποία δεν μπορεί να αναφερθεί για λόγους ασφαλείας.

- **Εργασίες πεδίου:**

Οι μετρήσεις πεδίου αφορούν τις απαραίτητες μετρήσεις που έχουν γίνει στην περιοχή ενδιαφέροντος. Πιο αναλυτικά, έχουν γίνει ανά τακτά χρονικά διαστήματα λήψεις με φασματοραδιόμετρο στο ελεγχόμενο πεδίο. Οι μετρήσεις έγιναν σε δύο είδη κάλυψης, στη φυσική βλάστηση και στη συνέχεια στην καλλιέργεια κριθαριού που είχε σπαρθεί στο πεδίο. Οι μετρήσεις πάρθηκαν κατά τον Οκτώβριο, τον Νοέμβριο και Φεβρουάριο. Παράλληλα έγιναν μετρήσεις και σε Εικονικά πεδία τα οποία είναι δύο μικρές περιοχές δίπλα από τις αποθήκες, που όμως δεν έχουν κάποια κατασκευή στο υπέδαφος.

Ο τρόπος εργασίας που χρησιμοποιήθηκε ακολούθησε ως εξής: Δημιουργήθηκε ένα είδος κάναβου με διαστάσει 5×13 μέτρα με βήμα ανά 1 μέτρο. Οι μετρήσεις γίνονταν για κάθε τετράγωνο για όλες τις αποθήκες και για τα εικονικά πεδία. Σε μεταγενέστερο στάδιο, το οποίο δεν θα παρουσιαστεί στην έρευνα αυτή, τα αποτελέσματα από τις μετρήσεις με το επίγειο φασματοραδιόμετρο θα συνδυαστούν στο στάδιο της ανάλυσης με δορυφορικές εικόνες, για σκοπούς βαθμονόμησης των εικόνων, κυρίως για την αναγωγή λόγω ατμοσφαιρικών επιδράσεων, αλλά και για επαλήθευση των αποτελεσμάτων από την επεξεργασία των δορυφορικών καταγραφών.

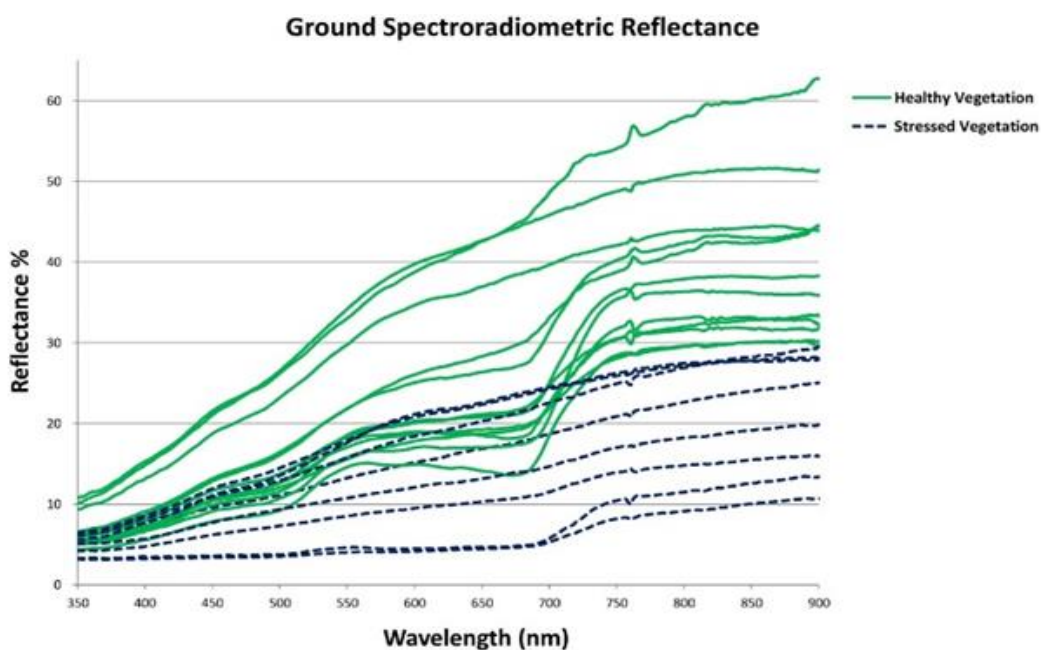
Για της επίγειες φασματοραδιομετρικές μετρήσεις χρησιμοποιήθηκε φασματοραδιόμετρο SVC HR-1024.



Εικόνα 8: Μετρήσεις με επίγειο φασματοραδιόμετρο στο ελεγχόμενο πεδίο σε κριθάρι.

- **Φασματικές υπογραφές:**

Το αμέσως επόμενο βήμα από τις επίγειες φασματοραδιομετρικές μετρήσεις που έγιναν, ήταν η επεξεργασία και μελέτη των μετρήσεων ως προς τα φασματικά χαρακτηριστικά τους. Ο λόγος ήταν ο εντοπισμός τυχών αλλοιώσεων στην φασματική ανακλαστικότητα της βλάστησης, δημιουργώντας μια ψηφιακή βιβλιοθήκη φασματικών υπογραφών. Παράλληλα μέσα από την επεξεργασία των φασματικών υπογραφών εντοπίστηκαν οι φασματικοί διάυλοι που είναι πιο κατάλληλοι για τον εντοπισμό των υπεδάφινων κατασκευών.



Εικόνα 9: Φασματικές υπογραφές από την καλλιέργεια κριθαριού σε πυκνή βλάστηση και μη.

- **Μελέτη φαινολογικού κύκλου:**

Η μελέτη του φαινολογικού κύκλου έγινε στην περιοχή μελέτης και για τα δύο είδη βλάστησης (φυσική βλάστηση και κριθάρι), δηλαδή παρατηρήθηκαν τα στάδια ανάπτυξης των φυτών και πολύ περισσότερο του κριθαριού που καλλιεργήθηκε στην περιοχή μελέτης. Στόχος είναι ο εντοπισμός των χρονικών παραθύρων (διόδων), για τα οποία οι δορυφορικοί δέκτες ανταποκρίνονται καλύτερα στην φασματική ανωμαλία, αλλά και στη διαφοροποίηση του συγκεκριμένου είδους βλάστησης.

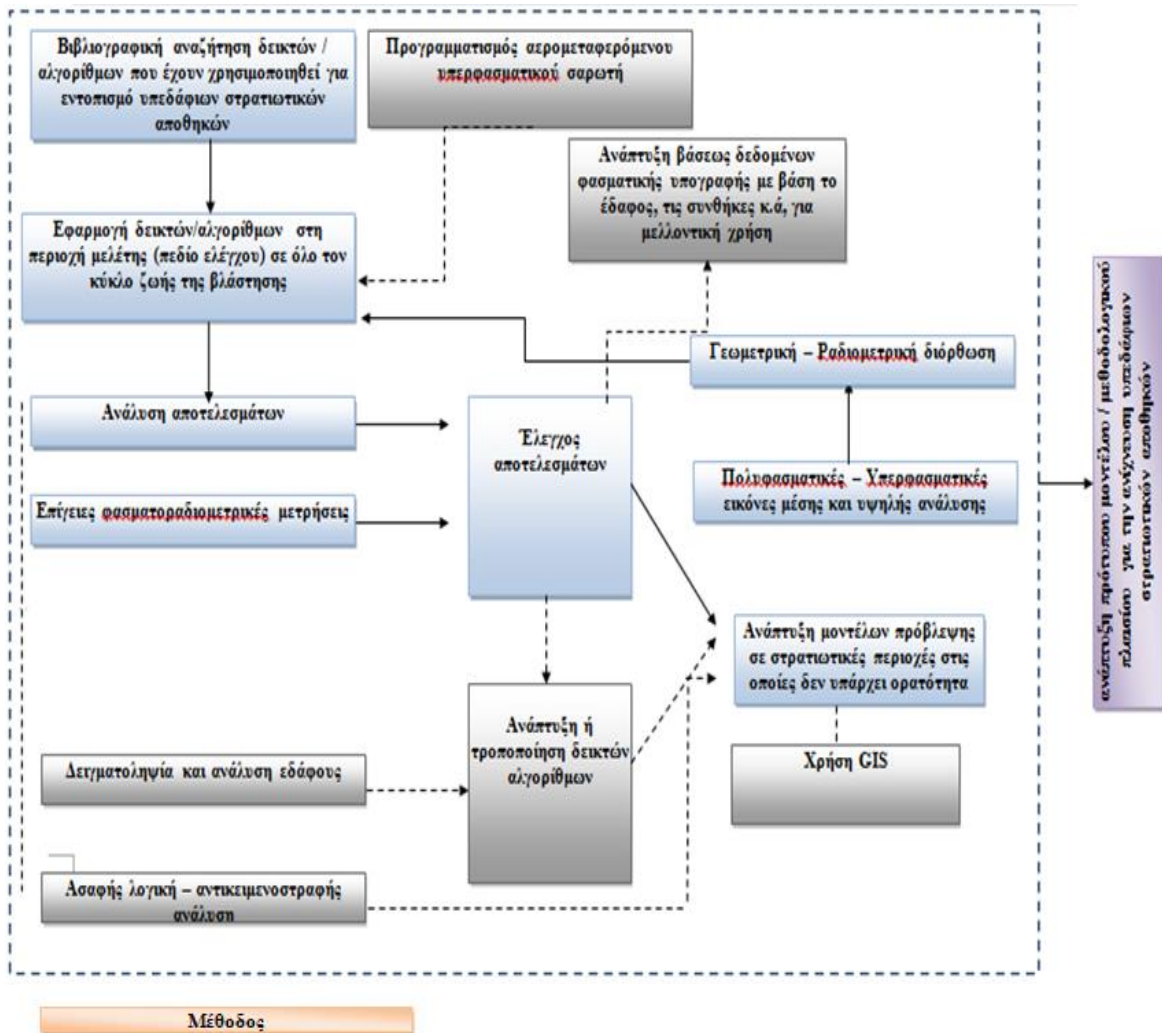
- **Εξαγωγή δεικτών βλάστησης:**

Το τελευταίο στάδιο της μεθοδολογίας για αυτή την εργασία ήταν εξαγωγή των δεικτών βλάστησης. Οι μετρήσεις που είχαν παρθεί με το επίγειο φασματοραδιόμετρο επεξεργάστηκαν με την βοήθεια του λογισμικού Microsoft Excel. Στην επεξεργασία έγινε συσχέτιση των τιμών ανακλαστικότητας των δορυφόρων Landsat7 ETM+ και Landsat8 με τις τιμές ανακλαστικότητας του επίγειου φασματοραδιομέτρου, και αυτό επιτεύχθηκε με την χρήση φίλτρων RSR. Τα φίλτρα γενικότερα χρησιμοποιούνται όπως και τα φασματοραδιόμετρα για να συνδυάσουν συγκεκριμένα μήκη κύματος για κάθε κανάλι με άλλα. Η ανακλαστικότητα από τα φασματοραδιόμετρα υπολογίστηκε για κάθε κανάλι σε συγκεκριμένο μήκος κύματος με το αντίστοιχο φίλτρο RSR. Ο μαθηματικός τύπος που χρησιμοποιήθηκε είναι:

$$[R_{\text{band}} = \Sigma (R_i * RSR_i) / \Sigma RSR_i]$$

Όπου:  $R_{\text{band}}$  είναι η ανακλαστικότητα σε συγκεκριμένο κανάλι,  $R_i$  είναι η ανακλαστικότητα σε συγκεκριμένο μήκος κύματος,  $RSR$  είναι η σχετική απόκριση κάποιας τιμής σε συγκεκριμένο μήκος κύματος.

