



Τεχνολογικό
Πανεπιστήμιο
Κύπρου

Σχολή Μηχανικής και
Τεχνολογίας

Πτυχιακή εργασία

**ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ
ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ
ΔΟΡΥΦΟΡΟ LANDSAT 8**

Γεωργία Κουτσού

Λεμεσός, Μάιος 2020

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΚΥΠΡΟΥ
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΓΕΩΠΛΗΡΟΦΟΡΙΚΗΣ

Πτυχιακή εργασία

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ
ΜΕ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΤΟΝ ΔΟΡΥΦΟΡΟ
LANDSAT 8

της

Γεωργίας Κουτσού

Επιβλέπων Καθηγητές

Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή

Δρ. Άθως Αγαπίου

Λεμεσός, Μάιος 2020

Πνευματικά δικαιώματα

Copyright © Γεωργία Κουτσού,2020

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

Θα ήθελα να ευχαριστήσω ιδιαίτερα τους επιβλέποντες καθηγητές Δρ. Διόφαντο Χατζημιτσή και Δρ. Άθω Αγαπίου, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξαν αλλά και για την πολύτιμη τους βοήθεια. Οι συμβουλές και η κατανόηση τους έπαιξαν καθοριστικό ρόλο για την αποπεράτωση της διπλωματικής αυτής εργασίας ειδικά σε αυτές τις δύσκολες μέρες που περάσαμε όλοι σαν κοινωνία. Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω την οικογένεια μου και τα άτομα που ήταν δίπλα μου και πίστεψαν σε εμένα από την πρώτη στιγμή, ακόμη και σε στιγμές που ούτε εγώ δεν πίστευα στον εαυτό μου. Τους ευγνωμονώ για όλα όσα έκαναν για μένα σε αυτή τη δύσκολη και απαιτητική περίοδο της ζωής μου, για όσα πέρασαν μαζί μου και για το κουράγιο και την δύναμη που μου έδιναν όταν πραγματικά το χρειαζόμουν.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης αναμφισβήτητα αποτελεί ένα αναπόσπαστο κομμάτι στην εξέλιξη της τεχνολογίας με την χρήση των δορυφορικών δεδομένων. Παρέχει ανεξάντλητες δυνατότητες αλλά και πληθώρα εφαρμογών παρέχοντας λύσεις για διάφορα προβλήματα τα οποία σχετίζονται με την συλλογή δεδομένων από απόσταση και σε μεγάλη έκταση. Στις εφαρμογές της περιλαμβάνεται η μελέτη αλλαγών χρήσεων γης, η χαρτογράφηση περιοχών, μελέτη καμένων εκτάσεων και μελέτη μετεωρολογικών φαινομένων.

Με την ανάπτυξη της τεχνολογία η χρήση των δορυφορικών δεδομένων είναι πλέον συνηθισμένη αφού τα πλεονεκτήματα που δίνουν είναι πολλά και ταυτόχρονα έχουν την δυνατότητα κάλυψης πολλών περιοχών χωρίς όρια και περιορισμούς. Δίνουν επίσης τη δυνατότητα παρακολούθησης της επιφάνειας της γης για παρακολούθηση διάφορων μεταβολών.

Η παρούσα διπλωματική μελέτη πραγματεύεται, επεξεργάζεται και αναλύει την χρήση διάφορων δεικτών βλάστησης με την χρήση δεδομένων συγκεκριμένου δορυφόρου. Τα δορυφορικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν αντλήθηκαν από τον δορυφόρο Landsat 8 ο οποίος εκτοξεύτηκε τον Φεβρουάριο του 2013 και τέθηκε σε λειτουργία για παροχή δεδομένων τον Μάιο του ίδιου χρόνου.

Σκοπός της μελέτης είναι η βιβλιογραφική ανασκόπηση της χρήση δεικτών βλάστησης οι οποίοι έχουν ως σκοπό την παρακολούθηση και την μελέτη περιοχών ενδιαφέροντος αναλύοντας τα τελικά αποτελέσματα. Μέσα από έρευνα εντοπίζονται διάφορες εφαρμογές οι οποίες συνδυάζουν τους δείκτες βλάστησης με τα δεδομένα του Landsat 8. Τέλος γίνεται σχολιασμός των εφαρμογών αυτών αλλά και επεξήγηση τους βγάζοντας κάποια βασικά συμπεράσματα.

Λέξεις κλειδιά: Τηλεπισκόπηση, δείκτες βλάστησης, δορυφόρος Landsat 8.

ABSTRACT

The science of remote sensing is undoubtedly an integral part of the evolution of technology using satellite data. It provides inexhaustible capabilities and a variety of applications providing solutions to various problems related to data collection from a distance and also to a large extent. Its applications include the study of land use changes, the mapping of areas, the study of burned areas and the study of meteorological phenomena.

With the development of technology, the use of satellite data is now common since the advantages they give are many and at the same time they have the ability to cover many areas without limits or restrictions. They also allow you to monitor the earth's surface to observe various changes.

This dissertation discusses, processes and analyzes the use of various vegetation indices using specific satellite data. The satellite data used was drawn from the Landsat 8 satellite, which was launched in February 2013 and was launched in May of the same year.

The aim of the study is the bibliographic review of the use of vegetation indices which aim to monitor and study areas of interest by analyzing the final results. Through research, various applications are identified that combine the vegetation indices with the data of Landsat 8. Finally, these applications are commented on and explained, drawing some basic conclusions.

Keywords: Remote sensing, Landsat 8, Vegetation indices.

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	v
ABSTRACT.....	v
ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ.....	vii
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ.....	xi
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ.....	xiii
ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ.....	xiii
ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ.....	xv
1 Εισαγωγή.....	16
2 Βιβλιογραφική ανασκόπηση.....	17
2.1 Τηλεπισκόπηση.....	18
2.1.1 Εισαγωγικά.....	18
2.1.2 Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης.....	19
2.1.2.1 Χρήσεις Καλύψεων γης.....	19
2.1.3 Τηλεπισκόπηση και Αισθητήρες.....	20
2.1.4 Τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με δορυφορικά δεδομένα.....	21
2.1.5 Χωρική, χρονική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση.....	22
2.1.6 ΓΣΠ και Τηλεπισκόπηση.....	23
2.2 Τηλεπισκόπηση και Φωτοερμηνεία.....	24
2.2.1 Γενικά.....	24
2.2.2 Φωτοερμηνευτικά κλειδιά.....	25
2.3 Δορυφόροι Landsat.....	28
2.3.1 Δορυφόρος Landsat 8.....	30
2.4 Προεπεξεργασία δεδομένων.....	39
2.4.1 Ραδιομετρικά και Γεωμετρικά σφάλματα και διορθώσεις.....	39

2.4.2	Ατμοσφαιρική Επίδραση.....	43
2.4.3	Ατμοσφαιρική διόρθωση.....	46
2.5	Φασματικές Υπογραφές	48
2.6	Δείκτες.....	52
2.6.1	Δείκτες Βλάστησης	53
2.6.1.1	Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς.....	56
	2.6.1.1 Παράδειγμα από χρήση του δείκτη βλάστησης NDVI σε εικόνα	58
2.6.1.2	Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης	60
2.6.1.3	Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς	61
2.6.1.4	EVI- Enhanced Vegetation Index	62
2.6.1.5	Normalized Difference Built-up Index	63
2.6.2	Άλλοι Δείκτες Βλάστησης.....	63
2.6.3	Δείκτες Βλάστησης και καμένες εκτάσεις	65
	2.6.3.1 Παράδειγμα χρήσης δεικτών βλάστησης για παρακολούθηση καμένων εκτάσεων.....	65
	2.6.3.2 Χρήση δεικτών βλάστησης στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση για καμένη έκταση.....	66
2.6.4	Χρήση Δεικτών Βλάστησης για αρχαιολογικούς σκοπούς.....	66
2.7	Εφαρμογές δεικτών βλάστησης με δεδομένα Landsat 8.....	67
2.7.1	Αναλυτική μελέτη θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους με NDVI και NDBI χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat 8 OLI και TIRS στην πόλη της Φλωρεντίας και της Νάπολης, στην Ιταλία.....	67
	2.7.1.1 Υπολογισμός LST	70
	2.7.1.2 Αποτελέσματα	71
	2.7.1.3 Συμπεράσματα	74
2.7.2	Υπολογισμός δεικτών NDVI και SAVI με χρήση δεδομένων Landsat 8.....	75

2.7.3	Μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των δεικτών βλάστησης στον αλατισμένο θόλο της Κορσίας στο βορειοανατολικό τμήμα του Νταραμπ, Fars, Ιράν.....	79
2.7.3.1	Εισαγωγή	79
2.7.3.2	Δείκτες.....	80
2.7.3.3	Υπολογισμοί.....	82
2.7.3.4	Αποτελέσματα και Συμπεράσματα	83
2.7.4	Αλγόριθμος για αυτόματη χαρτογράφηση θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους με χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat 8.....	89
2.7.4.1	Εισαγωγή	89
2.7.4.2	Δεδομένα και μεθοδολογία.....	90
2.7.4.3	Αποτελέσματα και Συμπεράσματα	95
3	Σχολιασμός και Κριτική σκέψη	100
4	Συμπεράσματα.....	103
	ΕΠΙΛΟΓΟΣ	105
	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	106

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Φασματικές περιοχές Landsat 8.....	37
Πίνακας 2: Δεδομένα του Landsat 8 για την Νάπολη και την Φλωρεντία	69
Πίνακας 3: Αποτελέσματα LST, NDVI και NDBI για τις περιοχές μελέτης.....	71
Πίνακας 4: Αποτελέσματα LSTγια UHI και non-UHI.....	73
Πίνακας 5: Τύποι κάλυψης με βάση τα αποτελέσματα του δείκτη βλάστησης NDVI...75	
Πίνακας 6: Φασματικά χαρακτηριστικά του Landsat 8 ETM	80
Πίνακας 7: Μεταδεδομένα των δορυφορικών εικόνων	91
Πίνακας 8: Εκπομπή αντιπροσωπευτικών επίγειων δειγμάτων για το Landsat 8 της ζώνης 10	93
Πίνακας 9: Λεπτομέρειες και διαφορές του σταθμού από την πρώτη περίπτωση μελέτης	98
Πίνακας 10: Λεπτομέρειες και διαφορές του σταθμού από την δεύτερη περίπτωση μελέτη	98

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΔΙΑΓΡΑΜΜΑΤΩΝ

Διάγραμμα 1: Φωτοερμηνευτικό κλειδί- Τόνος	26
Διάγραμμα 2: Φωτοερμηνευτικό κλειδί- Μέγεθος	27
Διάγραμμα 3: Φωτοερμηνευτικό κλειδί- Σχήμα.....	27
Διάγραμμα 4: Φωτοερμηνευτικό κλειδί- Σκιά.....	28
Διάγραμμα 5: Χρονοδιάγραμμα εκτόξευσης και απόσυρσης για τους δορυφόρους Landsat.....	30
Διάγραμμα 6: Η αποστολή Landsat Data Continuity Mission 8 κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης, στις 11 Φεβρουαρίου 2013	31
Διάγραμμα 7: Όργανο OLI	33
Διάγραμμα 8: Γραφικά ο δορυφόρος Landsat 8	35
Διάγραμμα 9: Δορυφόρος Landsat 8 σε τροχιά	39
Διάγραμμα 10: Φασματικές Υπογραφές εδάφους, βλάστησης και νερού	49
Διάγραμμα 11: Φασματικές Υπογραφές ειδών βλάστησης.....	50
Διάγραμμα 12: Φασματικές Υπογραφές διάφορων ποιοτήτων νερού	51
Διάγραμμα 13: Κανονική εικόνα από δορυφόρο	58
Διάγραμμα 14: Εικόνα με ψευδόχρωμα	59
Διάγραμμα 15: Εικόνα μετά την χρήση NDVI.....	59
Διάγραμμα 16: Χρήση Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς.....	61
Διάγραμμα 17: Περιοχές μελέτης με ψευδών σύνθετων χρωμάτων.....	68
Διάγραμμα 18: Περιοχές μελέτης για 10 Ιουλίου και 21 Ιουλίου 2016.....	68
Διάγραμμα 19: Χάρτες χωρικής κατανομής για τα αποτελέσματα. LST: (a) Φλωρεντία (b) Νάπολη, NDVI: (c) Φλωρεντία (d) Νάπολη και NDBI: (e) Φλωρεντία (f) Νάπολη	72
Διάγραμμα 20: Χωρικές εκτάσεις UHI και non-UHI για Φλωρεντία (a) και Νάπολη (b).	73

Διάγραμμα 21: Κατοικήσιμες περιοχές και γυμνό έδαφος	74
Διάγραμμα 22: Φωτογραφία περιοχής μελέτης	76
Διάγραμμα 23: Δείκτης NDVI για την περιοχή μελέτης.....	78
Διάγραμμα 24: Δείκτης SAVI για την περιοχή μελέτης	79
Διάγραμμα 25: Περιοχή μελέτης	80
Διάγραμμα 26: Δείκτης VARI	83
Διάγραμμα 27: Δείκτης DVI.....	84
Διάγραμμα 28: Δείκτης EVI.....	84
Διάγραμμα 29: Δείκτης GDVI.....	85
Διάγραμμα 30: Δείκτης IPVI.....	85
Διάγραμμα 31: Δείκτης NDVI.....	86
Διάγραμμα 32: Δείκτης OSAVI.....	86
Διάγραμμα 33: Δείκτης SAVI	87
Διάγραμμα 34: Θέσεις 15 δειγμάτων από την περιοχή μελέτης.....	87
Διάγραμμα 35: Η σύγκριση των δεικτών βλάστησης στην περιοχή μελέτης και των σημείων δειγματοληψίας. Οι γραφικές αντιστοιχούν (a) VARI,(b) DVI,(c) EVI, (d) GDVI, (e) IPVI, (f) NDVI, (g) OSAVI, (h) SAVI.....	88
Διάγραμμα 36: (α) γεωγραφική θέση του Οντάριο και του Quebec, στον Καναδά (β) περιοχές μελέτης κάθε επαρχίας (γ) πρώτη υπόθεση που βρίσκεται μεταξύ Τορόντο και Χάντσβιλ (δ) δεύτερη περίπτωση που βρίσκεται στη γύρω περιοχή της πόλης του Moncton.....	95
Διάγραμμα 37: Εικόνα LST με μετεωρολογικούς σταθμούς από την πρώτη περιοχή μελέτης	96
Διάγραμμα 38: Εικόνα LST με μετεωρολογικούς σταθμούς από την δεύτερη περιοχή μελέτης.	97

ΣΥΝΤΟΜΟΓΡΑΦΙΕΣ

ΓΣΠ:	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών
H/M:	Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα
ΗΠΑ:	Ηνωμένες Πολιτείες Αμερικής
ATCOR:	Atmospheric and Topographic Correction model
DOS:	Dark Object Substraction
EVI:	Enhanced Vegetation Index
GEMI:	Global Environmental Monitoring Index
GIS:	Geographic Information System
LC:	Land cover
LDCM:	Landsat Data Continuity Mission
LOWTRAN:	LOW resolution atmospheric TRANsmittance
LST:	Land surface temperature
LU:	Land use
MODTRAN:	MODerate resolution atmospheric TRANsmittance
MSR:	Modified Simple Ratio
NASA:	National Aeronautics and Space Administration
NDBI:	Normalized index of difference generation
NDMI:	Normalized Difference Moisture Index
NDVI:	Normalized Difference Vegetation Index -
NDWI:	Normalized difference water index
NIR:	Κοντινό υπέρυθρο
OSAVI:	Optimized Soil – Adjusted Vegetation
OLI:	Operational Land Imager
PVI:	Perpendicular Vegetation Index
RDVI:	Renormalized Difference Vegetation Index

SAVI:	Soil-adjusted Vegetation Index-
SR:	Simple Ratio
SWIR:	Βραχύ υπέρυθρο
TIRS:	Thermal Infrared Sensor
TRDVI:	Transformed Renormalized Difference Vegetation Index
TSAVI:	Transformed Soil Adjusted Vegetation Index
UHI:	Urban heat island
WDVI:	Weighted Difference Vegetation Index
WGS:	World Geodetic System
WRS:	Worldwide Reference System

ΑΠΟΔΟΣΗ ΟΡΩΝ

Ground surface temperature	Θερμοκρασία επιφάνειας εδάφους
Land cover	Έκταση
Land use	Χρήση γης
normalized index of difference generation	Κανονικοποιημένος δείκτης δημιουργίας διαφορών
Normalized Difference Vegetation Index	Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς
Normalized difference water index	Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς
Pixel	Εικονοστοιχεία
Return Beam Lidar	Σαν φωτογραφική μηχανική με υψηλή γεωμετρική ανάλυση
Soil-adjusted Vegetation Index	Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης
World Geodetic System	Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα
Pan	Παγχρωματική Ζώνη

1. Εισαγωγή

Στην παρούσα διπλωματική μελέτη γίνεται βιβλιογραφική ανασκόπηση δεικτών βλάστησης από δεδομένα και εικόνες που λαμβάνονται από τον δορυφόρο Landsat 8. Αναμφισβήτητα η τεχνολογία αναπτύσσεται ραγδαία στην ζωή του σύγχρονου ανθρώπου και αυτό οδηγεί στην ανθρώπινη ανάγκη παρακολούθησης της επιφάνειας της Γης. Για την επίτευξη του πιο πάνω αναπτύσσονται και εξελίσσονται πολλές επιστήμες. Βασική επιστήμη που είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την ανάπτυξη της τεχνολογίας είναι αυτή της Τηλεπισκόπησης. Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης μελετά στόχους χωρίς να έρχεται σε απευθείας επαφή μαζί τους και αποτελείται από διάφορες τεχνικές και εφαρμοσμένες μεθόδους οι οποίες έχουν ως πρώτιστο στόχο την ανάλυση της επιφάνειας της γης. Το σημαντικότερο κομμάτι της επιστήμης της τηλεπισκόπησης είναι η παροχή σωστών πληροφοριών για τα διάφορα σημεία της Γης σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή για να μπορεί να γίνεται η μελέτη των αλλαγών στις χρήσεις της.

Επιπρόσθετα συμπεριλαμβάνονται αρκετές από τις απαραίτητες γνώσεις που σχετίζονται με την επιστήμη αυτή αλλά και όλες όσες χρειάζονται για την κατανόηση της σημαντικότητας της χρήσης των δεικτών βλάστησης για διάφορους σκοπούς. Αναλύονται οι διαφορετικοί δείκτες βλάστησης όπου έχουν δημιουργηθεί σε συνδυασμό με τις φασματικές υπογραφές. Γίνεται η παρουσίαση των τριών βασικών φασματικών υπογραφών, του νερού, του εδάφους και της βλάστησης, οι οποίες είναι καμπύλες που παρουσιάζουν τις μεταβολές σε σχέση με το κάθε μήκος κύματος. Η καμπύλη της φασματικής υπογραφής είναι μοναδική για κάθε στόχο και αυτό βοηθά στην ανάλυση του κάθε στόχου ξεχωριστά. Οι φασματικές υπογραφές του νερού και της βλάστησης παρουσιάζονται με παραδείγματα και αναλύονται πιο λεπτομερώς.

Επιπλέον αναδεικνύεται η σύνδεση που έχει η Τηλεπισκόπηση με μια άλλη σημαντική επιστήμη, την Φωτοερμηνεία για την ανάλυση της επιφάνειας της γης. Η φωτοερμηνεία επιτυγχάνεται ακολουθώντας συγκεκριμένα βήματα με την χρήση των οκτώ στο σύνολο φωτοερμηνευτικών κλειδιών όπου το κάθε ένα έχει την δική του χρήση. Η αναμφισβήτητα άλυτη σχέση που υπάρχει ανάμεσα στις δύο επιστήμες είναι ο κοινός στόχος της ανάλυσης των δορυφορικών εικόνων.

Στις μέρες που διανύει ο σύγχρονος άνθρωπος, υπάρχει μία πλειάδα δορυφόρων τηλεπισκόπησης οι οποίοι καταγράφουν την επιφάνεια της γης. Οι διαφορές που έχουν

οι δορυφόροι ως προς τα τεχνικά τους χαρακτηριστικά δίνουν διαφορετικά δορυφορικά δεδομένα μετά την προεπεξεργασία των δορυφορικών εικόνων. Ο δορυφόρος που μελετήθηκε και αναλύθηκε για την συγκεκριμένη μελέτη είναι ο Landsat 8 ο οποίος αναπτύχθηκε από την NASA όπου έχει και την πλήρη ευθύνη του και η εκτόξευση του έγινε το 2013 συνεχίζοντας έτσι την παροχή δεδομένων.

2. Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Τηλεπισκόπηση

2.1.1 Εισαγωγικά

Η Τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη που μελετά, συλλέγει, αναλύει και ερμηνεύει πληροφορίες γύρω από έναν στόχο για την αναγνώριση των ιδιοτήτων του από την εξέταση των αλληλεπιδράσεων του με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Οι πληροφορίες αυτές συλλέγονται από όργανα που δεν έρχονται σε πραγματική επαφή με τα προς εξέταση αντικείμενα. (Μερτίκας, 1999) Η ονομασία της πάρθηκε από το αρχαίο επίρρημα ‘τήλε’, δηλαδή μακριά και το ρήμα ‘επισκοπεύω’ που σημαίνει εξετάζω από ψηλά, δηλαδή η εξέταση φαινομένων από απόσταση. Λόγω του τρόπου καταγραφής δεδομένων η τηλεπισκόπηση έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών σε πολλούς διαφορετικούς τομείς της μελέτης. Η παρατήρηση αλλά και η παρακολούθηση της γης από το διάστημα αποτελούν τα τελευταία χρόνια ένα σημαντικότατο εργαλείο για διάφορες μελέτες οι οποίες σχετίζονται με ολόκληρο τον πλανήτη. Σημαντικό σημείο αναφοράς είναι οι πρωταρχικοί λόγοι προέλευσης της τηλεπισκόπησης αλλά και της τεχνολογικής προόδου οι οποίες είναι αλληλένδετες. Οι λόγοι αυτοί αποτελούν τις στρατιωτικές, τις εμπορικές και τις επιστημονικές εφαρμογές.

Η τηλεπισκόπηση εδώ και αρκετό καιρό είναι ένα από τα πιο σημαντικά και αποτελεσματικά μέσα παρακολούθησης της κάλυψης της γης με την ικανότητά της να παρέχει γρήγορα ευρείες, ακριβείς και εύκολα διαθέσιμες πληροφορίες οι οποίες σχετίζονται με τη χωρική μεταβλητότητα της επιφάνειας της γης. Αποδεδειγμένα είναι μια ισχυρή μέθοδος για συλλογή δεδομένων με βασική προϋπόθεση την σωστή ερμηνεία και την κατάλληλη αξιολόγηση για να μπορεί να προσφέρει μια σωρεία χρήσιμων πληροφοριών. Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης αναμφισβήτητα απαρτίζεται από μια σειρά γεωγραφικών τεχνολογιών οι οποίες με την σειρά τους έχουν αντίκτυπο σε ένα ευρύ φάσμα όπως παραδείγματος χάρη το εμπόριο, οι επιστήμες αλλά και η δημόσια τάξη.

2.1.2 Εφαρμογές Τηλεπισκόπησης

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης είναι πολύ σημαντική γιατί προσφέρει μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών δίνοντας λύσεις σε διάφορα προβλήματα συλλογής δεδομένων από περιοχές με μεγάλη έκταση στις οποίες όμως μπορούν να εφαρμοστούν δεδομένα από απόσταση για την διαχείριση και την προστασία του οικοσυστήματος. Οι εφαρμογές αυτές συμπεριλαμβάνουν την κοινωνική, την οικονομική και την επιστημονική πτυχή. Γνωστές εφαρμογές της τηλεπισκόπησης είναι η μελέτη της αλλαγής χρήσης γης, η χαρτογράφηση περιοχών, η μελέτη των μετεωρολογικών φαινομένων αλλά και τουριστικοί σκοποί. Τα παραδείγματα εφαρμογών της τηλεπισκόπησης περιλαμβάνουν πληθυσμιακές και δημογραφικές μελέτες, εξεύρεση, μελέτη και διαχείριση αρχαιολογικών χώρων, ενεργειακές μελέτες και εφαρμογές που σχετίζονται με την πολεοδομία. Μια άλλη σημαντική πτυχή των εφαρμογών της τηλεπισκόπησης είναι η αξία της σε όλα όσα αφορούν το περιβάλλον, αφού σχετίζεται με την παρακολούθηση και ανάλυση πηγών μόλυνσης, τον εντοπισμό και τη παρακολούθηση διαβρώσεων, τη επίδραση περιβαλλοντικών φαινομένων, τη διαχρονική παρακολούθηση ευαίσθητων περιβαλλοντικών περιοχών, την εκτίμηση διάφορων φυσικών καταστροφών και την ανάλυση περιβαλλοντικών επιπτώσεων. Είναι σημαντική επίσης η παρακολούθηση της βλάστησης, η μελέτη της γεωργίας, των καλλιεργειών και των γεωλογικών εφαρμογών. Με την χρήση των τηλεπισκοπικών δεδομένων μπορεί να γίνει έγκαιρη προειδοποίηση για καταστροφές και άμεσα η εκτίμηση διάφορων ζημιών. Γίνονται μετεωρολογικές προβλέψεις και γεωλογικές έρευνες. Τέλος μια σημαντική εφαρμογή των δεδομένων είναι η στρατιωτική η οποία σχετίστηκε με την κατασκοπία και ήταν ένας από τους πρωταρχικούς λόγους ανάπτυξης της τηλεπισκόπησης.

2.1.2.1 Χρήσεις καλύψεων γης

Οι χρήσεις καλύψεων γης είναι ένα από τα πιο σημαντικά πεδία των εφαρμογών της τηλεπισκόπησης. Οι χρήσεις αυτές αναφέρονται σε όλες τις ανθρώπινες δραστηριότητες σε συγκεκριμένο τύπο εδαφικής μονάδας και περιλαμβάνει μια σειρά δραστηριοτήτων όπως παραδείγματος χάρι βιομηχανική, αγροτική, εμπορική, κατασκευαστική, μεταφορική και αναψυχής. Όλες αυτές οι χρήσεις δεν μπορούν να είναι αναγνωρίσιμες μόνο από την χρήση των δορυφορικών εικόνων σε συνδυασμό με την φωτοερμηνεία και για αυτόν τον λόγο χρειάζεται η περαιτέρω συλλογή επιπλέον

πληροφοριών από άλλες πηγές δεδομένων όπως παραδείγματος χάρι, χάρτες και επίγειες παρατηρήσεις προκειμένου να γίνει η εύρεση της σωστής χρήσης γης. Η κάλυψη γης αναφέρεται στις φυσικές και τεχνητές οντότητες που αναγνωρίζονται και στην συνέχεια ερμηνεύονται από τις τηλεπισκόπικες εικόνες . Στις φυσικές οντότητες περιλαμβάνονται η βλάστηση, το νερό και στις τεχνητές οντότητες είναι οι καλλιέργειες, τα κτίσματα και οι δρόμοι. Μια εδαφική ενότητα γύρω από μια περιοχή που μπορεί να έχει μονοκατοικίες, η χρήση γης θεωρείται και καταγράφεται ως αστική περιοχή ή κατοικήσιμη περιοχή (Μερτίκας 2006).

2.1.3 Τηλεπισκόπηση και Αισθητήρες

Σημαντική σημασία στην τηλεπισκόπηση έχουν οι αισθητήρες αφού ανιχνεύουν και μετρούν την ακτινοβολία η οποία είναι το μέσο μετάδοσης πληροφοριών από ένα αντικείμενο σε έναν αισθητήρα. Υπάρχουν παθητικοί και ενεργοί αισθητήρες. Οι παθητικοί αισθητήρες δεν εκπέμπουν οι ίδιοι ακτινοβολία αλλά ανιχνεύουν την φυσική ενέργεια που εκπέμπεται ή ανακλάται από το ίδιο το παρατηρούμενο αντικείμενο στα ορατά και στα υπέρυθρα μήκη κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, ενώ οι ενεργητικοί αισθητήρες έχουν την δυνατότητα να παρέχουν δική τους πηγή ενέργειας για να φωτίζουν τα αντικείμενα προς παρατήρηση και στην συνέχεια να καταγράφουν το σήμα στην επιστροφή του.

Η επιστήμη της τηλεπισκόπησης ασχολείται με διάφορα θέματα τα οποία σχετίζονται με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και τον τρόπο διάδοσης της. Βασική προϋπόθεση για την σωστή καταγραφή δεδομένων είναι η ύπαρξη μιας πηγής ενέργειας η οποία έχει ως σκοπό τον φωτισμό των διάφορων στόχων. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία όπου μέσα από την επίδραση της ατμόσφαιρας υπόκειται σε κάποιες αλλαγές. Μέρος της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην Γη ή σε συγκεκριμένους στόχους με την ακτινοβολία που φεύγει από αυτούς, δηλαδή την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που επιστρέφεται από τον υπό μελέτη στόχο. Ο κάθε στόχος επιστρέφει διαφορετικά την ένταση της ακτινοβολίας. Χρήσιμα εργαλεία για την καταγραφή όλων των πιο πάνω είναι τα ραδιόμετρα και τα φωτόμετρα. Ραδιόμετρα είναι όργανα που μετρούν ποσοτικά την ροή της έντασης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία εκπέμπεται σε κάποιο μήκος κύματος του φάσματος και είναι παθητικοί αισθητήρες. Τα φωτόμετρα, είναι όργανα τα οποία μετρούν την φωτεινή ροή,

που είναι η περιγραφή της δύναμης του ορατού φωτός που εκπέμπεται.

Χρησιμοποιούνται επίσης τα ραντάρ τα οποία είναι χρήσιμα εργαλεία με πολλά πλεονεκτήματα. Τα πλεονεκτήματά αυτά περιλαμβάνουν την διαπερατότητα από σύννεφα και χαμηλή βροχή αλλά και χιόνι. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα να μην επηρεάζονται από τις καιρικές συνθήκες και από τις συνθήκες φωτισμού του ήλιου αφού λαμβάνουν μετρήσεις κατά την διάρκεια της ημέρας αλλά και της νύχτας. Επίσης διαπερνούν ταυτόχρονα την βλάστηση και το έδαφος μέχρι βάθος περίπου ενός μέτρου και αυτό είναι ένα σημαντικότατο προτέρημα. Τέλος είναι χρήσιμα για εφαρμογές που σχετίζονται με την γεωργία, δασολογία, γεωλογία, υδρολογία, ωκεανογραφία και την καταγραφή και μελέτη των πάγων. Εκτός όμως από θετικά υπάρχουν και αρνητικά αφού λόγω της χαμηλής εκπεμπόμενης ακτινοβολίας το σήμα που καταγράφουν μπορεί να αλλοιωθεί από διάφορες παρεμβολές.

2.1.4 Τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με δορυφορικά δεδομένα

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης ασχολείται επίσης με τις δορυφορικές εικόνες και τις αεροφωτογραφίες αφού με την ανάπτυξη και την εξέλιξη των δορυφόρων αναφέρεται και ως δορυφορική τηλεπισκόπηση αφού είναι στενά συνδεδεμένη με δορυφορικές εικόνες που παρέχουν αμέτρητες πληροφορίες. Η δορυφορική τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με αναλυτικές μεθόδους δίνει την δυνατότητα παροχής πληροφοριών και δεδομένων σε όλα τα στάδια σχεδιασμού και διαχείρισης των φυσικών οικοσυστημάτων.

Οι δορυφόροι που χρησιμοποιούνται είναι τεχνητά συστήματα που κινούνται γύρω από την Γη με συγκεκριμένη τροχιά σε ύψος μεταξύ 500 και 35.000 χιλιομέτρων από την επιφάνεια της και συλλέγουν καθημερινά εικόνες στα διάφορα τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Είναι μη επανδρωμένα διαστημικά οχήματα και είναι εξοπλισμένα με κατάλληλα όργανα για τις απαραίτητες συλλογές στοιχείων και για την μετάδοση των δεδομένων και των εικόνων στους επίγειους σταθμούς. Τα πλεονεκτήματα των δορυφορικών δεδομένων είναι αρκετά αφού είναι σε ψηφιακή μορφή και δεν χρειάζονται περαιτέρω ψηφιοποίηση. Αρχικά δεν υπάρχουν όρια κατά την διάρκεια της προμήθειας δορυφορικών δεδομένων και ταυτόχρονα μπορούν να καλύψουν πάρα πολλές περιοχές ενδιαφέροντος χωρίς περιορισμούς. Επιπλέον πραγματοποιούνται διάφορες λήψεις σε τακτά διαστήματα από το ίδιο σημείο και με αυτόν τον τρόπο εξετάζονται οι διαφορές που δημιουργούνται σε κάθε εποχή και

περιοχή ενδιαφέροντος, παρέχοντας συνεχή ενημέρωση. Στην Κύπρο γίνονται περίπου 16 με 18 λήψεις τον χρόνο. Επιπρόσθετα δίνεται η δυνατότητα με μια μόνο εικόνα να παρουσιαστούν πολλές λεπτομέρειες μιας περιοχής οι οποίες μπορούν να εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς. Οι δορυφόροι είναι εφοδιασμένοι με διάφορων τύπων όργανα που καταγράφουν στα ορατό, εγγύς υπέρυθρο, θερμικό υπέρυθρο, και τμήματα της περιοχής των μικροκυμάτων του Η/Μ φάσματος. Οι εικόνες στο ορατό μέρος παρέχουν πληροφορίες για τις ανθρώπινες δραστηριότητες, στο υπέρυθρο είναι ευαίσθητες στην παρουσία και την ανάπτυξη της βλάστησης και οι εικόνες στο θερμικό μέρος παράγουν θερμοκρασιακούς χάρτες και έχουν την δυνατότητα καταγραφής περιοχών στις οποίες υπάρχει αυξημένη εξάτμιση. Ο δορυφόρος Landsat, περιέχει ένα σαρωτή που καταγράφει το ηλεκτρομαγνητικό σήμα που προέρχεται από την επιφάνεια της γης, σε διάφορα μήκη κύματος, παρέχοντας διαφορετικά φασματικά κανάλια μιας δορυφορικής εικόνας.

2.1.5 Χωρική, χρονική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση

Κύριος σκοπός της τηλεπισκόπησης είναι η πληροφορία καθώς και το πώς αυτή χρησιμοποιείται αλλά και αποθηκεύεται. Η τηλεπισκόπηση έχει μια συνεχή εξέλιξη με την βοήθεια της ερμηνείας αεροφωτογραφιών και την ανάλυση των δορυφορικών εικόνων και αυτό επιτυγχάνεται μέσω δορυφόρων οι οποίοι έχουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά τεσσάρων τύπων ανάλυσης την χωρική, φασματική, χρονική και ραδιομετρική ανάλυση. Η ικανότητα συλλογής δεδομένων σε υψηλότερες χωρικές, φασματικές και χρονικές αναλύσεις αυξάνει ταυτόχρονα και τη ικανότητά άντλησης χρήσιμων πληροφοριών. Η φασματική ανάλυση με την σειρά της παρουσιάζει τον αριθμό των φασματικών καναλιών, μηκών κύματος που μπορεί να καταγράψει ένας αισθητήρας, αφορά δηλαδή το εύρος των μηκών κύματος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στα οποία είναι ευαίσθητο το όργανο, δηλαδή των περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που καταγράφονται και τον αριθμό των φασματικών καναλιών. Η χωρική ανάλυση είναι το ελάχιστο μέγεθος της επιφάνειας της γης που μπορεί να διακρίνει ο συγκεκριμένος αισθητήρας, προσδιορίζει το επίπεδο λεπτομέρειας και έχει να κάνει με τον τρόπο ψηφιοποίησης των συντεταγμένων και αντιστοιχεί στην ικανότητα ενός συστήματος να διακρίνει αντικείμενα, είναι δηλαδή ο μικρότερος γωνιακός ή γραμμικός διαχωρισμός μεταξύ δύο αντικειμένων που μπορούν να διακριθούν από τον αισθητήρα και χρονική ανάλυση είναι η συχνότητα συλλογής

πληροφοριών που μπορούν να καταγραφούν από ένα σημείο. Μεγάλη χωρική ανάλυση σημαίνουν μικρότερα εικονοστοιχεία άρα είναι πιο ευδιάκριτα. Η χρονική ανάλυση είναι ένας πλήρης κύκλος της περιστροφής της Γης από τον δορυφόρο που επιστρέφει για να καλύψει το αρχικό σημείο μετά από κάποιο χρονικό διάστημα, αναφέρεται δηλαδή στον χρόνο κατά τον οποίο ο δορυφόρος θα ξαναπεράσει από την ίδια περιοχή για να πάρει δορυφορικές εικόνες. Τέλος η ραδιομετρική ανάλυση αναφέρεται στον αριθμό των διαφορετικών διαβαθμίσεων που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας και χαρακτηρίζεται ως η ευαισθησία του αισθητήρα στις διάφορες εντάσεις της ανιχνεύσιμης ακτινοβολίας. Ο αριθμός των διαβαθμίσεων αυτών μετριέται σε bit. Ο αριθμός των bit που περιέχει η τιμή του εικονοστοιχείου είναι στο δυαδικό σύστημα και αντιστοιχούν σε συγκεκριμένο ακέραιο αριθμό στο δεκαδικό σύστημα (Μερτίκας 2006).

