



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**

**ΤΜΗΜΑ ΧΗΜΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

**ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**“ΧΑΡΤΟΓΡΑΦΗΣΗ ΤΩΝ ΧΩΡΟΧΡΟΝΙΚΩΝ ΔΙΑΚΥΜΑΝΣΕΩΝ ΤΗΣ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ  
ΠΟΙΟΤΗΤΑΣ ΣΤΟ ΝΗΣΙ ΤΗΣ ΚΡΗΤΗΣ ΚΑΙ ΣΥΣΧΕΤΙΣΗΣ ΤΗΣ ΜΕ  
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ”**

**ΛΕΜΠΕΣΗΣ ΦΩΤΗΣ**

**Τριμελής εξεταστική επιτροπή:**

1. Ανδρονίκη Τσουχλαράκη
2. Δημήτρης Αλεξάκης
3. Πέτρος Γκίκας

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για μη κερδοσκοπικό σκοπό, εκπαιδευτικού ή ερευνητικού χαρακτήρα, με την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για άλλη χρήση θα πρέπει να απευθύνονται προς το συγγραφέα. Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Πολυτεχνείου Κρήτης.

## ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας, θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους συνέβαλαν καθοριστικά στην υλοποίηση και ολοκλήρωσή της. Αρχικά, ευχαριστώ θερμά τον Δρ. Αλεξάκη Δημήτρη, Κύριο Ερευνητή στο Ινστιτούτο Μεσογειακών Σπουδών, του Ιδρύματος Τεχνολογίας και Έρευνας (ΙΜΣ/ΙΤΕ) για την πολύτιμη βοήθεια και συνεργασία που μου προσέφερε, στο σχεδιασμό και την υλοποίηση της ερευνητικής μεθοδολογίας της ερευνητικής εργασίας ιδιαίτερα στην κατανόηση και εφαρμογή του λογισμικού GIS, που αποτέλεσε βασικό εργαλείο για την εργασία μου.

Θα ήθελα επίσης να ευχαριστήσω πάρα πολύ την επιβλέπουσα καθηγήτριά μου, κα. Ανδρονίκη Τσουχλαράκη, για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε, την καθοδήγηση και την υποστήριξή της καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της εργασίας μου. Η βοήθειά της υπήρξε ανεκτίμητη σε όλα τα στάδια της έρευνας. Παράλληλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον υπ. Διδάκτορα του ΙΜΣ/ΙΤΕ κ. Γιώργο Λαμπρόπουλο για την βοήθεια του. Η συμβολή του υπήρξε καθοριστική για την επιτυχή ολοκλήρωση της έρευνάς μου.

Επιπλέον, ευχαριστώ τα μέλη της εξεταστικής επιτροπής, την κα. Ανδρονίκη Τσουχλαράκη, τον κ. Αλεξάκη Δημήτρη και τον κ. Γκίκα Πέτρο για την προθυμία τους να συμμετάσχουν στην αξιολόγηση της διπλωματικής μου εργασίας. Η υποστήριξή τους αποτελεί τιμή για εμένα και την προσπάθειά μου.

Τέλος, εκφράζω την ευγνωμοσύνη μου στην οικογένειά μου και τους φίλους μου για την μεγάλη υποστήριξη και ενθάρρυνση που μου παρείχαν καθ' όλη τη διάρκεια της εκπαιδευτικής μου διαδρομής. Χωρίς τη δική τους συνεισφορά, η ολοκλήρωση αυτής της προσπάθειας θα ήταν πολύ πιο δύσκολη.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία αφορά στην χαρτογράφηση αλλά και στη αξιολόγηση της οικολογικής ποιότητας του νησιού της Κρήτης με την χρήση των συνδυασμό των δύο τεχνικών της τηλεσκοπικής και της γεωχωρικής ανάλυσης. Ο κύριος σκοπός της μελέτης μας είναι να αναδείξουμε τόσο τις χωρικές όσο και τις χρονικές διαφοροποιήσεις στην οικολογική ποιότητα και να αναλύσουμε τις σχέσεις μεταξύ του Δείκτη Τηλεπισκόπησης Οικολογικής Ποιότητας (RSEI) και περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως το υψόμετρο, η κλίση του εδάφους και οι χρήσεις γης και το οδικό δίκτυο. Η ανάλυση βασίστηκε σε δορυφορικά δεδομένα, τα οποία επεξεργάστηκαν και αναλύθηκαν με τη χρήση λογισμικών γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών (GIS), όπως το QGIS και το ArcGIS. Οι βασικοί δείκτες που χρησιμοποιήθηκαν για την εργασία περιλαμβάνουν τον NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), τον WET (Wetness Index), τον LST (Land Surface Temperature) και τον NDBSI (Normalized Difference Built-up Soil Index). Οι δείκτες αυτοί μας παρέχουν πληροφορίες για τη βλάστηση, την υγρασία, τη θερμοκρασία της επιφάνειας και τις αστικές περιοχές και συμβάλλουν στη συνολική εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης.