Τα στάδια μελέτης για την εν λόγω έρευνα δεν μπόρεσαν να προχωρήσουν περαιτέρω, δηλαδή σε επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων και εφαρμογή των δεικτών βλάστησης και άλλων αλγορίθμων, λόγω του ότι το διάστημα ενός ακαδημαϊκού έτους ήταν πολύ σύντομο. Με αφορμή αυτού γίνεται μια σύγκριση των δεικτών βλάστησης, που υπολογιστήκαν βάση των επίγειων φασματοραδιομετρικών μετρήσεων που έγιναν στο ελεγχόμενο πεδίο στην φυσική βλάστηση που υπήρχε αρχικά και στο κριθάρι που καλλιεργήθηκε αργότερα.

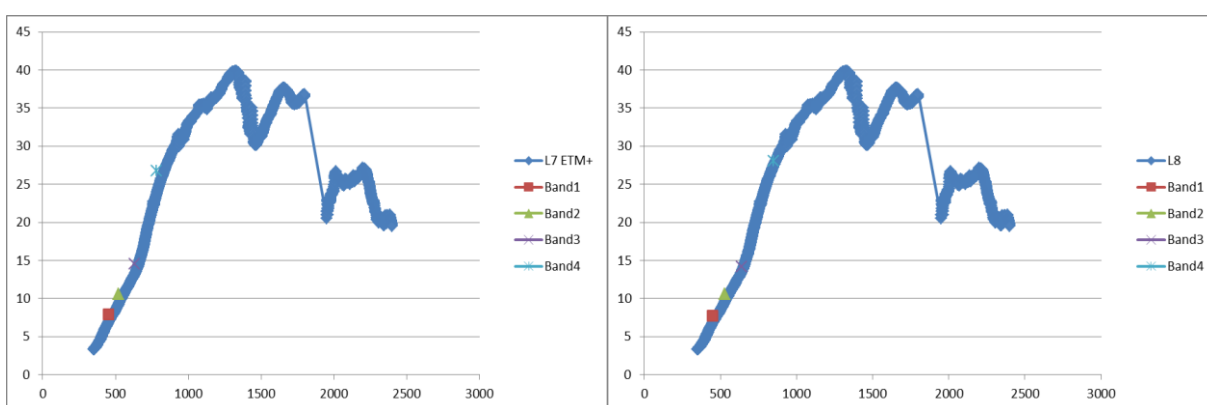


Διάγραμμα 2: Σχηματικό διάγραμμα μεθοδολογίας της διατριβής του συγκεκριμένου θέματος

## ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Πιο κάτω παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από τις φασματικές υπογραφές και από τους δείκτες βλάστησης οι οποίοι παρουσιάζονται σε μορφή χάρτη για την ελεγχόμενη περιοχή.

Στα πιο κάτω γραφήματα φαίνονται οι φασματικές υπογραφές της φυσικής βλάστης στην Στρατιωτική Αποθήκη 1. Με διακριτικά παρουσιάζεται η ανταπόκριση του κάθε δορυφόρου σε κάθε κανάλι. Τα κανάλια που επιλέχθηκαν να χρησιμοποιηθούν στην εργασία αυτή είναι το κανάλι 1, 2, 3 και 4, δηλαδή το ορατό φάσμα και το εγγύς υπέρυθρο.

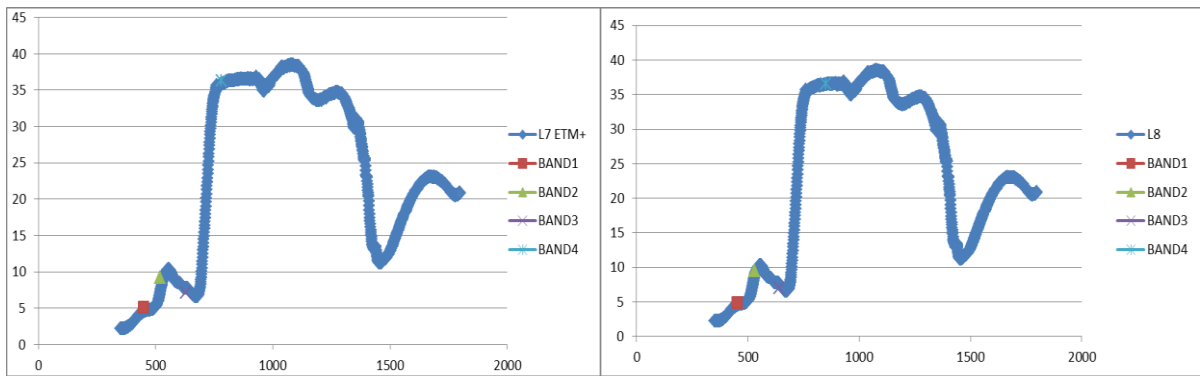


**Διάγραμμα 3: Φασματικές υπογραφές Στρατιωτικής Αποθήκης 1 με φυσική βλάστηση**

Ακολουθώς φαίνονται οι φασματικές υπογραφές της Αποθήκης 1 μετά την καλλιέργεια κριθαριού με τον ίδιο τρόπο όπως και στην φυσική βλάστηση. Η κάλυψη όπως μπορεί κανείς να δει από την φωτογραφία της περιοχής μελέτης δεν είναι αρκετά πυκνή πάνω από τις αποθήκες.

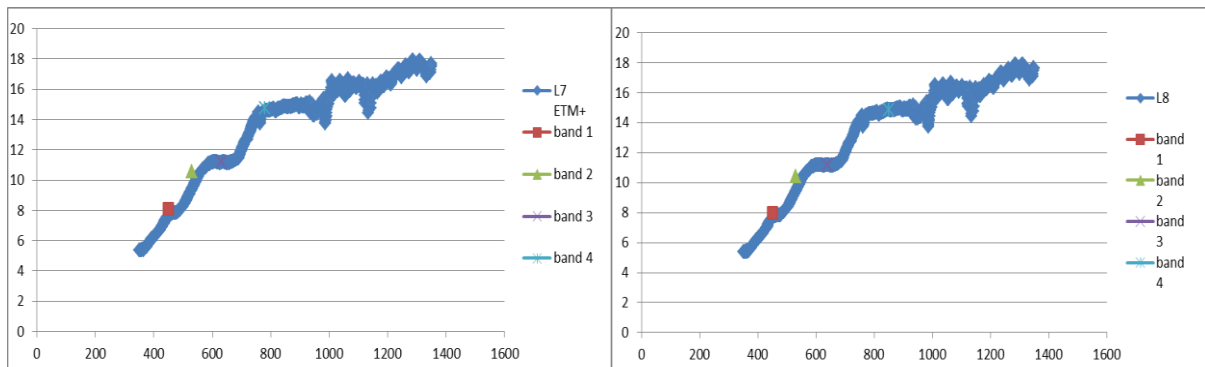


**Εικόνα 10: Φωτογραφία Στρατιωτικής Αποθήκης 1 με φυτοκάλυψη κριθαριού**

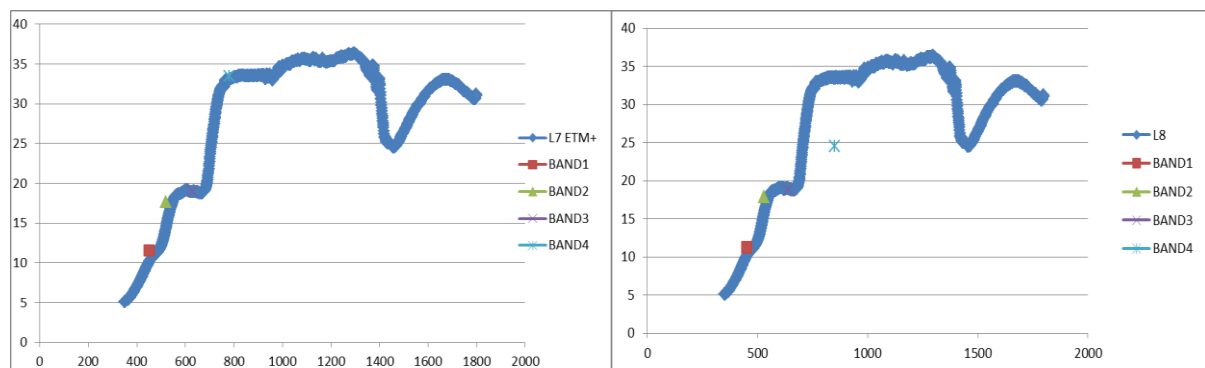


**Διάγραμμα 4: Φασματικές υπογραφές Στρατιωτικής Αποθήκης 1 με φυτοκάλυψη κριθαριού**

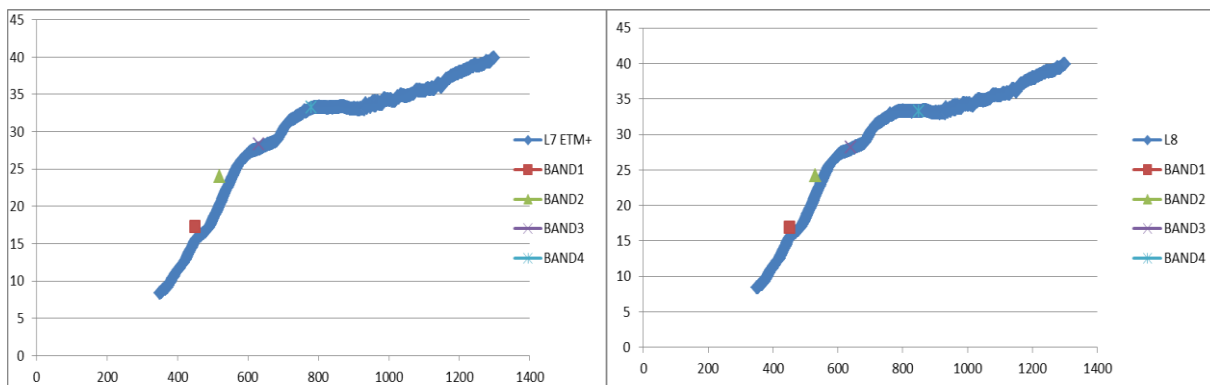
Επίσης παρουσιάζονται οι φασματικές υπογραφές των αποθηκών 2 και 3. Η Αποθήκη 2 έχει επίσης καλλιεργηθεί με κριθάρι, ενώ η Αποθήκη 3 έχει παραμείνει ανέγκιχτη χρησιμοποιώντας την φυσική της βλάστηση για τις μετέπειτα μετρήσεις, για περετέρω μελέτη του φαινολογικού κύκλου αυτού του είδους βλάστησης. Ο τρόπος ανάπτυξης του κριθαριού παρατηρήθηκε να είναι παρόμοιος με αυτού της Αποθήκης 1, δηλαδή τα φυτά έχουν περίπου το ίδιο ύψος και είναι αρκετά αρεή η βλάστηση.