2.1.6 ΓΣΠ και Τηλεπισκόπηση

Τα Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών έχουν μια άλυτη σχέση με τη τηλεπισκόπηση λόγω της συνεργασίας που έχουν μεταξύ τους. Για να ερμηνευθούν με ακρίβεια, τα δεδομένα της τηλεπισκόπησης συχνά συμπληρώνονται με άλλα δεδομένα. Πολλές φορές, αυτά τα βοηθητικά δεδομένα μπορούν να εντοπιστούν ή να συμπεριληφθούν σε ένα σύστημα GIS για περαιτέρω ανάλυση. Τα δεδομένα από την τηλεπισκόπηση αποτελούν την βασική τεχνολογία σε ότι αφορά την ενημέρωση πολλών τύπων δεδομένων GIS και ταυτόχρονα συνδυάζονται με τις πληροφορίες που μπορούν να υπάρχουν σε μια βάση δεδομένων, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για περαιτέρω ανάλυση των διάφορων εικόνων. Τα δεδομένα σε συνδυασμό με την πληροφορία που εξάγεται από τις δορυφορικές εικόνες αποτελούν μια από τις πιο κύριες πηγές δεδομένων Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφόρησης και η μορφή τους είναι κοινή. Τα δεδομένα από τα Γεωγραφικά συστήματα δίνουν την δυνατότητα παροχής βοήθειας για την βελτίωση της ψηφιακής ταξινόμησης των δορυφορικών δεδομένων. Τέλος, η τηλεπισκόπηση και τα Γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών χρησιμοποιούν παρόμοια όργανα για την επεξεργασία αλλά και για την παρουσίαση διάφορων αποτελεσμάτων.

Η συνεργασία των δεδομένων Τηλεπισκόπησης και Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών, μπορεί να εμφανιστεί σε διάφορες μορφές. Πρώτη μορφή συνεργασίας φανερώνεται όταν ένα ΓΣΠ μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την αποθήκευση ποικίλων τύπων δεδομένων. Δεύτερη μορφή είναι η ανάλυση που προσφέρουν τα ΓΣΠ και οι

μέθοδοι επεξεργασίας τους οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την περαιτέρω ανάλυση ψηφιδωτών δεδομένων. Επιπρόσθετη συνεργασία παρουσιάζεται εφόσον είναι δυνατή η χρήση των τηλεπισκοπικών δεδομένων ως πηγές στα ΓΣΠ. Τέλος ο συνδυασμός είναι εμφανές καθώς τα δεδομένα των ΓΣΠ χρησιμοποιούνται για την ανάλυση των εικόνων δίνοντας πιο πλήρη αλλά και ακριβή πληροφόρηση. Συμπερασματικά, η σχέση μεταξύ της τηλεπισκόπησης και της δημιουργίας μιας βάσης δεδομένων σε ένα περιβάλλον γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών εισήγαγαν νέες αποτελώντας ένα από τα πιο σημαντικά εργαλεία για την παρακολούθηση αλλά και την εκτίμηση διάφορων καταστροφών σε ένα οικοσύστημα.

2.2 Τηλεπισκόπηση και Φωτοερμηνεία

2.2.1 Γενικά

Η τηλεπισκόπηση λόγω του μεγάλου εύρους εφαρμογών που διαθέτει, ένα μεγάλο μέρος της σχετίζεται με την επιστήμη της φωτοερμηνείας. Τα δορυφορικά δεδομένα πρωτίστως υπόκεινται σε επεξεργασία για να καταστούν ικανά να αναλυθούν και στην συνέχεια να δώσουν σωστές πληροφορίες. Η Φωτοερμηνεία θεωρείται ως η αρχή της Τηλεπισκόπησης με ένα επίσης μεγάλο φάσμα εφαρμογών και ασχολείται με τα γήινα αντικείμενα που δεν είναι αρκετά ορατά και είναι πλέον ένα βασικό εργαλείο για την μελέτη της γήινης επιφάνειας. Σκοπός της επιστήμης της Φωτοερμηνείας είναι η αναγνώριση αλλά και ο προσδιορισμός φυσικών ή ανθρωπογενών χαρακτηριστικών μέσω διαδικασιών ανάλυσης και ερμηνείας δορυφορικών εικόνων χρησιμοποιώντας ποιοτικές πληροφορίες. Η Φωτοερμηνεία αποτελεί κλάδο της Φωτογραμμετρίας και αναπτύχθηκε για την επίλυση του μεγαλύτερου προβλήματος, που καλείται να αντιμετωπίσει ένας φωτοερμηνευτής, δηλαδή να αναγνωρίζει διάφορες μορφές αντικειμένων που παρέχει μια δορυφορική εικόνα τα οποία δεν ανιχνεύονται εύκολα με το μάτι βάση τις γνώσεις του παρατηρητή. Οι παράγοντες που παίζουν σημαντικό ρόλο στην φωτοερμηνεία είναι η ψυχολογική κατάσταση του παρατηρητή, η ποιότητα των δεδομένων και η οξύτητα της όρασης και της αντίληψης δεδομένων. Με την παρακολούθηση της γης μέσω της φωτοερμηνείας επιτυγχάνεται ορθότερη αντίληψη μη ορατών αντικειμένων.

Αρχικό στάδιο της φωτοερμηνείας είναι η Προκαταρκτική Εξέταση κατά την οποία επιλέγεται η διαδικασία εφαρμογής για προσδιορισμό των χαρακτηριστικών της

εικόνας. Επόμενο στάδιο είναι ο Εντοπισμός όπου διαπιστώνεται σε ποιο μέρος κάποιας περιοχής υπάρχει πληροφορία η οποία θα φανεί χρήσιμη. Επόμενη φάση είναι η Αναγνώριση κατά την οποία ελέγχονται και παρατηρούνται όλα τα χαρακτηριστικά ενός αντικειμένου και στην συνέχεια αναγνωρίζεται ως γνωστό. Κατά το στάδιο της Ταυτοποίησης το γνωστό πλέον αντικείμενο ταξινομείται σε ομάδες με βάση το όνομα. Επόμενο βήμα είναι η Ανάλυση η οποία περιλαμβάνει τον διαχωρισμό ενός συνόλου με επιλεγμένα αντικείμενα σε μικρότερες ομογενείς ομάδες με βάση τα ποσοτικά και ποιοτικά χαρακτηριστικά. Προτελευταίο στάδιο είναι η Ταξινόμηση των αντικειμένων που γίνεται με βάση το πιο σημαντικό ανάλογα με την εφαρμογή τους. Τέλος, γίνεται η φάση των Πορισμάτων – Συμπερασμάτων κατά την οποία συνδυάζονται όλες οι παρατηρήσεις με βάση γνώσεις και άλλες πηγές. Μετά τον συνδυασμό αυτό γίνεται και η εξαγωγή συμπερασμάτων.

Οι εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης και της Φωτοερμηνείας σε μεγάλο μέρος συμπίπτουν. Έχουν ως κοινή εφαρμογή την γεωργία, παρακολουθώντας περιβαλλοντικά φαινόμενα, αναγνωρίζοντας νέους τύπους φυτών σε κάθε περιοχή και πολλές φορές οριοθετούνται οι εκτάσεις καλλιεργειών. Στις εφαρμογές της φωτοερμηνείας περιλαμβάνονται η αρχιτεκτονική για αναγνώριση κτιρίων ή συνόλων, η αρχαιολογία για αποτύπωση αρχαιολογικών χώρων, η τοπογραφία όπου βοηθά στην σύνταξη χαρτών και οι στρατιωτικές εφαρμογές.

Για να είναι σε μεγάλο βαθμό επιτυχής η φωτοερμηνεία πρέπει ο φωτοερμηνευτής να εκπαιδευτεί καλά αποκτώντας έτσι εμπειρία για την αναγνώριση των αντικειμένων. Αυτό όμως δεν αρκεί αφού δεν εξαρτάται μόνο από την ευθύνη που έχει ο φωτοερμηνευτής για μια σωστή φωτοερμηνεία, αλλά εξαρτάται από την φύση των αντικειμένων, την ποιότητα των δορυφορικών εικόνων που χρησιμοποιούνται και από τον τρόπο που γίνεται η εφαρμογή της μεθόδου της τηλεπισκόπησης. Ορθότερη φωτοερμηνεία επιτυγχάνεται χρησιμοποιώντας επιπρόσθετα υλικά για στήριξη όπως παραδείγματος χάρη χάρτες και επίγεια δεδομένα από έγκυρες πηγές.

2.2.2 Φωτοερμηνευτικά κλειδιά

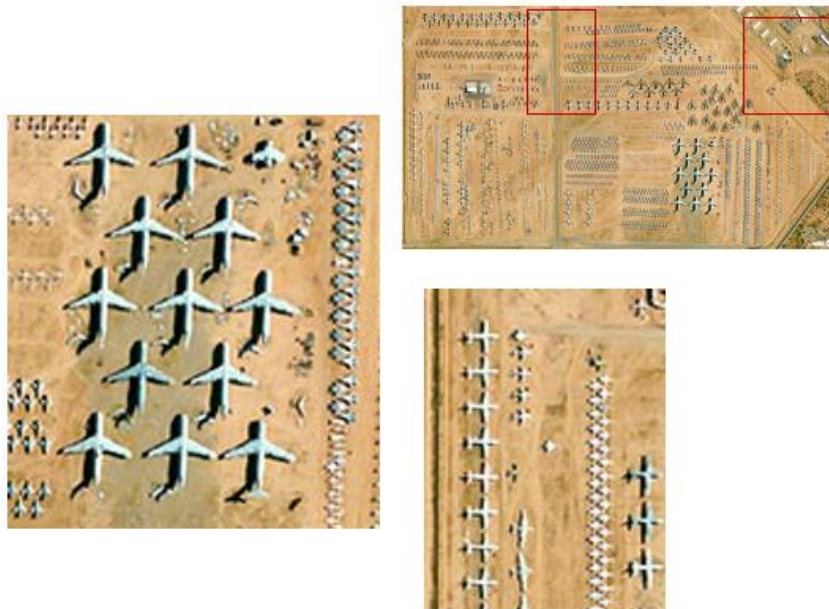
Η Φωτοερμηνεία σε συνδυασμό με την Τηλεπισκόπηση δημιούργησαν φωτοερμηνευτικά κλειδιά για την αναγνώριση διάφορων αντικειμένων σε μίαν εικόνα. Πρώτο φωτοερμηνευτικό κλειδί είναι ο τόνος. Αναφέρεται στην φωτεινότητα και την

χρωματική απόδοση αντικειμένων στην εικόνα και είναι το βασικό για την διάκριση των χαρακτηριστικών. Στην φωτοερμηνεία έχει τεράστια σημασία η διαφορά του τόνου ενός αντικειμένου αφού υφίσταται σημαντικές μεταβολές εξαιτίας του καταγραφικού μέσου, της τοπογραφίας και της υγρασίας, αφού όσο περισσότερη υγρασία υπάρχει τόσο σκούρος τόνος θα εμφανίζεται. Αιτία μεταβολής είναι οι κλιματολογικές συνθήκες της περιοχής κατά την διάρκεια της λήψης, η θέση του αντικειμένου στην εικόνα αφού όσο πιο μακριά βρίσκεται το από το κέντρο της τόσο σκούρος είναι και ο τόνος του γκριζου. Στις ασπρόμαυρες αεροφωτογραφίες ο τόνος κυμαίνεται από άσπρο έως μαύρο με ενδιάμεσες διαβαθμίσεις του γκρι.



Διάγραμμα 1: Φωτοερμηνευτικό κλειδί- Τόνος.

Άλλο κλειδί είναι η υφή που αναφέρεται στην κατανομή και τη συχνότητα των τονικών μεταβολών σε συγκεκριμένες περιοχές της εικόνας. Μέσω της υφής καθορίζεται η τραχύτητα των αντικειμένων της εικόνας με αποτέλεσμα όσο ελαττώνεται η κλίμακα απεικόνιση τόσο θα ελαττώνεται και η υφή των αντικειμένων. Η υφή είναι ένας συνδυασμός μεταξύ του τόνου, του μεγέθους, του σχήματος και της σκιάς των αντικειμένων. Ένα από τα πιο σημαντικά ποσοτικά χαρακτηριστικά στοιχεία της φωτοερμηνείας είναι το μέγεθος και χωρίζεται σε σχετικό και σε απόλυτο. Σχετικό μέγεθος ενός αντικειμένου είναι αυτό που συγκρίνεται και σχετίζεται με το μέγεθος ενός γνωστού αντικειμένου ενώ το απόλυτο μέγεθος υπολογίζεται με φωτογραμμετρικές μεθόδους. Η έννοια του μεγέθους είναι άρρηκτα συνδεδεμένη με την κλίμακα.



Διάγραμμα 2: Φωτοερμηνευτικό κλειδί- Μέγεθος.

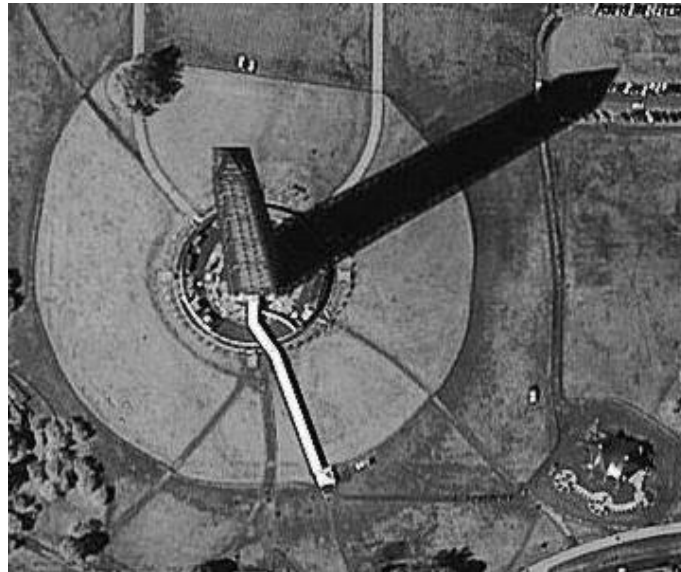
Φωτοερμηνευτικό κλειδί είναι το σχήμα που αναφέρεται στην δομή και το περίγραμμα των αντικειμένων και μέσω αυτών αναγνωρίζονται αντικείμενα και η μορφή τους. Πολλά αντικείμενα μπορούν να αναγνωριστούν εύκολα μόνο από το σχήμα τους. Η θέση των αντικειμένων στην εικόνα επηρεάζει το σχήμα. Το παραπάνω κλειδί σε συνδυασμό με το κλειδί της σχέσης με το περιβάλλον, το οποίο αναφέρεται στην συσχέτιση τους με τα υπόλοιπα αντικείμενα που βρίσκονται στον γύρω περιβάλλοντα χώρο, βοηθούν στην καλύτερη κατανόηση των αντικειμένων.



Διάγραμμα 3: Φωτοερμηνευτικό κλειδί- Σχήμα.

Επιπρόσθετα το πρότυπο-διάταξη αναφέρεται στην χωρική διεύθυνση ορατών αντικειμένων στο χώρο όπου η επανάληψη τόνων και υφών δημιουργεί καινούργια διάταξη. Τέλος, το τελευταίο σημαντικό φωτοερμηνευτικό χαρακτηριστικό είναι η σκιά

που αναφέρεται στην αποκάλυψη αντικειμένων ή απλά χαρακτηριστικών και ιδιοτήτων με βάση την σκίαση του. Η σκιά δίνει την δυνατότητα μέτρησης του ύψους των χαρακτηριστικών αλλά ταυτόχρονα οξύνει την αδυναμία στην συλλογή πληροφοριών από τις σκιασμένες περιοχές.



Διάγραμμα 4: Φωτοερμηνευτικό κλειδί- Σκιά.

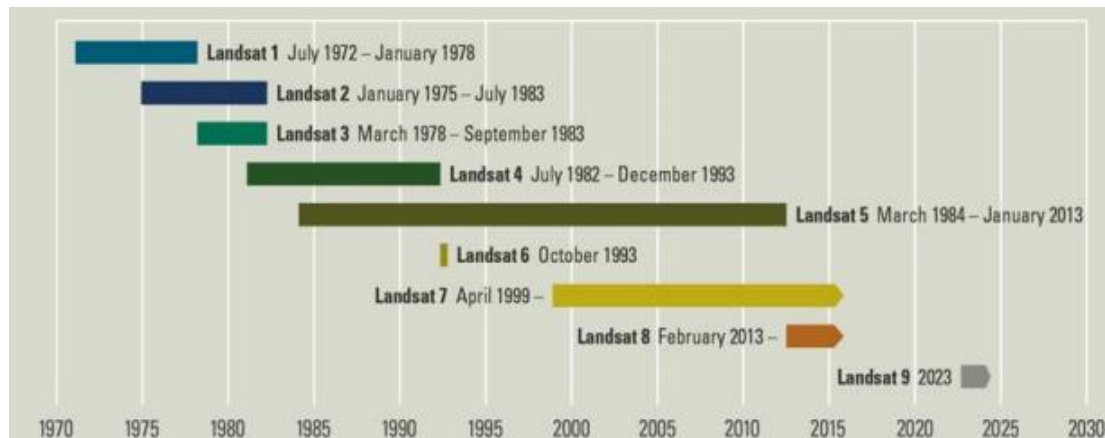
2.3 Δορυφόροι Landsat

Το πρώτο δορυφορικό σύστημα Τηλεπισκόπησης αναπτύχθηκε από την NASA ο οποίος είναι ένας οργανισμός εξερεύνησης του διαστήματος και είναι το Landsat. Η NASA έχει σημαντικές ευθύνες για την αποστολή, προωθώντας την ανάπτυξη του διαστημικού οχήματος το οποίο είναι υπεύθυνο για την εκτόξευση. Είναι ο βασικός υπεύθυνος για την ολοκλήρωση του συστήματος, την διασφάλιση της αποστολής αλλά και την καθοδήγηση της τεχνικής του συστήματος. Κύριος λόγος της δημιουργίας των αποστολών αυτών ήταν η παροχή δεδομένων, για σχεδόν ολόκληρη την γήινη επιφάνεια σε τακτική βάση αλλά και η μετάβαση του προγράμματος παρατήρησης εδάφους Landsat από το περιβάλλον έρευνας στο επιχειρησιακό περιβάλλον. Η εποχή Landsat ξεκίνησε το 1972, παρέχοντας παγκόσμια και επαναλαμβανόμενη κάλυψη των επιφανειών της γης μελετώντας τις φυσικές αλλαγές με την πάροδο του χρόνου. Στο σύνολο αναπτύχθηκαν εφτά αποστολές Landsat. Ο Landsat 1 εκτοξεύτηκε το 1972, ο

Landsat 2 το 1975, ο Landsat 3 το 1978, ο Landsat 4 το 1982, ο Landsat 5 το 1984, ο Landsat 7 το 1999 και τέλος το 2013 ο Landsat 8. Ο δορυφόρος 6 απέτυχε στην εκτόξευση και δεν κατέστη ικανός να δώσει πληροφορίες για την γη.

Οι πρώτοι τρεις δορυφόροι ήταν σχεδιασμένοι και εφοδιασμένοι με δύο συστήματα δεκτών για καταγραφή εικόνων. Τα συστήματα αυτά είναι το Return Beam Vidicon, το οποίο έμοιαζε με φωτογραφική μηχανική και παρείχε υψηλή γεωμετρική ανάλυση, δηλαδή ακρίβεια, αλλά με μειωμένη φασματική και ραδιομετρική ανάλυση, δηλαδή χωρίς λεπτομέρεια ως προς την φωτεινότητα και την χρωματική απόχρωση, και ο πολυφασματικός σαρωτής ο οποίος με την σειρά του σχεδιάστηκε για να παρέχει μεγάλη ακρίβεια στα φασματικά επιφανειακά χαρακτηριστικά. Οι επόμενοι δύο δορυφόροι ήταν βελτιωμένοι σε ότι αφορούσε την τεχνολογία των δεκτών. Γι' αυτό προστέθηκε μια πιο βελτιωμένη έκδοση του πολυφασματικού σαρωτή σε συνδυασμό με το Thematic Mapper που πρόσφερε μεγαλύτερη ραδιομετρική και φασματική λεπτομέρεια, για παροχή καλύτερης χωρικής ανάλυσης. Ο Landsat 7 καταγράφει οκτώ φασματικές ζώνες για παροχή μεγαλύτερης χωρικής ανάλυσης. (Μερτίκας 2006)

Η σειρά διαστημικών σκαφών Landsat της NASA αντιπροσωπεύει το μεγαλύτερο μακροχρόνιο πρόγραμμα απεικόνισης της Γης στην ιστορία προσφέροντας έτσι ένα ευρύ φάσμα καταγραφής της επιφάνειας της γης με βάση το διάστημα με την χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης. Οι εφαρμογές που σχετίζονται με τα δεδομένα Landsat περιλαμβάνουν τη διαχείριση και τη παρακολούθηση των πόρων για την οικονομική και την περιβαλλοντική ποιότητα, τη δημόσια υγεία και την εθνική ασφάλεια (Μερτίκας 2006). Το έργο Landsat έχει ως αποστολή την επαναλαμβανόμενη απόκτηση δεδομένων από την επιφάνεια της Γης σε παγκόσμια βάση και ταυτόχρονα αντιπροσωπεύει τη μοναδική πηγή παγκόσμιων, βαθμονομημένων μετρήσεων χωρικής ανάλυσης οι οποίες υπάρχουν σε εθνικό αρχείο το οποίο είναι διαθέσιμο και ελεύθερο στο κοινό. Τα δεδομένα από την αποστολή Landsat είναι πλέον αναγκαία για τους λόγους της κάλυψης της γης αλλά και των αλλαγών των χρήσεων της γης. (Μερτίκας 2006)



Διάγραμμα 5: Χρονοδιάγραμμα εκτόξευσης και απόσυρσης για τους δορυφόρους Landsat.

2.3.1 Δορυφόρος Landsat 8

Η πιο πρόσφατη επιτυχημένη εκτόξευση Landsat έγινε στις 11 Φεβρουαρίου 2013 με το όνομα Landsat 8 και αναπτύχθηκε σε συνεργασία μεταξύ της NASA και των ΗΠΑ. Αποτελεί μέρος της αποστολής Landsat Data Continuity Mission (LDCM), από το Space Launch Complex-3, με Βάση την Πολεμική Αεροπορία Vandenberg στην Καλιφόρνια, και άρχισε να παρέχει στοιχεία για την παγκόσμια κοινότητα τον Μάιο του ίδιου έτους. Επικεφαλής της αποστολής αυτής για ακόμα μια φορά είναι η NASA όπου έχει ευθύνη για την ανάπτυξη και το σχεδιασμό συστημάτων, την εξασφάλιση υπηρεσιών εκτόξευσης και την ενοποίηση των συστημάτων. Η αποστολή Landsat 8 περιστρέφεται γύρω από τη γη κάθε 99 λεπτά με παγκόσμια κάλυψη της γης κάθε δεκαέξι ημέρες, εξαιρούμενα τα πολικά γεωγραφικά πλάτη. Η αποστολή Landsat 8 ακολουθεί ηλιοσύγχρονη τροχιά με μέσο υψόμετρο 705 χιλιόμετρα και $98,2^\circ$ χρησιμοποιώντας παγκόσμιο σύστημα αναφοράς-2 (WRS-2).

Η επιτυχημένη εκτόξευση της αποστολής του Landsat 8 παρατείνει και προωθεί περαιτέρω την παγκόσμια έρευνα. Σημαντικό κομμάτι της είναι η ελεύθερη και δωρεάν διαθεσιμότητα όλων των δεδομένων για τη γεωργία, τη δασοκομία, τον χωροταξικό σχεδιασμό, την εκπαίδευση, τη χαρτογράφηση και την έρευνα για την παγκόσμια αλλαγή. Αυτό οδηγεί στην μελέτη αλλά και ανάλυση τους για μελλοντικές δραστηριότητες κυρίως για τις επίγειες αλλαγές οι οποίες μπορεί να είναι τόσο σταδιακές όσο και ξαφνικές. Με τα δεδομένα του Landsat 8 έχει γίνει σημαντική πρόοδος σε θέματα χαρτογράφησης και παρακολούθησης, προωθώντας την ανάπτυξη,

την ανίχνευση αλλαγών και παρακολούθηση των χειρσαίων οικοσυστημάτων. Όλες οι αποστολές Landsat, αναμφισβήτητα κατέχουν μια υπερπολύτιμη θέση στην παγκόσμια δορυφορική τηλεπισκόπηση.



Διάγραμμα 6: Η αποστολή Landsat Data Continuity Mission 8 κατά τη διάρκεια της εκτόξευσης, στις 11 Φεβρουαρίου 2013.

Σημαντική δυνατότητα του συστήματος είναι η παροχή συστηματικής συλλογής παγκοσμίων πολυφασματικών δεδομένων με υψηλή ανάλυση. Επιπρόσθετα δίνει την δυνατότητα παροχής μεγάλου όγκου συλλογής δεδομένων, αφού συνήθως υπερβαίνει τις 650 σκηνές απεικόνισης της γης ανά ημέρα. Η δυνατότητα που έχει για να χρησιμοποιεί προβλέψεις κάλυψης σύννεφων, οδηγεί στην αποφυγή απόκτησης δεδομένων τα οποία δεν θα μπορούν μετέπειτα να χρησιμοποιηθούν. Με την νέα αποστολή έχουν συμπληρωθεί περισσότερες από τέσσερις εκατομμύρια σκηνές συμπεριλαμβανόμενες και αυτές που αποκτήθηκαν από τις προηγούμενες αποστολές Landsat. Τα δεδομένα που συλλέγονται από τα όργανα του δορυφόρου είναι ελεύθερα διαθέσιμα για δωρεάν λήψη από το EarthExplorer, GloVis ή το LandsatLook Viewer εντός 24 ωρών από την στιγμή απόκτησης τους.

Η αποστολή απαρτίζεται από κάποιους βασικούς στόχους οι οποίοι πρέπει να επιτευχθούν. Κύριος στόχος της αποστολής Landsat 8 είναι η επέκταση των αποστολών

Landsat στο μέλλον και ταυτόχρονα η διατήρηση όλων των παρατηρήσεων έτσι ώστε τα δεδομένα να έχουν την ίδια αξία και να είναι συγκρίσιμα με εκείνα των προηγούμενων αποστολών. Επιπρόσθετα, στόχος της αποστολής είναι η παροχή έγκαιρων, με υψηλή ποιότητα, ορατών και υπέρυθρων εικόνων από κάθε περιοχή της γης. Ένας άλλος στόχος είναι η συλλογή και η αρχειοθέτηση δεδομένων που αντανακλούν την κάλυψη της παγκόσμιας μάζας της γης. Επιπλέον στόχος είναι η συνέχιση της διανομής των δεδομένων στους χρήστες χωρίς κόστος.

Η NASA διαχειρίστηκε τον δορυφόρο κατά τη διάρκεια της τροχιάς εκκίνησης και επαλήθευσης μετά την εκτόξευση. Επιπρόσθετα πριν αλλά και μετά την εκτόξευση του Landsat 8 καθιερώθηκαν βασικές προτεραιότητες για τα επόμενα πέντε χρόνια μετά την αποστολή. Αρχική προτεραιότητα ήταν η αξιολόγηση των δυνατοτήτων Landsat 8 και ο προσδιορισμός νέων ευκαιριών επιστήμης και εφαρμογών. Επιπρόσθετη προτεραιότητα είναι η εξέλιξη στρατηγικών και πρωτότυπων προσεγγίσεων για την ανάπτυξη προϊόντων του Landsat τα οποία προέρχονται από το υψηλότερο επίπεδο για την υποστήριξη της παγκόσμιας έρευνας. Επιπρόσθετη προτεραιότητα είναι η αναγνώριση του διεθνούς σχηματισμού απεικόνισης γης.

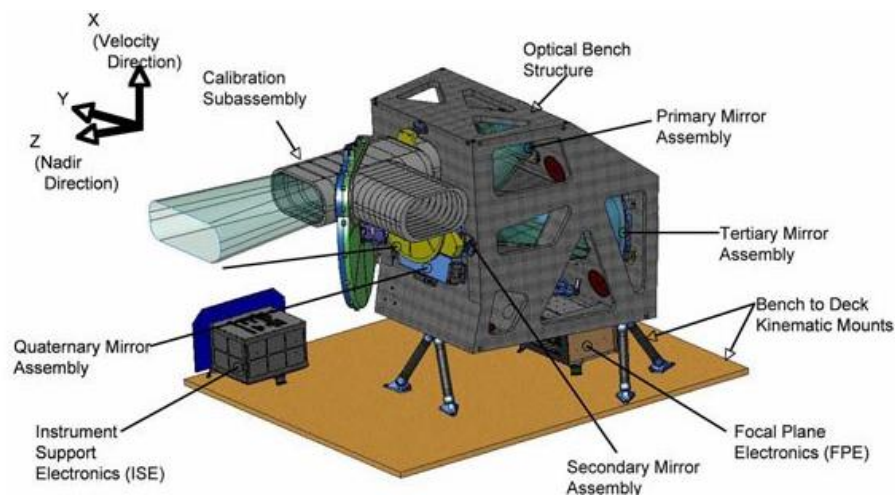
Το διαστημόπλοιο Landsat 8, κατασκευάστηκε από την Orbital Sciences Corporation, με πέντε χρόνια ζωής περιλαμβάνοντας όμως αρκετά καύσιμα για 10 χρόνια λειτουργίας. Το Landsat 8 διαθέτει δύο αισθητήρες, δύο φασματικές ζώνες, μια θερμική ζώνη που χωρίζεται σε δύο ζώνες, μια βελτιωμένη ραδιομετρική ανάλυση από 8 bits σε 12 bits και περιέχει αλλαγή στον σχεδιασμό του οργάνου σε σχέση με την προηγούμενη και οδηγεί σε σημαντικές βελτιώσεις των αναλογιών σήματος προς θόρυβο.

Η αποστολή έχει βάρος 2,071 κιλά πλήρως φορτωμένο με καύσιμο χωρίς τα επιπρόσθετα όργανα και το διαστημόπλοιο έχει ύψος 3 μέτρα και διάμετρο 2,4* 2,4 μέτρα, με χωρική ανάλυση 30 μέτρων. Ο εξοπλισμός που χρησιμοποιήθηκε για την αποστολή Landsat 8 αντιπροσωπεύουν ταυτόχρονα την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Η αποστολή Landsat 8 φέρει δύο αισθητήρες, το λειτουργικό σύστημα απεικόνισης εδάφους Operational Land Imager (OLI) και τον θερμικό υπέρυθρο αισθητήρα με δύο κανάλια Thermal Infrared Sensor(TIRS).

Ο αισθητήρας OLI, δηλαδή το λειτουργικό σύστημα απεικόνισης εδάφους, είναι αισθητήρας στροφικής πίεσης με τηλεσκόπιο τεσσάρων καθρεφτών και κβαντισμό 12-bit, δηλαδή 4096 δυνατά επίπεδα γκρίζου σε μια εικόνα. Παρόλο που έχει παρόμοιες φασματικές ζώνες με τον αισθητήρα ETM + του Landsat 7, είναι πιο ενισχυμένος από τα προηγούμενα όργανα Landsat με την προσθήκη δύο επιπρόσθετων φασματικών ζωνών, ένα ειδικά σχεδιασμένο βαθύ μπλε ορατό κανάλι για τους υδάτινους πόρους και την παράκτια ζώνη και ένα νέο κανάλι υπέρυθρων για την ανίχνευση σύννεφων.

Αναπτύχθηκε από την Ball Aerospace & Technologies και συλλέγει εικόνες χρησιμοποιώντας εννέα φασματικές ζώνες μήκους κύματος από 0.433-2.300 μm και παρέχει μέγιστη χωρική ανάλυση 30 μέτρων για όλες τις ζώνες εκτός από την ζώνη Pan που παρέχει 15 μέτρα ανάλυσης χρησιμοποιώντας προηγμένες τεχνολογίες διαστημικών εικόνων καλύπτοντας ευρείες περιοχές. Με την χρήση του αισθητήρα OLI είναι πλέον δυνατόν να πραγματοποιηθούν παρατηρήσεις μέσω δύο νέων σειρών μήκους κύματος, οι οποίες είναι ζωτικής σημασίας για τη μελέτη σύννεφων και την ποιότητα λιμνών και παράκτιων υδάτων. Ο αισθητήρας αυτός έχει αυστηρότατες απαιτήσεις οι οποίες σχετίζονται με την ραδιομετρική απόδοση και την παραγωγή βαθμονομημένων δεδομένων. Το όργανο OLI βαθμονομήθηκε ραδιομετρικά πριν από την εκτόξευση.



Διάγραμμα 7: Όργανο OLI

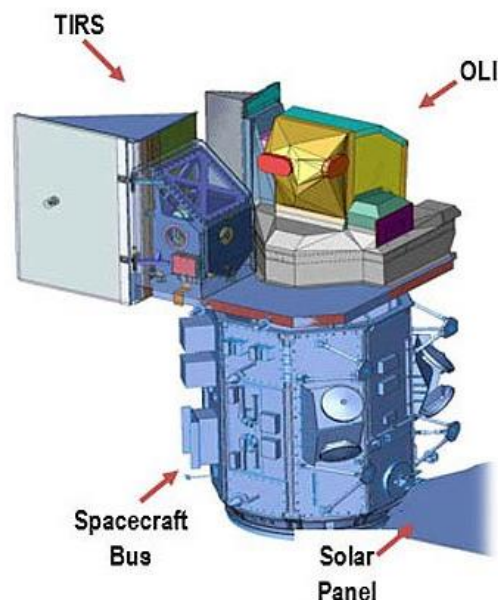
Ο θερμικός υπέρυθρος αισθητήρας TIRS είναι κατασκευασμένος από τη NASA Goddard Space Flight Center και έχει 3ετής διάρκεια ζωής σχεδιασμού. Ο αισθητήρας αυτός προστέθηκε στην αποστολή για να συνεχίσει η θερμική απεικόνιση και η υποστήριξη εφαρμογών όπως η μοντελοποίηση για την παρακολούθηση της κατανάλωσης νερού πάνω από τα αρδευόμενα εδάφη και η μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους σε δύο θερμικές ζώνες. Προστέθηκε και αυτός με την σειρά του στη αποστολή Landsat 8 με κύριο σκοπό την μελέτη της διαδικασίας μεταφοράς της θερμότητας και της υγρασίας. Η χωρική ανάλυση των εικόνων που λαμβάνονται με το όργανο TIRS είναι 100 μέτρα αλλά καταχωρούνται και παραδίδονται με τα δεδομένα OLI των 30 μέτρων. Επιπρόσθετα δίνει την δυνατότητα εξαγωγής παρατηρήσεων σε δύο υπέρυθρες ακτίνες μήκους κύματος με 8 συνδυασμούς ταινιών. Το TIRS συλλέγει δεδομένα σε μια στενότερη ζώνη Landsat 4-7, και χρησιμοποιεί φωτοανιχνευτές για την ανίχνευση μεγάλων μηκών κύματος φωτός που εκπέμπονται από τη Γη, η ένταση της οποίας εξαρτάται από τη θερμοκρασία της επιφάνειας.

Οι απαιτήσεις του αισθητήρα αυτού περιλαμβάνουν την φασματική ομοιομορφία των διασταυρώσεων, τις ραδιομετρικές επιδόσεις, την απόλυτη αβεβαιότητα βαθμονόμησης, την ευαισθησία της πόλωσης και της σταθερότητας, την απόσταση από το δείγμα εδάφους, την απόκριση της ακμής και την γεωμετρία της εικόνας.