Η μέθοδος για την κατασκευή των τελικών δεικτών ξεκίνησε με την κανονικοποίηση των αρχικών δεικτών στο εύρος τιμών ( από 0 έως 1 )και τη δημιουργία του RSEI. Έπειτα πραγματοποιήθηκε χωρική ανάλυση για τη συσχέτιση του RSEI με το υψόμετρο και τη κλίση του εδάφους, μέσω της δημιουργίας χαρτών (DEM ,SLOPE) και την δημιουργία πινάκων συσχέτισης αυτών των δύο. Επιπλέον, αναλύθηκαν οι σχέσεις του δείκτη με τις χρήσεις γης χωρίζοντας το νησί σε έξι κύριες κατηγορίες: δασικές εκτάσεις (Trees), αστικές περιοχές (Built Area), καλλιέργειες (Crops), υδάτινες επιφάνειες (Water), βοσκοτόπια (Rangeland) και γυμνό έδαφος (Bare Soil). Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε για πέντε διαδοχικά έτη μελέτης (2014,2016, 2018, 2020, 2022), ώστε να αξιολογηθούν οι διαχρονικές αλλαγές στην οικολογική ποιότητα.

Η επεξεργασία των δεδομένων έγινε κυρίως με την βοήθεια του προγράμματος του excel ενώ οι χάρτες δημιουργήθηκαν με την βοήθεια προγραμμάτων GIS όπως το Qgis και το ARCGis.Ο σκοπός της εργασίας μας είναι να προσφέρει μια ολοκληρωμένη εικόνα για την οικολογική κατάσταση της Κρήτης αναδεικνύοντας τις σχέσεις μεταξύ της γεωμορφολογίας, των χρήσεων γης και της οικολογικής ποιότητας. Η μεθοδολογία που αναπτύχθηκε παρέχει ένα εργαλείο για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της οικολογικής ποιότητας. Παράλληλα, η έρευνα αυτή προσπαθεί να συμβάλει στη λήψη ενημερωμένων αποφάσεων για τη βιώσιμη διαχείριση του φυσικού περιβάλλοντος, αντιμετωπίζοντας προκλήσεις όπως η κλιματική αλλαγή και η υποβάθμιση των οικοσυστημάτων.

## ABSTRACT

This thesis concerns the mapping and assessment of the ecological quality of the island of Crete using a combination of the two techniques of telescoping and geospatial analysis. The main purpose of our study is to highlight both spatial and temporal variations in ecological quality and to analyse the relationships between the Remote Sensing Ecological Quality Index (RSEI) and environmental parameters such as altitude, slope, land use and road network. The analysis was based on satellite data, which were processed and analyzed using geographic information system (GIS) software such as QGIS and ArcGIS. The key indices used for the study include NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), WET (Wetness Index), LST (Land Surface Temperature) and NDBSI (Normalized Difference Built-up Soil Index). These

indices provide us with information on vegetation, wetness, surface temperature and urban areas and contribute to the overall assessment of ecological status.

The method for constructing the final indices began by normalizing the original indices to the range of values ( from 0 to 1 ) and creating the RSEI. Spatial analysis was then carried out to correlate the RSEI with the elevation and slope of the terrain by creating maps(DEM ,SLOPE) and creating correlation tables of these two. In addition, the relationships of the index with land use were analysed, dividing the island into six main categories: forest areas (Trees), urban areas (Built Area), crops (Crops), water areas (Water), pastures (Rangeland) and bare soil (Bare Soil). The analysis was conducted for five consecutive study years (2014, 2016, 2018, 2020, 2022) to assess changes in ecological quality over time.