**Διάγραμμα 5: Φασματικές υπογραφές Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυσική κάλυψη**



**Διάγραμμα 6: Φασματικές υπογραφές Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυτοκάλυψη κριθαριού**



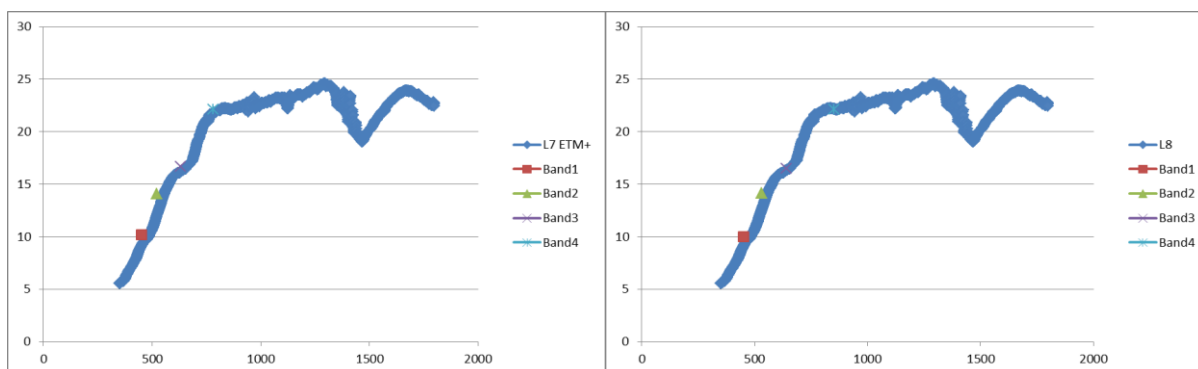
**Διάγραμμα 5: Φασματικές υπογραφές Στρατιωτικής Αποθήκης 3 με φυσική κάλυψη**

Με τον ίδιο τρόπο εργασίας έγινε επεξεργασία και στα Εικονικά πεδία 1 και 2. Το Εικονικό πεδίο 1 αρχικά μελετήθηκε με την φυσική του κάλυψη και στη συνέχεια παρακολούθηθηκε με την κάλυψη κριθαριού. Το Εικονικό πεδίο 2 παρέμεινε όπως και η Αποθήκη 3 με φυσική κάλυψη για μεταγενέστερη χρήση και παρακολούθηση. Η κάλυψη, τόσο η φυσική όσο και η καλλιέργεια, πάνω από τα εικονικά πεδία ήταν εμφανή πιο πυκνή από ότι απάνω από τις αποθήκες. Πιο κάτω με κίτρινο παρουσιάζετε με κίτρινο το Εικονικό πεδίο 1 και με κόκκινο η Αποθήκη 2.

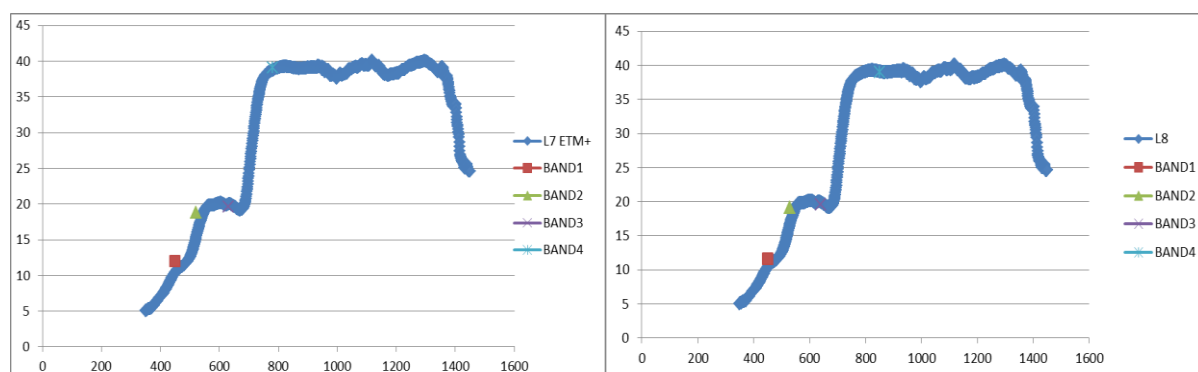


**Εικόνα 11: Φωτογραφία Εικονικού πεδίου 1 και Αποθήκης 2 - Διαφοροποίηση βλάστησης**

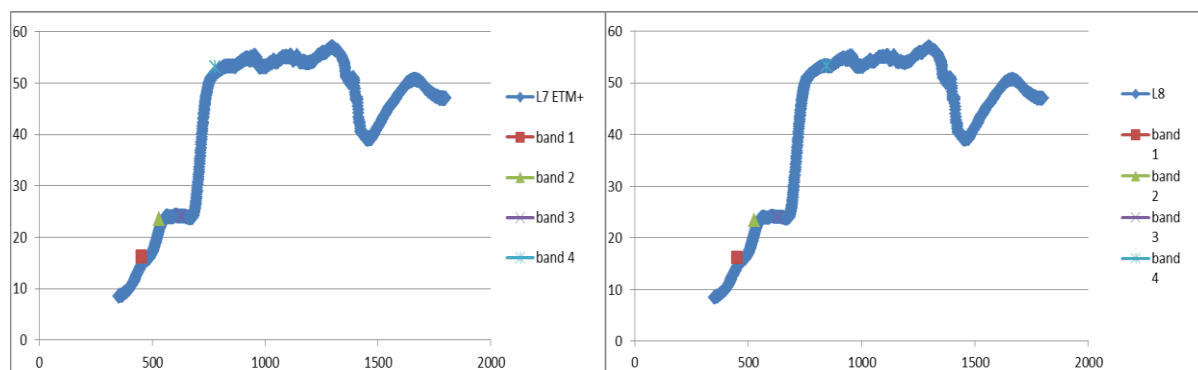




**Διάγραμμα 6: Φασματικές υπογραφές Εικονικού πεδίου 1 με φυσική κάλυψη**



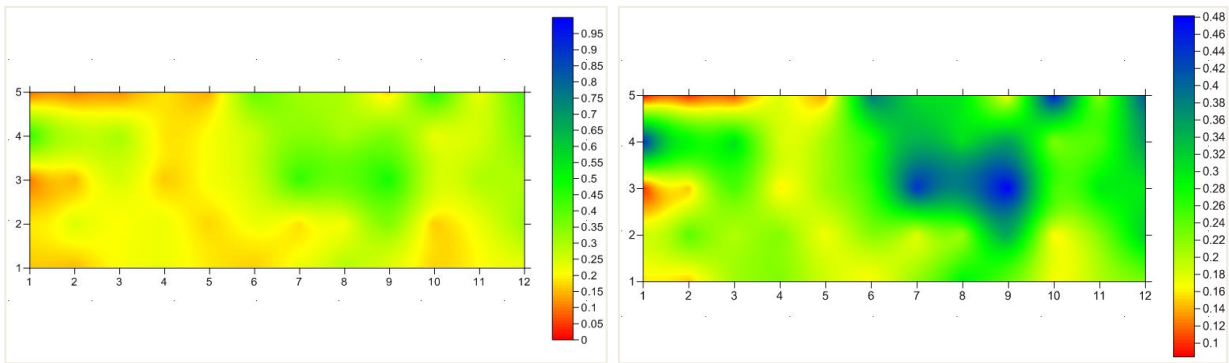
**Διάγραμμα 7: Φασματικές υπογραφές Εικονικού πεδίου 1 με φυτοκάλυψη κριθαριού**



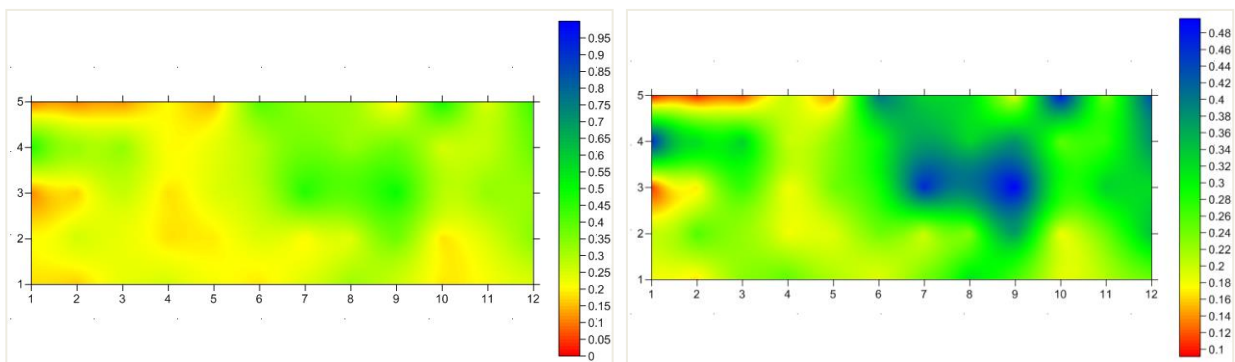
**Διάγραμμα 8: Φασματικές υπογραφές Εικονικού πεδίου 2 με φυσική κάλυψη**

Προχωρώντας, παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των δεικτών βλάστησης NDVI και SAVI, σε μορφή χάρτη για ολόκληρη την περιοχή μελέτης, δηλαδή για τις Αποθήκες 1,2 και 3 και τα Εικονικά πεδία 1 και 2. Οι χάρτες που είναι τοποθετημένη στα αριστερά είναι οι χάρτες που το εύρος τιμών τους είναι από 0 μέχρι 1, για να μπορεί να δοθεί μια γενική εικόνα για το σημείο μελέτης και στα δεξιά βρίσκονται χάρτες που έχουν ελάχιστες και μέγιστες τιμές τις συγκεκριμένες τιμές των αποτελεσμάτων των δεικτών, έτσι ώστε να μπορούν να διακριθούν