Τα OLI και TIRS είναι τοποθετημένα σε έναν οπτικό πάγκο στο μπροστινό άκρο του διαστημικού σκάφους. Όλες οι φασματικές ζώνες OLI και TIRS αποθηκεύονται ως 16ψήφιοι αριθμοί στο ίδιο αρχείο. Για την επεξεργασία, υπάρχει συνδεδεμένο ένα αρχείο το οποίο χρησιμοποιείται για τη γραμμική μετατροπή των ψηφιακών αριθμών σε ακτινοβολία και στην συνέχεια σε ανακλαστικότητα. Για τις μετατροπές αυτές στα δεδομένα Landsat χρησιμοποιούνται είτε τα L_{max} και L_{min} , είτε από τις τιμές των offset & gain. Τα δεδομένα αυτά μπορούν να εντοπιστούν από δημοσιευμένες πηγές όπως ιστοσελίδες δορυφορικών δεδομένων, βιβλία ή ακόμα και από βοηθητικά δεδομένα (header file). Με τον πιο πάνω τρόπο οι χρήστες δεν χρειάζεται να εκτελούν τον μη γραμμικό μετασχηματισμό από την ακτινοβολία στην ανακλαστικότητα, η οποία είναι μια δύσκολη διαδικασία για τους χρήστες οι οποίοι δεν έχουν την μέγιστη εμπειρία. Οι δύο αυτοί αισθητήρες πληρούν τις γεωμετρικές απαιτήσεις και για αυτό τον λόγο τα δεδομένα που συλλέγονται από αυτούς ενσωματώνονται στις χρονολογικές

σειρές Landsat. Για την εξασφάλιση της γεωμετρίας πριν από την εκτόξευση της αποστολής του Landsat 8 που περιέχει τα OLI και τα TIRS έγινε αυστηρή προετοιμασία με την χρήση διάφορων δοκιμών για τον χαρακτηρισμό των ραδιομετρικών, φασματικών, χωρικών και περιβαλλοντικών παραμέτρων.

Επιπλέον και τα δύο όργανα σαρώνουν κατά μήκος της διαδρομής του διαστημικού οχήματος, γεγονός που μειώνει τις ραδιομετρικές παραμορφώσεις σε σύγκριση με τα όργανα εγκάρσιας σάρωσης τα οποία χρησιμοποιούνταν μέχρι και την προηγούμενη αποστολή δορυφόρου Landsat. Με την χρήση των δύο αισθητήρων υπάρχει μια πιο βελτιωμένη απόδοση του σήματος ως προς το θόρυβο και αυτό επιτρέπει στον καλύτερο χαρακτηρισμό της κατάστασης κάλυψης γης.



Διάγραμμα 8: Γραφικά ο δορυφόρος Landsat 8.

Το Παρατηρητήριο της αποστολής αποκτά σε καθημερινή βάση ένα τεράστιο φορτίο με εντολές λογισμικού οι οποίες μεταδίδονται από το έδαφος και ενημερώνεται για την χρονική στιγμή σύλληψης, αποθήκευσης αλλά και της μετάδοσης δεδομένων. Κάθε ημερήσιο φορτίο με εντολές εξασφαλίζει τις επόμενες 72 ώρες λειτουργίας. Η εξασφάλιση αυτή προφυλάσσει πως οι εργασίες που γίνονται στους αισθητήρες και το διαστημικό σκάφος θα εξακολουθούν να μεταδίδουν και να λαμβάνουν με επιτυχία εντολές ακόμη και μετά από αποτυχία μιας με δύο ημερών. Οι αισθητήρες OLI και TIRS τροφοδοτούνται συνεχώς από το παρατηρητήριο κατά τη διάρκεια των λειτουργιών έτσι ώστε να εξασφαλίζεται η διατήρηση της θερμικής ισορροπίας των δύο

οργάνων. Το παρατηρητήριο συγχωνεύει τα δεδομένα αυτά σε μια σειρά δεδομένων αποστολής, ανακαλύπτει τα διαστήματα δεδομένων αποστολής τα οποία προγραμματίζονται για την συλλογή και εφαρμόζει συμπίεση των δεδομένων OLI.

Η αποστολή Landsat 8 συνεχίζει να αποτελεί κύρια πηγή δεδομένων όπως και οι προηγούμενες αποστολές, δίνοντας περίπου 60% περισσότερες σκηνές και δεδομένα ανά ημέρα. Αυτή η βελτιωμένη απόκτηση δεδομένων παρέχει σχεδόν εποχιακή κάλυψη σε παγκόσμιο επίπεδο και δίνει τη δυνατότητα δημιουργίας παγκόσμιων συνόλων δεδομένων. Τα δεδομένα της αποστολής Landsat 8 λογικά περιέχουν δεδομένα τόσο από τον αισθητήρα OLI όσο και από τον αισθητήρα TIRS. Ωστόσο, κάποιες φορές ενδέχεται να υπάρχουν σκηνές μόνο OLI ή μόνο TIRS στο αρχείο δεδομένων.

Επιπρόσθετα αυτό το αρχείο περιλαμβάνει όλες τις σχετικές πληροφορίες για τα bit και τις συνθήκες που επηρεάζουν την χρησιμότητα και την ακρίβεια των εικονοστοιχείων.

Ο δορυφόρος Landsat 8 περιέχει στο σύνολο έντεκα φασματικά κανάλια. Το Φασματικό κανάλι 1 έχει την ικανότητα ανίχνευσης του βαθύ μπλε και αυτό είναι πολύ σημαντικό αφού οι δέσμες ακτινοβολίες με μπλε χρώμα είναι πολύ δύσκολο να ανιχνευτούν επειδή γίνεται εύκολα η διασπορά τους από τα σωματίδια της σκόνη, του νερού και τα μόρια του αέρα που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα. Για τον πιο πάνω λόγο τα πιο μακρινά αντικείμενα παρουσιάζονται με γαλάζιο χρώμα. Το φασματικό αυτό κανάλι θεωρείται το μοναδικό του είδους του που παρέχει δεδομένα για ανάλυση γνωρίζοντας ότι συγκεκριμένο τμήμα του η/φ είναι δύσκολο να συλλεχθεί με αρκετή ευαισθησία. Τα φασματικά κανάλια 2, 3, 4 αντιστοιχούν στο μπλε, το πράσινο και το κόκκινο χρώμα του ορατού φάσματος. Στην συνέχεια το φασματικό κανάλι 5 μετρά το κοντινό υπέρυθρο και θεωρείται από τα πιο σημαντικά τμήματα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος για την βλάστηση αφού ανακλάτε από τα υγιή φυτά. Τα φασματικά κανάλια 6 και 7 καλύπτουν τα διαφορετικά τμήματα του μικροκυματικού υπέρυθρου και χρησιμεύουν στον διαχωρισμό του υγρού με το ξηρό έδαφος.

Επιπρόσθετα το μικροκυματικό υπέρυθρο δημιουργεί ισχυρές αντιθέσεις για εδάφη που σε άλλα τμήματα παρουσιάζονται ίδια μεταξύ τους. Επόμενο είναι το φασματικό κανάλι 8 και είναι το παγχρωματικό κανάλι όπου εκεί γίνεται ο συνδυασμός όλων των ορατών χρωμάτων. Το φασματικό κανάλι 9 έχει την δυνατότητα καταγραφής μόνο των σύννεφων αφού το έδαφος στο συγκεκριμένο κανάλι δεν είναι σχεδόν καθόλου ορατό.

Τα φασματικά κανάλια 10 και 11 καταγράφουν τη θερμοκρασία του εδάφους και βρίσκονται στο θερμικό υπέρυθρο στο η/φ.

Πίνακας 1: Φασματικές περιοχές Landsat 8

Φασματικές περιοχές	Μήκη κύματος (μm)	Ανάλυση (m)	Παραδείγματα Εφαρμογών
1	0,43 -0,45	30	Παρατηρήσεις παράκτιων ζωνών
2	0,45-0,51	30	Διαχωρισμός εδάφους και βλάστησης
3	0,53-0,59	30	Βλάστηση
4	0,64-0,67	30	Βλάστηση
5	0,85-0,88	30	Όρια νερού και μορφές γης
6	1,57-1,65	30	Ανίχνευση πυρκαγιών και καμένης βλάστησης
7	2,11-2,29	30	Ανίχνευση καμένων περιοχών
8	0,50-0,68	15	Λεπτομέρειες υφής
9	1,36-1,38	30	Ανίχνευση νεφών
10 (TIRS)	10.60-11.19	100	Παρακολούθηση πυρκαγιών και εκτίμηση εδαφικής υγρασίας
	11.50-12.51	100	Παρακολούθηση πυρκαγιών και

11 (TIRS)			εκτίμηση εδαφικής υγρασίας
-----------	--	--	----------------------------

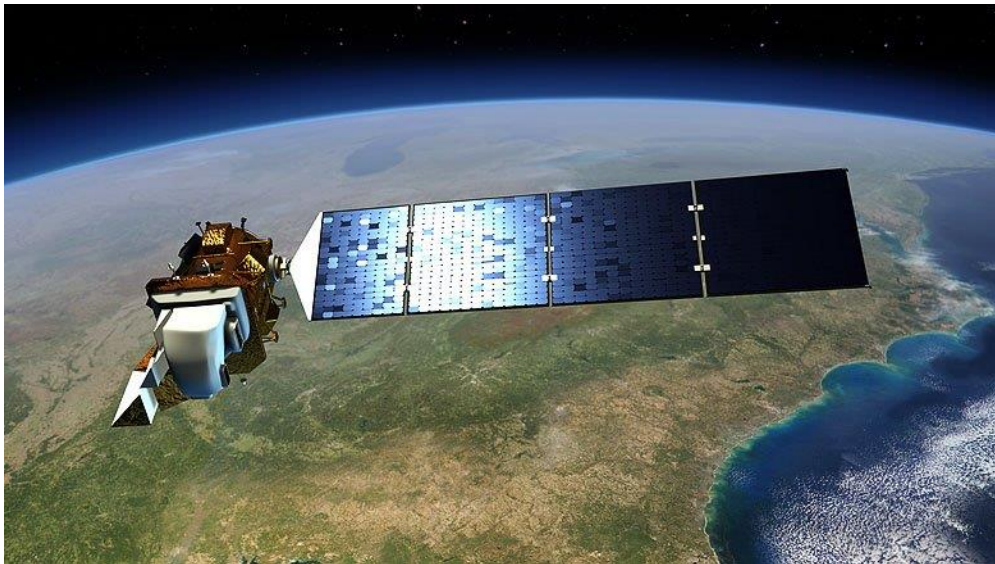
Πηγή: Department of the Interior U.S. Geological Survey. (2015)

Τα δεδομένα υποβάλλονται σε επεξεργασία χρησιμοποιώντας παραμέτρους με την χρήση πρότυπων και διατίθενται στους χρήστες χωρίς χρεώσεις και περιορισμούς. Τα δεδομένα Landsat 8 επιπέδου 1 αποκτώνται σε 185 χιλιόμετρα και μεταδίδονται μέσω X-band στους τρεις μεγαλύτερους σταθμούς λήψης δεδομένων εδάφους, ο ένας είναι στο Gilmore Creek στην Αλάσκα, ο άλλος στο Svalbard στη Νορβηγία και ο τρίτος σταθμός είναι το USGS Earth Resources, Κέντρο Παρατήρησης και Επιστήμης. Η μορφή των δεδομένων αυτών είναι GeoTIFF στο Παγκόσμιο Γεωδαιτικό Σύστημα (WGS) με τις τιμές των εικονοστοιχείων να είναι 16bit. Το μέγεθος των αρχείων του Landsat 8 είναι μεγαλύτερα από τα αρχεία του Landsat 7 και αυτό οφείλεται στις επιπρόσθετες ζώνες και στα βελτιωμένα δεδομένα των 16bit. Όλα τα δεδομένα επεξεργάζονται με προσοχή και υπευθυνότητα στο μεγαλύτερο δυνατό επίπεδο. Παρόλα αυτά όμως υπάρχουν και οι περιπτώσεις στις οποίες παραμένουν κάποιου είδους διαφορές στη χωρική ανάλυση και αυτό οφείλεται συνήθως στις θερμοκρασιακές αλλαγές του τηλεσκοπίου. Οι διαφορές αυτές δεν πρέπει να υπερβαίνουν το +/- 1%.

Επιπρόσθετα τα προϊόντα Landsat 8 παρέχουν ένα αρχείο αξιολόγησης της ποιότητας των δεδομένων και με αυτό τον τρόπο υποδεικνύει την πιθανότητα ύπαρξης σύννεφων χρησιμοποιώντας ένα αλγόριθμο ταξινόμησης. Η επεξεργασία των δεδομένων Landsat 8 του επιπέδου 1 περιλαμβάνει ραδιομετρική βαθμονόμηση, γεωμετρική διόρθωση, διόρθωση ακριβείας με τη χρήση ψηφιακού μοντέλου. Τέλος τα δεδομένα Landsat 8 είναι γνωστό πως είναι η συνέχιση όλων των προηγούμενων πρωτοβουλιών που είχαν οι αποστολές Landsat.

Οι σκηνές που λαμβάνονται από τους δορυφόρους Landsat καταχωρούνται σε ένα αρχείο με μια κατηγορία συλλογής. Ο σκοπός των κατηγοριών Συλλογής είναι η υποστήριξη της εύκολης και γρήγορης αναγνώρισης των κατάλληλων σκηνών για την ανάλυση. Υπάρχουν τρεις στο σύνολο κατηγορίες συλλογής, δύο βασικές και μια προσωρινή. Η Κατηγορία συλλογής 1 περιέχει δεδομένα εδάφους με ακρίβειας επιπέδου 1 και υψηλής ποιότητας κατάλληλα για ανάλυση χρονοσειρών. Το συνολικό επιτρεπτό σφάλμα για αυτά τα δεδομένα είναι μέχρι και 12 μέτρα. Η Κατηγορία

συλλογής 2 περιέχει σκηνές οι οποίες δεν πληρούν τα κριτήρια της προηγούμενης κατηγορίας και όλες τις σκηνές Systematic Terrain και Systematic. Οι χρήστες που ενδιαφέρονται για τις σκηνές που περιέχονται σε αυτή την κατηγορία πρέπει να επιβεβαιώσουν την καταλληλότητα της χρήσης τους στις ενδιαφερόμενες εφαρμογές και μελέτες. Η Κατηγορία συλλογής Πραγματικού χρόνου περιέχει με την σειρά της όλες τις νεοαποκτηθείσες σκηνές Landsat 8, οι οποίες απαιτούν μια περίοδο προσαρμογής αλλά και αξιολόγησης αφού αποκτηθούν. Με την χρήση προκαταρκτικών συντελεστών βαθμονόμησης γίνεται επεξεργασία των σκηνών. Με το τέλος του ελέγχου και της βαθμονόμησης οι σκηνές αυτές τοποθετούνται στην κατάλληλη βασική κατηγορία και ταυτόχρονα αφαιρούνται από την συγκεκριμένη κατηγορία.



Διάγραμμα 9: Δορυφόρος Landsat 8 σε τροχιά

2.4 Προ επεξεργασία δεδομένων

2.4.1 Ραδιομετρικά και Γεωμετρικά σφάλματα και διορθώσεις

Αναπότρεπτα σε κάθε μέτρηση στην τηλεπισκόπηση εμπεριέχονται κάποια σφάλματα τα οποία χωρίζονται σε δύο κατηγορίες στα ραδιομετρικά και τα γεωμετρικά.

Ραδιομετρικά σφάλματα θεωρούνται τα σφάλματα τα οποία προκαλούν αλλαγή στην ραδιομετρική τιμή των εικονοστοιχείων ανάμεσα στις πραγματικές τιμές στο έδαφος και στην καταγραφή τους από τους δορυφόρους. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να οφείλονται στους αισθητήρες καταγραφής αλλά και στις επιδράσεις της ατμόσφαιρας.

Τα ραδιομετρικά σφάλματα χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες, τα εσωτερικά σφάλματα και τα εξωτερικά. Τα πρώτα οφείλονται στο σύστημα καταγραφής. Είναι συστηματικά και μπορούν μετά τον εντοπισμό τους να διορθωθούν. Τα εξωτερικά σφάλματα προέρχονται από εξωγενείς παράγοντες, όπως παραδείγματος χάρη η ατμόσφαιρα, το υψόμετρο, οι κλίσεις και ο προσανατολισμός του εδάφους. Τα εξωτερικά σφάλματα διορθώνονται με την χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων.

Τα γεωμετρικά σφάλματα θεωρούνται τα σφάλματα τα οποία οδηγούν σε μεταβολή του σχήματος των δορυφορικών εικόνων. Οι κυριότεροι παράγοντες που οδηγούν στα γεωμετρικά σφάλματα είναι η περιστροφή της γης κατά τη διάρκεια της καταγραφής της δορυφορικής εικόνας, η καμπυλότητα της γης, τα κατασκευαστικά σφάλματα του ανιχνευτή, ο περιορισμένος ρυθμός σάρωσης και το μεγάλο εύρος καταγραφής των ανιχνευτών και τέλος στις μεταβολές του ύψους, του προσανατολισμού και της ταχύτητας του δορυφόρου καταγραφής.

Τα γεωμετρικά σφάλματα χωρίζονται με την σειρά τους σε δύο υποκατηγορίες, στα συστηματικά και τα μη συστηματικά. Η κάθε κατηγορία δημιουργήθηκε ανάλογα με του παράγοντες που τα επηρεάζουν. Για την διόρθωση των μη συστηματικών σφαλμάτων συνήθως είναι απαραίτητα τα Επίγεια Σημεία Ελέγχου. Τα σημεία αυτά είναι χαρακτηριστικά σημεία στο έδαφος τα οποία έχουν γνωστές γεωγραφικές συντεταγμένες, μπορούν δηλαδή να εντοπιστούν και τα προσδιοριστούν στην γήινη επιφάνεια αφού είναι γνωστή η ακριβής τους θέση στο έδαφος αλλά και στην δορυφορική εικόνα. Επιπρόσθετα τα σημεία αυτά πρέπει να αναγνωρίζονται για διαχρονική μελέτη σε κάθε εποχή του χρόνου και ταυτόχρονα να είναι αμετάβλητα. Παραδείγματα χαρακτηριστικών επίγειων σημείων ελέγχου μπορεί να είναι χαρακτηριστικά σημεία σε λίμνες, λιμάνια και αεροδρόμια, διασταυρώσεις σε ασφαλτοστρωμένους δρόμους, και άλλα πολλά. Υπάρχουν όμως και κάποια μη συστηματικά σφάλματα τα οποία δεν χρειάζονται επίγεια σημεία ελέγχου και οφείλονται στην περιστροφή της γης και στην αλλαγή ταχύτητας του δορυφόρου καταγραφής.

Για την χρήση των δορυφορικών εικόνων πρέπει πρώτα να γίνει η προεπεξεργασία για μετέπειτα χρήση των ψηφιακά αναλυμένων δεδομένων της τηλεπισκόπησης απαλείφοντας τα πιθανά σφάλματα που προαναφέρθηκαν. Η προεπεξεργασία, των δορυφορικών δεδομένων, είναι μια διαδικασία η οποία περιλαμβάνει όλες τις ενέργειες

που πρέπει να γίνουν πριν από την έναρξη της κύριας ανάλυσης και επεξεργασίας των δεδομένων αυτών. Περιλαμβάνει επίσης όλες τις μεθόδους που έχουν στόχο την απόκτηση πληροφοριών οι οποίες περιέχονται στις ψηφιακές εικόνες. Κατά την διαδικασία της ψηφιακής ανάλυσης των δεδομένων της τηλεπισκόπησης, η προεπεξεργασία χαρακτηρίζεται από δύο τύπους διορθώσεων, την ραδιομετρική διόρθωση και την γεωμετρική.

Η γεωμετρική διόρθωση χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση και την εξάλειψη όλων των σφαλμάτων που σχετίζονται με τις παραμορφώσεις που επιδρούν στην γεωμετρία μιας δορυφορικής εικόνας, και εξαρτάται κυρίως από την κίνηση του δορυφόρου γύρω από τη γη. Κύριος στόχος της γεωμετρικής διόρθωσης είναι το κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας να λαμβάνει σωστές συντεταγμένες όπως θα συνέβαινε σε ένα χάρτη. (Καρτάλης και Φειδάς, 2006) Για να επιτευχθεί η γεωμετρική διόρθωση μιας δορυφορικής εικόνας πρέπει να γίνεται χρήση ενός συστήματος αναφοράς το οποίο είτε υπάρχει σε κάποιο άλλο υπόβαθρο είτε δημιουργείται από το πεδίο με τον εντοπισμό των γεωγραφικών συντεταγμένων των φωτοσταθερών, τα οποία είναι χαρακτηριστικά σημεία με γνωστές συντεταγμένες στην δορυφορική εικόνα.

Η διόρθωση των ραδιομετρικών σφαλμάτων είναι αρκετά πολύπλοκη διαδικασία όμως αναμφισβήτητα είναι αναγκαία για την βελτίωση της ποιότητας των πληροφοριών αφού τα δεδομένα που λαμβάνονται από τους δορυφόρους περιέχουν αλλοίωση στην ένταση της ακτινοβολίας που καταφθάνει στον σαρωτή του δορυφόρου. Στην ραδιομετρική διόρθωση, αντιμετωπίζονται οι αποκλίσεις των εντάσεων των εικονοστοιχείων. Η ραδιομετρική διόρθωση θεωρείται το πιο σημαντικό σημείο της προ επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων και αποτελείται από μια διαδικασία πολλαπλών βημάτων η οποία χρησιμοποιεί διάφορες εξισώσεις έτσι ώστε να γίνονται όλες οι απαραίτητες μετατροπές. Ο στόχος των διορθώσεων αυτών είναι η μείωση των ελαττωματικών λειτουργιών των αισθητήρων καθώς και των ατμοσφαιρικών και τοπογραφικών επιδράσεων, έτσι ώστε να καταγράφονται στην δορυφορική εικόνα οι πραγματικές ιδιότητες της επιφάνεια του εδάφους.

Τα προβλήματα που σχετίζονται με την ραδιομετρία, προκύπτουν από τον διαφορετικό τρόπο λειτουργίας του κάθε ανιχνευτή στους αισθητήρες και στο γεγονός πως κανένας ανιχνευτής δεν λειτουργεί ταυτόχρονα με τους υπόλοιπους. Τα προβλήματα αυτά, δημιουργούν απολεσθείσες γραμμές σάρωσης. Οι απολεσθείσες γραμμές εμφανίζονται

ως οριζόντιες μαύρες ή λευκές στην δορυφορική εικόνα και αντιστοιχούν σε εικονοστοιχεία με τιμές 0 και 255. Άρα η διόρθωση αυτή εφαρμόζεται στις περιπτώσεις που χρησιμοποιούνται δορυφορικές εικόνες που λήφθηκαν σε διαφορετικές χρονικές περιόδους ή από διαφορετικούς δορυφορικούς δέκτες. Πρέπει να γίνονται διορθώσεις στη γωνία ύψους του ήλιου και στην απόσταση που έχει η γη από τον ήλιο. Η γωνία ύψους του ήλιου οφείλει να διορθωθεί και αυτό προκαλείται από την εποχιακή θέση του ήλιου σχετικά με τη γη και τις λήψεις δεδομένων σε διαφορετικές γωνίες. Η διαδικασία που ακολουθείται είναι ο υπολογισμός των ψηφιακών δεδομένων λαμβάνοντας σοβαρά υπόψη ότι ο ήλιος είναι στο ζενίθ για όλες τις χρονικές στιγμές λήψης δεδομένων. Στην συνέχεια αυτές οι ψηφιακές τιμές πολλαπλασιάζονται με το συνημίτονο της ζενίθιας γωνίας ύψους του ήλιου. Όλα αυτά τα δεδομένα παρουσιάζονται στην εικόνα που λαμβάνεται. Η διόρθωση για την απόσταση γης-ήλιου εφαρμόζεται για την κανονικοποίηση των ψηφιακών τιμών ως προς τις εποχιακές μεταβολές της απόστασης μεταξύ γης και ήλιου. Η απόσταση γης και ήλιου συνήθως εκφράζεται σε αστρονομικές μονάδες, οι οποίες έχουν αναλογία ως μια αστρονομική μονάδα που ισούται με την μέση απόσταση μεταξύ της γης και του ήλιου, περίπου ίση δηλαδή με $149,6 * 10^6$ km.

Η ραδιομετρική διόρθωση συνήθως χωρίζεται σε τρία βασικά βήματα. Αρχικά γίνεται διόρθωση των σφαλμάτων τα οποία σχετίζονται με τους αισθητήρες και την θέση των δορυφόρων. Στην συνέχεια γίνονται διορθώσεις έτσι ώστε να μειωθούν οι επιδράσεις που σχετίζονται με την ατμόσφαιρα και τέλος διορθώνονται τα τοπογραφικά σφάλματα. Το μοντέλο της ραδιομετρικής διόρθωσης αρχικά μετατρέπει τις τιμές των εικονοστοιχείων σε τιμές ακτινοβολίας και στην συνέχεια σε τιμές ανακλαστικότητας. Η γωνία πρόσπτωσης ηλιακής ακτινοβολίας, η ατμοσφαιρική σκέδαση και η ατμοσφαιρική εξασθένηση είναι από τις πιο σημαντικές παραμέτρους που την επηρεάζουν. Ο πιο σημαντικός όμως παράγοντας που συμβάλλει στην τροποποίηση της ανάκλασης κάθε εικονοστοιχείου είναι η ηλιακή ακτινοβολία στην επιφάνεια του εδάφους, με την προϋπόθεση ότι δεν υπάρχουν σύννεφα στην ατμόσφαιρα.

Υπάρχουν δύο τύποι ραδιομετρικών διορθώσεων, η απόλυτη ραδιομετρική διόρθωση και η σχετική όπου η χρήση τους γίνεται για την ομαλοποίηση των απομακρυσμένων εικόνων από τους αισθητήρες για τη διασταύρωση χρονοσειρών. Η μέθοδος η οποία επιλέγεται, εξαρτάται από το είδος του προβλήματος που πρέπει να επιλυθεί, το είδος

των δορυφορικών δεδομένων, τις ατμοσφαιρικές πληροφορίες και τη διαθεσιμότητα σε εξειδικευμένο προσωπικό.

Στην απόλυτα ραδιομετρική διόρθωση στοχεύετε η εξαγωγή της απόλυτης ανάκλασης των στόχων στην επιφάνεια της γης και ταυτόχρονα γίνεται βαθμονόμηση των αισθητήρων. Κύρια προϋπόθεση της μεθόδου αυτής είναι η εισαγωγή των ατμοσφαιρικών ιδιοτήτων οι οποίες είναι δύσκολο να αποκτηθούν. Η απόλυτη διόρθωση αποτελείται από δύο βασικά βήματα κατά την επεξεργασία. Το πρώτο βασικό βήμα είναι η μετατροπή των ψηφιακών αριθμών των μετρήσεων του αισθητήρα σε φασματική ακτινοβολία που μετρήθηκαν με δορυφορικούς αισθητήρες. Το δεύτερο είναι η μεταφορά στον ανιχνευτή ο οποίος ανιχνεύθηκε από τον αισθητήρα που βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους.

Η σχετική ραδιομετρική διόρθωση έχει ως στόχο την μείωση των μη αναμενόμενων προβλημάτων όπως για παράδειγμα οι διακυμάνσεις πολλαπλών εικόνων ρυθμίζοντας τις ραδιομετρικές ιδιότητες. Οι περισσότερες σχετικές μέθοδοι έχουν ως βασική υπόθεση πως οι ραδιομετρικές σχέσεις μεταξύ της εικόνας στόχου και της εικόνας βάσης είναι γραμμικές. Η μέθοδος αυτή μπορεί να διορθώσει το θόρυβο από την ατμόσφαιρα, τον αισθητήρα και άλλες πηγές σε μία διαδικασία και αυτός είναι και ο κυριότερος λόγος για την ευρεία χρήση της. Γενικά, οι σχετικές μέθοδοι ομαλοποίησης είναι απλούστερες από τις μεθόδους απόλυτης διόρθωσης. Το ιδανικό στην σχετική ραδιομετρική διόρθωση είναι η χρήση ενός ένα ραδιομετρικά "σκοτεινού" αντικείμενου το οποίο παράγει με την σειρά του μηδενική ακτινοβολία σε όλα τα μήκη κύματος.

2.4.2 Ατμοσφαιρική Επίδραση

Οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις μπορεί να οφείλονται στην διάχυση, στην απορρόφηση και στην επίδραση των γειτονικών στόχων. Υπάρχουν διαφορετικές προσεγγίσεις σχετικά με το ερώτημα εφαρμογής ατμοσφαιρικών διορθώσεων σε δεδομένα τηλεπισκόπησης για την εξαγωγή γεωφυσικών πληροφοριών, όπως να αγνοηθούν πλήρως οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις, να γίνει βαθμονόμηση των εικόνων με χρήση επιτόπιων μετρήσεων, να γίνει χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων με παραμέτρους που προέρχονται από ιστορικά στοιχεία και τέλος να γίνει χρήση ατμοσφαιρικών μοντέλων με παραμέτρους που προέρχονται από σύγχρονα μετεωρολογικά δεδομένα. Η

πολυπλοκότητα της ατμοσφαιρικής διόρθωσης εγείρει το ερώτημα σε ποιες περιπτώσεις είναι αναγκαία και σε ποιες πάλι όχι. Η διαδικασία της ατμοσφαιρικής διόρθωσης παραμένει ένα δύσκολο, πολύπλοκο αλλά ταυτόχρονα απαραίτητο έργο και αυτό οφείλεται στην μεταβολή της επίδρασης της ατμόσφαιρας στις δορυφορικές εικόνες για τις διαφορετικές ημερομηνίες λήψης τους αφού η ατμόσφαιρα είναι πρωταρχική πηγή θορύβου.

Η ατμοσφαιρική διόρθωση είναι το πιο αναγκαίο στάδιο επεξεργασίας των δορυφορικών εικόνων, λόγω του σήματος που καταγράφεται από ένα δορυφορικό δέκτη όπου αυτό δεν είναι το ανακλώμενο σήμα από την γήινη επιφάνεια στην πραγματικότητα. Η τιμή που καταγράφεται σε ένα εικονοστοιχείο περιλαμβάνει την ανακλώμενη ακτινοβολία από την γήινη επιφάνεια, αλλά και τη διάσπαρτη ακτινοβολία της ατμόσφαιρας. (Μερτίκας 2006)

Αναμφισβήτητα οι εικόνες και τα δεδομένα που αποκτώνται από τα δορυφορικά συστήματα στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα στο ορατό και στο υπέρυθρο μήκος κύματος επηρεάζονται, μέσω της σκέδασης και της απορρόφησης, από σωματίδια και αέρια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα τα οποία επηρεάζουν την ποιότητα των πληροφοριών που λαμβάνονται από διάφορες μετρήσεις της τηλεπισκόπησης. Αυτό συμβαίνει επειδή οι αισθητήρες καταγράφουν την ανακλώμενη και την εκπεμπόμενη ακτινοβολία κάτω από την επίδραση της ατμόσφαιρας προκαλώντας διάφορα προβλήματα. Οι ατμοσφαιρικές επιδράσεις, αυξάνουν την αβεβαιότητα έως και 10%, ανάλογα με το κάθε φασματικό κανάλι. Κάποιες από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις δεν είναι δυνατό να διορθωθούν όπως παραδείγματος χάρη η πυκνή νέφωση, ο καπνός αλλά και η ισχυρή σκίαση. Για αυτούς τους λόγους η επιλογή των περιοχών οι οποίες σχετίζονται με τις επιδράσεις αυτές πρέπει να είναι πολύ προσεκτική και σωστή έτσι ώστε να μπορεί να γίνει ανάλυση αλλά και ερμηνεία.

Κύριος στόχος της είναι η μείωση της ανακλαστικότητας. Αυτό συμβαίνει γιατί η επίδραση της ατμόσφαιρας είναι η διαφορά μεταξύ της ανακλαστικότητας πριν και μετά την ατμοσφαιρική διόρθωση. Η ατμόσφαιρα αποτελεί ένα δυναμικό φυσικό σύστημα και είναι ένας παράγοντας που επηρεάζει την ανακλώμενη ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης, σε σχέση με την καταγραφόμενη ακτινοβολία από τα δορυφορικά συστήματα. Η ατμόσφαιρα της γης αποτελείται από άζωτο το οποίο κατέχει το 78%, το διοξείδιο του άνθρακα το οποίο καταλαμβάνει το 21% και το

υπόλοιπο 1% καταλαμβάνουν οι υδρατμοί και το όζον τα οποία κυριαρχούν σε αλληλεπιδράσεις της ατμόσφαιρας με την ηλιακή ακτινοβολία. Το διοξείδιο του άνθρακα είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στην ατμόσφαιρα σε ύψος μέχρι και 100χιλιόμετρα. Οι υδρατμοί έχουν σημαντικότατο ρόλο στην αλληλεπίδραση με την τροπόσφαιρα, δηλαδή κάτω από 15χιλιόμετρα, λόγω της δημιουργίας των βροχοπτώσεων και των χιονοπτώσεων. Η συγκέντρωσή τους μεταβάλλεται με την πάροδο του χρόνου και του χώρου και η πυκνότητά τους ελαττώνεται σε σχέση με το ύψος. Το όζον συγκεντρώνεται σε ύψη τα οποία κυμαίνονται από είκοσι με πενήντα χιλιόμετρα και απορροφά έντονα την υπεριώδη ακτινοβολία. Εκτός όμως από τα πιο πάνω συστατικά που αποτελούν την ατμόσφαιρα, υπάρχουν και άλλα συστατικά τα οποία έχουν σημαντικό ρόλο στην ατμόσφαιρα της γης και στην αλληλεπίδραση της με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. (Μερτίκας 2006)

Η παρουσία αερίων και αιωρούμενων σωματιδίων της ατμόσφαιρας επηρεάζουν την ηλιακή ακτινοβολία καθώς εισέρχεται στην ατμόσφαιρα και υφίσταται τρεις βασικές διεργασίες, την σκέδαση, την απορρόφηση και την διάθλαση (Μερτίκας 2006). Η διεργασία της Σκέδασης δημιουργείται από αιωρούμενα σωματίδια και μόρια αερίων της ατμόσφαιρας, προκαλώντας εκτροπή στην πορεία της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Εξαρτάται από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, την ποσότητα των σωματιδίων και των μορίων και την απόσταση που διανύει η ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα. Χωρίζεται σε τρεις κατηγορίες ανάλογα με το μήκος κύματος λ και τις διαστάσεις των σωματιδίων την Σκέδαση Rayleigh, την Σκέδαση Mie και την Μη επιλεκτική σκέδαση. Η Σκέδαση Rayleigh εμφανίζεται όταν τα σωματίδια της ατμόσφαιρας έχουν πολύ μικρότερες διαστάσεις από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Ο συγκεκριμένος τύπος σκέδασης είναι σημαντικός σε περιπτώσεις ανάλυσης δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών. Η σκέδαση τύπου Mie κυριαρχεί στην ατμόσφαιρα όταν υπάρχουν σταγονίδια νερού, σκόνης και καπνού. Εμφανίζεται στα πιο χαμηλά στρώματα της ατμόσφαιρας στα οποία κυριαρχεί η συγκέντρωση μεγάλων σωματιδίων σε σχέση με την σκέδαση Rayleigh. Η μη επιλεκτική σκέδαση οφείλεται στα σωματίδια τα οποία είναι πολύ μεγαλύτερα από το μήκος της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την οποία αλληλεπιδρούν. Τα σωματίδια αυτά μπορεί να είναι σταγόνες νερού ή και μεγάλοι κόκκοι σκόνης. Μέσω

αυτού του τύπου σκέδασης δημιουργούνται διάφορα προβλήματα στην καταγραφή εικόνων όταν υπάρχει κάλυψη από σύννεφα και σκιά.