Data processing was mainly done with the help of excel program while maps were created with the help of GIS programs such as Qgis and ARCGis. The aim of our work is to provide a comprehensive picture of the ecological situation of Crete by highlighting the relationships between geomorphology, land use and ecological quality. The methodology developed provides a tool for monitoring and assessing ecological quality. At the same time, this research seeks to contribute to informed decision-making for the sustainable management of the natural environment, addressing challenges such as climate change and ecosystem degradation.

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ .....	3
ΠΕΡΙΛΗΨΗ .....	4
ABSTRACT .....	4
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ .....	6
Περιεχόμενα Πινάκων .....	8
Περιεχόμενα Εικόνων .....	8
Περιεχόμενα Διαγραμμάτων .....	9
Περιεχόμενα Πινάκων .....	10
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	11
1 Θεωρητικό Υπόβαθρο .....	13
1.1 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση.....	13
1.2 Συστήματα Δορυφορικής παρακολούθησης .....	14
1.3 LANDSAT 8 .....	15
1.4 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS).....	17
1.5 Στατιστική Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA) .....	19
2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	23
2.1 Περιοχή Μελέτης.....	23
2.2 Δεδομένα και Επεξεργασία .....	25
2.2.1 Συλλογή Δεδομένων .....	25
2.2.2 Επεξεργασία Δεδομένων .....	26
2.3 Αρχικοί Δείκτες.....	28
2.3.1 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index).....	28
2.3.2 LSM/WET (Land Surface Moisture).....	29
2.3.3 NDBSI (Normalized Differential Build-Up and Bare Soil Index).....	31
2.3.4 LST (Land Surface Temperature) .....	32
2.4 Δείκτης RSEI (Remote Sensing Ecological Index) .....	34
2.5 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες .....	36
2.5.1 Δεδομένα Μορφολογίας.....	36
2.5.2 Χρήσεις Γης .....	38
3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ .....	40
3.1 Αποτελέσματα 2014.....	40

3.2 Αποτελέσματα 2016.....	48
3.3 Αποτελέσματα 2018.....	54
3.4 Αποτελέσματα 2020.....	61
3.5 Αποτελέσματα 2022.....	68
3.6 ΣΥΣΧΕΤΗΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΕΙΚΤΩΝ .....	75
4 Συμπεράσματα.....	78
5 Βιβλιογραφία.....	88
Ιστοσελίδες .....	90
Βιβλιογραφία εικόνων .....	90

## Περιεχόμενα Πινάκων

Χάρτης 1. NDVI.....	29
Χάρτης 2. WET .....	30
Χάρτης 3. NDBSI .....	32
Χάρτης 4. LST .....	34
Χάρτης 5. RSEI .....	36
Χάρτης 6. Digital Elevation Model(DEM) .....	37
Χάρτης 7. SLOPE .....	37
Χάρτης 8. Land use 2018 .....	38
Χάρτης 9. RSEI 2014 .....	41
Χάρτης 10. LST 20.....	42
Χάρτης 11. NDBSI 2014 .....	42
Χάρτης 12. WET 2014 .....	43
Χάρτης 13. NDVI 2014 .....	43
Χάρτης 14. RSEI 2016 .....	48
Χάρτης 15. NDVI 2016 .....	49
Χάρτης 16. WET 2016 .....	49
Χάρτης 17. LST 2016.....	50
Χάρτης 18. NDBSI 2016 .....	50
Χάρτης 19. RSEI 2018.....	55
Χάρτης 20. NDBSI 2018.....	55
Χάρτης 21. NDVI 2018.....	56
Χάρτης 22. WET 2018.....	56
Χάρτης 23. LST 2018 .....	57
Χάρτης 24. RSEI 2020.....	62
Χάρτης 25. LST 2020.....	62
Χάρτης 26. NDBSI 2020 .....	63
Χάρτης 27 . NDVI 2020.....	63
Χάρτης 28. WET 2020.....	64
Χάρτης 29. RSEI 2022 .....	69
Χάρτης 30. NDBSI 2022.....	69
Χάρτης 31. LST 2022 .....	70
Χάρτης 32. NDVI 2022.....	70
Χάρτης 33. WET 2022.....	71