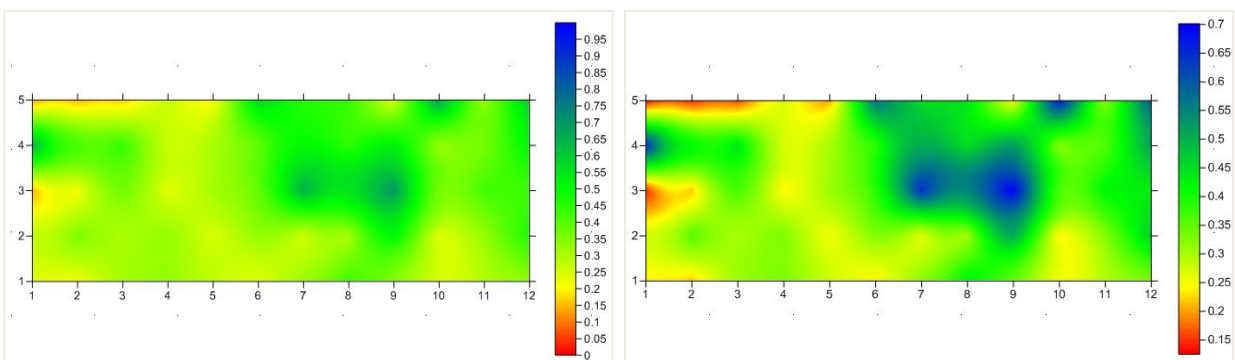
καλύτερα τα αποτελέσματα αυτά. Με κόκκινο χρώμα είναι η ελάχιστη τιμή (μηδέν) και με μπλε χρώμα εμφανίζεται η μέγιστη τιμή.



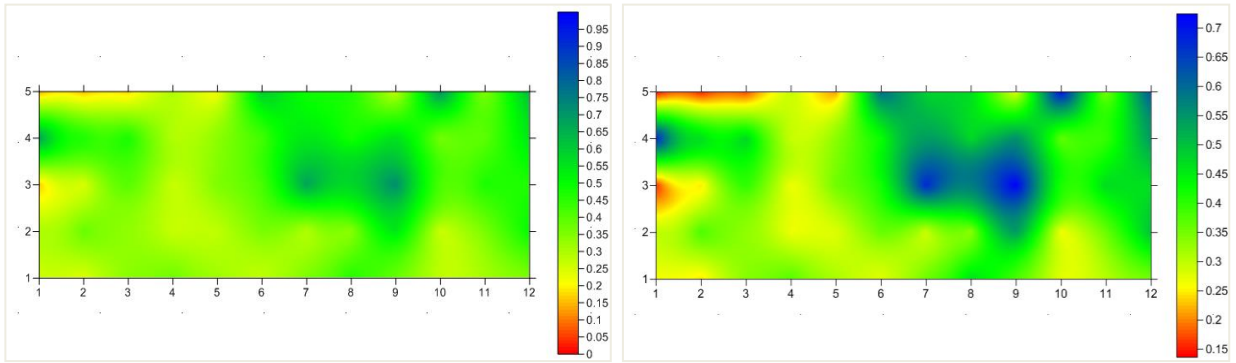
**Εικόνα 12:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Στρατιωτικής Αποθήκης 1 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+



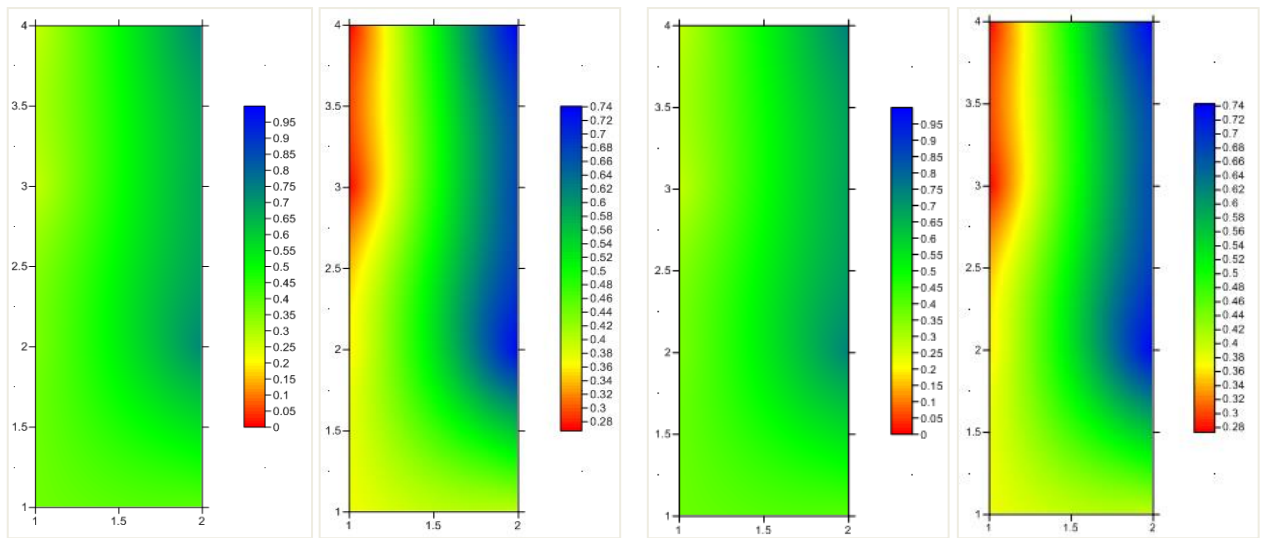
**Εικόνα 13:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Στρατιωτικής Αποθήκης 1 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



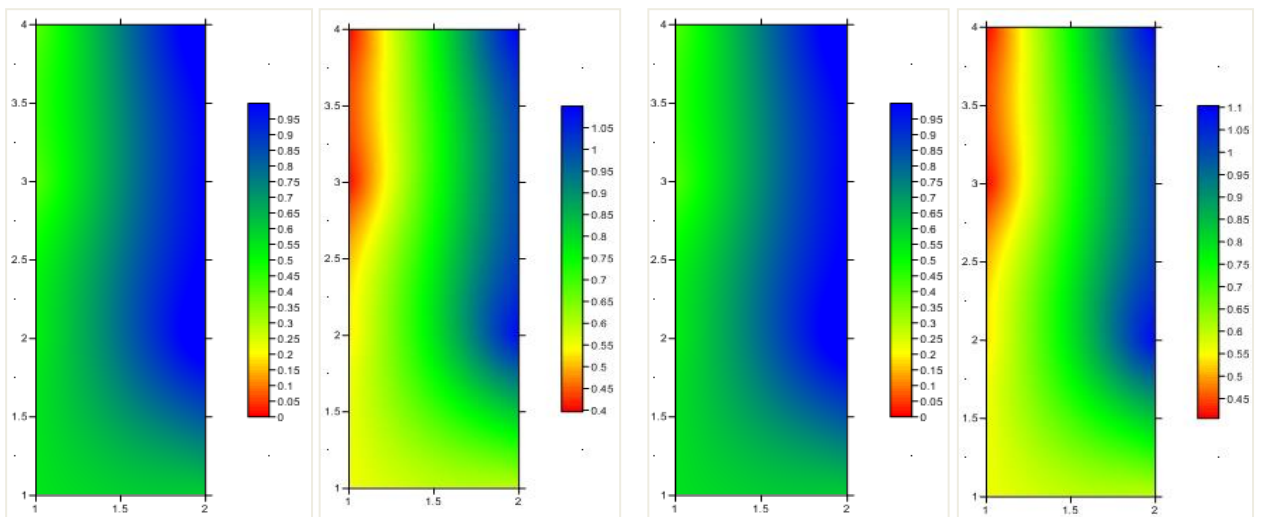
**Εικόνα 14:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Στρατιωτικής Αποθήκης 1 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+



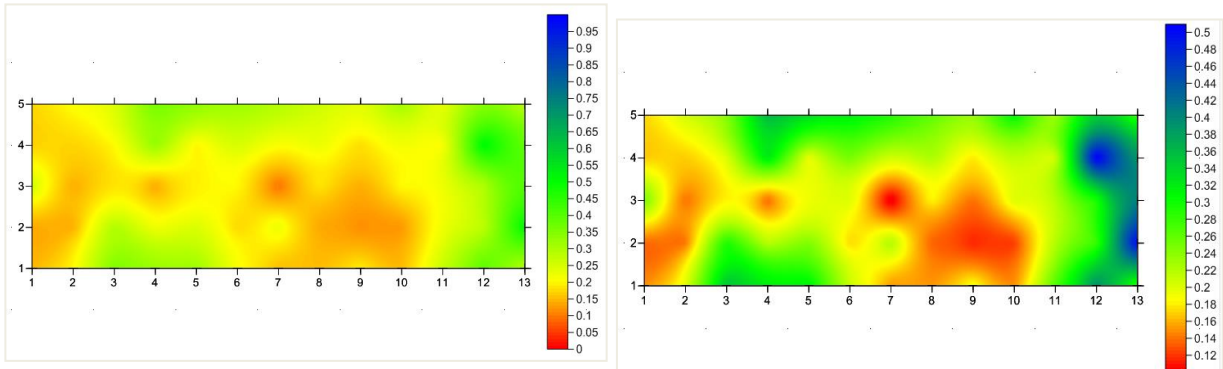
**Εικόνα 15:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Στρατιωτικής Αποθήκης 1 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



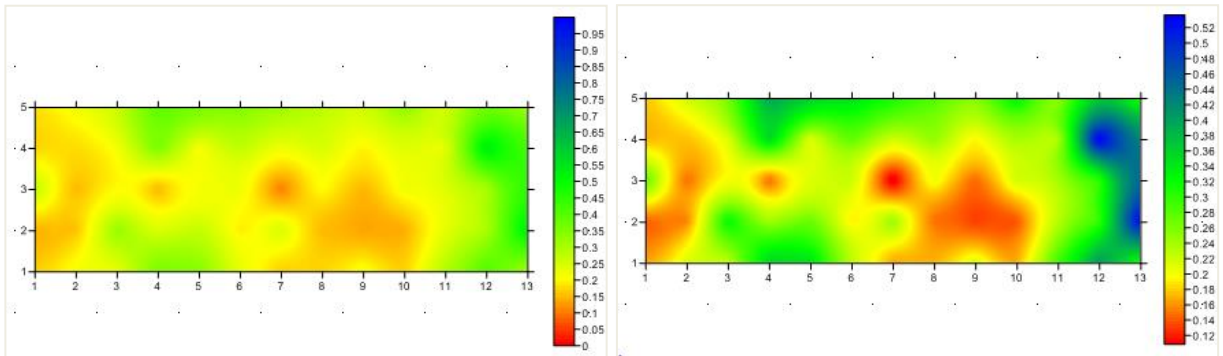
**Εικόνα 16:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Στρατιωτικής Αποθήκης 1 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+ στα αριστερά και στα δεξιά φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