2.4.3 Ατμοσφαιρική διόρθωση

Στο σύνολο έχουν αναπτυχθεί αρκετές ατμοσφαιρικές μέθοδοι διόρθωσης. Οι μέθοδοι αυτοί κατηγοριοποιούνται με την σειρά τους σε άλλες με βάση διαφορετικά κριτήρια. Υπάρχουν μέθοδοι οι οποίες χρησιμοποιούν την ίδια την εικόνα για απόκτηση των απαιτούμενων πληροφοριών, μέθοδοι οι οποίες υποστηρίζονται σε μοντέλα της ατμόσφαιρας και σε μεθόδους που χρησιμοποιούν επίγειες μετρήσεις για ανάκτηση χαρακτηριστικών της ατμόσφαιρας. Η ατμοσφαιρική διόρθωση απαιτεί δύο στάδια επεξεργασίας. Πρώτο στάδιο είναι ο προσδιορισμός των οπτικών ιδιοτήτων της ατμόσφαιρας κάνοντας χρήση πηγών όπως παραδείγματος χάρη οι κλιματολογικές συνθήκες ή μετρήσεις εδάφους. Το δεύτερο στάδιο επεξεργασίας είναι η διόρθωση της εικόνας με τεχνικές οι οποίες προσδιορίζουν τα οπτικά χαρακτηριστικά του στόχου από τη μετρούμενη ακτινοβολία. (Μερτίκας 2006)

Με λίγα λόγια χρησιμοποιούνται μοντέλα τα οποία έχουν την δυνατότητα προσαρμογής όλων των διεργασιών που υφίσταται η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία στην ατμόσφαιρα έτσι ώστε να μπορούν να διορθώσουν τα σφάλματα τα οποία παρουσιάζονται στις δορυφορικές εικόνες. Για την εκτέλεση του πιο πάνω στόχου έχουν δημιουργηθεί και αναπτυχθεί διάφορες μέθοδοι για να διορθώσουν την ατμοσφαιρική επίδραση οι οποίες ταξινομούνται σε δύο μεγάλες κατηγορίες για την διόρθωση των σφαλμάτων που παρουσιάζονται λόγω της δυσλειτουργίας των αισθητήρων, στην απόλυτη διόρθωση και στην σχετική διόρθωση. Ανάλογα με το είδος των εξαγόμενων προϊόντων από τα δορυφορικά δεδομένα και τη διαθεσιμότητα των βοηθητικών στοιχείων χρησιμοποιούνται και οι ανάλογες τεχνικές.

Η σχετική ατμοσφαιρική διόρθωση έχει ως εικόνα αναφοράς μια συγκεκριμένη εικόνα και στην συνέχεια, για την διόρθωση όλων των επιθυμητών εικόνων, διορθώνονται ως προς αυτή. Η διόρθωση αυτή έχει ως κύριο στόχο όλες οι εικόνες που καταγράφηκαν σε διαφορετικές ημερομηνίες και από διαφορετικούς αισθητήρες να κανονικοποιηθούν με αποτέλεσμα οι τελικές διορθωμένες εικόνες να έχουν τις ίδιες ατμοσφαιρικές και τοπογραφικές συνθήκες με αυτές της εικόνας αναφοράς. Αν και η μέθοδος αυτή είναι σχετικά γρήγορη σε ό, τι έχει να κάνει με τους υπολογισμούς παρόλα αυτά δεν

περιέχουν πληροφορίες οι οποίες να σχετίζονται με τις επιδράσεις της ατμόσφαιρας και για αυτό τον λόγο θεωρείται από την διεθνή βιβλιογραφία περισσότερο ως εργαλείο βαθμονόμησης παρά διόρθωσης.

Η απόλυτη ατμοσφαιρική διόρθωση μετατρέπει την αντανάκλαση από τον δορυφόρο σε ανακλαστικότητα μιας ομοιόμορφης επιφανείας χωρίς συννεφιά με την χρήση τυποποιημένων εξισώσεων. Σημαντική περίπτωση στις δορυφορικές εικόνες είναι το νερό, η σκιά, το πυκνό δάσος και άλλα, τα οποία έχουν σχεδόν μηδενική τιμή ανακλαστικότητας και προσδίδουν στον αισθητήρα ένα σήμα το οποίο είναι αποτέλεσμα μόνο ατμοσφαιρικής σκέδασης. Η ατμοσφαιρική αυτή σκέδαση και τα προβλήματα που δημιουργεί πρέπει να απαλειφθεί και να αφαιρεθεί.

Οι ατμοσφαιρικές διορθώσεις μέσω της απόλυτης βαθμονόμησης των δορυφορικών εικόνων οδηγούν σε τιμές ανάκλασης και θερμοκρασίας της επιφάνειας της γης. Η απόλυτη διόρθωση χωρίζεται με την σειρά της σε υποκατηγορίες ανάλογα με τα χαρακτηριστικά αλλά και την πολυπλοκότητά τους. Η πρώτη κατηγορία είναι τα Μοντέλα τα οποία είναι βασισμένα στα χαρακτηριστικά της εικόνας. Η συγκεκριμένη κατηγορία έχει ως βάση την ερμηνεία των χρήσεων γης και αυτό γίνεται λόγω των γνωστών τιμών ανάκλασης που έχουν και αυτό βοηθά στην σύγκριση τους με αντίστοιχες τιμές των εικονοστοιχείων στις εικόνες ενδιαφέροντος και αυτό βοηθά στην εκτίμηση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων. Όλη η πιο πάνω διαδικασία δεν είναι πάντα εφικτή και αυτό οφείλεται στην ανάκλαση των αντικειμένων που υπάρχουν στην εικόνα.

Για την διόρθωση της πιο πάνω κατάστασης αναπτύχθηκαν μέθοδοι όπως παραδείγματος χάρη το μοντέλο φαινόμενης ανάκλασης (apparent reflectance model). Η κατηγορία αυτή χωρίζεται σε υποκατηγορίες όπως η Αφαίρεση του Μελανού Σώματος (Dark Object Substraction – DOS), ο Πίνακας συνδιακύμανσης εκτιμώμενων παραμέτρων (covariance matrix) και η Παλινδρόμηση (Regression analysis). Το Μοντέλο Αφαίρεσης Μελανού Σώματος είναι το πλέον ευρέως διαδεδομένο μοντέλο λόγω της ευκολίας του και είναι επίσης γνωστό σαν «η μέθοδος της αφαίρεσης των σκοτεινών αντικειμένων». Η μέθοδος στηρίζεται στο γεγονός ότι τα φαινόμενα της ατμοσφαιρικής σκέδασης δεν υπάρχουν στα δορυφορικά δεδομένα στο κοντινό υπέρυθρο ενώ στο ορατό κυριαρχεί η σκέδαση Rayleigh. Επιπρόσθετα, βασίζεται στο γεγονός πως στην εικόνα υπάρχουν σκοτεινά αντικείμενα, δηλαδή αντικείμενα τα οποία

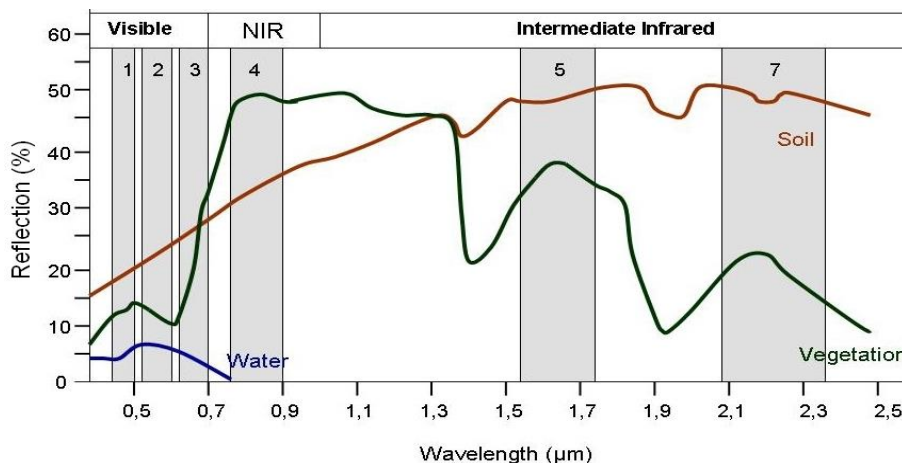
έχουν μηδενική ή ελάχιστη ανάκλαση και κυριαρχούν ομοιόμορφες ατμοσφαιρικές συνθήκες. Μερικά παραδείγματα σκοτεινών αντικειμένων είναι οι υδάτινες επιφάνειες και οι σκιάσεις από νέφη. Όλες οι προαναφερθείσες ιδιότητες χρησιμοποιούνται για τη συνολική διόρθωση των εικόνων. Λόγω της ατμοσφαιρικής επίδρασης οι τιμές των εικονοστοιχείων είναι κατά πολύ μεγαλύτερες του μηδέν.

Τα αριθμητικά μοντέλα είναι περισσότερο πολύπλοκα από τα μοντέλα τα οποία είναι βασισμένα στα χαρακτηριστικά της εικόνας, όμως παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια στη μετατροπή των ψηφιακών τιμών των εικόνων σε τιμές ανάκλασης στην επιφάνεια της γης. Την ονομασία τους την πήραν από το μαθηματικά μοντέλα τα οποία χρησιμοποιούν για την περιγραφή του τρόπου που συμπεριφέρεται η ακτινοβολία κατά την είσοδο της στην ατμόσφαιρα και την περιγραφή της αλληλεπίδρασης της με τα μόρια και σωματίδια του αέρα. Πλεονέκτημα τους είναι η ακρίβεια και το εύρος εφαρμογής τους. Μειονέκτημα τους είναι η αναγκαιότητα που έχουν για συλλογή ατμοσφαιρικών πληροφοριών οι οποίες σχετίζονται με την υγρασία και την συγκέντρωση σωματιδίων του αέρα. Η συλλογή των πληροφοριών αυτών με λεπτομέρεια είναι μια δύσκολη διαδικασία και σε κάποιες περιπτώσεις αδύνατη. Για την αντιμετώπιση των δυσκολιών του συγκεκριμένου μοντέλου αναπτύχθηκε ένα σύνολο μοντέλων γνωστό ως «Διόρθωση βάση του μοντέλου διάδοσης της ακτινοβολίας» (Radiative Transfer Model based correction). Το σύνολο των μοντέλων αυτών υπολογίζει την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με τα σωματίδια που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Σε πιθανή περίπτωση που δεν είναι δυνατή η απόκτηση των πληροφοριών αυτών χρησιμοποιούνται τυποποιημένα ατμοσφαιρικά προφίλ τα οποία καλύπτουν κατά μεγάλο εύρος ατμοσφαιρικών χαρακτηριστικών. Παραδείγματα των αριθμητικών μοντέλων είναι το LOWTRAN, το MODTRAN και το ATCOR.

2.5 Φασματικές υπογραφές

Σημαντικό κομμάτι στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης είναι η παροχή σωστών πληροφοριών για τα διάφορα σημεία της Γης σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή. Αυτό είναι πολύ σημαντικό για τον άνθρωπο αφού μπορεί να ελέγχει διάφορες περιοχές ή σημεία στην Γη για κάθε εποχή στα οποία μπορούν να υπάρχουν μεταβολές. Επιπλέον είναι σημαντικές γιατί μπορούν παραδείγματος χάρη να ελέγχουν τα νερά κατά διαστήματα και με την βοήθεια των φασματικών υπογραφών να αναγνωρίζουν την

καταλληλότητα ή ακόμη και το είδος των νερών. Φασματική Υπογραφή είναι η μορφή της καμπύλης της φασματικής απόκρισης του στόχου σε σχέση με το μήκος κύματος. Η κάθε φασματική υπογραφή είναι μοναδική για κάθε αντικείμενο αφού έχουν διαφορετικά χαρακτηριστικά λόγω της επιφάνειας, του υλικού του στόχου, και επηρεάζουν το ποσοστό της ακτινοβολίας που ανακλάται στα διαφορετικά μήκη κύματος. Η μοναδική φασματική υπογραφή για κάθε αντικείμενο είναι χαρακτηριστική για κάθε στόχο και αυτό βοηθά στην διάκριση τους. Τα βασικότερα είδη φασματικών υπογραφών είναι το νερό, η βλάστηση και το έδαφος. (Καρτάλης, Κ., Φειδάς, Χ., 2006). (Μερτίκας 2006)



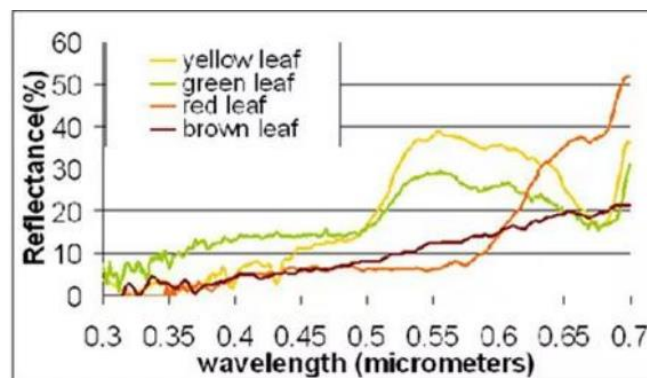
Διάγραμμα 10: Φασματικές Υπογραφές εδάφους, βλάστησης και νερού.

Οι τρεις βασικές καλύψεις γης είναι η βλάστηση, το νερό και το έδαφος και η κάθε κάλυψη έχει δική της μορφή φασματικής υπογραφής. Πολλές φορές μέσω των φασματικών υπογραφών μπορεί να γίνει διάκριση του είδους της βλάστησης ή της υγείας της βλάστησης, αλλά και της καθαρότητας του νερού. Οι φασματικές υπογραφές σε συνδυασμό με τους δείκτες βλάστησης μπορούν να δώσουν διάφορες πληροφορίες για τα φυτά, την βλάστηση, το νερό αλλά και το έδαφος.

Όσον αφορά την βλάστηση η διάκριση γίνεται με την χλωροφύλλη. Η χλωροφύλλη που περιέχουν τα φυτά, αποτελεί ένα βασικό συστατικό τους, απορροφώντας το κόκκινο και το μπλε του ορατού φάσματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα η βλάστηση να εμφανίζεται ως πράσινη. Η κάθε εποχή περιέχει τα δικά της χαρακτηριστικά και αυτό είναι εμφανές αφού το φθινόπωρο η βλάστηση γίνεται κιτρινωπή και αυτό οφείλεται στην μείωση της χλωροφύλλης άρα συνεπακόλουθα στην μείωση της απορρόφησης του κόκκινου και με συνδυασμό του με το πράσινο γίνεται κίτρινη. Η υγιής βλάστηση εμφανίζεται ως

πράσινη ενώ η μη υγιής εμφανίζεται ως κίτρινη. Από την εικόνα είναι φανερό πως η μορφή της φασματικής υπογραφής για την βλάστηση παραμένει η ίδια με κάποιες διαφορές ανάλογα με το είδος της βλάστησης. Η φασματική υπογραφή της υγιούς βλάστησης στην περιοχή του ορατού φάσματος θα παρουσιάζεται ως καμπύλη με τοπικά ελάχιστα στις περιοχές που αντιστοιχούν στο μπλε και κόκκινο χρώμα και με τοπικό μέγιστο στο πράσινο χρώμα. Η φασματική υπογραφή της υγιούς βλάστησης στο τέλος της περιοχής του κόκκινου αυξάνεται απότομα. Γενικό συμπέρασμα είναι η ανακλαστικότητα της υγιούς βλάστησης είναι σχετικά χαμηλή. Τα μη υγιής φυτά αλλά και τα πιο μεγάλα σε χρόνο που υπάρχουν φυτά επηρεάζουν σημαντικά την φασματική υπογραφή της βλάστησης στο ορατό φάσμα. Για τα φυτά τα οποία υπάρχουν για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα η φασματική υπογραφή στο ορατό φάσμα επηρεάζεται πολύ λίγο σε σχέση με το εγγύς υπέρυθρο το οποίο εμφανίζει χαμηλότερη ανακλαστικότητα από τα υγιές φυτά. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιούνται για διάκριση των υγιών και μη υγιών φυτών. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την φασματική υπογραφή της βλάστησης είναι αρκετοί. Μέσα σε αυτούς περιλαμβάνονται:

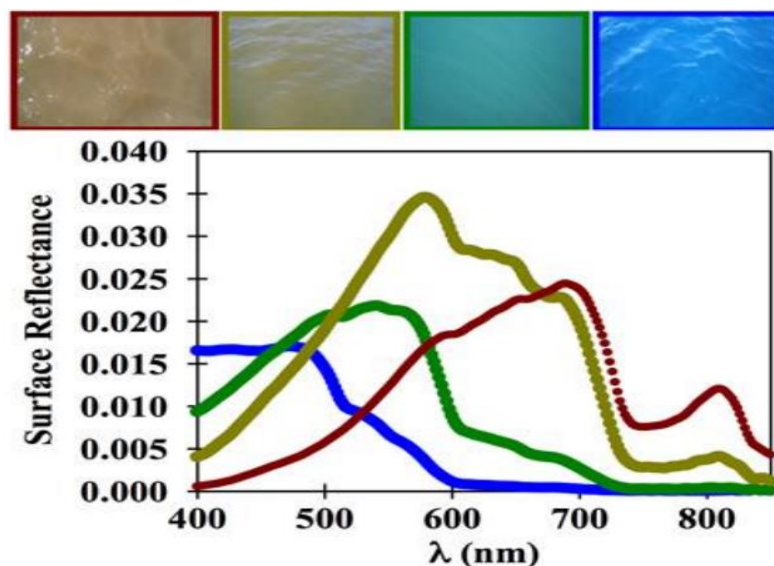
1. Το ποσοστό φυτοκάλυψης στο έδαφος.
2. Η γεωμετρία και η δομή της φυτοκάλυψης.
3. Τα χαρακτηριστικά του φυτού εκτός από τα φύλλα.
4. Τα χαρακτηριστικά του εδάφους κατά την διάρκεια της λήψης της δορυφορικής εικόνας.
5. Σκιάσεις και περιβαλλοντικοί παράγοντες κατά την διάρκεια της δορυφορικής λήψης.
6. Η περιεκτικότητα της υγρασίας στα φυτά, όσο περισσότερο αυξάνεται τόσο το ποσοστό ανακλαστικότητας μειώνεται σε όλα τα μήκη κύματος.



Διάγραμμα 11: Φασματικές Υπογραφές ειδών βλάστησης.

Σε ότι έχει να κάνει με το νερό τα πράγματα δεν διαφέρουν κατά πολύ σε σχέση με την βλάστηση. Το νερό απορροφά περισσότερο στα μεγαλύτερα μήκη κύματος του ορατού φάσματος και αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εμφανίζεται μπλε, και κάποιες φορές πράσινο. Αν στο νερό υπάρχει ανάπτυξη της χλωροφύλλης τότε αυτή απορροφά το μπλε με αποτέλεσμα το νερό να φαίνεται ως πρασινωπό. Η φασματική υπογραφή του νερού εμφανίζεται σαν καμπύλη που παρουσιάζει μόνον ένα τοπικό μέγιστο γύρω στα 0,5μm. Γίνεται σχεδόν μηδέν στην περιοχή μεταξύ 0,8-0,9 μm. Οι παράγοντες που επηρεάζουν την φασματική υπογραφή του νερού είναι η θολότητα λόγω των ρύπων και των ιζημάτων, η περιεκτικότητα του νερού σε μικροοργανισμούς, η διαταραχή της υδάτινης επιφάνειας την στιγμή που εξάγεται η φασματική υπογραφή και τέλος όπως έχει αναφερθεί η περιεκτικότητα σε χλωροφύλλη.

Στην εικόνα που υπάρχει παρακάτω η μορφή της φασματικής υπογραφής του νερού παραμένει η ίδια με κάποιες διαφορές ανάλογα με το είδος του νερού.



Διάγραμμα 12: Φασματικές Υπογραφές διάφορων ποιοτήτων νερού.

Το έδαφος έχει φασματική υπογραφή σαν αύξουσα καμπύλη η οποία αρχίζει στην περιοχή στο 1,8 μm και 2,1 μm του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Περιέχει μέγιστα και ελάχιστα. Τα σκαμπανεβάσματα αυτά οφείλονται στην τραχύτητα του εδάφους,

στις σκιάσεις, στην περιεκτικότητά του εδάφους σε διάφορες ουσίες και στην υφή του που οφείλεται στους διαφόρους τύπους των εδαφών.

2.6 Δείκτες

Οι δείκτες ανήκουν στην κατηγορία των τεχνικών φασματικής ενίσχυσης των εικόνων. Δείκτες στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης είναι εικόνες που προκύπτουν μετά από κάποιες μαθηματικές πράξεις των ψηφιακών τιμών μεταξύ τριών φασματικών καναλιών της ίδιας εικόνας, ή ακόμη και με την χρήση διαφορετικών εικόνων. Οι δείκτες είναι ένα βασικό κομμάτι στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης αφού οι χρήσεις αλλά και οι αλλαγές γης γίνονται αντιληπτές μέσω αυτών. Οι δείκτες έχουν πολλές διαφορετικές χρήσεις, όμως κύριος σκοπός τους είναι ο έλεγχος χρήσης γης αλλά και η μελέτη των καμένων εκτάσεων. Επίσης χρησιμοποιούνται για τον εντοπισμό αρχαιολογικών καταλοίπων. (Μηλιαρέσης 2003)

Υπάρχουν διάφορων ειδών μαθηματικές πράξεις, οι απλές αλλά και οι πιο σύνθετες. Οι σύνθετες πράξεις συνήθως περιέχουν λόγους των διάφορων καναλιών οι οποίοι με την σειρά τους βασίζονται στις φασματικές ιδιότητες των υλικών του εδάφους. Παράδειγμα φασματικής ιδιότητας είναι η απορρόφηση ή η ανάκλαση στα διάφορα μήκη κύματος η οποία εξαρτάται από την επιφάνεια στην οποία προσπίπτει. Στην συγκεκριμένη ιδιότητα οι λόγοι των φασματικών καναλιών της, δίνουν διάφορες πληροφορίες για τη χημική της σύσταση. Για διάφορους αλλά κυρίως για πρακτικούς λόγους μέχρι και σήμερα έχουν δημιουργηθεί πάρα πολλοί δείκτες. Όλοι αυτοί οι δείκτες χωρίζονται σε υποκατηγορίες με βασικό τους κριτήριο την εφαρμογή για την οποία σχεδιάστηκαν. Αυτό συμβαίνει γιατί ο καθένας έχει και κάποιο σκοπό όπως παραδείγματος χάρι για τον εντοπισμό και την ανάλυση των διαφορετικών ειδών βλάστησης, για τον εντοπισμό ορυκτών, αστικών περιοχών, ξηρασίας, νερού, χιονιού και πάγου αλλά και τον εντοπισμό καμένων εκτάσεων.

Οι δείκτες χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες με βάση την μέθοδο εφαρμογής τους. Η πρώτη κατηγορία είναι οι πιο απλοί δείκτες, οι οποίοι δημιουργήθηκαν από λόγους φασματικών καναλιών για να τονίσουν τις φασματικές ιδιότητες για την κάλυψη ή τις χρήσεις γης. Η δεύτερη κατηγορία περιλαμβάνει τους δείκτες που ελαχιστοποιούν τα διάφορα προβλήματα που δημιουργούνται από το έδαφος. Παράμετροι του εδάφους είναι η βλάστηση και το νερό. Στην επόμενη κατηγορία βρίσκονται οι δείκτες οι οποίοι

μπορούν να ελαχιστοποιήσουν τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Τέλος είναι οι πιο σύνθετοι και εξειδικευμένοι δείκτες οι οποίοι εκτιμούν τα διάφορα φαινόμενα τα οποία συμβαίνουν στον χώρο όπως παραδείγματος χάρη η εκτίμηση των ζημιών μιας πυρκαγιάς. (Μηλιαρέσης 2003)

Για να βεβαιωθεί η χρησιμότητα αλλά και λειτουργικότητα του κάθε δείκτη υπάρχουν κάποια κριτήρια που πρέπει να τηρούνται. Τα βασικά αυτά κριτήρια τα οποία αποδεικνύουν την λειτουργικότητα ενός δείκτη είναι:

- Η μεγιστοποίηση της ευαισθησίας στις επιφάνειες με συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Παράλληλα πρέπει να μεταβάλλεται γραμμικά στις αλλαγές που συντελούνται και να έχει εφαρμογή σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο εύρος περιοχών.
- Η εξομάλυνση και η ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων λόγω της γωνίας του ήλιου, της τοπογραφίας, των ατμοσφαιρικών συνθηκών και των σφαλμάτων των αισθητήρων.
- Σύνδεση με διαδικασίες υπολογισμού ποσοτικών παραμέτρων.

2.6.1 Δείκτες Βλάστησης

Οι πιο γνωστοί δείκτες είναι αυτοί που σχετίζονται με την βλάστηση οι οποίοι έχουν μεγάλη σημασία και χρησιμότητα και για αυτό τον λόγο ανήκουν στις πιο συχνά χρησιμοποιημένες εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης. Για την εκτίμηση της κατάστασης της βλάστησης υπάρχουν πολλοί παράγοντες οι οποίοι μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Όλοι οι δείκτες βλάστησης είναι αδιάστατοι. Οι περισσότεροι δείκτες βλάστησης εκμεταλλεύονται τη διαφορά της ανάκλασης μεταξύ της ορατής και κοντινής υπέρυθρης περιοχής. Οι δείκτες βλάστησης με την σειρά τους χωρίζονται και αυτοί σε υποκατηγορίες. Ένας δείκτης βλάστησης κατασκευάζεται από το συνδυασμό των ψηφιακών τιμών σε διάφορες φασματικές περιοχές, έτσι ώστε να παράγεται μια μοναδική τιμή για κάθε εικονοστοιχείο της εικόνας, η οποία φανερώνει την ποσότητα της υγιούς βλάστησης που υπάρχει, αν υπάρχει.. Οι δείκτες βλάστησης έχουν μεγάλη χρησιμότητα και ανήκουν στις εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιούνται συχνά για διάφορους σκοπούς. Κάποιοι από αυτούς τους σκοπούς είναι η διαχείριση του δασικού πλούτου, ο εντοπισμός φυτικών ασθενειών, η παρακολούθηση της ερημοποίησης, η παρακολούθηση αστικοποίησης και οι αλλαγές που σχετίζονται με τις

χρήσεις γης. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά που έχει η εποχή λήψης, η περιοχή και ο βαθμός δασοκάλυψης, ο κάθε δείκτης έχει διαφορετική ευαισθησία και για αυτό τον λόγο αποτυπώνουν διαφορετικά την πραγματικότητα. (Καρτάλης, Φειδάς, 2006)

Οι δείκτες βλάστησης βασίζονται στην αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με τα φύλλα των φυτών. Τα φύλλα περιέχουν ειδικές χρωστικές ουσίες που χρησιμεύουν στην απορρόφηση της ενέργειας φωτός για την εκτέλεση της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης. Κατά τη διάρκεια της φωτοσύνθεσης, τα φυτά χρησιμοποιώντας ενέργεια παράγουν συστατικά όπως διοξείδιο του άνθρακα και νερό. Αποτέλεσμα αυτών είναι οι βιοφυσικές ιδιότητες της βλάστησης που επηρεάζουν την απορρόφηση, την ανάκλαση και την μετάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η δομή των φύλλων είναι υπεύθυνη για την ισχυρή ανάκλαση της υγιούς βλάστησης στο κοντινό υπέρυθρο. Η υγιής βλάστηση παρουσιάζει μέγιστο στο κοντινό υπέρυθρο. Η ανάκλαση για μεγαλύτερα μήκη κύματος, από 1,35 μm έως 2,5 μm , επηρεάζεται από τη συγκέντρωση του νερού στα φύλλα των φυτών (Campbell 1996).

Είναι αδιάστατα μεγέθη, δεν έχουν δηλαδή μονάδα μέτρησης και η προέλευσής τους μπορεί να είναι από την κλίση, από τον λόγο των καναλιών και από συνδυασμούς. Οι δείκτες βλάστησης έχουν ως κύρια χρησιμότητα τους τον εντοπισμό της ύπαρξης βλάστησης αλλά και την κατάσταση της, αν είναι δηλαδή υγιής ή όχι. Σημαντική χρήση είναι και η έρευνα για τη χαρτογράφηση περιοχών με διαφοροποιημένη πυκνότητα φυτοκάλυψης. Οι δείκτες βλάστησης δίνουν έμφαση στις διαφορές της ανακλαστικότητας των διαφόρων χαρακτηριστικών της βλάστησης όπως παραδείγματος χάρη τη πυκνότητα της βιομάζας και την υγρασία που περιέχεται στην βλάστηση. Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά της εποχής που γίνεται η λήψη ο κάθε δείκτης έχει διαφορετική ευαισθησία κατά την αποτύπωση της πραγματικότητας.

Η βλάστηση μπορεί να παρακολουθείται από το διάστημα με τη βοήθεια δορυφορικών αισθητήρων. Η παρακολούθηση της κατάστασης της μπορεί να γίνει με την χρήση διάφορων τηλεπισκοπικών μεθόδων στην ανακλώμενη περιοχή. Υπάρχουν πολλοί παράγοντες οι οποίοι επηρεάζουν και μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να χαρακτηρίσουν και να εκτιμήσουν την κατάσταση στην οποία βρίσκεται η βλάστηση, κάποιοι εκ των οποίων είναι το ποσοστό εδαφοκάλυψης, οι χωρικές και οι χρονικές μεταβολές.

Οι επιστήμονες έχοντας την δυνατότητα να συνδυάσουν ημερήσιους δείκτες βλάστησης σε σύνθετα 8, 16 ή 30 ημερών, δημιουργούν λεπτομερείς χάρτες πυκνότητας της βλάστησης της γης και αυτοί με την σειρά τους αναδεικνύουν και παρουσιάζουν τις περιοχές όπου ευδοκμούν τα φυτά και τις περιοχές όπου τα φυτά δεν αναπτύσσονται σωστά συνήθως λόγω της απουσίας νερού. Για να καθοριστεί η πυκνότητα του πράσινου σε ένα μικρό κομμάτι γης, οι ερευνητές πρέπει να παρατηρήσουν τα διακριτά χρώματα του ορατού και εγγύς υπέρυθρου μήκους κύματος που ανακλάται από τα φυτά.

Σημαντική απορία είναι αφού τα φυτά είναι πράσινα τότε γιατί οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούν κόκκινη ανάκλαση αντί για πράσινη; Αυτό συμβαίνει γιατί οι δείκτες συνδυάζουν φασματικές πληροφορίες από επιλεγμένα μήκη κύματος σε μία τιμή, η οποία σχετίζεται με ένα συγκεκριμένο χαρακτηριστικό ή μία ιδιότητα της βλάστησης. Οι περισσότεροι δείκτες βλάστησης εκμεταλλεύονται τη διαφορά της ανάκλασης μεταξύ της ορατής και κοντινής υπέρυθρης περιοχής. Επειδή η χλωροφύλλη βρίσκεται κυρίως σε φυτά και έχει μοναδική απορρόφηση στην κόκκινη περιοχή, αυτή η περιοχή συχνά επιλέγεται για τους δείκτες, αντί να χρησιμοποιηθεί η ορατή περιοχή στο σύνολό της. Σε περιπτώσεις όπου η κάλυψη της βλάστησης δεν είναι πλήρης, η συμβολή του υποκειμένου εδάφους πρέπει να ληφθεί υπόψη. Για αυτό το σκοπό έχουν δημιουργηθεί δείκτες βλάστησης που αντιμετωπίζουν αυτό το ζήτημα.

Η παρουσία της βλάστησης είναι αποτέλεσμα πολλών φυσικών αλλά και γεωγραφικών παραμέτρων, από τις οποίες η πιο σημαντική είναι η παράμετρος της βροχόπτωσης. Σε περιοχές με μικρή κάλυψη βλάστησης, δηλαδή τουλάχιστον μικρότερο του ποσοστού από 40% και όπου η επιφάνεια του εδάφους είναι εκτεθειμένη, η αντανάκλαση του φωτός στο κόκκινο αλλά και εγγύς υπέρυθρο μπορεί να επηρεάσει τις τιμές του κάθε δείκτη βλάστησης. Όταν το ηλιακό φως προσπίπτει σε αντικείμενα, ορισμένα μήκη κύματος αυτού του φάσματος απορροφώνται, ενώ άλλα μήκη κύματος ανακλώνται. Οι δείκτες έχουν πλεονεκτήματα αφού μπορούν να κανονικοποιούν τις εξωτερικές αλλά και εσωτερικές επιδράσεις. Στις εξωτερικές επιδράσεις περιλαμβάνονται η διαφορετική γωνία του ηλίου, του αισθητήρα και οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας. Στις εσωτερικές επιδράσεις περιλαμβάνονται η επίδραση του ανάγλυφου και οι σκιάσεις.

Οι δείκτες βλάστησης με την σειρά τους χωρίζονται σε υποκατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία περιέχει τους απλούς λόγους που χρησιμοποιούν μόνο την φασματική

ακτινοβολία. Παράδειγμα της πρώτης κατηγορίας είναι ο NDVI και ο SR. Η δεύτερη κατηγορία περιέχει τους δείκτες που χρησιμοποιούν την γραμμή του εδάφους και τις παραμέτρους της. Παράδειγμα της είναι ο SAVI και ο TSAVI. Στην Τρίτη κατηγορία περιλαμβάνονται οι ατμοσφαιρικά διορθωμένοι δείκτες όπως παραδείγματος χάρη ο ARVI και ο GEMI.

2.6.1.1 Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς

Μέχρι σήμερα έχουν δημιουργηθεί πάρα πολλοί δείκτες βλάστησης, αλλά αυτός που αποτελεί τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο δείκτη παγκοσμίως και σε μεγάλο βαθμό, λόγω των αρκετά αξιόπιστων τιμών του, είναι ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς (NDVI). Δημιουργήθηκε το 1974 με στόχο τον διαχωρισμό της βλάστησης από τη φωτεινότητα του εδάφους χρησιμοποιώντας δορυφορικά δεδομένα και τον υπολογισμό της ζωτικότητας της βλάστησης.

Είναι ένας απλός αριθμητικός δείκτης που παρουσιάζει την αναλογία της διαφοράς της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο και στο κόκκινο, που διαιρείται με το άθροισμα αυτών. Ο δείκτης αυτός είναι άρρηκτα συνδεδεμένος με την παρακολούθηση της επίγειας βλάστησης με δεδομένα της τηλεπισκόπησης. Η σπουδαιότητα και η αναγκαιότητα του αποδίδονται στο γεγονός πως είναι ένας γρήγορος και αποδοτικός τρόπος εκτίμησης της υγιούς βλάστησης.

Ο NDVI δείκτης είναι άλυτα συνδεδεμένος με πολλές ιδιότητες των φυτών. Η χρήση του είναι ευρεία αφού ήταν, και σε πολλές περιπτώσεις εξακολουθεί να είναι χρήσιμος για τον προσδιορισμό της κατάστασης της υγείας των φυτών, να παρουσιάζει φαινολογικές αλλαγές, την εκτίμηση της πράσινης βιομάζας, των μεταβολών της βλάστησης στο χώρο και στο χρόνο και στον εντοπισμό περιοχών οικολογικού ενδιαφέροντος και της απόδοσης των καλλιεργειών. Πλεονέκτημα του δείκτη είναι η ελαχιστοποίηση των τοπογραφικών επιδράσεων και ταυτόχρονα είναι σχεδόν αναλλοίωτος από τις διάφορες συνθήκες εξαιτίας των κανονικοποιημένων τιμών.

Ωστόσο, έχει και ιδιαίτερες αδυναμίες. Στα μειονεκτήματα του δείκτη περιέχονται τα δείγματα κορεσμού σε πολύ υψηλές συγκεντρώσεις βλάστησης καθώς και υπερεκτίμηση σε χαμηλές συγκεντρώσεις βλάστησης εξαιτίας της ανακλαστικότητας του εδάφους. Οι ατμοσφαιρικές συνθήκες και τα λεπτά σύννεφα μπορούν να

επηρεάσουν τον υπολογισμό του όταν χρησιμοποιούνται δορυφορικά δεδομένα. (Καρτάλης και Φειδάς, 2006).

Σε περίπτωση που η κάλυψη της βλάστησης είναι χαμηλή, οτιδήποτε βρίσκεται κάτω από την κόμη της βλάστησης συμβάλλει στο ανακλώμενο καταγραμμένο σήμα. Κάτω από την κόμη μπορεί να είναι γυμνό έδαφος, κατάλοιπα βλάστησης ή κάποιο άλλο είδος βλάστησης. Αν αυτό που βρίσκεται κάτω από την κόμη είναι γυμνό έδαφος και επηρεάζει με την σειρά του το σήμα αφού προσδίδει διαφορετική φασματική απόκριση για την βλάστηση από αυτή που μελετάται. Σε αντίθετη περίπτωση, όταν υπάρχει πυκνή βλάστηση το σήμα που καταγράφεται προέρχεται από το πάνω μέρος των φυτών. Τέλος, ο NDVI παίρνει τιμές από -1 μέχρι +1. Η τιμή -1 αντιστοιχεί στην μη ύπαρξη βλάστησης ενώ η τιμή +1 αντιστοιχεί στην πλούσια ύπαρξη βλάστησης. Ενδεικτικές αρνητικές τιμές είναι τα σύννεφα, το χιόνι, το νερό και άλλες περιοχές που δεν περιέχουν βλάστηση, ενώ οι θετικές τιμές υποδηλώνουν βλάστηση ή ανακλαστικές επιφάνειες. Οι αυξανόμενες τιμές που παίρνονται σε μια σειρά περιόδων αντικατοπτρίζουν την ανάπτυξη φυτών. Σε αντίθετη περίπτωση η βαθμιαία μείωση των τιμών του δείκτη δηλώνει την συνεχή μείωση της υγιούς βλάστησης. Η τιμή 0 εκφράζει απουσία βλάστησης. Η υγιής βλάστηση απορροφά περισσότερο το ορατό φως που προσπίπτει και ανακλά μεγάλη ποσότητα του εγγύς υπέρυθρου φωτός. Εάν υπάρχει πολύ μικρή διαφορά στην ένταση του ανακλώμενου ορατού και εγγύς υπέρυθρου μήκους, τότε η βλάστηση είναι ενδεχομένως μη υγιής και ανακλά περισσότερο ορατό φως και λιγότερο εγγύς υπέρυθρο φως. Πρακτικά δεν αναμένονται τιμές μικρότερες από το μηδέν.