## Περιεχόμενα Εικόνων

Εικόνα 1. Δορυφορική Τηλεσκοπήση.....	13
Εικόνα 2. Παθητικά και Ενεργητικά Συστήματα Τηλεσκοπήσης .....	14
Εικόνα 3. Αισθητήρες Landsat 8 .....	15
Εικόνα 4. LANDSAT 8 .....	16
Εικόνα 5. Κρήτη.....	23
Εικόνα 6. Earth explorer .....	25



Εικόνα 7. Eart explorer 2 .....	26
Εικόνα 8. Επεξεργασία Δεδομένων QGIS .....	27
Εικόνα 9. Δημιουργία Χάρτη QGIS .....	27

## Περιεχόμενα Διαγραμμάτων

Διάγραμμα 1. Κατανομή RSEI 2014 .....	44
Διάγραμμα 2. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2014.....	45
Διάγραμμα 3. Μικρότερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2014 .....	45
Διάγραμμα 4. Μεγαλύτερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2014 .....	46
Διάγραμμα 5. RSEI-DEM 2014 .....	47
Διάγραμμα 6. RSEI-SLOPE 2014 .....	47
Διάγραμμα 7. Κατανομή RSEI 2016 .....	51
Διάγραμμα 8. RSEI-DEM 2016 .....	52
Διάγραμμα 9. RSEI-SLOPE 2016 .....	52
Διάγραμμα 10. Μικρότερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2016.....	53
Διάγραμμα 11. Μεγαλύτερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2016 .....	54
Διάγραμμα 12. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2016 .....	54
Διάγραμμα 13. Κατανομή RSEI 2018 .....	58
Διάγραμμα 14. RSEI-DEM 2018 .....	59
Διάγραμμα 15. RSEI-SLOPE 2018 .....	59
Διάγραμμα 16. Μικρότερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2018.....	60
Διάγραμμα 17. Μεγαλύτερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2018 .....	61
Διάγραμμα 18. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2018.....	61
Διάγραμμα 19. Κατανομή RSEI 2020 .....	65
Διάγραμμα 20. Μικρότερη Τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2020 .....	66
Διάγραμμα 21. Μεγαλύτερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2020 .....	66
Διάγραμμα 22. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2020.....	67
Διάγραμμα 23. RSEI-SLOPE 2020 .....	67
Διάγραμμα 24. RSEI-DEM 2020 .....	68
Διάγραμμα 25. Κατανομή RSEI 2022 .....	72
Διάγραμμα 26. RSEI-DEM 2022 .....	72
Διάγραμμα 27. RSEI-SLOPE 2022 .....	73
Διάγραμμα 28. Μικρότερη Τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2022 .....	74
Διάγραμμα 29. Μεγαλύτερη Τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2022.....	74
Διάγραμμα 30. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2022.....	75
Διάγραμμα 31. Συνολική Μεταβολή RSEI.....	79
Διάγραμμα 32. Μεταβολή επι της % του RSEI ανά έτος μελέτης .....	79
Διάγραμμα 33. Σχέση Μέσης τιμής RSEI με SLOPE.....	81
Διάγραμμα 34. Σχέση Μέσης τιμής RSEI με DEM .....	82
Διάγραμμα 35 . Μεταβολή Landuse ανά έτος μελέτης.....	83
Διάγραμμα 36. Μεταβολή ποσοστού Landuse ανά έτος .....	84

## Περιεχόμενα Πινάκων

Πίνακας 1. Μέσες τιμές δείκτη RSEI ανά χρονική περίοδο .....	83
--	----

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η Διπλωματική εργασία αφορά την αξιολόγηση της οικολογικής ποιότητας της Κρήτης, η οποία αποτελεί ένα από τα πιο πλούσια και ποικιλόμορφα οικοσυστήματα της Μεσογείου. Η προσέγγιση βασίστηκε στη χρήση δεικτών δορυφορικής τηλεπισκόπησης και στη διερεύνηση της σχέσης τους με σημαντικούς περιβαλλοντικούς παράγοντες όπως το υψόμετρο, η κλίση του εδάφους και οι χρήσεις γης. Η ανάλυση πραγματοποιήθηκε με τη χρήση των γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών QGIS και ArcGIS, τα οποία αξιοποιήθηκαν συμπληρωματικά ανάλογα με τις δυνατότητές τους. Μέσω της δημιουργίας θεματικών χαρτών και σύνθετων χωρικών αναλύσεων εξήχθησαν πολύτιμα δεδομένα για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης του νησιού.