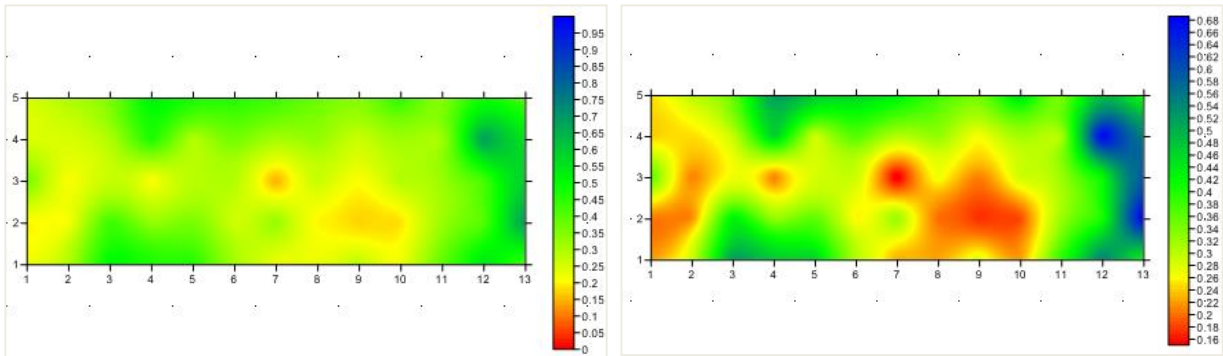
**Εικόνα 17:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Στρατιωτικής Αποθήκης 1 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+ στα αριστερά και στα δεξιά φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



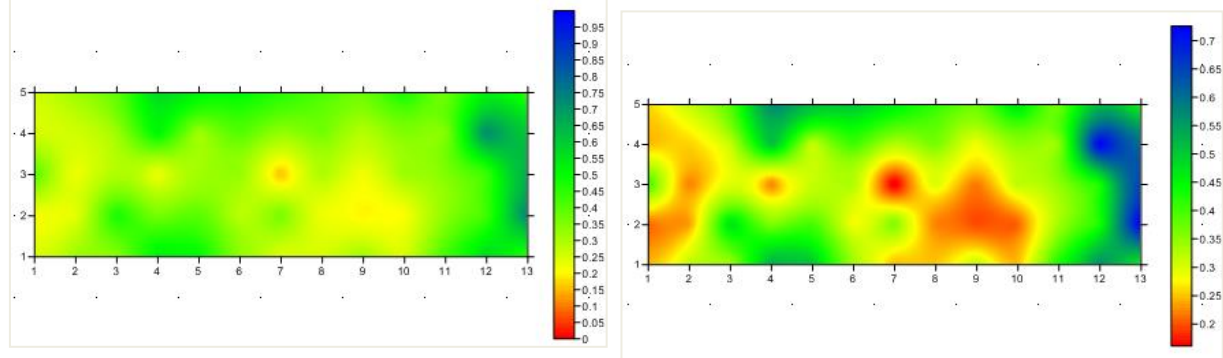
**Εικόνα 18:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+



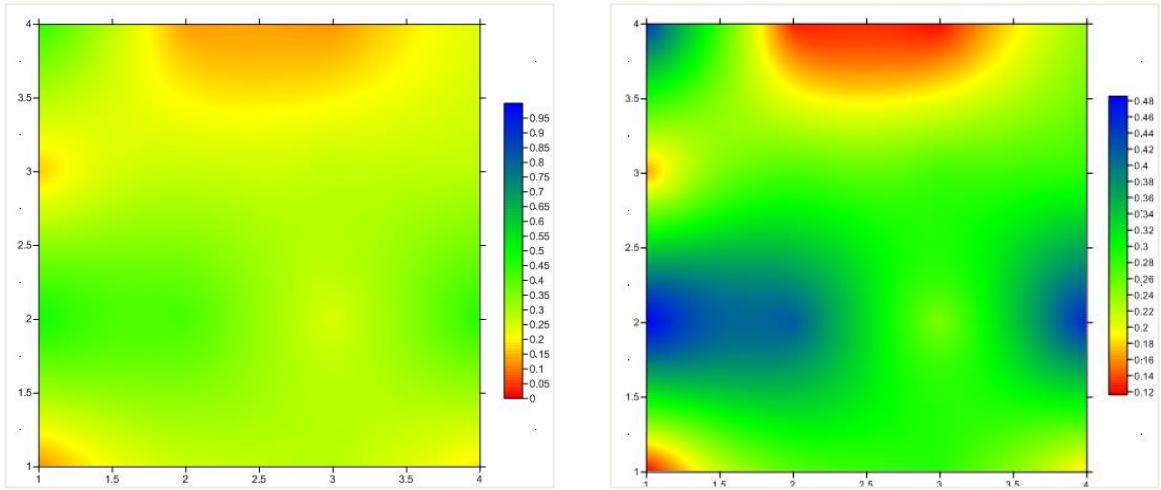
**Εικόνα 19:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



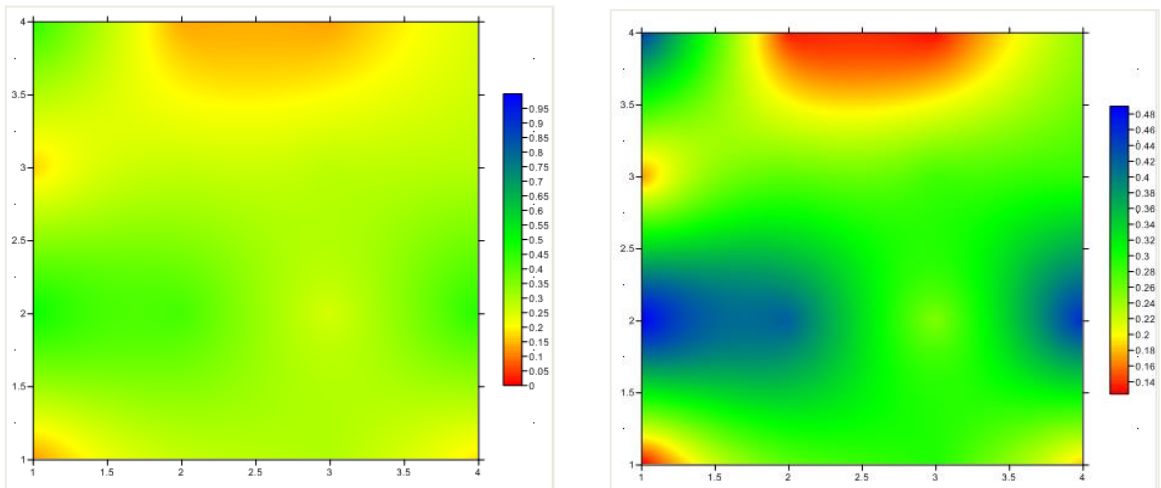
**Εικόνα 20:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+



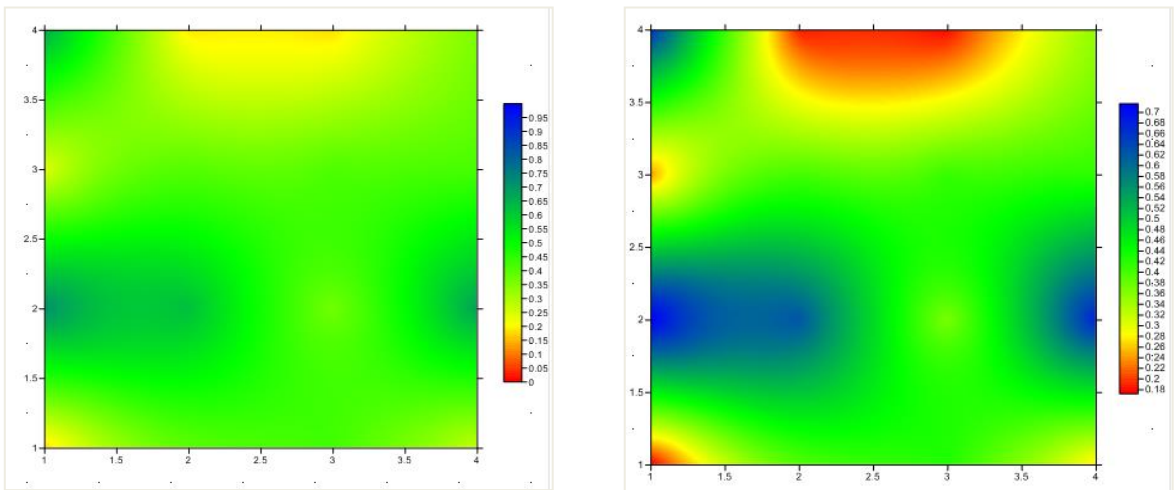
**Εικόνα 21:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



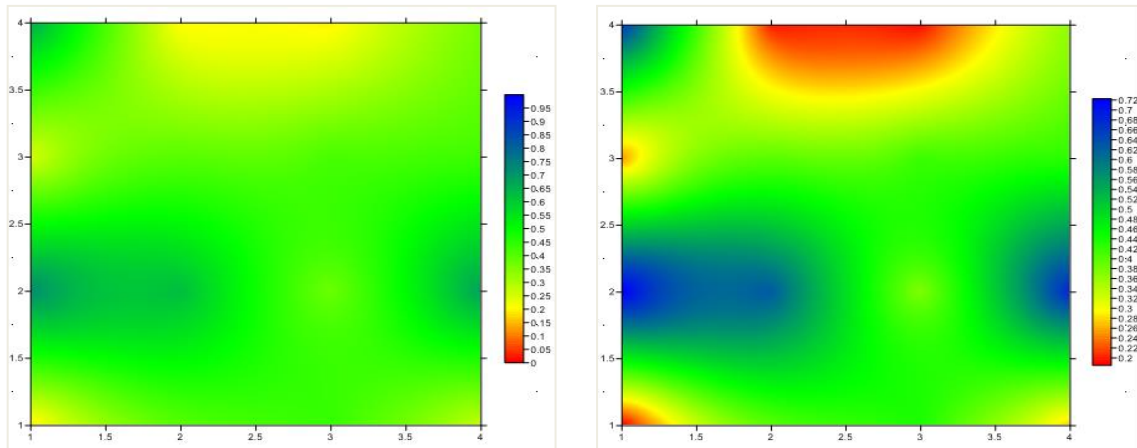
**Εικόνα 22: Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+**