Οι περισσότεροι δείκτες βλάστησης εκμεταλλεύονται τη διαφορά της ανάκλασης μεταξύ της ορατής και κοντινής υπέρυθρης περιοχής. Βασίζεται στην αρχή της χλωροφύλλης η οποία είναι μια χρωστική των φύλλων που απορροφά σε υψηλά ποσοστά το ορατό φως από 0,4 έως 0,7 μm κατά την διαδικασία της φωτοσύνθεσης. Από την άλλη πλευρά, η κυτταρική δομή των φύλλων ανακλά σε μεγάλο βαθμό το εγγύς υπέρυθρο φως, από 0,7 έως 1,1 μm . Επειδή η χλωροφύλλη βρίσκεται κυρίως σε φυτά και έχει μοναδική απορρόφηση στην κόκκινη περιοχή, αυτή η περιοχή συχνά επιλέγεται για τους δείκτες, αντί να χρησιμοποιηθεί η ορατή περιοχή. Εάν η ανακλώμενη ακτινοβολία στο εγγύς υπέρυθρο μήκος κύματος είναι πολύ περισσότερη

από ό, τι στο ορατό μήκος, τότε στο συγκεκριμένο εικονοστοιχείο είναι πιθανό η βλάστηση να είναι πυκνή και ενδέχεται να είναι κάποιου είδους δάσους.

Ο τύπος του δείκτη βλάστησης είναι η αριθμητική έκφραση:

$$[NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)]$$

NIR = η τιμή στο εγγύς υπέρυθρο κανάλι,

Red = η τιμή στο κόκκινο κανάλι

2.6.1.1.1 Παράδειγμα από την χρήση του δείκτη βλάστησης NDVI σε εικόνα



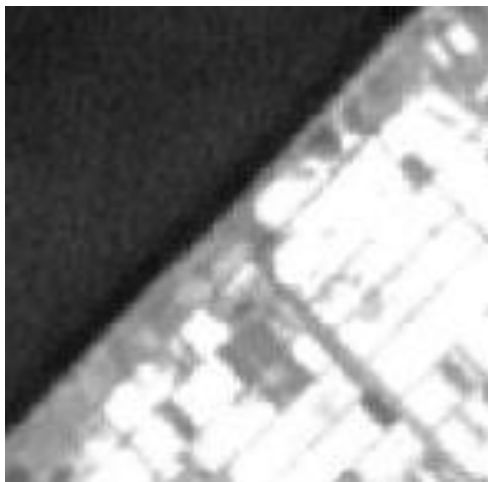
Διάγραμμα 13: Κανονική εικόνα από δορυφόρο.

Μετά την χρήση του δείκτη βλάστησης εμφανίζονται τα παρακάτω. Η εικόνα αυτή πάρθηκε από δορυφόρο με πραγματικά χρώματα και παρουσιάζει αγροτικά τεμάχια που έχουν μέσα καλλιέργειες και για αυτό τον λόγο έχουν το πράσινο χρώμα. Όπως γίνεται αντιληπτό οι καλλιέργειες έχουν διαφορετικό χρώμα στο πράσινο και αυτό οφείλετε με την σειρά του στο διαφορετικό είδος καλλιεργειών που υπάρχουν ή ακόμη και το διαφορετικό στάδιο στο οποίο βρίσκεται η κάθε καλλιέργεια. Το μπεζ-καφέ χρώμα που εμφανίζεται είναι στην εικόνα είναι το έδαφος ενώ το γαλάζιο-μπλε χρώμα αντιπροσωπεύει την θάλασσα ή περιοχή που περιέχει νερό.



Διάγραμμα 14: Εικόνα με ψευδόχρωμα.

Η εικόνα αυτή δημιουργείται από ψευδόχρωμα. Το κόκκινο χρώμα αντιπροσωπεύει το κοντινό υπέρυθρο φάσμα, το πράσινο χρώμα είναι το κόκκινο φάσμα και το μπλέ χρώμα είναι το πράσινο φάσμα. Στην συγκεκριμένη εικόνα με τα ψευδόχρωμα παρουσιάζονται, οι υψηλές τιμές στο κοντινό υπέρυθρο και αντιπροσωπεύουν τη βλάστηση, η οποία με την σειρά της εμφανίζεται ως κόκκινη. Το κυανό χρώμα παρουσιάζει το γυμνό έδαφος και αυτό συμβαίνει επειδή δεν υπάρχει βλάστηση για να αυξηθεί το κόκκινο χρώμα.



Διάγραμμα 15: Εικόνα μετά την χρήση NDVI.

Η παραπάνω εικόνα είναι το αποτέλεσμα μετά από την επίδραση του δείκτη βλάστησης NDVI για κάθε pixel της εικόνας. Όπως φαίνεται πιο πάνω τα σκουρόχρωμα pixel έχουν χαμηλό δείκτη NDVI, τα πιο ανοιχτά λευκά pixel έχουν υψηλό δείκτη NDVI και τα γκριζα pixel έχουν ενδιάμεσες τιμές του δείκτη. Οι αρδευόμενες εκτάσεις, εμφανίζονται με ανοικτότερους τόνους του γκρι σε σχέση με τις μη αρδευόμενες εκτάσεις καθώς και οι υδάτινες επιφάνειες έχουν πολύ σκούρο τόνο του γκρι.

2.6.1.2 Εδαφικά Προσαρμοσμένος Δείκτης Βλάστησης

Ο δείκτης αυτός είναι ο εδαφικά Προσαρμοσμένος και λαμβάνει υπόψη το έδαφος. Είναι ένας τροποποιημένος NDVI με στόχο του να διορθώσει την επίδραση της φωτεινότητας του εδάφους. Χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις που η εδαφική κάλυψη της βλάστησης είναι μικρή. Στην αγγλική βιβλιογραφία εντοπίζεται ως SAVI: Soil-adjusted Vegetation Index.

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

Για την διόρθωση της φωτεινότητας του εδάφους χρησιμοποιείται η παράμετρος L, με μια τιμή διορθωτική ως προς τον τύπο του εδάφους και την πυκνότητα της βλάστησης. Το γράμμα L στην συνάρτηση συμβολίζει τον Συντελεστή διόρθωσης εδάφους. Ο συντελεστής αυτός εξαρτάται από την πυκνότητα κάλυψης της βλάστησης, δηλαδή αν υπάρχει πλήρης κάλυψη ισούται με 0, αν υπάρχει χαμηλή κάλυψη ισούται με 1 και αν δεν είναι γνωστή η κάλυψη τότε παίρνει μίαν ενδιάμεση τιμή δηλαδή 0.5. Όταν το L ισούται με 0 τότε η έκφραση για τον SAVI ταυτίζεται με αυτήν του NDVI. Ο SAVI λαμβάνει τιμές στο ίδιο φάσμα όπως ο NDVI από -1 ως +1. Αυτός ο δείκτης έχει καλύτερη χρήση σε περιοχές με αραιή βλάστηση, όπου το έδαφος είναι ορατό από την κόμη. Πιο συγκεκριμένα για εδάφη με πυκνή βλάστηση, προτείνεται μια τιμή του L ίση με 0.25, για εδάφη με πολύ αραιή φυτοκάλυψη προτείνεται ένα L ίσο με 1. Η πιο συνηθισμένη τιμή που παίρνει είναι 0.5. Η τροποποιημένη εικόνα του δείκτη SAVI, συνήθως χρησιμοποιείται για την πραγματοποίηση μιας αρχικής χωροταξικής κατανομής των τύπων βλάστησης και της αντίστοιχης βιομάζας τους, σε δασικές περιοχές. Τα αποτελέσματα του SAVI απεικονίζονται ως διαβαθμίσεις του γκρι. Διακρίνονται με σκούρους τόνους του γκρι οι δασικοί και επαρχιακοί δρόμοι και οι

αποψιλωμένες περιοχές ως επιφάνειες. Τέλος οι υψηλοί τόνοι του γκρι αποτυπώνουν την υγιή φυσική βλάστηση.

2.6.1.3 Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς

Ένας άλλος δείκτης είναι ο Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς ο οποίος μελετά την πρόσληψη νερού από τα φυτά. Στην αγγλική βιβλιογραφία εντοπίζεται ως NDWI: Normalized difference water index. Χρησιμοποιεί το κοντινό υπέρυθρο φάσμα και μια περιοχή ανάμεσα σε 1500 και 1750 nm η οποία έχει υψηλή απορρόφηση στο νερό. Δεν χρησιμοποιείται το κόκκινο φάσμα όπου η ανάκλαση επηρεάζεται από τη χλωροφύλλη, αλλά η περιοχή του κοντινού υπέρυθρου, η οποία δεν απορροφάτε από το νερό.

Ο δείκτης εκφράζεται με την αριθμητική παράσταση:

$$NDWI = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$$

NIR, κοντινό υπέρυθρο: Μη απορρόφηση από την υγρή βλάστηση.

SWIR, Βραχύ υπέρυθρο: Υψηλή απορρόφηση από την υγρή βλάστηση.

Ο πιο πάνω δείκτης σε αρδευόμενες καλλιεργημένες εκτάσεις παίρνει υψηλές τιμές ενώ σε εκτάσεις μη αρδευόμενες ή ακόμη με απουσία βλάστησης παίρνει χαμηλές τιμές και κάνει την εμφάνιση του σε σκούρους τόνους του γκριζου χρώματος.

Παράδειγμα από την χρήση του Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς



Διάγραμμα 16: Χρήση Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς.

Μετά την χρήση του Δείκτης Νερού Κανονικοποιημένης Διαφοράς εμφανίζονται τα παρακάτω. Η πρώτη εικόνα πάρθηκε από δορυφόρο με πραγματικά χρώματα. Η τελευταία και ασπρόμαυρη εικόνα αντιπροσωπεύει τις τιμές NDWI για κάθε pixel.

Όπως και με την εικόνα NDVI, τα σκούρα pixels έχουν χαμηλές τιμές, τα λευκά έχουν υψηλές και τα γκριζα pixels έχουν ενδιάμεσες τιμές. Στην εικόνα NDWI η θάλασσα που βρίσκεται πάνω αριστερά στην τελευταία εικόνα, έχει υψηλές τιμές και εμφανίζεται με ανοιχτό γκριζο χρώμα αφού περιέχει νερό. Όπως φαίνεται πιο πάνω στην τελευταία εικόνα τα αγροτικά τεμάχια δίνουν υψηλές αξίες NDWI, ανοιχτό γκριζο χρώμα, γεγονός που υποδηλώνει ότι οι καλλιέργειες που περιέχονται σε αυτά είναι επαρκώς αρδευόμενες. Τα τεμάχια χωρίς βλάστηση εμφανίζονται πιο σκοτεινά στην εικόνα NDWI και αυτό αποδεικνύει με την σειρά του ότι δεν λαμβάνουν καθόλου άρδευση.

2.6.1.4 EVI- Enhanced Vegetation Index

Ο δείκτης αυτός είναι ένας εναλλακτικός δείκτης για να αντιμετωπίσει τους περιορισμούς του NDVI σε περιοχές με υψηλή βιομάζα. Οι τιμές του δείκτη κυμαίνονται ανάμεσα σε 0 και 1. Περιέχει έναν συντελεστή προσαρμογής για το έδαφος L και δύο συντελεστές C1 & C2 που διορθώνουν τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις στο μπλε και κόκκινο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.

$$EVI=2.5(NIR-R)/L+NIR+C1 RED -C2B$$

Ο δείκτης βλάστησης EVI έχει βρεθεί να είναι περισσότερο ευαίσθητος σε αλλαγές της κόμης των φυτών, όπως:

- η φυλλική επιφάνεια
- η δομή της κόμης
- και της φαινολογίας των φυτών
- σε σχέση με τον NDVI που στηρίζεται κυρίως στην ποσότητα της χλωροφύλλης.

Ένα από τα βασικότερα μειονεκτήματα της εφαρμογής του δείκτη EVI είναι η αναγκαιότητα για τον υπολογισμό της φασματικής ζώνης του μπλε, η οποία δεν είναι πάντα διαθέσιμη σε όλα τα δορυφορικά δεδομένα. Για να γίνει απαλλαγή από αυτό το πρόβλημα, έχει αναπτυχθεί μια νέα έκδοση του δείκτη EVI που για τον υπολογισμό του χρειάζεται μόνο τα κανάλια του κόκκινου και του εγγύς υπέρυθρου.

$$EVI2=2.5*((NIR-Red)/(NIR+2.4*Red+1))$$

2.6.1.5 Normalized Difference Built-up Index

Ο δείκτης Normalized Difference Built-up Index (NDBI), χρησιμοποιείται για την ανάλυση κατοικημένων περιοχών. Οι κατοικημένες περιοχές αλλά και το γυμνό έδαφος αντικατοπτρίζουν περισσότερο στο SWIR από το NIR ενώ οι υδάτινες περιοχές δεν αντανακλούν στο υπέρυθρο φάσμα. Η τιμή του δείκτη NDBI είναι μεταξύ του -1 και 1 όπως και του δείκτη NDVI. Όπου υπάρχει αρνητική τιμή στο αποτέλεσμα αντιπροσωπεύει υδάτινες περιοχές, ενώ οι ψηλότερες και θετικές τιμές αντιπροσωπεύουν κατοικημένες περιοχές. Ο υπολογισμός του δείκτη αυτού είναι εύκολος με την χρήση του τύπου:

$$NDBI = (SWIR - NIR) / (SWIR + NIR)$$

Πιο συγκεκριμένα για τα δεδομένα από τον δορυφόρο Landsat 8, ο τύπος μετατρέπεται σε:

$$NDBI = (Band 6 - Band 5) / (Band 6 + Band 5)$$

2.6.2 Άλλοι Δείκτες βλάστησης

Όπως προαναφέρθηκε υπάρχουν πολλοί δείκτες βλάστησης. Κάποιοι από αυτούς είναι πιο γνωστοί και πιο συχνά χρησιμοποιημένοι. Κάποιοι άλλοι είναι:

- *Simple Ratio*: Υπολογίζεται από την διαίρεση των ραδιομετρικών τιμών του υπέρυθρου καναλιού προς τις τιμές του κόκκινου (Birth et al. 1968). Τα εικονοστοιχεία που περιέχουν βλάστηση εντοπίζονται εύκολα εξαιτίας των διαφορών στην απορρόφηση στο κόκκινο και στο υπέρυθρο. Ελαχιστοποιεί τα προβλήματα φωτεινότητας που προκαλούνται από την τοπογραφία της περιοχής. $SR = NIR / RED$
- Οι δείκτες Βλάστησης NOAA και AVHRR χρησιμοποιούνται για την καταγραφή της Βιομάζας και τα κατάλληλα κανάλια είναι το κανάλι ένα και το κανάλι δύο. Είναι χρήσιμοι για την καταγραφή εκτενών ζωνών βιομάζας, εποχιακών μεταβολών αλλά και περιβαλλοντικών μεταβολών σε ετήσια κλίμακα.
- *Δείκτης υγρασίας κανονικοποιημένης διαφοράς, NDMI- Normalized Difference Moisture Index* είναι ευαίσθητος στην υγιή πράσινη βλάστηση, αλλά και στη διάσπαση των δασών από μικρά ανοίγματα. Επιπρόσθετα μπορεί να αποδώσει

καλά τη διαφορά ανάμεσα στην υγρασία των δασωμένων εκτάσεων και των μερικών. Χρησιμοποιείται επίσης για την χαρτογράφηση της πυκνωσης των δασών. $NDMI = (B4 - B5) / (B4 + B5)$

- *Μετασχηματισμένος δείκτης βλάστησης προσαρμοσμένου εδάφους, Transformed Soil Adjusted Vegetation Index:*
 $TSAVI = a (NIR - Ra - b) / R + a(NIR - b) + 0.08(1 + a^2)$
- *Παγκόσμιος Δείκτης Περιβαλλοντικής Παρακολούθησης, Global Environmental Monitoring Index: GEMI = $n(1 - 0.25n) * ((R - 0.125) / (1 - R))$*
Όπου $n = (2(NIR^2 - R^2) + 1.5NIR + 0.5R) / (NIR + R + 0.5)$
- *Αναδιαμορφωμένος δείκτης βλάστησης διαφορών, RDVI- Renormalized Difference Vegetation Index:* Χρησιμοποιείται για την γραμμικοποίηση των χαρακτηριστικών της βλάστησης με βιοφυσικές παραμέτρους. Η ανάγκη για την δημιουργία του προέκυψε από το επίπεδο κορεσμού το οποίο παρουσιάζει ο δείκτης NDVI και τη διάθεσή του να αποκλίνει από τις γραμμικές σχέσεις με τις βιοφυσικές παραμέτρους.
- *Μετασχηματισμένος δείκτης βλάστησης με διαφοροποιημένη διαφορά, TRDVI- Transformed Renormalized Difference Vegetation Index:* Ο δείκτης αυτός είναι η παραλλαγή του προηγούμενου δείκτη RDVI, στην προσπάθεια να γίνει ο δείκτης περισσότερο ευαίσθητος σε περίπτωση κανονικής πυκνότητας βλάστησης.
- *MSR- Modified Simple Ratio:* είναι ένας δείκτης αναλογίας βλάστησης, ο οποίος είναι ευαίσθητος στις μεταβολές της χλωροφύλλης. Για να επηρεάζεται λιγότερο η βλάστηση από εξωτερικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες, όπως παραδείγματος χάρη σύννεφα και έδαφος, έχει χρησιμοποιηθεί ο τροποποιημένος δείκτης αναλογίας βλάστησης.
- *OSAVI- Optimized Soil – Adjusted Vegetation:* Δείκτης βλάστησης ο οποίος είναι βέλτιστα προσαρμοσμένος στην φασματική συμπεριφορά των υποκείμενων εδαφικών pixel. Στην πραγματικότητα πρόκειται για έναν δείκτη SAVI με $L = 0.16$, τιμή για την οποία έδειξαν ότι ελαχιστοποιείται η τυπική απόκλιση στην ανάμειξη εδάφους και βλάστησης.
- *WDVI- Weighted Difference Vegetation Index:* Δείκτης βλάστησης σταθμισμένης διαφοράς είναι ένας απλός αλλά αποδοτικός δείκτης. Η στάθμιση

του κόκκινου συμβάλει στην ενίσχυση του σήματος της βλάστησης στο κοντινό υπέρυθρο και ελαχιστοποιεί τις επιπτώσεις της φωτεινότητας του εδάφους. Είναι ευαίσθητος στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις γι' αυτό και οι αρχικές εικόνες πρέπει να έχουν υποστεί ατμοσφαιρική διόρθωση. (Richardson et al. 1977), (Clevers 1988).

- *PVI- Perpendicular Vegetation Index*: Κατακόρυφος δείκτης βλάστησης υπολογίζει την κατακόρυφη απόσταση κάθε εικονοστοιχείου από τη γραμμή του εδάφους. Οι περιοχές με απουσία βλάστησης χαρακτηρίζονται όταν η κατακόρυφη απόσταση είναι μικρότερη του 7, ενώ σε αντίθετη περίπτωση υπάρχει παρουσία βλάστησης. Για να είναι δυνατή η χρήση του κατακόρυφου δείκτη βλάστησης απαιτείται ατμοσφαιρική διόρθωση των εικόνων λόγω της ευαισθησίας του στις ατμοσφαιρικές μεταβολές. (Richardson et al. 1977). Η αδυναμία του συγκεκριμένου δείκτη είναι πως βασίζεται στην ύπαρξη μόνο ενός τύπου εδάφους κάτω από τη βλάστηση. Αυτό είναι αδύνατο να συμβεί, ιδιαίτερα σε μεγάλες περιοχές, οι οποίες περιέχουν ένα μείγμα εδαφών.

2.6.3 Δείκτες βλάστησης και καμένες εκτάσεις

2.6.3.1 Παράδειγμα χρήσης δεικτών βλάστησης για παρακολούθηση καμένων εκτάσεων

- Παρακολούθηση δασικών πυρκαγιών που αποτελούν κύρια απειλή για τα οικοσυστήματα.
- Εκτίμηση περιβαλλοντικών, κοινωνικών και οικονομικών επιπτώσεων.
- Εκτίμηση βραχυπρόθεσμων και μακροπρόθεσμων επιπτώσεων.
- Εκτίμηση επιπτώσεων τόσο στην δομή όσο και την λειτουργία των διάφορων οικοσυστημάτων.
- Παρατήρηση της αύξησης των δασικών πυρκαγιών κυρίως κατά την διάρκεια του καλοκαιριού.
- Εφαρμογή διαφόρων μεθόδων για εντοπισμό των καμένων εκτάσεων και για να γίνεται παρακολούθηση της βλάστησης μετά τις πυρκαγιές και για έλεγχο της εξέλιξης της.

2.6.3.2 Χρήση δεικτών βλάστησης στην επιβλεπόμενη ταξινόμηση για καμένη έκταση

Οι δείκτες βλάστησης είναι πολύ σημαντικοί στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και αυτό είναι φανερό γιατί χρησιμοποιούνται όπως προαναφέρθηκε και χρησιμοποιούνται για διάφορους σκοπούς. Εκτός από αυτά γίνεται χρήση των δεικτών βλάστησης και για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση. Η μεθοδολογία για την επιβλεπόμενη ταξινόμηση με την χρήση των δεικτών βλάστησης αποτελείτε στο σύνολο από βήματα τα οποία έχουν συγκεκριμένη σειρά για να εκτελούνται ώστε να δημιουργηθούν σωστά και αληθή αποτελέσματα. Η μεθοδολογία αρχίζει από το βασικό βήμα να γίνει επιλογή της περιοχής ή ακόμη και των περιοχών μελέτης. Στην συνέχεια, από την συγκεκριμένη περιοχή γίνεται συλλογή δορυφορικών δεδομένων τα οποία θα υποστούν προεπεξεργασία. Μετά την προεπεξεργασία γίνεται εξαγωγή φασματικών υπογραφών για να γίνει με την σειρά μια δημιουργία ψευδόχρωμων συνθέτων. Με την δημιουργία των συνθέτων μπορούν πλέον να υπολογιστούν οι δείκτες βλάστησης. Επόμενο βήμα της μεθοδολογίας είναι η δημιουργία διαγραμμάτων κανονικοποιημένου δείκτη βλάστησης έτσι ώστε να μπορούν στην συνέχεια να χαρτογραφηθούν οι δείκτες βλάστησης. Σημαντικό σημείο της μεθοδολογία είναι η αξιολόγηση των δεικτών γιατί μετά από αυτήν μπορεί να γίνει η χαρτογράφηση της καμένης έκτασης και για τέλος η ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων.

2.6.4 Χρήση Δεικτών βλάστησης για αρχαιολογικούς σκοπούς

Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση διάφορων καλλιεργειών, παρόλα αυτά μια άλλη σημαντική εφαρμογή και κάπως διαφορετική είναι η ανίχνευση αρχαιολογικών καταλοίπων, η παρακολούθηση τους αλλά και το περιβάλλον τους. Σε πολλές πλέον μελέτες, οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται για την ανίχνευση αρχαιολογικών καταλοίπων μέσω της ενίσχυσης των σημάτων που προκαλεί η καλλιέργεια. Ο δείκτης NDVI είναι ο πιο γνωστός δείκτης που εφαρμόζεται σε διαφορετικές αρχαιολογικές διαδικασίες. Η ανίχνευση αυτή επιτυγχάνεται γιατί το έδαφος διατηρεί διαφορετικά ποσοστά υγρασίας σε σύγκριση με τις υπόλοιπες περιοχές με καλλιέργειες χωρίς αρχαιολογικά ευρήματα. Το πιο πάνω συμβαίνει γιατί συνήθως, σε περιοχές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, αναπτύσσεται, σε περιόδους με έλλειψη νερού, βλάστηση που αναπτύσσεται πάνω από οικοδομικά υπολείμματα ή συμπαγές

έδαφος και τα ανεπτυγμένα σήματα χαρακτηρίζονται ως αρνητικά σημεία καλλιέργειας και γενικά είναι λιγότερο κοινά από τα θετικά. Σε περιοχές αρχαιολογικού ενδιαφέροντος, το έδαφος τείνει να διατηρεί διαφορετικά ποσοστά υγρασίας σε σύγκριση με τις υπόλοιπες καλλιέργειες στην περιοχή χωρίς αρχαιολογικά ευρήματα. Αυτό το φαινόμενο μπορεί να καταγραφεί από δορυφορικές εικόνες ή ακόμα και αεροφωτογραφίες. Σημαντικό κομμάτι όμως στα σήματα των καλλιεργειών είναι οι άλλοι παράμετροι που τα επηρεάζουν όπως παραδείγματος χάρη το είδος της καλλιέργειας, η διαθεσιμότητα υγρασίας, η διαθεσιμότητα θρεπτικών ουσιών στις καλλιέργειες, τον τύπο του εδάφους και το βάθος του εδάφους.

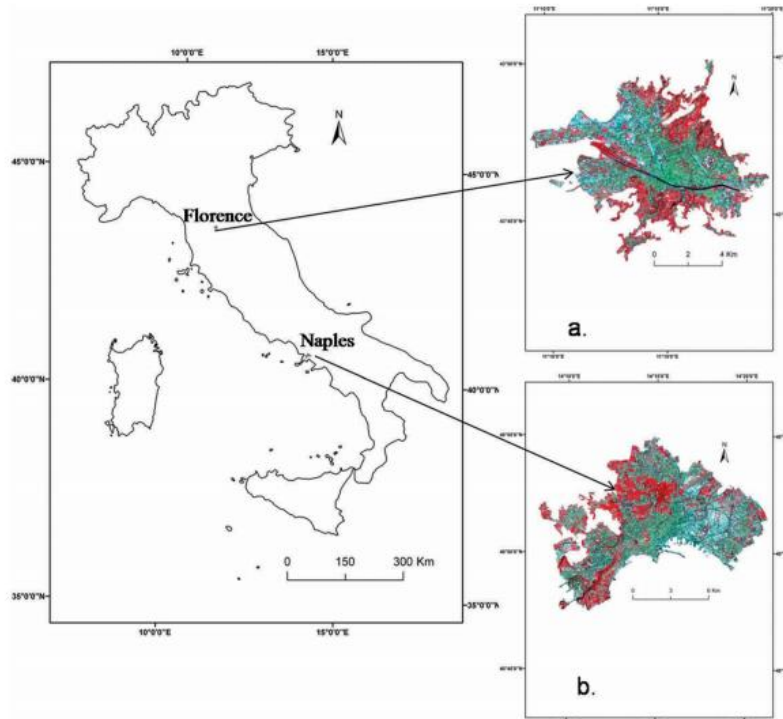
2.7 Εφαρμογές δεικτών Βλάστησης με δεδομένα Landsat 8

2.7.1 Αναλυτική μελέτη θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους με NDVI και NDBI χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat 8 OLI και TIRS στην πόλη της Φλωρεντίας και της Νάπολης, στην Ιταλία

Σε αυτή την εφαρμογή χρησιμοποιήθηκαν δεδομένα Landsat 8 OLI και TIRS για τη διερεύνηση της επίδρασης έντασης UHI στις πόλεις της Φλωρεντίας και της Νάπολης στην Ιταλία και για την ερμηνεία της δυναμικής σχέσης μεταξύ LST με NDVI και NDBI. Η παρούσα εφαρμογή έχει ως περιοχές μελέτης την Φλωρεντία και τη Νάπολη της Ιταλίας γιατί έχουν μεσογειακό και υγρό κλίμα και αυτό θεώρησαν οι ερευνητές του έργου ότι θα βοηθούσε. Η Φλωρεντία είναι μια εσωτερική πόλη της βόρειας Ιταλίας μακριά από το παράκτιο περιβάλλον, ενώ η Νάπολη βρίσκεται στη δυτική ακτή της νότιας Ιταλίας. Η Φλωρεντία βρίσκεται σε υψόμετρο 22–350 μ και το έδαφος της είναι πλούσιο σε ορυκτά αργίλου και οργανικές ύλες. Η Νάπολη φτάνει σε υψόμετρο 467 m από το μέσο επίπεδο της θάλασσας. Γεωλογικά, η Νάπολη χαρακτηρίζεται από πυριγενείς βράχους, απότομους βράχους αλλά ταυτόχρονα περιέχει κοιλάδες. Οι εικόνες ψευδών σύνθετων χρωμάτων της πόλης της Φλωρεντίας και της Νάπολης παρουσιάζονται στην Εικόνα 1. Το κόκκινο χρώμα δείχνει την πράσινη βλάστηση, ενώ το γαλαζοπράσινο χρώμα παρουσιάζει τις κατοικημένες περιοχές.

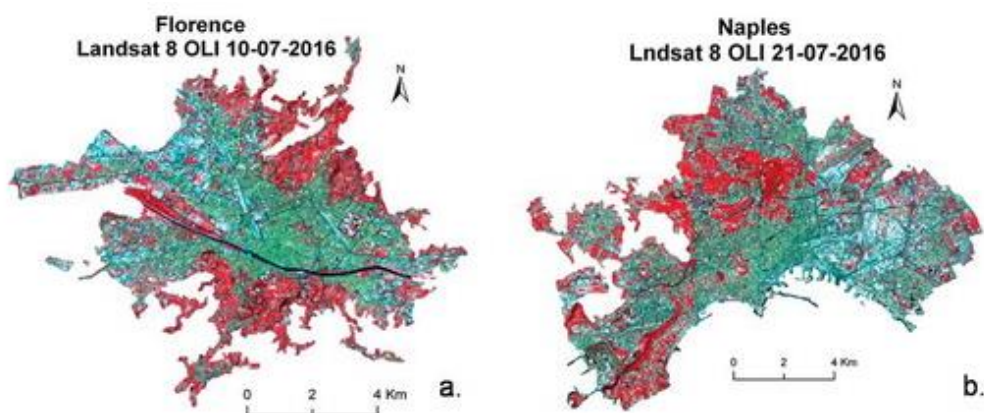
Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται τα δεδομένα του Landsat 8 για τις περιοχές της Φλωρεντίας και της Νάπολης κατά τις ημερομηνίες 10 Ιουλίου και 21 Ιουλίου 2016 αντίστοιχα και στον Πίνακα 2 φαίνονται όλα τα χρήσιμα δεδομένα για τις εικόνες, όπως

παραδείγματος χάρη η ώρα, το αζιμούθιο του ήλιου, το ποσοστό της νεφοκάλυψης και η ημερομηνία.



Διάγραμμα 17: Περιοχές μελέτης με ψευδών σύνθετων χρωμάτων.

Πηγή: Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy



Διάγραμμα 18: Περιοχές μελέτης για 10 Ιουλίου και 21 Ιουλίου 2016.

Πηγή: Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy

Πίνακας 2: Δεδομένα του Land sat 8 για την Νάπολη και την Φλωρεντία

Place	Path/Row	Time	Date of acquisition	Sun elevation (°)	Sun azimuth (°)	Cloud cover (%)	Earth-Sun distance (AU)
Florence	192/030	09:59:05	10 July 2016	62.93	134.46	1.76	1.02
Naples	189/032	09:41:24	21 July 2016	62.87	131.08	0.74	1.02

AU: Astronomical Unit.

Πηγή: Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy

Τα δεδομένα Landsat 8 OLI και TIRS λήφθηκαν σε μορφή αρχείου εικόνας με γεωγραφική επισήμανση (GeoTIFF). Για το στάδιο της προεπεξεργασίας οι εικόνες που αποκτήθηκαν από τον δορυφόρο Landsat 8 διορθώθηκαν γεωμετρικά και ραδιομετρικά για να βελτιωθεί η ποιότητα των πληροφοριών που θα δώσουν. Οι οπτικές ζώνες έχουν χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία του δείκτη NDVI και NDBI. Για δεδομένα αναφοράς χρησιμοποιήθηκε εικόνα με υψηλή ανάλυση από το Google Earth. Τα προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν για την ανάλυση είναι τα ERDAS Imagine 9.1 και το ArcGIS 9.3. Η θερμική υπέρυθρη ζώνη για την εικόνα Landsat 8 TIRS έχει χωρική ανάλυση 100 m γι' αυτό τον λόγο επαναπροσδιορίστηκε χρησιμοποιώντας την μέθοδο του πλησιέστερου γείτονα έτσι ώστε να ταιριάζει με τις υπόλοιπες οπτικές ζώνες με μέγεθος pixel 30 m. Για την ανάλυση των αλλαγών στη θερμοκρασία εφαρμόστηκαν οι NDVI και NDBI για τον προσδιορισμό της συσχέτισης με το παράγωγο LST.

Ο δείκτης βλάστησης NDVI όπως έχει παρουσιαστεί πιο πάνω είναι ο πιο κοινός και ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης σε ότι έχει να κάνει με την βλάστηση, δηλαδή οι υψηλές τιμές NDVI δείχνουν την παρουσία πράσινης βλάστησης, ο δείκτης NDBI εφαρμόστηκε στην συγκεκριμένη μελέτη για τον εντοπισμό των κατοικημένων περιοχών, δηλαδή οι υψηλές τιμές NDBI υποδηλώνουν την παρουσία κατοικημένης περιοχής και γυμνού εδάφους. Συγκεκριμένα, αν ο δείκτης $NDVI > 0,2$ και $NDBI < 0$ περιορισμούς τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν μαζί για την εξαγωγή βλάστησης. Αν ο δείκτης $NDVI < 0$ και $NDBI < 0$ τότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ύδατα, ενώ αν ο δείκτης είναι ανάμεσα στο $0 < NDVI < 0,2$ και ο $NDBI > 0,1$ τότε αυτό αντιστοιχεί σε κατοικημένες περιοχές ή έδαφος, γη χωρίς βλάστηση. Σημαντικό σημείο είναι η πιθανότητα αλλαγής αυτών των ανισοτήτων λόγω των ατμοσφαιρικών συνθηκών.

2.7.1.1 Υπολογισμός LST

Για τον υπολογισμό του LST ακολουθήθηκε μια διαδικασία από μια σειρά τύπων οι οποίοι παρουσιάζονται πιο κάτω με σειρά:

1. Φασματική ακτινοβολία:

$$L_{\lambda} = 0.0003342 * DN + 0.1$$

2. Θερμοκρασία φωτεινότητας σε βαθμούς Kelvin (K):

$$T_B = \frac{K_2}{\ln((K_1/L_{\lambda}) + 1)}$$

Για το Landsat 8 OLI το K1 και K2 είναι σταθερές βαθμονόμησης με τιμές K1=774.89 και είναι K2= 1321.08.

3. Η κλασματική βλάστηση, κάθε pixel προσδιορίστηκε από το NDVI χρησιμοποιώντας την ακόλουθη εξίσωση:

$$F_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2$$

NDVI min (0,2) = γυμνά εδάφη.

NDVI max (0,5) = υγιή βλάστηση.

4. $d\epsilon$: αποτέλεσμα της γεωμετρικής κατανομής των φυσικών επιφανειών και των εσωτερικών ανακλάσεων.

$$d\epsilon = (1 - \epsilon_s)(1 - F_v)F\epsilon_v$$

ϵ_v : εκπομπή βλάστησης,

ϵ_s : εκπομπή εδάφους,

F_v : κλασματική βλάστηση

F : παράγοντας με μέση τιμή 0,55 .

Για ετερογενείς επιφάνειες, η τιμή μπορεί να είναι 2%.