Η Κρήτη είναι ένα νησί με έντονο γεωγραφικό και οικολογικό ανάγλυφο, με ορεινούς όγκους, εκτεταμένες παραλίες, πεδιάδες και οροπέδια που ευνοούν την ανάπτυξη μοναδικών οικοσυστημάτων με μεγάλη βιοποικιλότητα. Παράλληλα, φιλοξενεί πληθώρα περιοχών NATURA και ευαίσθητων φυσικών σχηματισμών, οι οποίοι, λόγω της αυξανόμενης ανθρωπογενούς πίεσης, βρίσκονται υπό απειλή. Οι τεχνικές τηλεπισκόπησης που χρησιμοποιήθηκαν επιτρέπουν την αποτύπωση των αλλαγών που έχουν συντελεστεί διαχρονικά και παρέχουν τη δυνατότητα κατανόησης των περιβαλλοντικών πιέσεων που ασκούνται στα οικοσυστήματα της περιοχής.

Η βασική μεθοδολογική προσέγγιση της μελέτης ήταν η χρήση του σύνθετου δείκτη οικολογικής ποιότητας RSEI (Remote Sensing Ecological Index), ο οποίος προτάθηκε από τον Xu (2013) και στηρίζεται στη Στατιστική Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA). Ο RSEI ενσωματώνει τέσσερις θεμελιώδεις δείκτες: τον δείκτη φυτοκάλυψης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), τον δείκτη επιφανειακής υγρασίας WET (Tasseled Cap Wetness), τον δείκτη επιφανειακής θερμοκρασίας LST (Land Surface Temperature) και τον δείκτη αστικοποίησης και ξηρότητας NDBSI (Normalized Difference Built-up and Soil Index). Κάθε ένας από αυτούς τους δείκτες παρέχει κρίσιμες πληροφορίες για την κατάσταση και τη δυναμική του τοπίου. Ο NDVI είναι από τους πλέον καθιερωμένους δείκτες παγκοσμίως και αποτυπώνει τη βλάστηση και την κατάστασή της (Rouse et al., 1974), ο WET περιγράφει τη διαθεσιμότητα υγρασίας (Crist & Cicone, 1984), ο LST αποδίδει την κατανομή θερμοκρασιών επιφανείας (Voogt & Oke, 2003), ενώ ο NDBSI χρησιμοποιείται για την εντόπιση περιοχών με αστικό ή γυμνό έδαφος (Zha et al., 2003). Ο συνδυασμός αυτών μέσω της PCA επιτρέπει την παραγωγή ενός συνεκτικού δείκτη, του RSEI, ο οποίος παρουσιάζει τις τιμές οικολογικής ποιότητας με συνεπή τρόπο, όπου οι υψηλές τιμές δηλώνουν καλή κατάσταση και οι χαμηλές υποβαθμισμένες περιοχές.

Η μελέτη του RSEI πραγματοποιήθηκε για τα έτη 2014, 2016, 2018, 2020 και 2022, προσφέροντας τη δυνατότητα να καταγραφούν διαχρονικές μεταβολές στην οικολογική ποιότητα του νησιού. Παράλληλα, πραγματοποιήθηκε συσχέτιση με το υψόμετρο και την κλίση του εδάφους, αποκαλύπτοντας ότι περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο και έντονη κλίση εμφανίζουν συχνά υψηλότερες τιμές RSEI, πιθανόν λόγω της μικρότερης επίδρασης ανθρωπίνων δραστηριοτήτων. Οι πεδινές και αστικές ζώνες, αντίθετα, παρουσίασαν μειωμένες τιμές, επηρεασμένες από γεωργική ή οικιστική πίεση.