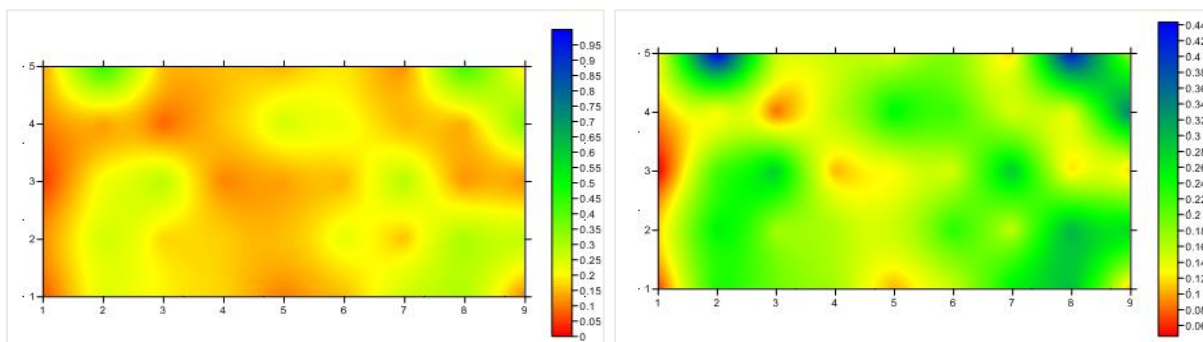
**Εικόνα 23: Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8**



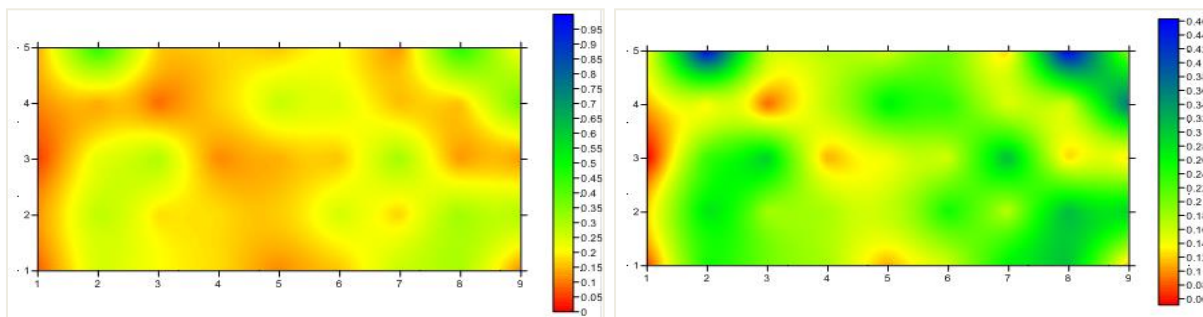
**Εικόνα 24: Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+**



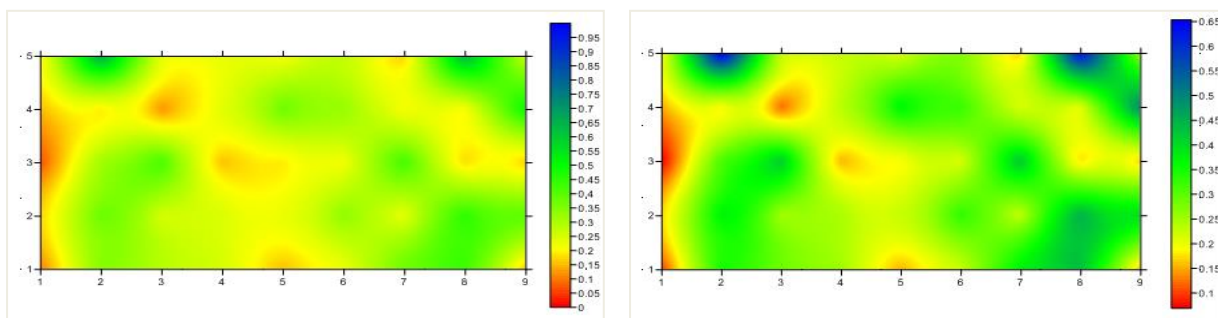
**Εικόνα 25:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Στρατιωτικής Αποθήκης 2 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



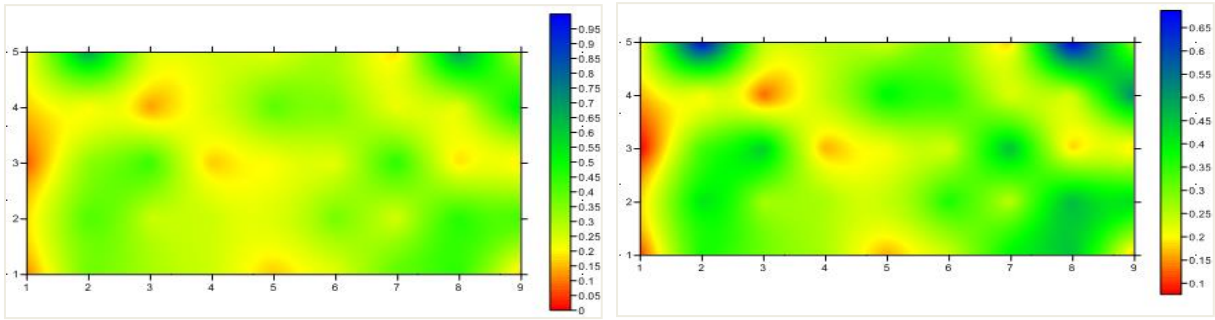
**Εικόνα 26:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Στρατιωτικής Αποθήκης 3 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+



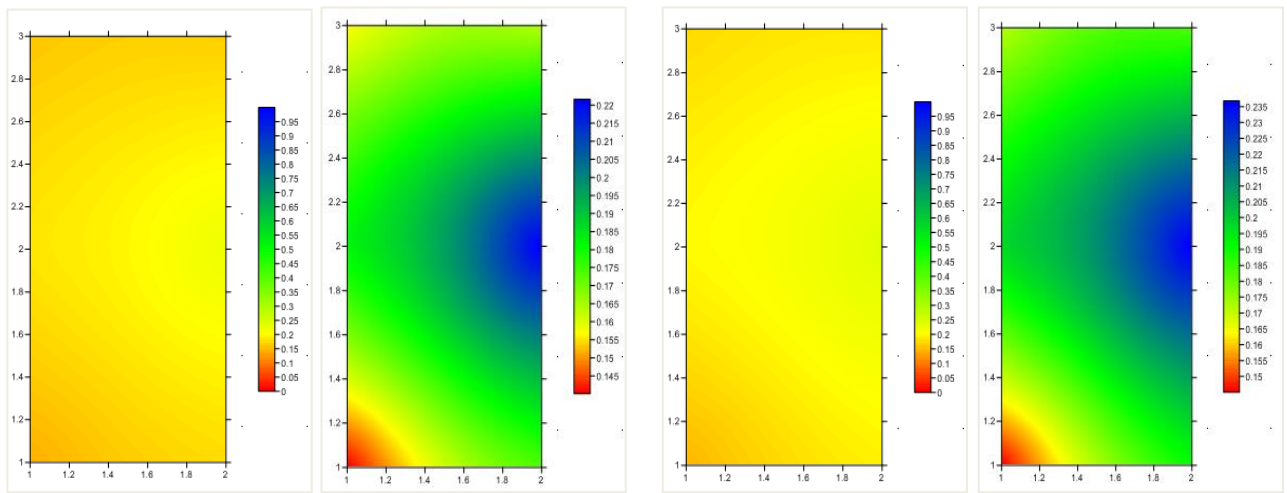
**Εικόνα 27:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Στρατιωτικής Αποθήκης 3 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



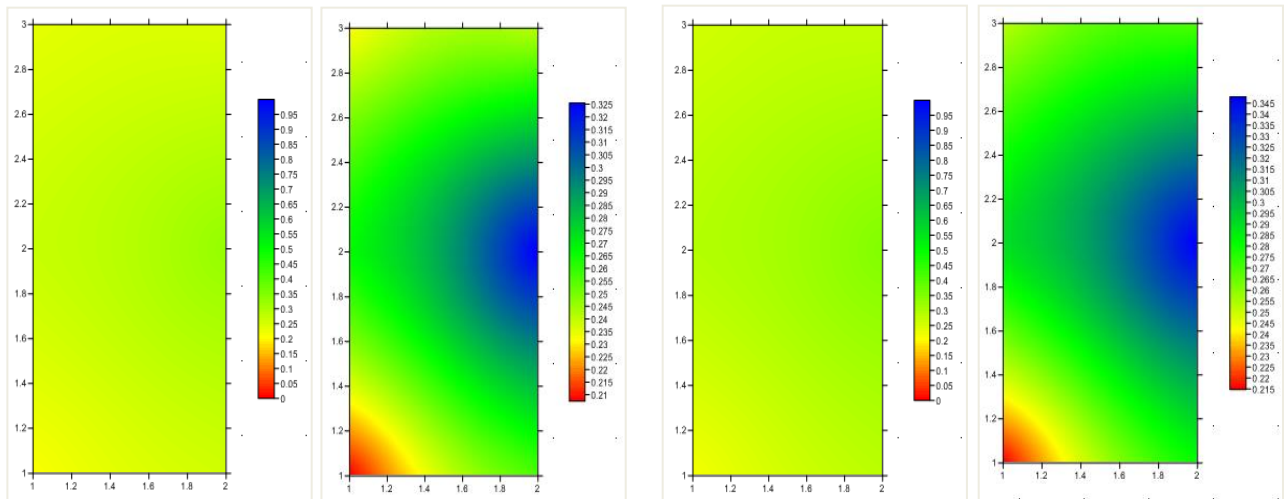
**Εικόνα 28:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Στρατιωτικής Αποθήκης 3 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+



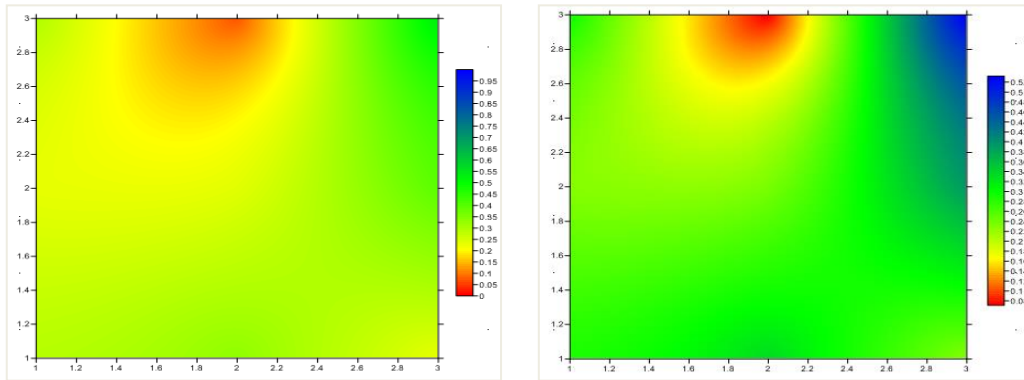
**Εικόνα 29:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Στρατιωτικής Αποθήκης 3 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