5. $\epsilon = \epsilon_v F_v + \epsilon_s (1 - F_v) + d\epsilon$

Η εκπομπή δίνεται από τον τύπο 5 και σε συνδυασμό με τον 4 και παρουσιάζεται στον τύπο 6.

$$6. \quad \varepsilon = 0.004 * F_v + 0.986$$

Τέλος έχοντας όλα τα απαραίτητα δεδομένα το LST υπολογίζεται από τον τύπο

$$7. \quad LST = \frac{T_B}{1 + (\lambda \sigma T_B / (hc)) \ln \varepsilon}$$

λ : πραγματικό μήκος κύματος (10,9 mm για τη ζώνη 10 στα δεδομένα Landsat 8),

σ : σταθερά Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23}$ J / K),

h : σταθερά του Plank ($6,626 \times 10^{-34}$ Js),

c : ταχύτητα του φωτός σε κενό ($2,998 \times 10^{-8}$ m / sec)

ε : εκπομπή

2.7.1.2 Αποτελέσματα

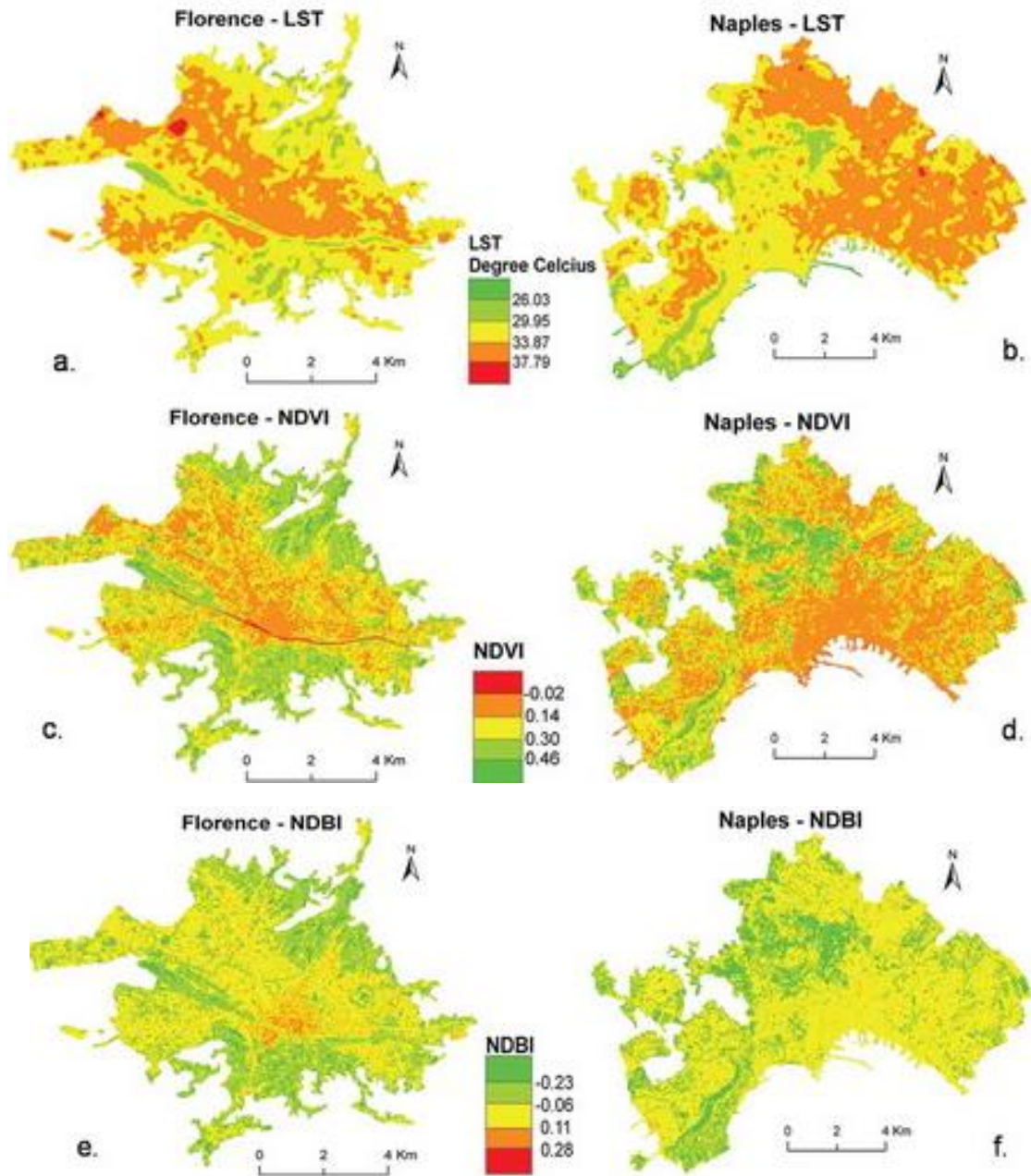
Στον Πίνακα 3 παρουσιάζονται οι τιμές των αποτελεσμάτων των στοιχείων για τις δύο πόλεις. Η κατανομή LST ταξινομήθηκε και κωδικοποιήθηκε με χρώματα έτσι ώστε να δημιουργηθεί χάρτης της περιοχής της μελέτης. Όπως φαίνεται και στον πίνακα οι μέσες τιμές LST είναι $32,84^\circ$ C για την Φλωρεντία και $33,11^\circ$ C για τη Νάπολη. Οι μέσες τιμές NDVI για τη Φλωρεντία και τη Νάπολη είναι 0,25 και 0,20, αντίστοιχα. Η μέση τιμή NDBI είναι $-0,06$ και για τις δύο πόλεις. Με γνώμονα τα αποτελέσματα αυτά συμπεραίνεται το γεγονός πως και οι δύο πόλεις έχουν σχεδόν παρόμοιο φάσμα στατιστικών στοιχείων αφού οι μέσες τιμές είναι σχετικά κοντά.

Πίνακας 3: Αποτελέσματα LST, NDVI και NDBI για τις περιοχές μελέτης

	LST (°C)				NDVI				NDBI			
	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD	Min	Max	Mean	SD
Florence	26.34	41.70	32.84	1.94	-0.17	0.61	0.25	0.12	-0.40	0.45	-0.06	0.10
Naples	22.11	41.27	33.11	2.25	-0.10	0.62	0.20	0.13	-0.38	0.30	-0.06	0.09

Min: Minimum; Max: Maximum; SD: Standard deviation.

Πηγή: Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy



Διάγραμμα 19: Χάρτες χωρικής κατανομής για τα αποτελέσματα. LST: (a) Φλωρεντία (b) Νάπολη, NDVI: (c) Φλωρεντία (d) Νάπολη και NDBI: (e) Φλωρεντία (f) Νάπολη

Πηγή: Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy

Αναλύοντας την συσχέτιση μεταξύ των LST – NDVI και LST – NDBI παρουσιάζονται κάποιες σχέσεις μέσω των αποτελεσμάτων στον Πίνακα 4. Συγκριτικά το LST με το NDBI έχουν μια ανάλογη σχέση σε αντίθεση με το NDVI που είναι αντιστρόφως

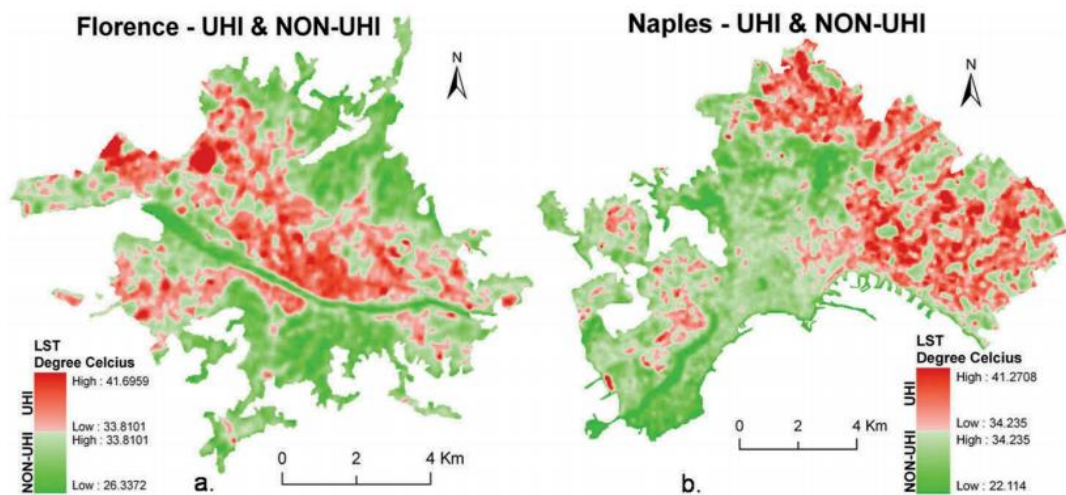
ανάλογη. Συγκεκριμένα ο δείκτης βλάστησης NDVI παρουσιάζει αρνητική συσχέτιση με το LST για ολόκληρη την πόλη, 70,71 για τη Φλωρεντία και .50,57 για τη Νάπολη. Για το μη UHI 50,53 και 40,42, για τη Φλωρεντία και τη Νάπολη, αντίστοιχα, ενώ η δύναμη αυτή γίνεται ασθενέστερη για το UHI και πιο συγκεκριμένα 30,38 για τη Φλωρεντία και .10,19 για τη Νάπολη. Σε ότι έχει να κάνει με το NDBI παρουσιάζει θετική συσχέτιση με το LST για ολόκληρη την πόλη, 0,71 για τη Φλωρεντία και 0,61 για τη Νάπολη. Για το μη UHI 0,61 και 0,50, για τη Φλωρεντία και τη Νάπολη, αντίστοιχα. Όλο αυτό έχει ως βασικό συμπέρασμα πως οι σχέσεις μεταξύ των LST – NDVI και LST – NDBI δημιουργούν πιο δυνατή συσχέτιση σε μεγάλα φυσικά τοπία και πιο ασθενές συσχέτιση σε μικρές αλλά και κατοικημένες περιοχές.

Πίνακας 4: Αποτελέσματα LST για UHI και non-UHI

Table 3. Variation of LST (°C) in UHI and non-UHI.

Place	LST(Min)		LST(Max)		LST(Mean)		LST(SD)	
	UHI	non-UHI	UHI	non-UHI	UHI	non-UHI	UHI	non-UHI
Florence	33.81	26.34	41.70	33.81	34.86	31.71	0.88	1.38
Naples	34.24	22.11	41.27	34.24	35.24	31.93	0.73	1.92

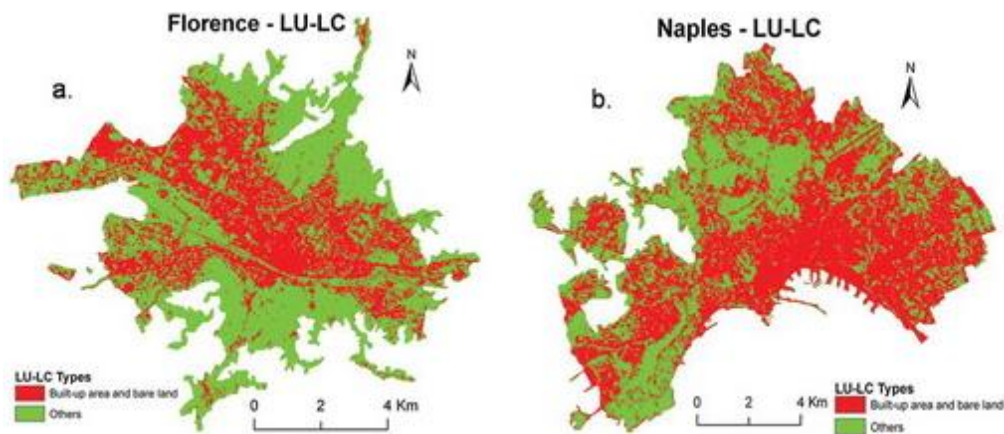
Πηγή: Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy



Διάγραμμα 20: Χωρικές εκτάσεις UHI και non-UHI για Φλωρεντία (a) και Νάπολη (b).

Πηγή: Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy

Ένα βασικό σημείο στην μελέτη και εφαρμογή αυτή είναι η σχέση του LST και LU – LC. Είναι πολύ ενδιαφέρον το γεγονός ότι η διανομή LST σχετίζεται πολύ στενά με τη διανομή NDVI και NDBI. Γενικά, το LST σχετίζεται αρνητικά με το NDVI και σχετίζεται θετικά με το NDBI. Όμως, αυτή η σχέση μπορεί να ποικίλλει λόγω χωρικής ανάλυσης, γεωγραφικής επέκτασης ή εποχιακής διακύμανσης. Οι NDVI και NDBI είναι οι δύο δείκτες LU – LC που εξαρτώνται σε μεγάλο βαθμό από την έκταση αλλά και την χρησιμοποιημένη γη. Βασικά, το LST αυξάνεται με την αύξηση της κατοικημένης περιοχής και των γυμνών εκτάσεων ενώ μειώνεται με την αύξηση των δασών, των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, των υγροτόπων και των υδάτινων σωμάτων. Όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 7, στη Φλωρεντία το 39,91% καλύπτονται από κατοικημένη περιοχή και η γυμνή έκταση και αντίστοιχα στην Νάπολη το 57,95% της συνολικής έκτασης της πόλης. Με την παραπάνω διαπίστωση, η Νάπολη θεωρείται ως πιο αστική πόλη από τη Φλωρεντία. Η βλάστηση, ο ποταμός, τα υδάτινα σώματα, οι υγρότοποι και οι καλλιεργήσιμες εκτάσεις έχουν περιγραφεί ως οι άλλες εκτάσεις στο σχήμα και παρουσιάζονται με πράσινο χρώμα. Το κόκκινο χρώμα στην Νάπολη υπερτερεί και επιβεβαιώνεται πώς είναι πιο αστική πόλη από την Φλωρεντία.



Διάγραμμα 21: Κατοικήσιμες περιοχές και γυμνό έδαφος .

Πηγή: Analytical study of land surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in Florence and Naples city, Italy

2.7.1.3 Συμπεράσματα

Συνοψίζοντας τα συμπεράσματα αυτής της μελέτης παρατηρήθηκε πως η παρουσία βλάστησης και υδάτινων σωμάτων μειώνει το επίπεδο LST. Για ολόκληρες πόλεις της

Φλωρεντίας και της Νάπολης, το LST εμφανίζει έντονη αρνητική συσχέτιση με το NDVI και ισχυρή θετική συσχέτιση με NDBI. Οι σχέσεις γίνονται πιο αδύναμες για το UHI και αυτό πιθανόν να οφείλεται στην παρουσία περισσότερων ετερογενών τοπίων εντός της κατοικημένης περιοχής. Τέλος οι ζώνες UHI υφίστανται έντονη θερμική επίδραση και με την συνεχές αστική ανάπτυξη, οι ζώνες UHI πιθανότατα να επιδεινώσουν την οικολογική-περιβαλλοντική ποιότητα των περιοχών και αυτό να οδηγήσει σε ανεπανόρθωτες ζημιές αν για κάποιο λόγο πέσουν κάτω από το χειρότερο οικολογικό δείκτη. Με το πέρας της μελέτης αυτής αναπτύσσονται και εγείρονται διάφορα ζητήματα για την οικολογία και μέσω επιπρόσθετων εφαρμογών θα παρουσιαστεί μια πιο ολοκληρωμένη άποψη έτσι ώστε να γίνουν βήματα βελτίωσης της κατάστασης πριν αυτό να είναι ακατόρθωτο.

2.7.2 Υπολογισμός δεικτών NDVI και SAVI με την χρήση δεδομένων Landsat 8.

Η πιο απλή εφαρμογή είναι ο υπολογισμός δεικτών βλάστησης σε συνδυασμό με δεδομένα συγκεκριμένου δορυφόρου. Αυτή η διαδικασία θα αναλυθεί στην παρούσα εφαρμογή ακολουθώντας όλα τα βήματα. Πιο συγκεκριμένα γίνεται υπολογισμός του δείκτη βλάστησης NDVI και του SAVI, χρησιμοποιώντας όλα τα δεδομένα από τον δορυφόρο Landsat 8. Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται προσεγγίστεκα οι τιμές του δείκτη NDVI για κάθε είδος κάλυψης. Παραδείγματος χάρη αν ο δείκτης έχει αποτέλεσμα κοντά στο 0,7 προς 1 τότε η βλάστηση είναι πυκνή, ενώ αν ο δείκτης ισούται με αρνητική τιμή τότε δεν είναι βλάστηση αλλά νερό ή πάγος.

Πίνακας 5: Τύποι κάλυψης με βάση τα αποτελέσματα του δείκτη βλάστησης NDVI

Τύπος κάλυψης	Κόκκινο κανάλι	Εγγύς υπέρυθρο κανάλι	NDVI
Πυκνή βλάστηση	0.1	0.5	0.7
Ξερό γυμνό έδαφος	0.269	0.283	0.025
Σύννεφα	0.227	0.228	0.002
Χιόνι και πάγος	0.375	0.342	-0.046
Νερό	0.022	0.013	-0.257

Πηγή: Υπολογισμός NDVI από δεδομένα Landsat8

Στην συγκεκριμένη εφαρμογή η εικόνα που πάρθηκε από τον δορυφόρο Landsat 8 τραβήχτηκε στις 26 Ιουλίου το 2013. Η περιοχής μελέτης της παρούσας εφαρμογής είναι ο Αξιός ποταμός ο οποίος είναι ο δεύτερος μεγαλύτερος ποταμός που διασχίζει την Ελλάδα. Έχει μήκος στην Ελλάδα 76χιλιόμετρα.



Διάγραμμα 22: Φωτογραφία περιοχής μελέτης.

Όλα τα προϊόντα του Landsat 8 από το Κέντρο USGS αποτελούνται από βαθμονομημένα κλίμακα ψηφιακών αριθμών τα οποία αντιπροσωπεύουν τα πολυφασματικά δεδομένα της εικόνας που αποκτήθηκαν. Επειδή τα προϊόντα αυτά δίνονται σε 16-bit μη ακέραια μορφή πρέπει να αναβαθμιστούν χρησιμοποιώντας ραδιομετρικούς συντελεστές ανακλιμάκωσης οι οποίοι παρέχονται στο αρχείο των μεταδεδομένων τα οποία λαμβάνονται όταν γίνεται και η λήψη των εικόνων.

Για την μετατροπή αυτή ακολουθούνται τα ακόλουθα βήματα σε σειρά:

1.Μετατροπή σε φασματική ακτινοβολία

Τα δεδομένα των καναλιών OLI και TIRS του δορυφόρου μπορούν να μετατραπούν σε φασματική ακτινοβολία χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο.

$$L_{\lambda} = M_L Q_{cal} + A_L$$

όπου:

L_{λ} = φασματική ακτινοβολία

M_L = δείκτης επανακλιμάκωσης

A_L = Προσθετικός δείκτης

Q_{cal} = Κβαντισμένη τιμή pixel

2. Υπολογισμός της τιμής ανάκλασης από τα δορυφορικά δεδομένα.

$$\rho\lambda' = M\rho Q_{cal} + A\rho$$

$\rho\lambda'$ = πλανημετρική ανάκλαση χωρίς την διόρθωση γωνίας του ήλιου.

$M\rho$ = Πολλαπλασιαστικός δείκτης επανακλιμάκωσης

$A\rho$ = Προσθετικός δείκτης συγκεκριμένου Καναλιού

Q_{cal} = Κβαντισμένη και βαθμονομημένη τιμή pixel

Η ανάκλαση με διόρθωση για την γωνία του ήλιου υπολογίζεται από:

$$\rho\lambda = \frac{\rho\lambda'}{\cos(\theta_{SZ})} = \frac{\rho\lambda'}{\sin(\theta_{SE})}$$

$\rho\lambda$ = η πλανημετρική ανάκλαση

θ_{SE} = Τοπική γωνία υψομέτρου του ήλιου.

θ_{SZ} = Τοπική ηλιακή γωνία ζενίθ, $\theta_{SZ} = 90^\circ - \theta_{SE}$

Αφού γίνουν όλες οι απαραίτητες διορθώσεις τότε στην συνέχεια μπορούν να υπολογιστούν οι δείκτες.

Υπολογισμός του δείκτη βλάστησης NDVI

Αρχικά ο δείκτης NDVI υπολογίζεται από τον τύπο:

$$NDVI = (NIR - VIS) / (NIR + VIS)$$

Όπου NIR = κανάλι 5, VIS = κανάλι 4 του LANDSAT8

Κανάλι 4 διορθωμένη ανάκλαση: $(b4_cr) = (b4_r) / \sin(90 - 62.47896988)$

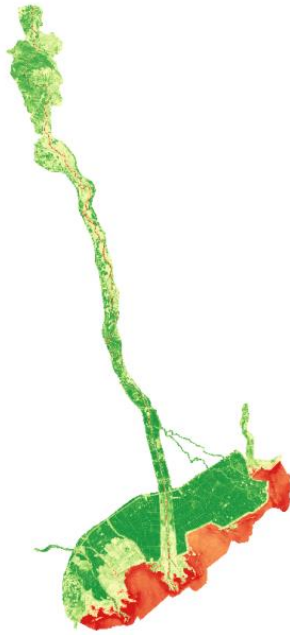
Κανάλι 5 διορθωμένη ανάκλαση: $(b5_cr) = (b5_r) / \sin(90 - 62.47896988)$

$NDVI = (b5_cr - b4_cr) / (b5_cr + b4_cr) = ((b5_r) / \sin(90 - 62.47896988)$

$- (b4_cr) = (b4_r) / \sin(90 - 62.47896988)) / ((b5_r) / \sin(90 - 62.47896988)$

$+ (b4_cr) = (b4_r) / \sin(90 - 62.47896988))$

Τα αποτελέσματα του NDVI για κάθε εικονοστοιχείο κυμαίνονται από -1 με 1. Αν η τιμή είναι κοντά στο 0 τότε δεν υπάρχει βλάστηση όπως έχει αναλυθεί και στους δείκτες.



Διάγραμμα 23: Δείκτης NDVI για την περιοχή μελέτης

Υπολογισμός δείκτη SAVI από την ανάκλαση

$$SAVI = (b5_{cr} - b4_{cr}) / (b5_{cr} + b4_{cr}) * (1+L)$$

NIR: κανάλι 5

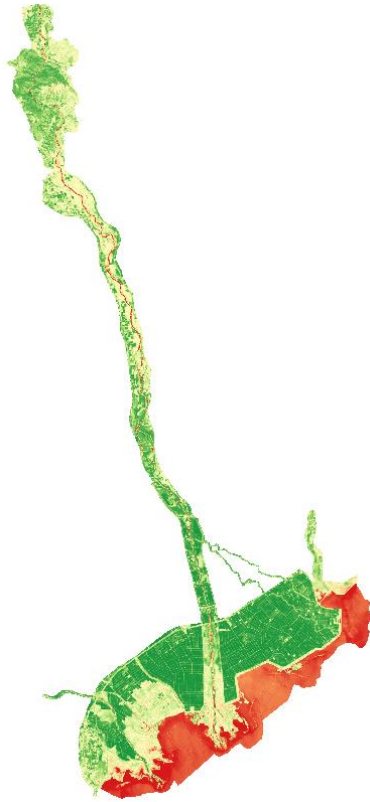
RED: κανάλι 4

L: είναι ο δείκτης διόρθωση της φωτεινότητας του εδάφους. Η τιμή του δείκτη αυτού ποικίλει ανάλογα της με το είδος της κάλυψης.

L= 0 περιοχές με έντονη φυτοκάλυψη. Όταν L=0 τότε NDVI=SAVI αφού η τελευταία παρένθεση ισούται με ένα.

L=1 σε περιοχές που δεν υπάρχει φυτοκάλυψη

L=0.5 είναι η τιμή στις περισσότερες περιπτώσεις.

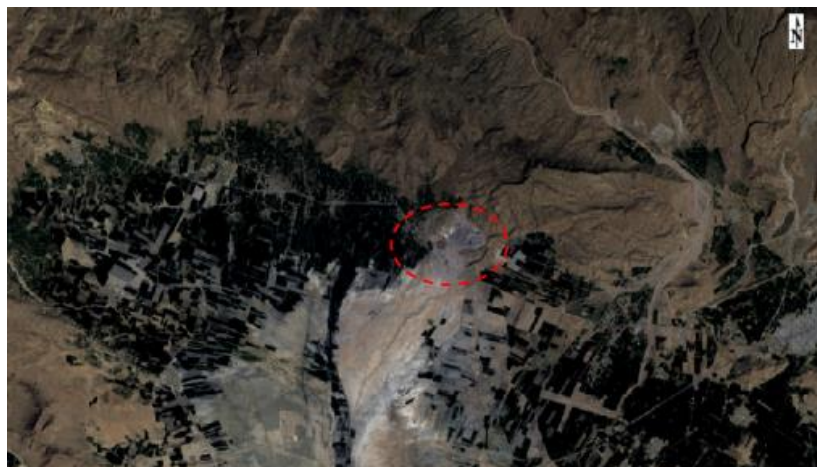


Διάγραμμα 24: Δείκτης SAVI για την περιοχή μελέτης

2.7.3 Μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των δεικτών βλάστησης στον αλατισμένο θόλο της Κορσίας στο βορειοανατολικό τμήμα του Νταράμπ, Fars, Ιράν

2.7.3.1 Εισαγωγή

Η ιδέα έναρξης αυτής της μελέτης ήταν η εύρεση διάφορων εργαλείων για την αξιολόγηση της συνεχόμενης αύξησης της αλάτωσης του εδάφους παγκοσμίως, δημιουργώντας έτσι σοβαρούς κινδύνους στον τομέα της γεωργίας. Πιο συγκεκριμένα σε αυτή την μελέτη γίνεται μοντελοποίηση αλλά και εκτίμηση του αλατιού στο θόλο της Κορσίας με την χρήση διάφορων δεικτών. Χρησιμοποιήθηκε ο VARI, ο DVI, ο EVI, ο GDVI, ο NDVI, ο OSAVI, ο SAVI και ο IPVI Τα δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν ήταν από τον δορυφόρο Landsat 8. Η περιοχή μελέτης είναι ο αλατισμένος θόλος της πεδιάδας Κορσιών στο βορειοανατολικό τμήμα του Νταράμπ στο Ιράν, η οποία έχει έκταση 1083 km². Πιο συγκεκριμένα επιλέχθηκαν δέκα διαφορετικά σημεία, τοποθεσίες στον αλατισμένο θόλο της πεδιάδας.



Διάγραμμα 25: Περιοχή μελέτης

Πίνακας 6: Φασματικά χαρακτηριστικά του Landsat 8 ETM+.

Spectral band	Wavelength (μm)	Resolution (m)
Band 1—coastal/aerosol	0.433–0.453	30
Band 2—blue	0.450–0.515	30
Band 3—green	0.525–0.600	30
Band 4—red	0.630–0.680	30
Band 5—near infrared	0.845–0.885	30
Band 6—short wavelength infrared	1.560–1.660	30
Band 7—short wavelength infrared	2.100–2.300	30
Band 8—panchromatic	0.500–0.680	15
Band 9—cirrus	1.360–1.390	30

Πηγή: Modeling the behavior of Vegetation Indices in the salt dome of Korsia in North-East of Darab, Fars, Iran.

2.7.3.2 Δείκτες

Ορατός ατμοσφαιρικά ανθεκτικός δείκτης (VARI):

Ο δείκτης αυτός χρησιμοποιείται για την εκτίμηση του κλάσματος της βλάστησης σε μια σκηνή με χαμηλή ευαισθησία στις ατμοσφαιρικές επιδράσεις. Χρησιμοποιεί το πράσινο, το κόκκινο και το μπλε φάσμα.

$$VARI = \frac{Green - Red}{Green + Red - Blue}$$

Δείκτης διαφοράς βλάστησης (DVI):

Ο δείκτης αυτός διακρίνει το έδαφος από την βλάστηση, χωρίς όμως να λαμβάνει υπόψη την διαφορά μεταξύ της ανακλαστικότητας και της ακτινοβολία που προκύπτει από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις.

$$DVI = NIR - Red$$

Βελτιωμένος δείκτης βλάστησης (EVI):

Ο βελτιωμένος δείκτης βλάστησης, όπως αποκαλύπτει και το όνομα του δημιουργήθηκε για την βελτίωση του δείκτη NDVI βελτιώνοντας το σήμα χρησιμοποιώντας την μπλε περιοχή ανάκλασης για διόρθωση του σήματος από το έδαφος και την μείωση των ατμοσφαιρικών επιδράσεων. Η τιμή του κυμαίνεται από -1 έως 1.

$$EVI = 2.5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7.5 * Blue + 1)}$$

Δείκτης βλάστησης πράσινης διαφοράς (GDVI):

Αυτός ο δείκτης είχε αρχικά σχεδιαστεί για την πρόβλεψη απαιτήσεων νιτρογόνου για καλαμπόκι με την χρήση φωτογραφιών υπέρυθρων χρωμάτων.

$$GDVI = NIR - Green$$

Δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI):

Χρησιμοποιείται για τον διαχωρισμό της βλάστησης από τη φωτεινότητα του εδάφους και τον υπολογισμό της ζωτικότητας της βλάστησης. Παρουσιάζει την αναλογία της διαφοράς της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο και στο κόκκινο, που διαιρείται με το άθροισμα αυτών. Είναι το μέτρο υγιούς, πράσινης βλάστησης. Η τιμή του κυμαίνεται από -1 έως 1.

$$NDVI = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)}$$

Δείκτης βλάστησης προσαρμοσμένης στο έδαφος (SAVI):

Ο δείκτης SAVI είναι παρόμοιος με το NDVI με την διαφορά ότι χρησιμοποιεί έναν συντελεστή L ο οποίος διορθώνει την επίδραση της φωτεινότητας του εδάφους. Η πιο συνηθισμένη τιμή που παίρνει ο συντελεστής είναι 0.5. Ο δείκτης χρησιμοποιείται συνήθως σε περιπτώσεις που η εδαφική κάλυψη της βλάστησης είναι μικρή.

$$SAVI = \frac{1.5 * (NIR - Red)}{(NIR + Red + 0.5)}$$

Βελτιστοποιημένος δείκτης βλάστησης προσαρμοσμένης στο έδαφος (OSAVI):

Ο δείκτης αυτός είναι βέλτιστα προσαρμοσμένος στην φασματική συμπεριφορά των υποκείμενων εδαφικών pixels. Στην πραγματικότητα πρόκειται για έναν δείκτη SAVI με $L = 0.16$, τιμή για την οποία έδειξαν ότι ελαχιστοποιείται η τυπική απόκλιση στην ανάμειξη εδάφους και βλάστησης. Χρησιμοποιείται σε περιοχές με σχετικά αραιά βλάστηση όπου το έδαφος είναι ορατό.

$$OSAVI = \frac{1.5 * (NIR - Red)}{(NIR + Red + 0.16)}$$

Δείκτης βλάστησης υπέρυθρων ποσοστών (IPVI):

Αυτός ο δείκτης έχει την ίδια λειτουργία με τον δείκτη NDVI, με βασική διαφορά ότι υπολογιστικά είναι πιο γρήγορος. Οι τιμές του κυμαίνονται από 0 έως 1.

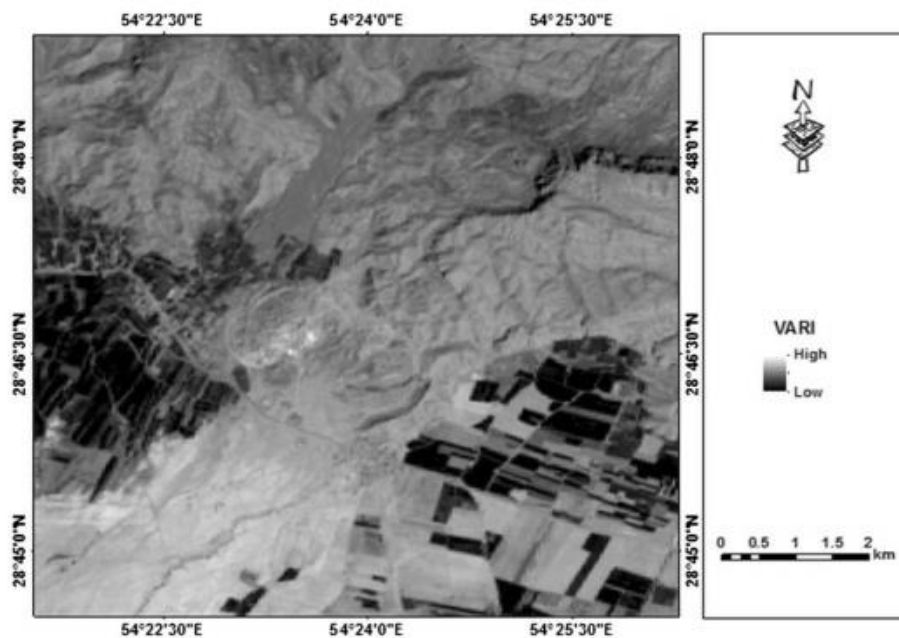
$$IPVI = \frac{NIR}{NIR + Red}$$

2.7.3.3 Υπολογισμοί

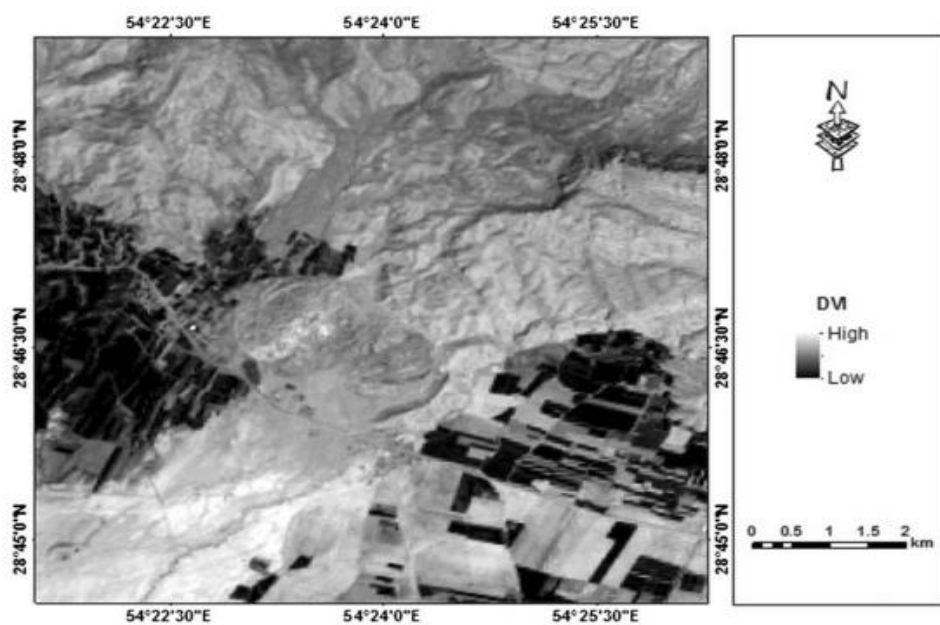
Για την διαδικασία της προεπεξεργασίας χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ENVI για την πραγματοποίηση των διορθώσεων, τόσο γεωμετρικών όσο και ατμοσφαιρικών και στην συνέχεια υπολογίστηκαν οι δείκτες. Για την χαρτογράφηση της περιοχής χρησιμοποιήθηκε το λογισμικό ArcGIS 10.2 για την σύγκριση των ευρετηρίων με το χάρτη χρήσης γης έτσι ώστε να γίνει ο προσδιορισμός του πιο ικανού δείκτη για την εκτίμηση της βλάστησης στην περιοχή μελέτης.