Η χρήση των δύο GIS εργαλείων προσέφερε σημαντικά πλεονεκτήματα. Το QGIS αξιοποιήθηκε κυρίως για την αρχική επεξεργασία και ανάλυση των δεικτών, ενώ το ArcGIS για την παραγωγή χωρικών στατιστικών, όπως το "Zonal Statistics", και την τελική απεικόνιση. Η συνδυαστική τους χρήση ενίσχυσε την εγκυρότητα της ανάλυσης και διευκόλυνε την εξαγωγή τεκμηριωμένων

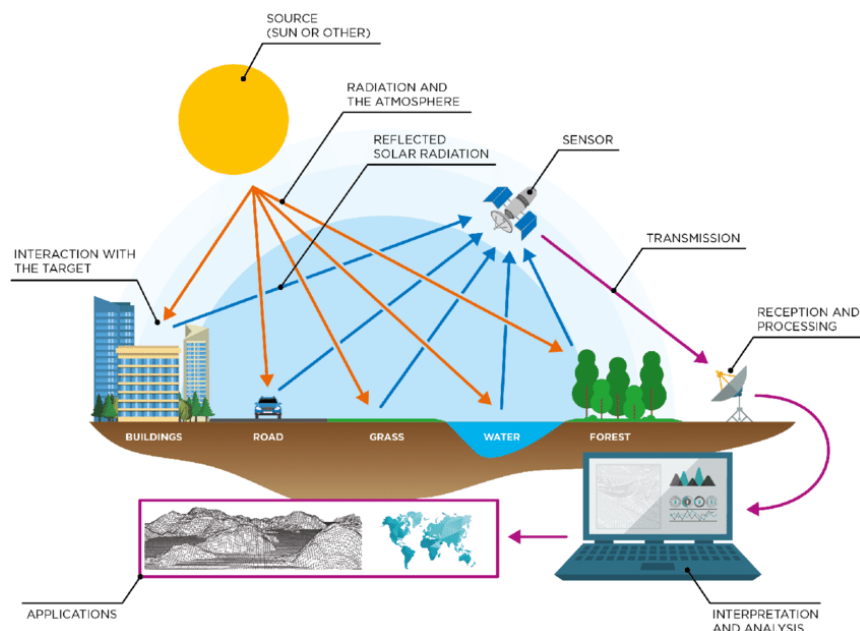
συμπερασμάτων. Η διαχρονική παρακολούθηση, με την υποστήριξη τηλεπισκοπικών δεδομένων και σύγχρονων εργαλείων GIS, αποτελεί πλέον ένα πολύτιμο μέσο για την κατανόηση και διαχείριση των σύγχρονων περιβαλλοντικών προκλήσεων στην Κρήτη.

## 1 Θεωρητικό Υπόβαθρο

### 1.1 Δορυφορική Τηλεπισκόπηση

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση είναι η τεχνική παρατήρησης και μελέτης της επιφάνειας της Γης με τη χρήση δορυφόρων που βρίσκονται σε τροχιά γύρω από τον πλανήτη. Μέσω αυτής της τεχνολογίας, μπορούμε να συλλέγουμε πληροφορίες για διάφορα φυσικά και μη φαινόμενα χωρίς να χρειάζεται να βρισκόμαστε στο σημείο παρατήρησης. Οι δορυφόροι είναι εξοπλισμένοι με ειδικούς αισθητήρες, οι οποίοι καταγράφουν την ακτινοβολία που αντανακλάται ή εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης. Αυτή η ακτινοβολία μπορεί να περιλαμβάνει διαφορετικά μήκη κύματος, από το ορατό φως που βλέπουμε με τα μάτια μας, μέχρι το υπέρυθρο και το μικροκυματικό, τα οποία είναι αόρατα για τον άνθρωπο. Κάθε τύπος επιφάνειας, όπως το νερό, τα δάση, οι πόλεις και οι καλλιέργειες, αντανακλά την ακτινοβολία με μοναδικό τρόπο, δημιουργώντας ένα ξεχωριστό "αποτύπωμα" που μπορούν να αναγνωρίσουν οι δορυφόροι. Με τη βοήθεια αυτών των "αποτυπωμάτων", οι επιστήμονες μπορούν να εξαγάγουν πολύτιμες πληροφορίες για την κατάσταση και τις αλλαγές στο περιβάλλον.