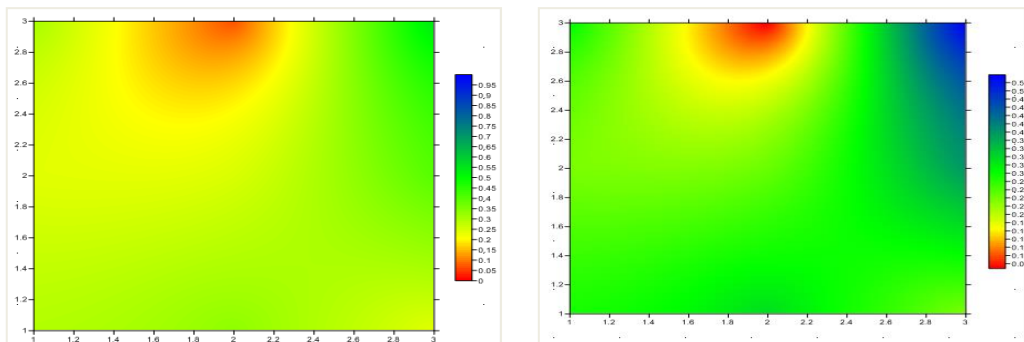
**Εικόνα 30:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Εικονικού πεδίου 1 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+ στα αριστερά και στα δεξιά φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



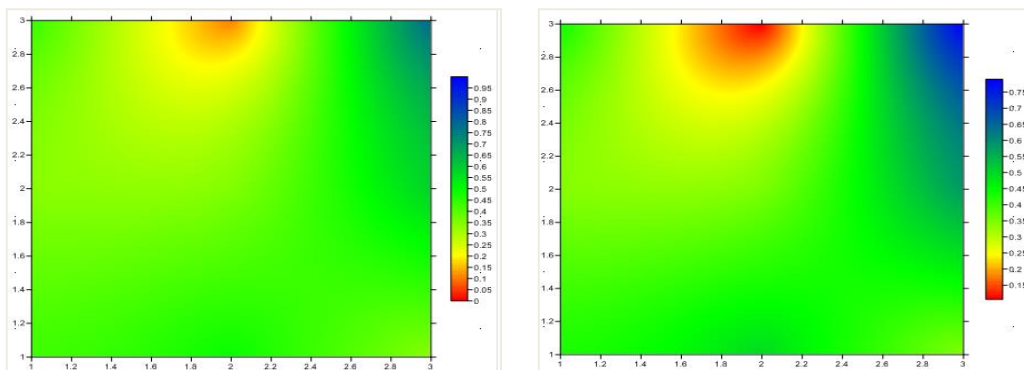
**Εικόνα 31:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Εικονικού πεδίου 1 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+ στα αριστερά και στα δεξιά φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8



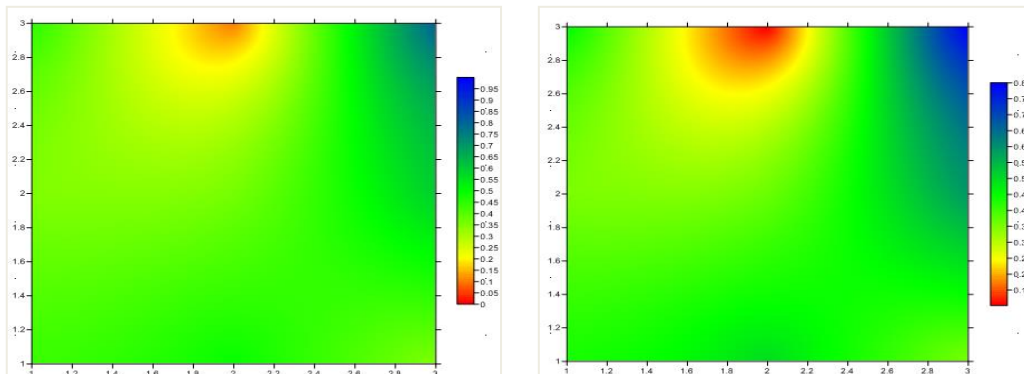
**Εικόνα 32:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Εικονικού πεδίου 1 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+



**Εικόνα 33:** Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Εικονικού πεδίου 1 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8

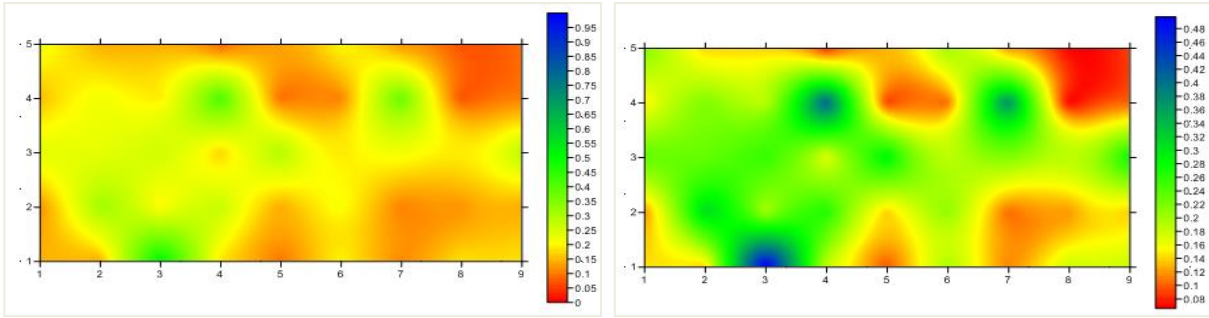


**Εικόνα 34:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Εικονικού πεδίου 1 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+

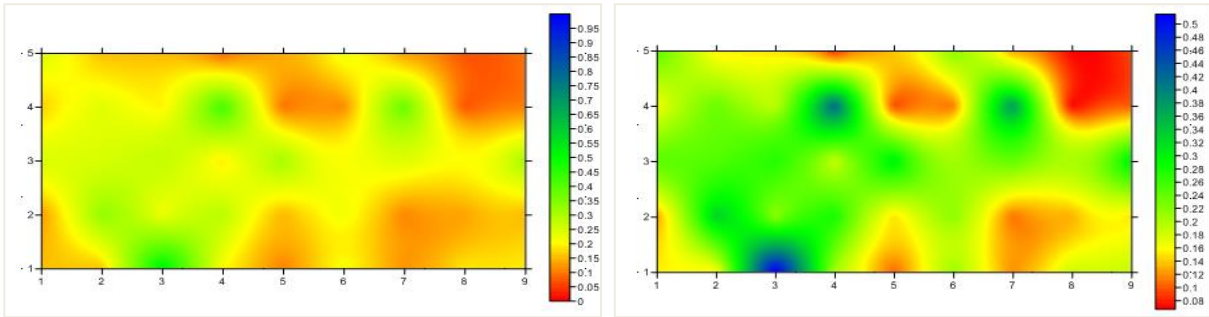


**Εικόνα 35:** Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Εικονικού πεδίου 1 με φυτοκάλυψη κριθαριού χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8

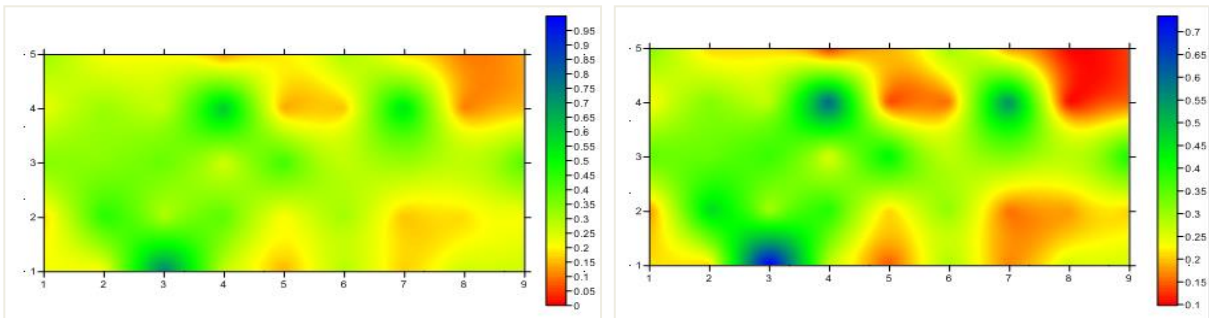




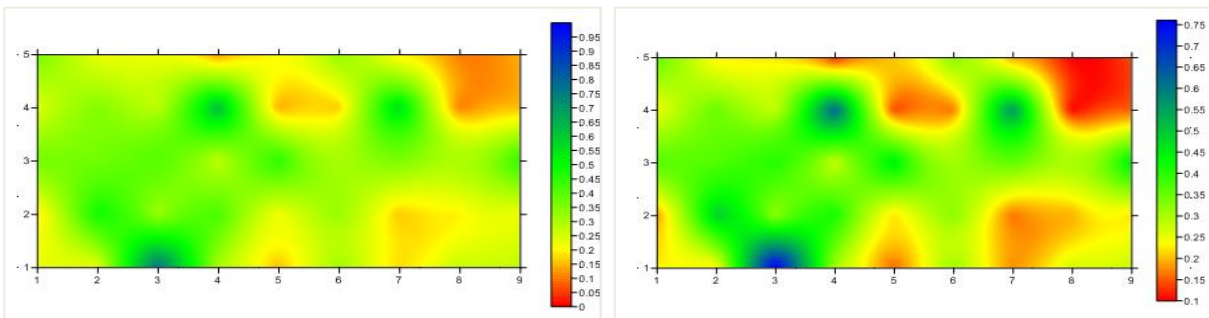
**Εικόνα 36: Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Εικονικού πεδίου 2 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+**



**Εικόνα 37: Χάρτες δείκτη βλάστησης NDVI Εικονικού πεδίου 2 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8**



**Εικόνα 38: Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Εικονικού πεδίου 2 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 7 ETM+**



**Εικόνα 39: Χάρτες δείκτη βλάστησης SAVI Εικονικού πεδίου 2 με φυσική κάλυψη χρησιμοποιώντας φίλτρα του δορυφόρου Landsat 8**

## ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Μελετώντας τα αποτελέσματα της εν λόγω έρευνας, γίνεται αντιληπτό ότι ο αρχικός στόχος της έρευνας γίνεται εφικτός. Αν και οι εργασίες είναι στα πρώτα βήματα του συγκεκριμένου θέματος και είναι πολύ νωρίς ακόμα για την διεξαγωγή συμπερασμάτων, η μέχρι στιγμής διαδικασία τείνει να έχει αισιόδοξα αποτελέσματα.