2.7.3.4 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

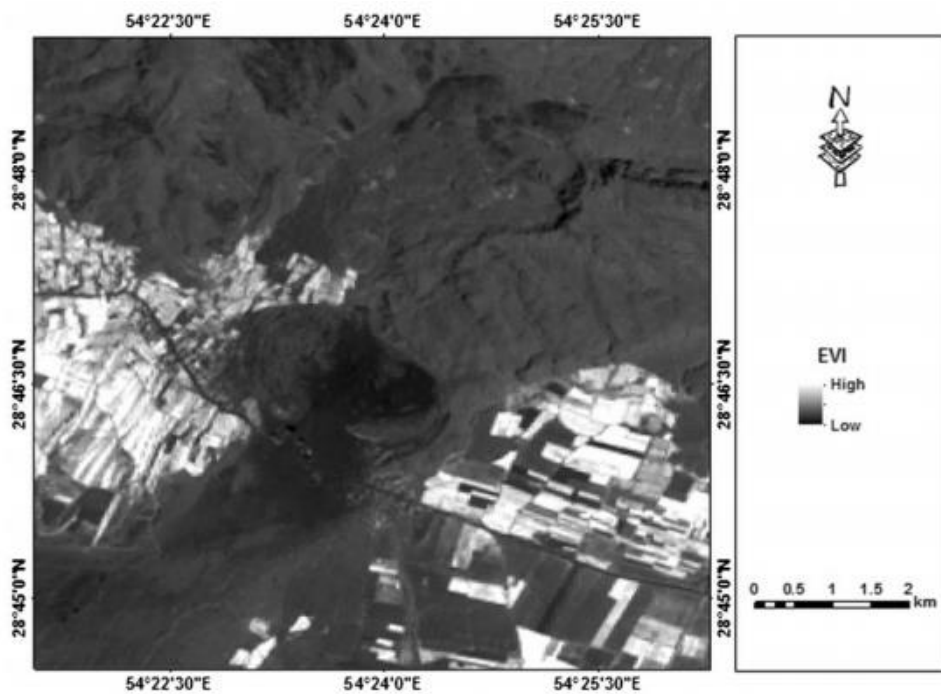
Τα αποτελέσματα του κάθε δείκτη βλάστησης που χρησιμοποιήθηκε στην εφαρμογή παρουσιάστηκαν στις παρακάτω εικόνες με σειρά. Με βάση τους υπολογισμούς των δεικτών που φανερώνονται, οι τιμές των δεικτών ήταν υψηλές στο πεδίο της γεωργίας για τους VARI, DVI, GDVI και IPVI και χαμηλές για τους υπόλοιπους δείκτες. Η βλάστηση είναι χαμηλή στην περιοχή μελέτης η οποία περιέχει αλάτι με αποτέλεσμα να παρουσιάζεται λευκή στις δορυφορικές εικόνες. Από τους δείκτες βλάστησης που μελετήθηκαν οι EVI, GDVI, OSAVI και SAVI παρουσιάζουν τον θόλο του αλατιού με μαύρο χρώμα λόγω της υψηλής του τιμής, ενώ οι υπόλοιποι δείκτες βλάστησης δείχνουν την αλυκή με λευκό χρώμα λόγω της υψηλής της αξίας. Η πιο πάνω διαπίστωση οδηγεί στο γεγονός πως οι δείκτες EVI, GDVI, OSAVI και SAVI είναι κατάλληλοι για την πρόβλεψη αλλά και την μοντελοποίηση του θόλου που σχηματίζει το αλάτι.



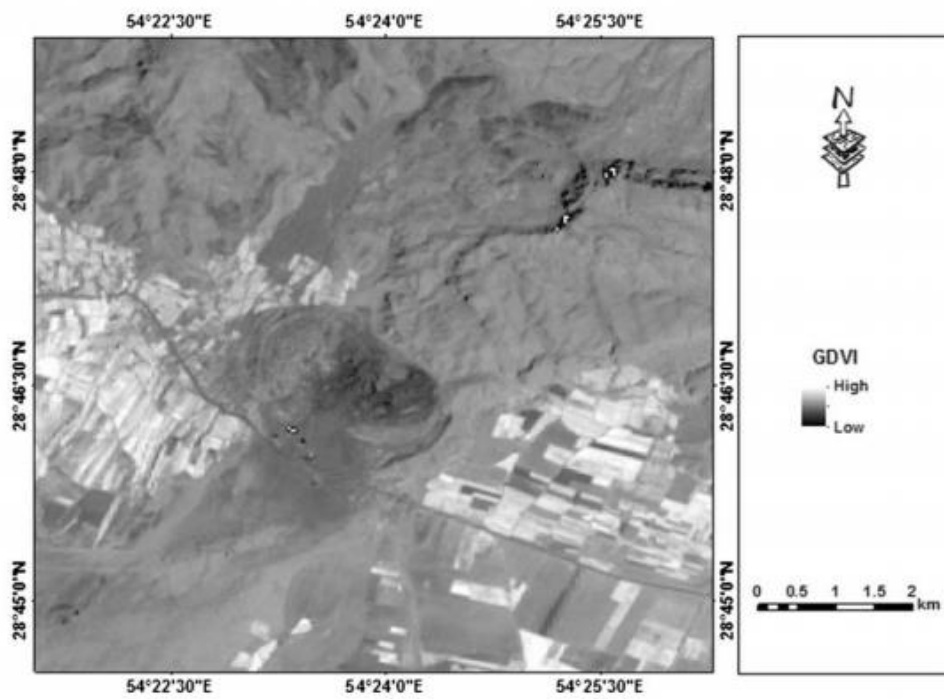
Διάγραμμα 26: Δείκτης VARI.



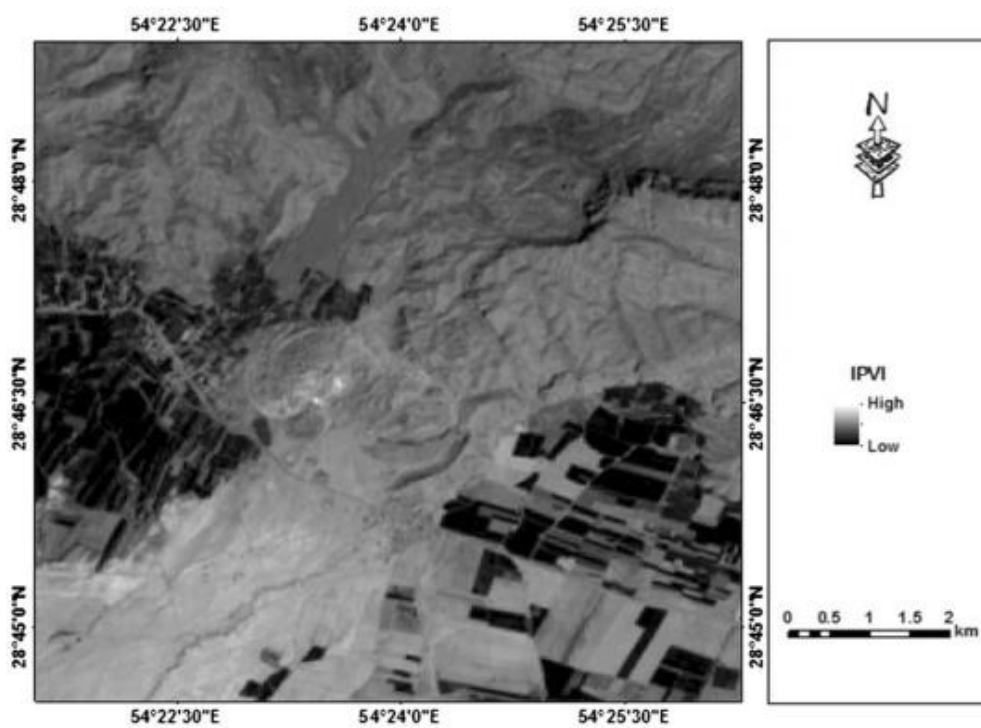
Διάγραμμα 27: Δείκτης DVI.



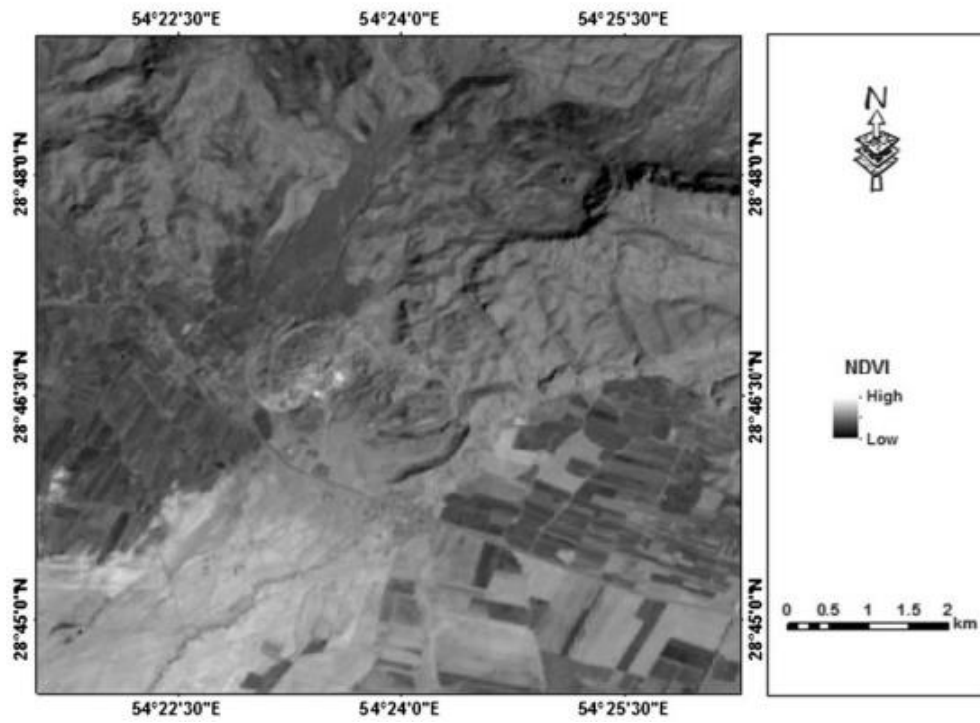
Διάγραμμα 28: Δείκτης EVI.



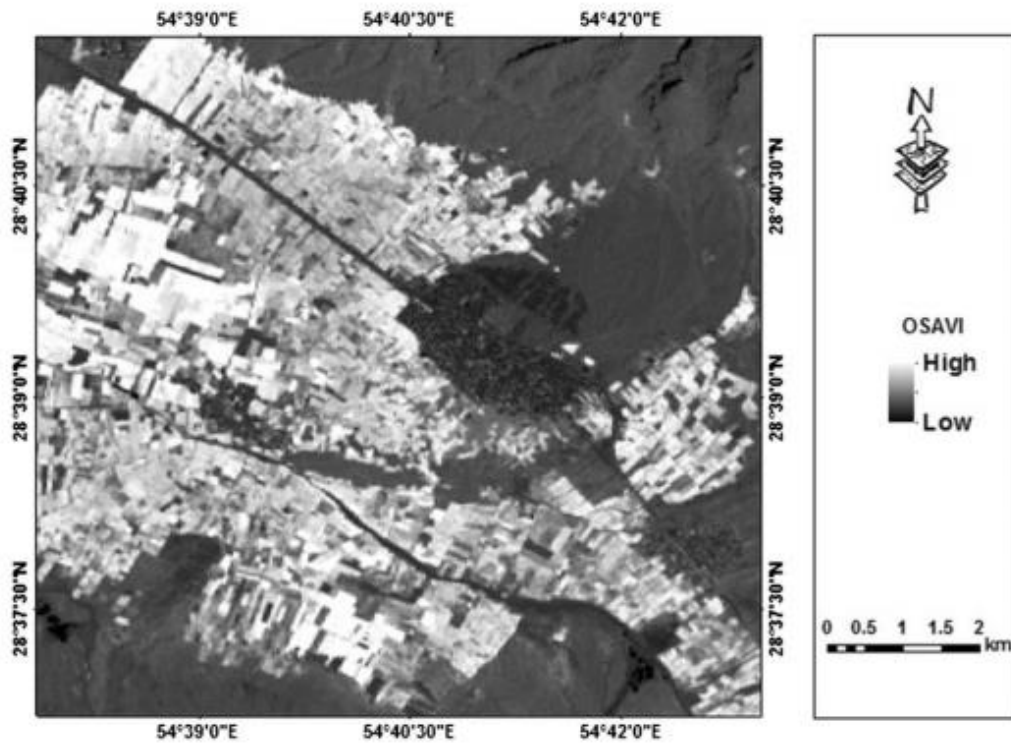
Διάγραμμα 29: Δείκτης GDVI.



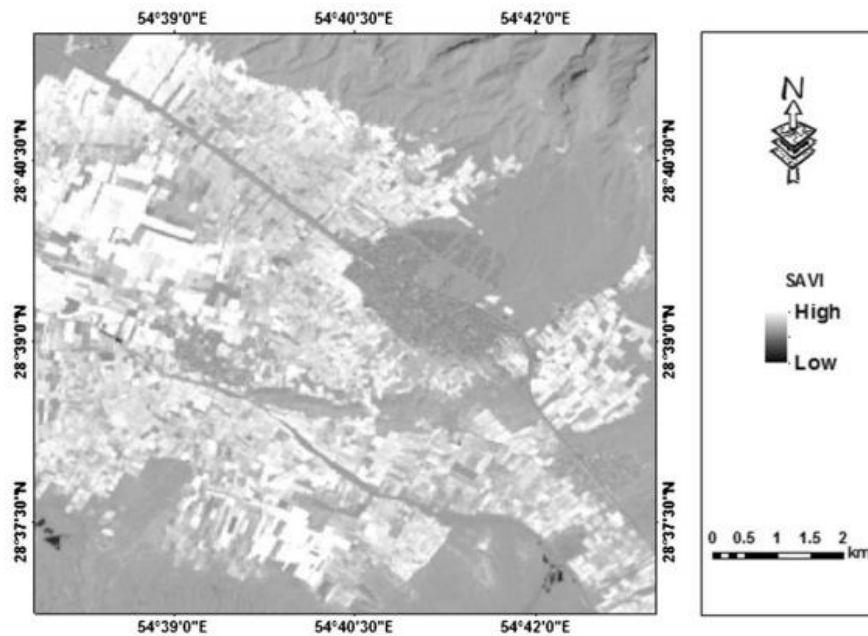
Διάγραμμα 30: Δείκτης IPVI.



Διάγραμμα 31: Δείκτης NDVI.

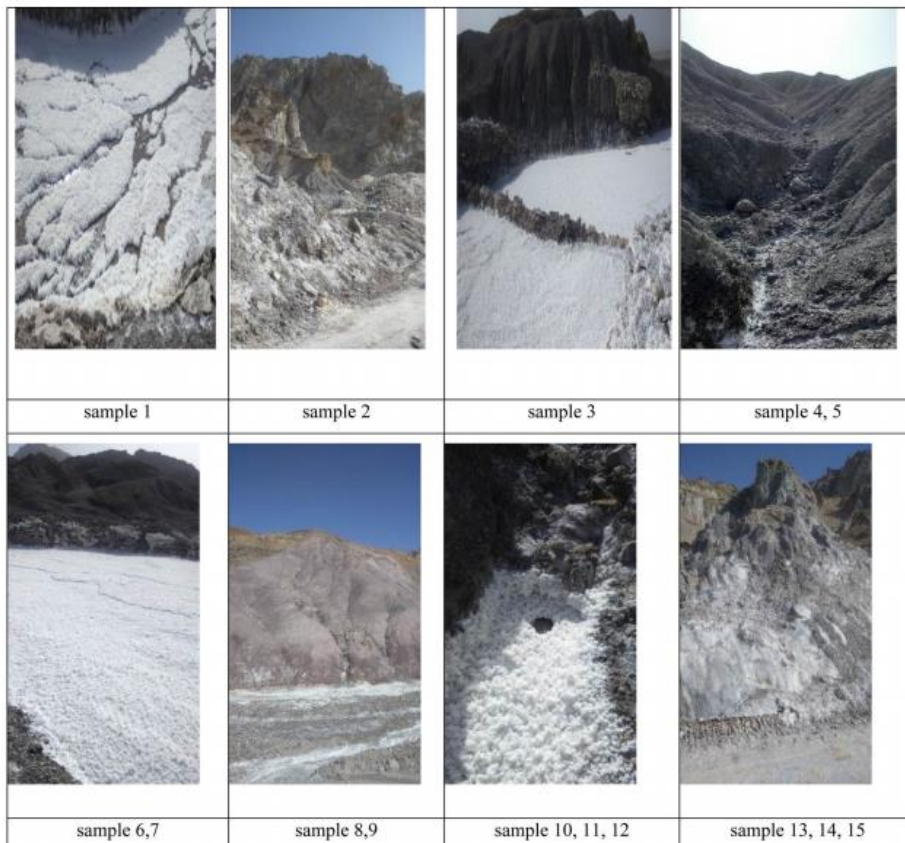


Διάγραμμα 32: Δείκτης OSAVI.

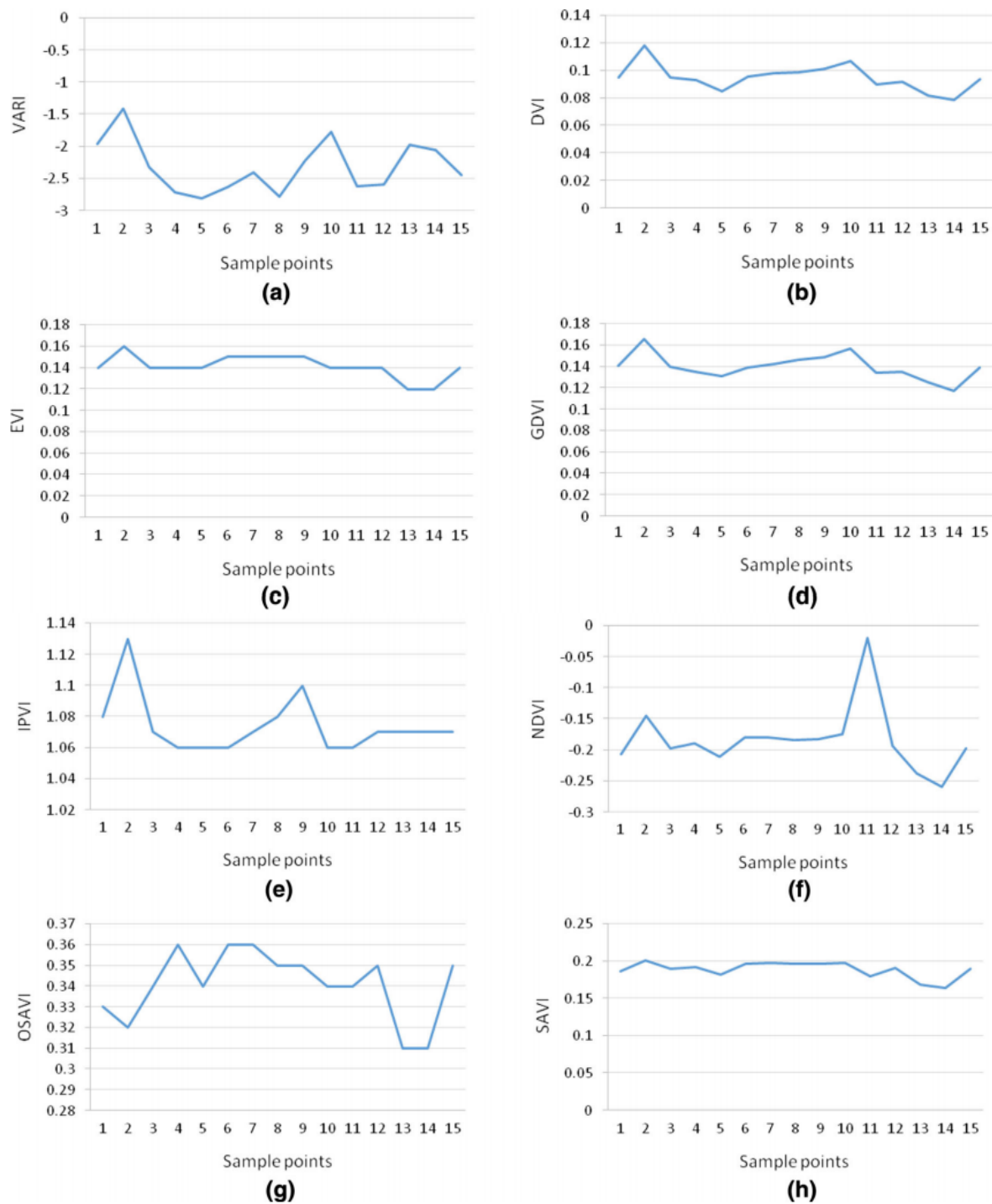


Διάγραμμα 33: Δείκτης SAVI.

Για τον προσδιορισμό του καλύτερου δείκτη βλάστησης για το ζητούμενο, χρησιμοποιήθηκαν δεκαπέντε σημεία δείγματος στην περιοχή μελέτης τα οποία παρουσιάζονται στην εικόνα .



Διάγραμμα 34: Θέσεις 15 δειγμάτων από την περιοχή μελέτης.



Διάγραμμα 35: Η σύγκριση των δεικτών βλάστησης στην περιοχή μελέτης και των σημείων δειγματοληψίας. Οι γραφικές αντιστοιχούν (a) VARI, (b) DVI, (c) EVI, (d) GDVI, (e) IPVI, (f) NDVI, (g) OSAVI, (h) SAVI.

Πηγή: Modeling the behavior of Vegetation Indices in the salt dome of Korsia in North-East of Darab, Fars, Iran

Με βάση τις παραπάνω γραφικές αποδεικνύεται πως οι δείκτες IPVI και OSAVI δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό της αλατότητας του εδάφους. Επιπρόσθετα ο δείκτης DVI είναι σχεδόν σταθερός με την τιμή του στο 0,1 και ο δείκτης SAVI κοντά 0,2 και αντιπροσωπεύουν την αλατότητα του εδάφους. Η αλατότητα του εδάφους στους δείκτες EVI και GDVI είναι κοντά στο 0.14. Τέλος, οι τιμές των δεικτών VARI και NDVI είναι αρνητικές. Γενικά οι καταλληλότεροι δείκτες παρέχουν τη συνοπτική εικόνα της περιοχής. Η σύγκριση των δεικτών βλάστησης δείχνουν ότι οι τιμές των SAVI, EVI, GDVI και DVI ήταν σχεδόν σταθερές και ίδιες στο θόλο αλατιού. Τέλος τα αποτελέσματα αποδεικνύουν ότι οι EVI, GDVI, OSAVI και SAVI είναι κατάλληλοι για την πρόβλεψη και τη μοντελοποίηση του θόλου από αλάτι. Συνοψίζοντας, συνίσταται η χρήση των EVI, GDVI, OSAVI και SAVI για την μοντελοποίηση και την πρόβλεψη αλυκών.

Συμπερασματικά, από τους δείκτες VARI, DVI, EVI, GDVI, NDVI, OSAVI, SAVI και IPVI που χρησιμοποιήθηκαν για την μοντελοποίηση αλλά και την εκτίμηση του αλατιού στο θόλο της Κορσίας, αποδεικνύεται πως οι IPVI και OSAVI δεν μπορούν σε καμία περίπτωση να χρησιμοποιηθούν. Κατάλληλοι για τον σκοπό της έρευνας θεωρούνται οι EVI, GDVI, OSAVI και SAVI. Ένα από τα πιο σημαντικά συμπεράσματα της παρούσας εφαρμογής και μελέτης είναι η υψηλή αξία των δεικτών βλάστησης στον τομέα της γεωργίας και στην παρούσα περίπτωση σε ότι σχετίζεται με την αλατότητα του εδάφους. Έχουν γίνει πολλές μελέτες οι οποίες σχετίζονται με την χρήση των δεικτών βλάστησης τόσο στην γεωργία όσο και στους φυσικούς πόρους.

2.7.4 Αλγόριθμος για αυτόματη χαρτογράφηση θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους με χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat 8

2.7.4.1 Εισαγωγή

Η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους θεωρείται ως μια από τις σημαντικότερες παραμέτρους του εδάφους και για αυτόν τον λόγο έχουν αναπτυχθεί πολλές έρευνες. Η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας σε πολλές περιπτώσεις, όπως παραδείγματος η παγκόσμια κλιματική αλλαγή, οι υδρολογικές και γεωργικές διεργασίες και η αστική χρήση γης, κάλυψη γης. Η

παρούσα έρευνα, μελετά και παρουσιάζει έναν αλγόριθμο για την αυτόματη χαρτογράφηση της θερμοκρασίας του εδάφους ώστε να απαλειφτούν ή έστω να μειωθούν τα προβλήματα με την χρήση του τελευταίου μέχρι στιγμής εκτοξευμένου δορυφόρου, Landsat 8 και πάρθηκαν δεδομένα για την κατανόηση των γεγονότων στη Γη μέσω τηλεπισκόπησης. Ο αλγόριθμος που αναπτύχθηκε είναι σχετικά απλός και δεν απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις για να υπάρχει εύκολη και συνεχής χρήση από πολλούς οι επιστήμονες στις έρευνες τους. Οι περιοχές μελέτης της εφαρμογής ήταν οι καναδικές επαρχίες του Οντάριο και Κεμπέκ και έγινε η επιλογή αυτών επειδή πληρούσαν τις προδιαγραφές, περιέχουν δηλαδή νερό, αστικές περιοχές και περιοχές με βλάστηση. Έγινε λήψη μίας δορυφορικής εικόνας για καθεμία από τις δύο αυτές επαρχίας. Πιο συγκεκριμένα ανακτήθηκαν δεδομένα για τις περιοχές Τορόντο και Μονκτον και οι δορυφορικές εικόνες για τις περιοχές αυτές ανακτήθηκαν στις 02/05/2015 και 04/06/2015 αντίστοιχα. Τα ωριαία δεδομένα για τις περιοχές μελέτης στον Καναδά συλλέχθηκαν από την ιστοσελίδα καιρού και μετεωρολογίας και ήταν σημαντικά για την σύγκριση τους με το LST.

Αν και έχει αναπτυχθεί μια μέθοδος ανάκτησης LST για το Landsat 8 απαιτείται και ένα εργαλείο το οποίο θα απλοποιεί την περίπλοκη διαδικασία απόκτησης των τιμών LST. Ο αλγόριθμος αυτός αναπτύχθηκε με δεδομένα Landsat 8. Για να επαληθευτεί ο αλγόριθμος αυτός χρησιμοποιήθηκαν δύο διαφορετικές περιπτώσεις, συγκρίθηκαν η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους και η θερμοκρασία του αέρα.

1.7.4.2 Δεδομένα και μεθοδολογία

Ο αλγόριθμος δημιουργήθηκε στο πρόγραμμα ERDAS IMAGINE 2014 και δίνει την δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί για την επεξεργασία δεδομένων από τον δορυφόρο Landsat 8 λόγω της πολυπλοκότητας των δεδομένων του. Όπως έχει αναφερθεί τα δεδομένα του Landsat 8 υπάρχουν διαθέσιμα και δωρεάν στον ιστότοπο του Earth Explorer. Το εργαλείο αυτό έχει την δυνατότητα υπολογισμού του LST μιας εικόνας από τον δορυφόρο Landsat 8 χρησιμοποιώντας το κόκκινο μήκος κύματος, το κοντινό υπέρυθρο μήκος κύματος, τον θερμικό υπέρυθρο αισθητήρα (TIRS). Η ζώνη TIR 10 χρησιμοποιείται για την εκτίμηση της θερμοκρασίας και οι ζώνες 4 και 5 για τον υπολογισμό του δείκτη NDVI.

Το πρώτο βήμα που ακολουθείται στον αλγόριθμο είναι η εφαρμογή της ζώνης 10 και στην συνέχεια ο υπολογισμός της ανάκτησης της κορυφής του ατμοσφαιρικού φάσματος ακτινοβολίας με την χρήση του παρακάτω τύπου:

$$L\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L - O_i,$$

όπου:

M_L : πολλαπλασιαστικός παράγοντας επανασύνδεσης για τη συγκεκριμένη ζώνη,

Q_{cal} : είναι η ζώνη 10 της εικόνας,

A_L : πρόσθετος συντελεστής επανασύνδεσης για συγκεκριμένη ζώνη

O_i : είναι η διόρθωση για τη ζώνη 10

Επόμενο βήμα είναι η μετατροπή ακτινοβολίας σε θερμοκρασία αισθητήρα. Μετά από την μετατροπή των ψηφιακών αριθμών (DN) σε ανάκλαση, πρέπει να γίνει η μετατροπή της φασματικής ακτινοβολίας σε θερμοκρασία φωτεινότητας (BT) χρησιμοποιώντας όμως τις θερμικές σταθερές οι οποίες υπάρχουν στο αρχείο μεταδεδομένων και παρουσιάζονται στον πίνακα 7. Η μετατροπή της ανάκλασης σε BT γίνεται με την χρήση του παρακάτω τύπου:

$$BT = \frac{K_2}{\ln [(K_1/L\lambda) + 1]} - 273.15,$$

Πίνακας 7: **Μεταδεδομένα των δορυφορικών εικόνων.**

	Thermal constant, Band 10	
K_1		1321.08
K_2		777.89
	Rescaling factor, Band 10	
M_L		0.000342
A_L		0.1
	Correction, Band 10	
O_i		0.29

Πηγή: Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data.

Στην συνέχεια γίνεται υπολογισμός του δείκτη NDVI για τη διόρθωση της εκπομπής. Χρησιμοποιήθηκαν ορατές και κοντινές υπέρυθρες ζώνες Landsat για τον υπολογισμό του δείκτη NDVI. Η σημασία της εκτίμησης του NDVI είναι απαραίτητη αφού η ποσότητα της βλάστησης που υπάρχει στο έδαφος είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την θερμοκρασία.

$$NDVI = \frac{NIR (band 5) - R (band 4)}{NIR (band 5) + R (band 4)}$$

NIR: εγγύς υπέρυθρο (ζώνη 5)

R: κόκκινη ζώνη (Ζώνη 4).

Αφού υπολογιστεί ο δείκτης NDVI στη συνέχεια θα υπολογιστεί και το ποσοστό βλάστησης (PV). Ο υπολογισμός αυτός γίνεται χρησιμοποιώντας τον παρακάτω τύπο:

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_s}{NDVI_v - NDVI_s} \right)^2$$

Η τιμή για τις επιφάνειες με βλάστηση είναι συνήθως 0,5, επειδή όμως όπως είναι γνωστό οι τιμές του δείκτη NDVI διαφέρουν από περιοχή σε περιοχή ακόμη και αυτή η τιμή μπορεί να είναι πολύ χαμηλή. Οι τιμές που πάρθηκαν στην παρούσα έρευνα ήταν $NDVI_v = 0,5$ και $NDVI_s = 0,2$.

Επιπρόσθετα για να μπορούν να εκτιμηθούν οι τιμές LST πρέπει να είναι γνωστή η εκπομπή της επιφάνειας του εδάφους. Η εκπομπή λοιπόν υπολογίζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\varepsilon_\lambda = \varepsilon_{v\lambda} P_v + \varepsilon_{s\lambda} (1 - P_v) + C_\lambda$$

ε_v : βλάστηση εδάφους

ε_s : εκπομπή εδάφους,

C : τραχύτητα επιφάνειας ($C = 0$ για ομοιογενείς και επίπεδες επιφάνειες) λαμβάνονται ως σταθερή τιμή 0,005

Όταν η τιμή του NDVI είναι μικρότερη του 0 τότε ταξινομείται ως νερό και κατ' επέκταση επιλέγεται η τιμή εκπομπής 0,991. Για τιμές μεταξύ 0 και 0,2 του NDVI η περιοχή θεωρείται πως είναι καλυμμένη από χόμα και ορίζεται ως τιμή εκπομπής 0,996. Για τιμές μεταξύ 0,2 και 0,5 θεωρείται ένα μείγμα εδάφους και βλάστησης. Τέλος για τιμές του NDVI μεγαλύτερες από 0,5, η περιοχή καλύπτεται από βλάστηση και η τιμή εκπομπής που παίρνει είναι 0,973.

Πίνακας 8: Εκπομπή αντιπροσωπευτικών επίγειων δειγμάτων για το Landsat 8 της ζώνης 10.

Terrestrial material	Water	Building	Soil	Vegetation
Emissivity	0.991	0.962	0.966	0.973

Πηγή: Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data.

Το τελευταίο βήμα επικύρωσης της LST ή της διορθωμένης εκπομπής θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους T_s υπολογίζεται:

$$T_s = \frac{BT}{\{1 + [(\lambda BT/\rho) \ln \epsilon_\lambda]\}},$$

Όπου:

T_s : LST σε βαθμούς Κελσίου °C,

BT: αισθητήρας BT °C,

λ : μήκος κύματος εκπεμπόμενης ακτινοβολίας $\lambda = 10.895$

ϵ_λ : εκπομπή της επιφάνειας του εδάφους

Για τον υπολογισμό του ρ τις πιο πάνω εξίσωσης χρησιμοποιείται ο τύπος:

$$\rho = \frac{hc}{\sigma} = 1.438 \times 10^{-2} \text{ m K},$$

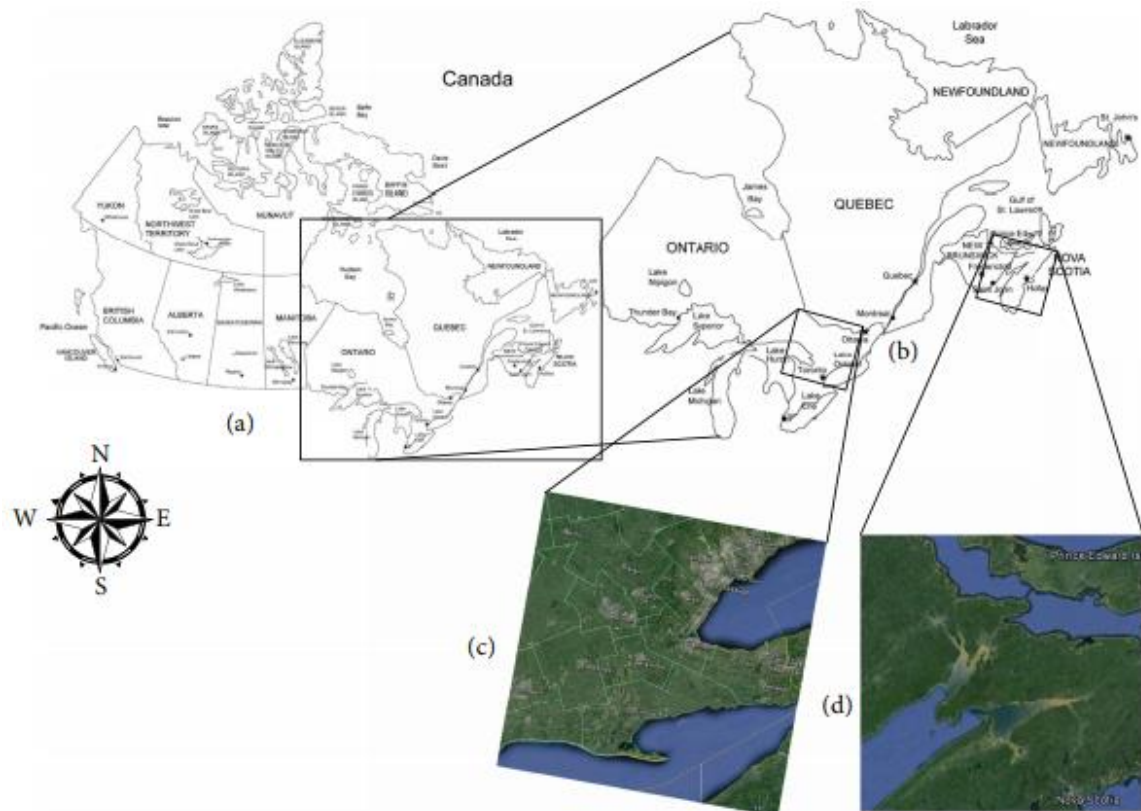
Όπου:

σ : σταθερά Boltzmann ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$),

h : σταθερά Planck ($6,626 \times 10^{-34} \text{ Js}$)

c : ταχύτητα φως ($2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$)

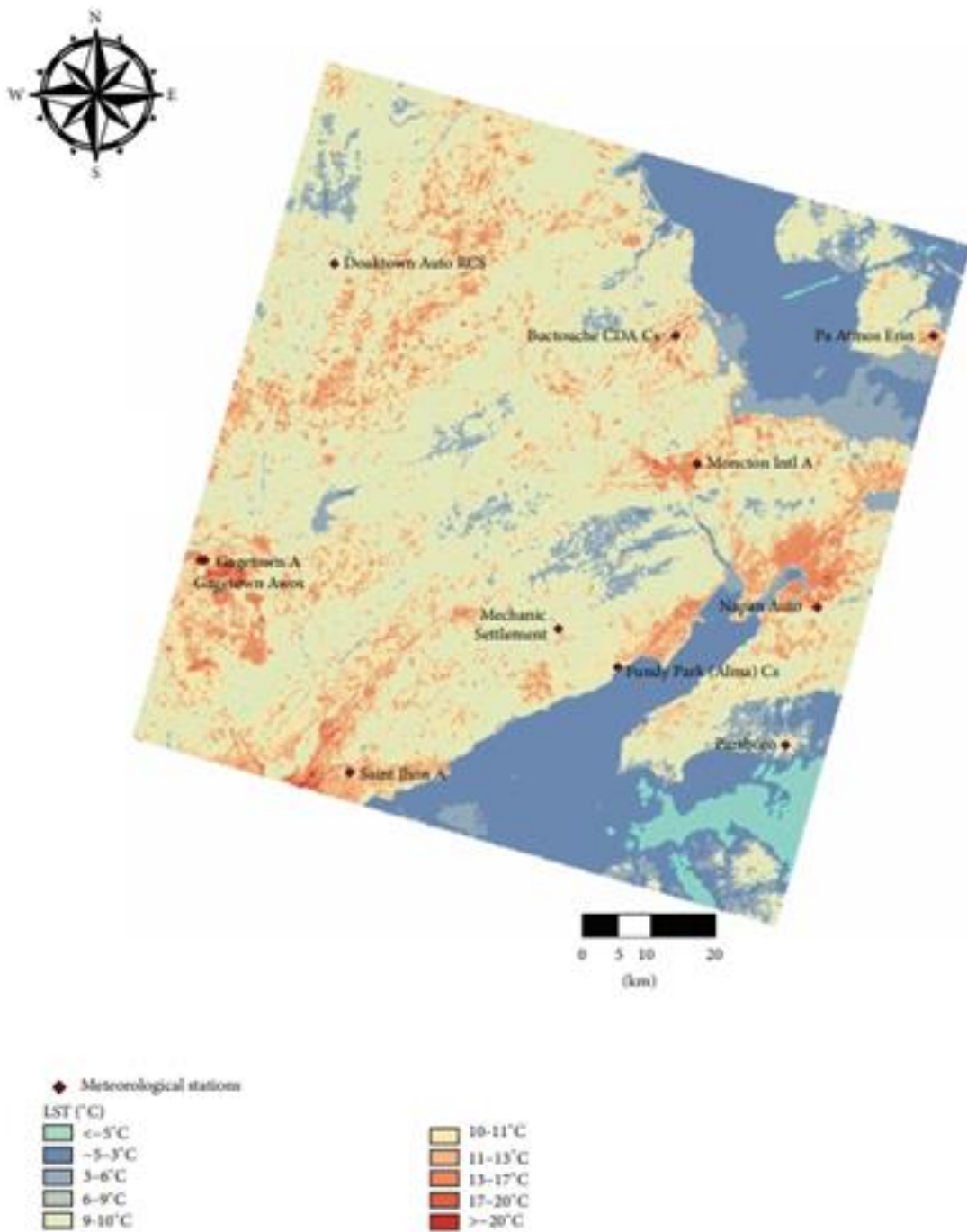
Τα δύο μοντέλα επικύρωσης LST γίνονται μέσω μετρήσεων του εδάφους ή μέσω της θερμοκρασίας του αέρα που βρίσκεται κοντά στην επιφάνεια. Συγκρίνοντας τα αποτελέσματα LST με αυτά των μετρήσεων του εδάφους υπάρχει πιθανότητα να υπάρχει διαφορά-σφάλμα μέχρι και 5°C . Επιπρόσθετα η άλλη μέθοδος που χρησιμοποιεί τη θερμοκρασία του αέρα στην κοντινή επιφάνεια για την επαλήθευση των ανακτημένων αποτελεσμάτων έδειξε πως το σφάλμα μπορεί να είναι περίπου $0,7^\circ \text{C}$. Επιπρόσθετα σε περίπτωση μεγαλύτερου όγκου δεδομένων λαμβάνεται υπόψη και η πραγματική θερμοκρασία στο δεδομένο εικονοστοιχείο από το οποίο περνά ο δορυφόρος. Για την συγκεκριμένη περίπτωση λήφθηκαν 27 αντιπροσωπευτικά σημεία. Η τιμή LST υπολογίστηκε για το εικονοστοιχείο στο οποίο «χτύπησε» ο μετεωρολογικός σταθμός. Κάποιες φορές όμως υπάρχουν διαφορές στο καταγεγραμμένο σήμα αφού επηρεάζεται από διάφορους παράγοντες όπως παραδείγματος χάρη οι καιρικές συνθήκες.



Διάγραμμα 36: (α) γεωγραφική θέση του Οντάριο και του Quebec, στον Καναδά (β) περιοχές μελέτης κάθε επαρχίας (γ) πρώτη υπόθεση που βρίσκεται μεταξύ Τορόντο και Χάντσβιλ (δ) δεύτερη περίπτωση που βρίσκεται στη γύρω περιοχή της πόλης του Moncton.

2.7.4.3 Αποτελέσματα και Συμπεράσματα

Μετά τη λήψη των δορυφορικών εικόνων, τα LST ανακτήθηκαν στο ERDAS χρησιμοποιώντας τον αλγόριθμο που παρουσιάζεται σε αυτή την εφαρμογή. Στην πρώτη περίπτωση, η δορυφορική εικόνα εντοπίστηκε μεταξύ του Τορόντο και της πόλης Χάντσβιλ κοντά στη λίμνη Simcoe στο Οντάριο, του Καναδά. Για αυτήν την περιοχή, βρέθηκαν 20 μετεωρολογικοί σταθμοί, αλλά μόνο 16 από αυτούς μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για αξιολόγηση της ακρίβειας αφού οι υπόλοιποι είχαν προβλήματα λόγω της παρουσίας σύννεφων. Όλες οι διαφορές μεταξύ των ανακτημένων LST και των θερμοκρασιών του αέρα μαζί με τις σχετικές τους πληροφορίες παρουσιάζονται στον πίνακα 9.



Διάγραμμα 38: Εικόνα LST με μετεωρολογικούς σταθμούς από την δεύτερη περιοχή μελέτης.

Πίνακας 9: Λεπτομέρειες και διαφορές του σταθμού από την πρώτη περίπτωση μελέτης.

ST name	Data 12pm	LST	Difference	Latitude	Longitude	H
Barrie-Oro	19.9	20.9	-1.0	44°29'00.000"	79°33'00.000"	289.00 m
Pa Hardwood Mountain Bike Park	19.2	24.9	-5.7	44°31'08.900"	79°35'24.200"	334.50 m
Borden Awos	20.0	20.7	-0.7	44°16'20.000"	79°54'42.000"	222.50 m
Pa Udora Strong	19.8	22.3	-2.5	44°15'03.600"	79°12'18.300"	266.50 m
Lagoon City	10.7	9.2	1.5	44°32'50.000"	79°13'00.000"	220.70 m
Collingwood	13.8	18.7	-4.9	44°30'00.000"	80°13'00.000"	179.80 m
Mono Centre	19.1	18.4	0.7	44°01'56.100"	80°01'28.010"	436.00 m
Uxbridge West	19.4	22.3	-2.9	44°05'54.000"	79°09'49.020"	325.00 m
Pa Uxbridge Taris	19.7	23.2	-3.5	44°03'16.000"	79°06'55.000"	359.50 m
Pa Atmos Vaughan	20.9	17.9	3.1	43°51'47.700"	79°32'28.900"	254.00 m
Pa Angus Glen Golf Club	20.4	23.3	-2.9	43°54'29.800"	79°19'23.400"	230.50 m
Toronto Buttonville A	21.2	23.3	-2.1	43°51'44.000"	79°22'12.000"	198.10 m
Pa Claremont Silo Farm	19.8	21.8	-2.0	43°59'37.900"	79°05'43.900"	263.50 m
Pa Markham North Toyota	21.6	27.4	-5.8	43°49'01.000"	79°20'33.810"	187.50 m
Pa Atmos Claremont	21.5	23.5	-2.0	43°56'09.800"	79°05'05.400"	167.00 m
Pa Atmos Erin	19.8	21.6	-1.8	43°49'33.620"	80°07'12.840"	470.00 m

Πηγή: Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data.

Πίνακας 10: Λεπτομέρειες και διαφορές του σταθμού από την δεύτερη περίπτωση μελέτης

ST name	Data 11pm	LST	Difference	Latitude	Longitude	H
Mechanic Settlement	8.4	8.6	-0.2	45°41'37.040"	65°09'54.040"	403.00 m
Moncton Intl A	15.3	14.3	1.0	46°06'44.000"	64°40'43.000"	70.70 m
Fundy Park (Alma) Cs	12.4	10.2	2.2	45°36'00.000"	64°57'00.000"	42.70 m
Buctouche Cda Cs	15.1	14.9	0.2	46°25'49.006"	64°46'05.009"	35.90 m
Nappan Auto	15.4	13.3	2.1	45°45'34.400"	64°14'29.200"	19.80 m
Doaktown Auto Rcs	15.9	11.5	4.4	46°35'06.090"	66°00'35.071"	43.00 m
Saint John A	15.1	12.5	2.6	45°18'58.000"	65°53'24.000"	108.80 m
Parrsboro	15.9	8.1	7.8	45°24'48.000"	64°20'49.000"	30.90 m
Gagetown A	15.0	10.2	4.8	45°50'00.000"	66°26'00.000"	50.60 m
Gagetown Awos A	16.3	18.6	-2.3	45°50'20.000"	66°26'59.000"	/
Summerside	13.9	11.7	2.2	46°26'28.000"	63°50'17.000"	12.20 m

Πηγή: Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data.

Η μελέτη αυτή παρουσίασε ένα νέο εργαλείο λογισμικού LST και έναν αλγόριθμο ο οποίος δημιουργήθηκε για τον υπολογισμό του LST με την χρήση δεδομένων από τον δορυφόρο Landsat 8. Ακολουθώντας όλα τα βήματα της μεθοδολογίας εξάχθηκαν

κάποια συμπεράσματα. Από την ανάλυση των δύο περιοχών στον Καναδά από δύο διαφορετικές ημερομηνίες, η τυπική απόκλιση που υπολογίστηκε για την πρώτη περίπτωση σε 16 μετεωρολογικούς σταθμούς ήταν $2,4^{\circ}\text{C}$, και για την δεύτερη περίπτωση που βασίστηκε σε 11 διαφορετικούς μετεωρολογικούς σταθμούς ήταν $2,7^{\circ}\text{C}$. Είναι σημαντικό να σημειωθεί όπως μερικές φορές η διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας της κοντινής επιφάνειας και του LST μπορεί να έχει καθοριστικά αποτελέσματα αφού συγκρίνονται δύο διαφορετικές θερμοκρασίες σε διαφορετικά μέρη. Θα πρέπει επίσης να ληφθεί υπόψη ότι η ανάλυση των δεδομένων Landsat 8 TIRS είναι 100m για τη θερμική ζώνη και 30m για το κόκκινο και το κοντινό υπέρυθρο.

Επιπρόσθετα για τιμές μικρότερες από -5°C και στις δύο περιπτώσεις θεωρήθηκαν ως σύννεφα ή άλλα ανεπιθύμητα συμβάντα στις δορυφορικές εικόνες αφού τα δεδομένα αυτά πάρθηκαν από σχετικά ζεστούς μήνες, Μάιο και Ιούνιο και δεν αναμένονταν τέτοιες τιμές. Αναλύοντας τα αποτελέσματα από τους πίνακες συμπεραίνεται πως για την πρώτη περίπτωση η μικρότερη διαφορά που ανακτήθηκε από το εργαλείο που παρουσιάστηκε ήταν $0,7^{\circ}\text{C}$ η μικρότερη και $5,8^{\circ}\text{C}$ η πιο μεγάλη. Στη δεύτερη περίπτωση της μελέτης, η μικρότερη διαφορά ήταν $0,2^{\circ}\text{C}$ και η μεγαλύτερη ήταν $7,8^{\circ}\text{C}$. Όπως συμπεραίνεται το εργαλείο αυτό έδωσε αρκετά καλά αποτελέσματα, λαμβάνοντας υπόψη ότι η αξιολόγηση της ακρίβειας και οι συγκρίσεις έγιναν με θερμοκρασίες κοντά στον αέρα. Εν κατακλείδι ο αλγόριθμος αυτός αναδεικνύεται ως πολύ σημαντικός κυρίως για μελλοντικές έρευνες αφού δίνει την ευκαιρία και σε άλλους ερευνητές να υπολογίσουν με μεγαλύτερη ευκολία τις τιμές LST και να τις εφαρμόσουν είτε σε δικές τους έρευνες, είτε να είναι η αφορμή για ένα καινούργιο ξεκίνημα ερευνών. Για μελλοντικές μελέτες, το εργαλείο έχει την δυνατότητα να τελειοποιηθεί με επιτόπιες μετρήσεις του LST.

3 Σχολιασμός και Κριτική Σκέψη

Στην παρούσα διπλωματική εργασία πραγματοποιήθηκε βιβλιογραφική ανασκόπηση των δεικτών βλάστησης με την χρήση δεδομένων από τις εικόνες του δορυφόρου Landsat 8. Ο αρχικός στόχος της εργασίας αυτής επιτεύχθηκε με τον πιο δυνατό τρόπο εν μέσω τεράστιων δυσκολιών. Έγινε εκτεταμένη ανασκόπηση για την εκτόξευση και την αποστολή του δορυφόρου Landsat 8 αναλύοντας τα όργανα που διαθέτει, τα φασματικά του κανάλια και την ελεύθερη παροχή των δεδομένων του η οποία συνεχίζει τις αποστολές Landsat της NASA. Για να μπορεί να γίνει ο συνδυασμός των δεδομένων του Landsat 8 με τους δείκτες της τηλεπισκόπησης έπρεπε να γίνει και αναλυτική έρευνα. Όπως έχει αναφερθεί αρκετές φορές η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης έχει ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών οι οποίες χρησιμοποιούνται για την επίλυση διάφορων προβλημάτων και ταυτόχρονα για διάφορους σκοπούς. Οι δείκτες βλάστησης είναι μια σημαντική τεχνική φασματικής ενίσχυσης των εικόνων της Τηλεπισκόπησης η οποία έχει ως βασικό στόχο της ανάλυση και ερμηνεία της βλάστησης, η σύνθεση της οποίας εμφανίζονται στο ορατό και στο κοντινό υπέρυθρο του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Έχουν δημιουργηθεί πολλοί και διαφορετικοί δείκτες για πρακτικούς κυρίως λόγους και χωρίζονται σε κατηγορίες με κριτήριο την εφαρμογή τους. Υπάρχουν δείκτες που σχετίζονται με την βλάστηση, το νερό και τις κατοικημένες περιοχές.

Αναλύοντας όλα τα πιο πάνω πως οι δείκτες είναι βασικό κομμάτι στην Τηλεπισκόπηση και μετά την έρευνα και την εύρεση διάφορων εφαρμογών τους αυτό είναι πλέον αναμφισβήτητο. Η έρευνα των εφαρμογών ήταν συγκεκριμένη αφού έπρεπε να μελετηθούν εφαρμογές δεικτών βλάστησης με την χρήση δεδομένων της τελευταίας μέχρι τώρα αποστολής της NASA. Κατά την διάρκεια της έρευνα εντοπίστηκαν χιλιάδες εφαρμογές των δεικτών βλάστησης με κάποιες από αυτές να μην τηρούν τα κριτήρια της παρούσας έρευνας και άλλα να τα τηρούν πλήρως. Η κάθε εφαρμογή μελετήθηκε προσεκτικά έτσι ώστε να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα από την κάθε μια και ταυτόχρονα ένα γενικό συμπέρασμα από όλες αυτές.

Στην πρώτη εφαρμογή ο σκοπός της ήταν η αναλυτική μελέτη θερμοκρασίας επιφάνειας εδάφους χρησιμοποιώντας τους δείκτες NDVI και NDBI χρησιμοποιώντας δεδομένα Landsat 8 OLI και TIRS στην πόλη της Φλωρεντίας και της Νάπολης, στην Ιταλία. Μετά την μελέτη και την ανάλυση της εφαρμογής τα αποτελέσματα

παρουσιάστηκαν σε χάρτη των περιοχών μελέτης με ταξινόμηση των χρωμάτων. Με γνώμονα τα αποτελέσματα συμπεραίνεται το γεγονός πως και οι δύο πόλεις έχουν σχεδόν παρόμοιο φάσμα στατιστικών στοιχείων αφού οι μέσες τιμές τους είναι σχετικά κοντά. Το LST με τον δείκτη NDBI έχουν μια ανάλογη σχέση σε αντίθεση με τον δείκτη NDVI που είναι αντιστρόφως ανάλογη. Επιπρόσθετα συμπεραίνεται πως το LST αυξάνεται με την αύξηση της κατοικημένης περιοχής και των γυμνών εκτάσεων ενώ μειώνεται με την αύξηση των δασών, των καλλιεργήσιμων εκτάσεων, των υδροτόπων και των υδάτινων σωμάτων. Τέλος με το πέρας της μελέτης αυτής αναπτύσσονται και εγείρονται διάφορα ζητήματα για την οικολογία και μέσω επιπρόσθετων εφαρμογών θα παρουσιαστεί μια πιο ολοκληρωμένη άποψη έτσι ώστε να γίνουν βήματα βελτίωσης της κατάστασης πριν αυτό να είναι ακατόρθωτο.

Η δεύτερη εφαρμογή έχει ως σκοπό τον απλό υπολογισμό των δεικτών NDVI και SAVI με την χρήση δεδομένων Landsat 8. Η συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχθηκε για την μελέτη αυτή ως μια απλά εφαρμογή για να μπορεί να γίνει πιο εύκολα κατανοητή η χρήση των δεικτών και πως αυτή γίνεται. Επίσης η εφαρμογή αυτή παρουσίασε με ποια βήματα γίνεται η μελέτη και τέλος παρουσίασε τα αποτελέσματα μέσω χαρτών με διαφορές χρωμάτων για την παρουσίαση των τιμών που υπολογίστηκαν από τους δείκτες.

Η τρίτη εφαρμογή ασχολείται με την μοντελοποίηση της συμπεριφοράς των δεικτών βλάστησης στον αλατισμένο θόλο της Κορσίας στο βορειοανατολικό τμήμα του Νταράμπ, Fars, του Ιράν. Η μελέτη αυτή δημιουργήθηκε για τον εντοπισμό εργαλείων ώστε να γίνεται η αξιολόγηση της συνεχείς αύξησης της αλάτωσης του εδάφους. Για την μελέτη αυτή έγινε χρήση πολλών δεικτών. Ο κάθε δείκτης παρουσίασε τα δικά του αποτελέσματα έτσι ώστε να επιλεγεί ο πιο κατάλληλος. Μετά από την δημιουργία των γραφικών παραστάσεων αποδείχτηκε πως οι πιο καλοί δείκτες θεωρούνται οι EVI, GDVI, OSAVI και SAVI. Κρίνοντας την μελέτη αυτή αποδεικνύεται η σημαντικότητα των δεικτών στις διάφορες εφαρμογές και στην παρούσα που σχετίζεται με την αλατότητα του εδάφους το οποίο μπορεί να υποστεί ανεπανόρθωτες ζημιές με την ανεξέλεγκτη παρουσία άλατος.

Η τέταρτη εφαρμογή πραγματεύεται έναν αλγόριθμο για αυτόματη χαρτογράφηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας του εδάφους με την χρήση δορυφορικών δεδομένων από τον Landsat 8. Λόγω της μεγάλης σημαντικότητας της θερμοκρασίας του εδάφους

έχουν πραγματοποιηθεί πολλές μελέτες όμως η σημαντικότητα της συγκεκριμένης είναι ο νέος αλγόριθμος που παρουσιάζει αφού μέσω αυτού και της παρακολούθησης της θερμοκρασίας του εδάφους μπορούν να απαλειφτούν ή έστω να μειωθούν τα προβλήματα που πιθανόν να προκύπτουν από αυτή. Χρησιμοποιήθηκαν δύο μέθοδοι για την επιβεβαίωση του αλγορίθμου. Ακολουθώντας όλα τα βήματα της μεθοδολογίας για τον αλγόριθμο και με βάση τα αποτελέσματα που παρουσιάστηκαν, εξάχθηκαν κάποια συμπεράσματα. Κρίνοντας τα αποτελέσματα από τις δύο περιπτώσεις παρουσιάζονται κάποιες διαφορές, όμως παρόλα αυτά το εργαλείο έδωσε αρκετά καλά αποτελέσματα αν ληφθεί υπόψη πως οι συγκρίσεις έγιναν με θερμοκρασίες που ήταν κοντά στον αέρα.

Πρακτικά δεν μπορεί να υπάρξει απευθείας σύγκριση των αποτελεσμάτων αλλά και των συμπερασμάτων από τις εφαρμογές γιατί η κάθε μία πραγματεύεται κάτι διαφορετικό σχετικά με τους δείκτες. Το κοινό στοιχείο τους ήταν τα δεδομένα που λήφθηκαν από τον δορυφόρο Landsat 8, αφού ήταν και ένα βασικό κριτήριο για την επιλογή τους. Επίσης διαπιστώθηκε ότι ακόμη ένα κοινό τους στοιχείο είναι ο δείκτης βλάστησης NDVI και αυτό δεν είναι καθόλου παράξενο αφού θεωρείται ο πλέον διαδεδομένος δείκτης βλάστησης και χρησιμοποιείται πιο συχνά σε εφαρμογές.

Κρίνοντας όλες τις εφαρμογές και με βάση τα συμπεράσματα τους αυτό που γίνεται αντιληπτό είναι η ευρεία χρήση των δεικτών βλάστησης από διάφορους ερευνητές οι οποίοι έχουν ως στόχο την συνεχή μελέτη μέσω δορυφορικών δεδομένων. Ο συνδυασμός των δεικτών βλάστησης με τα δεδομένα από δορυφόρους είναι μια από τις βασικές εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης και αυτό αναμφισβήτητα θα συνεχιστεί και σε μελλοντικά στάδια.

4 Συμπεράσματα

Με το πέρας της παρούσας μελέτης τα συμπεράσματα που εξήχθησαν ήταν σημαντικά και σε κάποιες περιπτώσεις αναμενόμενα. Η μέθοδος με την χρήση των δεικτών βλάστησης είναι μια σχετικά εύκολη διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές σχετικά με την τηλεπισκόπηση, ως αυτούσια, δηλαδή η χρήση των δεικτών και μόνο αυτών για την εξαγωγή αποτελεσμάτων, και σε κάποιες περιπτώσεις ως ένα βήμα μεγαλύτερων μελετών. Επιπρόσθετα, για την ανάλυση των δορυφορικών δεδομένων μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλοί και διαφορετικοί δείκτες οι οποίοι πληρούν τα κριτήρια με αποτέλεσμα να επιλεγθούν οι κατάλληλοι για κάθε εφαρμογή. Πράγματι, η αξιολόγηση της συμπεριφοράς των δεικτών σε κάθε εφαρμογή είναι σημαντικό κομμάτι των ερευνών και καθορίζουν πλέον την χρήση τους, δηλαδή σε ποιες εφαρμογές μπορούν να χρησιμοποιηθούν και σε ποιες όχι. Οι ερευνητές έχουν την δυνατότητα να κάνουν επιλογή για τον πιο δείκτη βλάστησης θα χρησιμοποιήσουν ανάλογα με την χρήση και την έρευνα που διεξάγουν έτσι ώστε να δώσουν τα μέγιστα θετικά αποτελέσματα, και αυτό οφείλεται στην ευρεία ποικιλία δεικτών.

Ένα γενικό συμπέρασμα είναι πως η επιστήμη της τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τους δείκτες βλάστησης είναι σημαντική και βοηθά σε πολλούς τομείς όπως παραδείγματος χάρη στις καλύψεις γης, σε αρχαιολογικά κατάλοιπα και σε καλλιέργειες.

Ωστόσο, παρά τις ευρείες και συνεχές μελέτες και έρευνες υπάρχουν ακόμα πολλά που πρέπει να μελετηθούν αφού η ολοένα και ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας και ταυτόχρονα των δεδομένων από τους δορυφόρους που είναι διαθέσιμα προς ανάλυση αλλάζουν λόγω των καινούργιων πτυχών της τεχνολογίας αυτής. Όσο υπάρχει συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας πρέπει να υπάρχουν και συνεχές έρευνες σε κάθε τομέα της Τηλεπισκόπησης ώστε σε καμία περίπτωση να μην χάσει την μεγάλη αξία που κατέχει αυτή την στιγμή στην ανάλυση δεδομένων για μελέτη φαινομένων, εκτίμηση ζημιών και πολλές φορές πρόληψη από αυτές. Η μελέτη πολυπλοκότερων συνόλων δορυφορικών δεδομένων είναι απαραίτητη. Με άλλα λόγια όπως εξελίσσεται η τεχνολογία για την διευκόλυνση της ζωής του ανθρώπου έτσι οφείλει να εξελίσσεται και η επιστήμη της τηλεπισκόπησης με σκοπό την κατανόηση και των πιο ακραίων συμβάντων που συμβαίνουν στον κόσμο με τα οποία ασχολείται. Μια πιθανή πρόταση για μελλοντικούς στόχους είναι η ανάπτυξη και η δημιουργία καινούργιων δεικτών ή

ακόμη και η αναβάθμιση των υφιστάμενων. Επιπρόσθετα με την μελλοντική επιτυχημένη εκτόξευση ενός καινούργιου δορυφόρου της NASA, του Landsat 9, χωρίς καμία αμφιβολία θα συνεχιστεί η παροχή δωρεάν, ελεύθερων δεδομένων και έτσι νέες προκλήσεις και μελέτες θα αναπτυχθούν. Το βασικό ερώτημα που εγείρεται είναι κατά πόσο μπορεί ο ανθρώπινος νους θα καταφέρει να ακολουθήσει την ανεξέλεγκτη ανάπτυξη της τεχνολογίας και μαζί της τηλεπισκόπησης και κατά ποιόν τρόπο θα καταφέρει ο άνθρωπος να αναπτύξει καινούργιες τεχνικές ή να ενισχύσει τις είδη υπάρχουσες για να τον βοηθήσει σε μελλοντικά προβλήματα. Το ερώτημα αυτό θα απαντηθεί με την πάροδο των χρόνων, όμως το μόνο σίγουρο είναι πως για τα επόμενα τουλάχιστον χρόνια η τηλεπισκόπηση θα είναι ένα από τα σημαντικότερα εργαλεία στα χέρια του ανθρώπου.

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Μέσα από το πεδίο της έρευνας αποδείχτηκε πως η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης αποτελεί ένα πολύτιμο εργαλείο στα χέρια του σύγχρονου ανθρώπου και θα συνεχίσει να αποτελεί για τα επόμενα τουλάχιστον χρόνια. Η ευρεία χρήση της τηλεπισκόπησης δείχνει την σημαντικότητα της και όταν αυτή συνδυάζεται και με άλλες επιστήμες γίνεται ακόμη πιο ισχυρή και ικανή να επιλύσει διάφορα προβλήματα ή τουλάχιστον να μελετήσει επιπτώσεις. Ένα γενικό συμπέρασμα είναι πως η επιστήμη της τηλεπισκόπησης σε συνδυασμό με τους δείκτες βλάστησης είναι σημαντική και βοηθά σε πολλούς τομείς όπως παραδείγματος χάρη στις καλύψεις γης, σε αρχαιολογικά κατάλοιπα και σε καλλιέργειες. Στην πραγματικότητα οι επιδόσεις των δεικτών αφορούν και τον σκοπό της χρήσης τους, δηλαδή για τον λόγο τον οποίο σχεδιάστηκαν και δημιουργήθηκαν. Με βάση την προηγούμενη πρόταση συμπεραίνεται πως ένας δείκτης δεν είναι δυνατόν να ξεπεράσει όλες τις δυσκολίες που πιθανών να εμφανιστούν κατά την διάρκεια των ερευνών και αυτός είναι και ο βασικός λόγος που έχουν δημιουργηθεί τόσοι. Αυτό όμως δεν αναιρεί την μεγάλη σημαντικότητα που έχουν οι δείκτες βλάστησης στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Εν κατακλείδι, κάθε εφαρμογή των δεικτών είναι σημαντική γιατί δίνει κάποια αποτελέσματα είτε καλά είτε κάποιες φορές λιγότερο καλά, και αυτό θα βοηθήσει ή θα ανοίξει καινούργιους δρόμους για νέες μελέτες στο μέλλον από ερευνητές που θέλουν να ανακαλύψουν τρόπους βελτίωσης της ζωής του σύγχρονου ανθρώπου όπου αυτό είναι δυνατόν και να μελετήσουν κάθε είδος φαινομένου, νέου ή παλιού με την βοήθεια της τηλεπισκόπησης. Όσο υπάρχει η συνεχής ανάπτυξη της τεχνολογίας οφείλεται να υπάρχει και η συνεχής μελέτη και έρευνα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Agapiou A., Hadjimitsis D.G., Papoutsis Ch., Alexakis D., Papadavid G., 2011, “The Importance of Accounting for Atmospheric Effects in the Application of NDVI and Interpretation of Satellite Imagery Supporting Archaeological Research: The Case Studies of Palaepaphos and Nea Paphos Sites in Cyprus”, 3(12), 2605-2629.

Avdan U., Jovanovska G., 2016. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data, Hindawi Publishing Corporation, 2016 (1)1-8.

Birth, G.S. and McVey, G., 1968, Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectroradiometer, Agronomy Journal, 60, 640-643.

Campbell, B.J., 1996. Introduction to Remote Sensing. London: Taylor & Francis.

Chena X., Vierlinga L., Deering D., 2005. A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time, Remote Sensing of Environment, 98 (1) 63-79.

Clevers, J.P.G.W., 1988, The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of Leaf Area, Remote Sensing of Environment, 53 - 69.

Crisp, Center for Remote Imaging Sensing & Processing, Electromagnetic Radiation, Electromagnetic Waves, 2001. Διαθέσιμο στο:

<https://crisp.nus.edu.sg/~research/tutorial/em.htm>, Τελευταία πρόσβαση 15 Απριλίου 2020.

Department of the Interior U.S. Geological Survey, (2015), Landsat 8 (L8) Data Users Handbook, Sioux Falls, SD.

eo sharing earth observation resources, Landsat-8 / LDCM (Landsat Data Continuity Mission), 2000. Διαθέσιμο στο: <https://earth.esa.int/web/eoportal/satellite-missions/l/landsat-8-ldcm>, Τελευταία πρόσβαση 15 Απριλίου 2020.

ESA, Eduspace, Spectral signatures, 2015. Διαθέσιμο στο:

http://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_EN/SEMPNQ3Z2OF_0.html, Τελευταία πρόσβαση 7 Απριλίου 2020.

- ESA, Eduspace, Δείκτες βλάστησης, 2015. Διαθέσιμο στο:
https://www.esa.int/SPECIALS/Eduspace_Global_GR/SEMRTITWT1H_0.html,
Τελευταία πρόσβαση 15 Απριλίου 2020.
- Estes J., Kline K., Collins E., 2001, Remote Sensing, International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences, 13144-13150.
- Huete, A.R., 1988. A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI), Remote Sensing of Environment, 25 (3) 295-309.
- Huete A., Justice C., Leeuwen W., 1999, Modis Vegetation Index, Algorithm Theoretical Basis, University of Arizona.
- Irons J., Dwyer J., Barsic J., 2012. The next Landsat satellite: The Landsat Data Continuity Mission, Remote Sensing of Environment, 122 11-21.
- Jia K., Wei X., Gu X., Yao Y., Xie X., Li B., 2014. Land cover classification using Landsat 8 Operational Land Imager data in Beijing, China, Geocarto International, 29 (8) 941-951 .
- Kshetri T., 2018, NDVI, NDBI & NDWI Calculation Using Landsat 7, 8.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W. and Chipman, J., 2015. Remote Sensing and Image Interpretation, 7th ed., Wiley. NASA, Earth Observatory, 2015. Διαθέσιμο στο:
http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RemoteSensing/remote_05.php, Τελευταία πρόσβαση 7 Απριλίου 2020.
- Merchant, James W. "Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective." Cartography and Geographic Information Science, vol. 27, no. 4, 2000, p. 311. Gale Academic OneFile, Accessed 7 Apr. 2020.
- Mokarram, M., Hojjati, M., Roshan, G. et al, 2015, Modeling the behavior of Vegetation Indices in the salt dome of Korsia in North-East of Darab, Fars, Iran. Model. Earth Syst. Environ. 1, 27.
- NASA, Earth Observatory, 2015. Διαθέσιμο στο:
http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RemoteSensing/remote_05.php, Τελευταία πρόσβαση 7 Απριλίου 2020.

- NASA Landsat Science, Mission Details, Landsat 8. Διαθέσιμο στο:
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/landsat-data-continuity-mission/>, Τελευταία πρόσβαση 15 Απριλίου 2020.
- NASA Landsat Science, Thermal Infrared Sensor (TIRS), 1975. Διαθέσιμο στο:
<https://landsat.gsfc.nasa.gov/thermal-infrared-sensor-tirs/>, Τελευταία πρόσβαση 15 Απριλίου 2020.
- Pons X., Solé-Sugrañes L., 1994. A simple radiometric correction model to improve automatic mapping of vegetation from multispectral satellite data, *Remote Sensing of Environment*, 48 (2) 191-204.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A.R., Kerr, Y.H. and Sorooshian, A., 1994. A Modified Soil Adjusted Vegetation Index, *Remote Sensing of Environment*, 48 (2) 119-126.
- Richards, A.J., 1986. *Remote Sensing Digital Image Analysis-An Introduction*. Berlin, Heidelberg: SpringerVerlag.
- Richards, J., Xiuping, J., 1999. *Remote Sensing Digital Image Analysis, An Introduction*. Berlin: Springer Verlag.
- Richardson, A.J. and Wiegand, C.L., 1977. Distinguishing vegetation from soil background information.
- Roya P., Wulderb A., Lovelandc R., Woodcockd E., Allene G., Andersonf C., Helder D., Ironsh R., Johnsoni M., Kennedyd R., Scambosj A., Schaafk B., Schottl R., Shengm Y., Vermoten F., Belwardo S., Bindschadlerp R., Cohenq B., Zhud Z., 2014. Landsat-8: Science and product vision for terrestrial global change research, *Remote Sensing of Environment*, 145 154-172 .
- Satellite Imaging Corporation, LANDSAT 8 Satellite Sensor. Διαθέσιμο στο:
<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/landsat-8/>, Τελευταία πρόσβαση 15 Απριλίου 2020.
- Schroedera T., Cohenb W., Songc C., Cantyd M., Yanga Z., 2006. Radiometric correction of multi-temporal Landsat data for characterization of early successional forest patterns in western Oregon, *Remote Sensing of Environment*, 103 (1) 16-26.

- SEOS project: Introduction to Remote Sensing, 2015. Διαθέσιμο στο:
<http://www.seosproject.eu/modules/remotesensing/remotesensing-c01-p05.html>,
Τελευταία πρόσβαση 7 Απριλίου 2020.
- Shiamak Khorram, Frank H. Koch, Cynthia F. Wiele, Stacy A. C. Nelson, 2012.
“Remote Sensing.” Future Trends in Remote Sensing, Springer, New York Heidelberg
Dordrecht London, 131-135.
- Subhanil G., Himanshu G., Anindita D. & Neetu G, (2018) Analytical study of land
surface temperature with NDVI and NDBI using Landsat 8 OLI and TIRS data in
Florence and Naples city, Italy, European Journal of Remote Sensing, 51:1, 667-678.
- USGS science for a changing world, Landsat 8, 2013. Διαθέσιμο στο:
<https://pubs.usgs.gov/fs/2013/3060/pdf/fs2013-3060.pdf>, Τελευταία πρόσβαση 15
Απριλίου 2020.
- USGS science for a changing world, Landsat 8 Instruments, 2013. Διαθέσιμο στο:
[https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-
science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con](https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-8?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con), Τελευταία
πρόσβαση 15 Απριλίου 2020.
- «Διαχρονική μελέτη με τη χρήση του NDVI», ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ
ΔΑΣΟΛΟΓΩΝ, Ελληνική Κοινότητα Δασολόγων, [http://dasodata.gr/index.php/202-
ndvi](http://dasodata.gr/index.php/202-ndvi) , Τελευταία πρόσβαση 7 Απριλίου 2020.
- Καρτάλης, Κ., Φειδάς, Χ., (2006), Αρχές και εφαρμογές της δορυφορικής
τηλεπισκόπησης. Αθήνα: Εκδόσεις ΓΚΙΟΥΡΔΑΣ.
- Μερτίκας, Π.Σ., 1999. Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας. Αθήνα: ΙΩΝ.
- Μερτίκας Σ., 2006. Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή Ανάλυση Εικόνας. Αθήνα: ΙΩΝ.
- Μηλιάρης, Γ., 2003. Φωτοερμηνεία - Τηλεπισκόπηση, Αθήνα: Ίων.
- Μπαντέκας, Ι., 1980. Φωτογραμμετρία, τόμος Ι. 2η έκδ., Αθήνα: Γραφικάί Τέχνη
«ΑΤΤΙΚΑ».
- Μουσιάδης Α, Περάκης Κ, Φαρασλής Ι, (2015), “ Η Τηλεπισκόπηση σε 13
ενότητες.”. Αθήνα: Σύνδεσμος Ελληνικών Ακαδημαϊκών Βιβλιοθηκών.

Περάκης, Κ., 1999. Φωτοερμηνεία και Τηλεπισκόπηση. Βόλος: Πανεπιστημιακές Εκδόσεις Θεσσαλίας.

«Τηλεπισκόπηση», ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΚΟΙΝΟΤΗΤΑ ΔΑΣΟΛΟΓΩΝ, Ελληνική Κοινότητα Δασολόγων, <http://dasodata.gr/index.php/doryforiki-tilepiskopisi> , Τελευταία πρόσβαση 7 Απριλίου 2020.