Οι αρχικές υποθέσεις που είχαν γίνει, έχοντας μόνο οπτικό αποτέλεσμα της περιοχής πριν και μετά την σπορά κριθαριού, ήταν ότι οι φασματικές υπογραφές και οι δείκτες βλάστης NDVI και SAVI θα έδειχναν την διαφοροποίηση της βλάστησης. Με τις επισκέψεις στο πεδίο η ερευνητική ομάδα παρατήρησε ότι στην φυσική κάλυψη πάνω από την αποθήκη υπήρχαν μόνο χαμηλού ύψους φυτά και τα περισσότερα έμοιαζαν να μην είναι υγιή. Πάνω από τα εικονικά πεδία η βλάστηση είχε διαφοροποιήσεις καθώς υπήρχαν περισσότερα είδη θάμνων και το ύψος των φυτών ήταν αρκετά μεγαλύτερο. Μετά την φύτευση κριθαριού τα αποτελέσματα ήταν παρόμοια. Τα φυτά μεγάλωναν με τον ίδιο ρυθμό, όμως η κάλυψη πάνω από τις αποθήκες ήταν πολύ πιο αραιή από ότι στα εικονικά πεδία.

Έχοντας υπόψη τις φασματικές υπογραφές που δημιουργήθηκαν με την χρήση των μετρήσεων με επίγειο φασματοραδιόμετρο, φαίνεται να ακολουθούν το αναμενόμενο αποτέλεσμα. Οι πρώτες μετρήσεις που έγιναν σε φυσική βλάστηση πάνω από τις αποθήκες έδωσαν φασματικές υπογραφές ξηρής βλάστησης. Ο λόγος είναι ότι επειδή στο υπέδαφος υπάρχει κάποια κατασκευή (αποθήκη), δεν βοηθά τα φυτά που καλύπτουν την έκταση αυτή να αναπτύξουν σωστά το ριζικό τους σύστημα και έτσι στρεσάρονται. Συγκρίνοντας την φασματική απόκριση της φυσικής κάλυψης που βρίσκεται πάνω από τις αποθήκες, με αυτή που δεν έχει κάτι στο υπέδαφος της, τα εικονικά πεδία δηλαδή, επαληθεύεται η αρχική υπόθεση που έγινε. Η φασματική υπογραφή της κάλυψης στα εικονικά πεδία έδινε το αποτέλεσμα της υγιούς βλάστησης.

Προχωρώντας με την μελέτη των φασματικών ταυτοτήτων γίνεται μια σύγκριση των αποτελεσμάτων αυτών με τα αποτελέσματα που εξάχθηκαν μετά την καλλιέργεια κριθαριού στην περιοχή μελέτης. Παρατηρήθηκε ότι η σπορά κριθαριού βοήθησε στην όξυνση των αποτελεσμάτων, αφού το κριθάρι φαίνεται να είναι ένα αρκετά συνεργάσιμο υλικό για την μελέτη της ανακλαστικότητας των στόχων. Οι φασματική απόκριση του κριθαριού έκανε τα αποτελέσματα που έδωσαν οι προηγούμενες μετρήσεις να δείχνουν πιο σωστά και ξεκάθαρα.

Με δεδομένα πλέον τα παραπάνω, μελετήθηκαν οι δείκτες βλάστησης NDVI και SAVI, οι οποίοι θα πρέπει να επαληθεύσουν τα όσα έχουν προαναφερθεί. Τα αποτελέσματα όσο αφορά τις Αποθήκες 1 και 2 αρχικά δίνουν την εντύπωση για λανθασμένα αποτελέσματα, όμως πρέπει να επισημανθεί ότι οι μετρήσεις έγιναν σε διαφορετική χρονική περίοδο από ότι στην Αποθήκη 3 στην οποία φαίνονται αρκετά καλά τα αποτελέσματα. Όπως έχει αναφερθεί και πιο πάνω ο φαινολογικός κύκλος των φυτών παίζει τον μεγαλύτερο ρόλο, στο πως ένα φυτό ανακλά την ακτινοβολία. Έτσι βλέποντας πιο προσεκτικά τους δείκτες βλάστησης παρατηρήθηκε ότι στο μπροστινό μέρος των αποθηκών οι τιμές ήταν πολύ χαμηλές πλησιάζοντας το μηδέν, ενώ όσο απομακρύνεται προς τα πίσω, όπου το έδαφος πάνω από την αποθήκη αυξάνεται, αυξάνονται και οι δείκτες βλάστησης.

Αν επικεντρωθεί κανείς στο κέντρο των αποθηκών και των εικονικών πεδίων, μπορεί να παρατηρήσει ότι οι τιμές των δεικτών βλάστησης είναι πολύ πιο χαμηλές από ότι στα εικονικά πεδία. Με αυτό τον τρόπο γίνεται η διαπίστωση ότι τα αποτελέσματα της όλης διαδικασίας συμφωνούν μεταξύ τους, όπως επίσης μπορούν να επιβεβαιώσουν για ακόμα μία φορά τις αρχικές υποθέσεις.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Η παρούσα εργασία παρουσίασε όλα τα πρωταρχικά στάδια και αποτελέσματα του εν λόγω θέματος. Παράλληλα πραγματοποιήθηκε η διαπίστωση και η απόδειξη των αρχικών υποθέσεων. Πιο συγκεκριμένα υλοποιήθηκε ο στόχος της μελέτης των δεικτών βλάστησης NDVI και SAVI και δόθηκε απάντηση στο ερώτημα που τέθηκε στην εισαγωγή, το οποίο ήταν πώς οι δείκτες βλάστησης μπορούν να βοηθήσουν σε αρχικό στάδιο στην παρατήρηση αλλά και στον εντοπισμό υπεδάφίων στρατιωτικών κατασκευών. Συνεπώς, ο απώτερος σκοπός του συγκεκριμένου ερευνητικού θέματος, που δεν είναι άλλος από τον εντοπισμό και την μελέτη υπεδάφίων κατασκευών, αλλά και κατασκευών εδάφους, που καλύπτονται με βλάστηση (φυσική ή τεχνητή κάλυψη) και είναι δύσκολος ο άμεσος εντοπισμός τους από αεροφωτογραφίες ή δορυφορικές εικόνες, μπορεί πλέον να προχωρήσει σε μεταγενέστερα στάδια, μπαίνοντας έτσι στην τελική ευθεία για την πραγματοποίησή του. Εν κατακλείδι, είναι δύσκολο να διεξαχθούν περαιτέρω αποτελέσματα μέσα από αυτή την εργασία, αφού οτιδήποτε περισσότερο δεν θα είναι επιβεβαιωμένο, άρα γίνεται εύκολα μεταβλητό και λόγω αυτού παραμένει εικασία.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Θεοδωρακοπούλου Α. (2006). “Στάδια Ανάπτυξης και Μεταβολές Αγροβιολογικών Χαρακτηριστικών Καλλιέργειας Γλυκού Σόργου.” Μεταπτυχιακή διατριβή, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα
2. Hadjimitsis D.G. et al (2012). “Remote Sensing.” MDPI, <<http://www.mdpi.com/2072-4292/4/12/3892>> (Ιαν. 26, 2016)
3. Anonymous (2016) “Τηλεπισκόπηση και GIS στην Γεωργία.” SEOS, <<http://www.seos-project.eu/modules/agriculture/agriculture-c01-s04.gr.html>> (Ιαν. 30, 2016)
4. Νικολάου Ε. κ.ά. (2000). “Γεωτεχνικά Επιστημονικά Θέματα, Τόμος 11” Χρήση Δεικτών Βλάστησης για τη Διαχρονική Χαρτογράφηση Καμένων Εκτάσεων στην Περιοχή του Όρους Πεντέλη.
5. Department of the Interior U.S. Geological Survey. (2015). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, Sioux Falls, SD
6. Anonymous (2016). “Using the USGS Spectral Viewer.” USGS, <<http://landsat.usgs.gov/instructions.php>> (Φεβ. 2, 2016)
7. Anonymous (2016). “Frequently Asked Questions About the Landsat Missions.” USGS, <<http://landsat.usgs.gov/instructions.php>> (Φεβ. 2, 2016)
8. Anonymous (n.d.). “Ηλεκτρομαγνητική Ακτινοβολία.” Light Website, <<http://light.physics.auth.gr/enc/radiation.html>> (Φεβ. 10, 2016)
9. Sever T.L and Irwin D.E (2003). “Ancient Mesoamerica.” Cambridge Journals, <<http://journals.cambridge.org/action/displayAbstract>> (Φεβ. 15, 2016)
10. Rowlands A. and Sarris A. (2016). “Detection of Exposed and Subsurface Archaeological Remains Using Multi-sensor Remote Sensing.” Science Direct, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii>> (Φεβ. 15, 2016)
11. Lasaponara R. and Masini N (2016). “Detection of Archaeological Crop Marks by Using Satellite QuickBird Multispectral Imagery.” Science Direct, <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii>> (Φεβ. 15, 2016)
12. Χατζιμιτσής Δ. (2013). «Τηλεπισκόπηση Ι» [Σημειώσεις Μαθήματος], Τεχνολογικό Πανεπιστήμιο Κύπρου
13. Hadjimitsis D.G. and Agapiou A. (2011) “Vegetation indices and field spectroradiometric measurements for validation of buried architectural remains: verification under area surveyed with geophysical campaigns.” *Journal of Applied Remote Sensing*
14. Sepp E.M. (2000). “Deeply Buried Facilities: Implications for Military Operations”, Air University Maxwell Air Force Base, Alabama
15. Δαλέζιος Ν.Ρ. (2015). “Αγρομετεωρολογία: Ανάλυση και Προσομοίωση”, ΣΕΑΒ, Αθήνα
16. Οικονομάκη Ν. (2008). “Αξιολόγηση Δεικτών Βλάστησης για την Παρακολούθηση της Κατάστασης της Βλάστησης από Δορυφορικές Εικόνες” Μεταπτυχιακή διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο, Θεσσαλονίκη

17. Πιτσιλίδου Ε και Νικολακάκη Κ (2011). “Χαρτογράφηση καμένων εκτάσεων κατά τα έτη 2007-2009 με την χρήση δορυφορικών εικόνων Modis”, Πτυχιακή εργασία, Τεχνολογικό εκπαιδευτικό ίδρυμα Κρήτης, Χανιά