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση χρησιμοποιείται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών(Εικ. 1). Βοηθά στη χαρτογράφηση της βλάστησης, στον υπολογισμό της υγρασίας του εδάφους, στον υπολογισμό της θερμοκρασίας, στην παρακολούθηση των υδάτινων πόρων, καθώς και στη μελέτη των κλιματικών αλλαγών, όπου κάποιες από τις εφαρμογές αυτές χρησιμοποιήσαμε και στην διπλωματική εργασία. Επιπλέον, χρησιμοποιείται για την αντιμετώπιση φυσικών καταστροφών, όπως οι δασικές πυρκαγιές, οι πλημμύρες και οι σεισμοί, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες σε πραγματικό χρόνο.



Εικόνα 1. Δορυφορική Τηλεσκοπήση

Ένα από τα μεγάλα πλεονεκτήματα της δορυφορικής τηλεπισκόπησης είναι η δυνατότητα παρακολούθησης μεγάλων περιοχών της Γης ταυτόχρονα ανά τακτά χρονικά διαστήματα. Οι δορυφόροι μπορούν να καταγράφουν συνεχώς δεδομένα σε καθημερινή βάση και με μεγάλη ακρίβεια, επιτρέποντας έτσι τη μακροχρόνια παρακολούθηση των περιβαλλοντικών μεταβολών

και την ανάλυση των τάσεων κάθε περιοχής όπως κάναμε και στην εργασία για την περιοχή της Κρήτης. Για παράδειγμα, με τη χρήση δορυφορικών εικόνων μπορούμε να παρακολουθήσουμε την αλλαγή της περιβαλλοντικής κατάστασης μιας περιοχής μέσω της ανάλυσης των δεδομένων που μας προσφέρουν οι δορυφόροι.

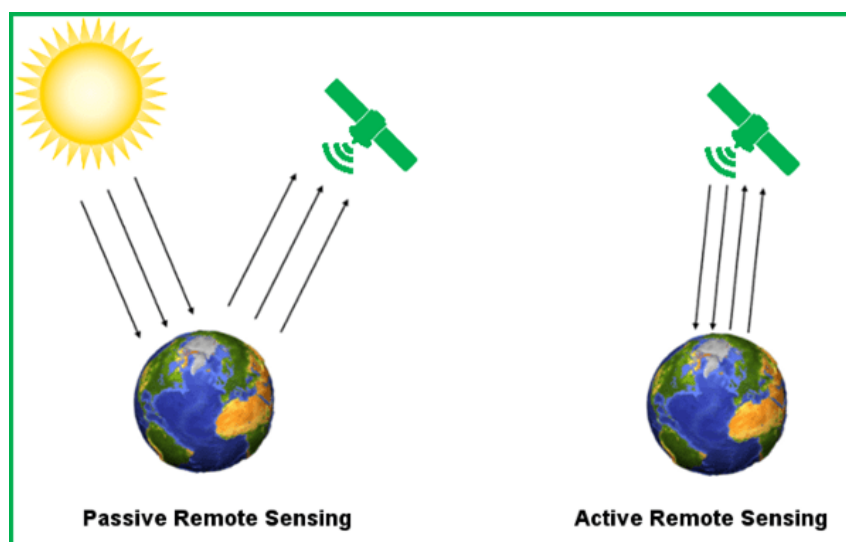
Παράλληλα, η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί ένα από τα πιο ισχυρά και ευρέως διαδεδομένα στην επιστημονική κοινότητα εργαλεία για την εκτίμηση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής. Μέσω της ανάλυσης δορυφορικών δεδομένων, οι επιστήμονες μπορούν να μελετήσουν τις μεταβολές στη θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης, τη διασπορά των αερίων του θερμοκηπίου, τις αλλαγές στα μοτίβα βροχοπτώσεων αλλά και διάφορους περιβαλλοντικούς δείκτες πχ για την βλάστηση NDVI. Έτσι παρέχει μια συνολική εικόνα για τις αλλαγές που συμβαίνουν στον πλανήτη βοηθώντας μας στην σωστή λήψη αποφάσεων και ενεργειών για την προστασία του περιβάλλοντος.

## 1.2 Συστήματα Δορυφορικής παρακολούθησης

Τα συστήματα δορυφορικής παρακολούθησης χωρίζονται σε δύο βασικές κατηγορίες (παθητικά & ενεργητικά) οι οποίες είναι ανάλογες της πηγής ακτινοβολίας που καταγράφουν (Εικ. 2)

**Ενεργητικά Συστήματα:** Στα ενεργητικά συστήματα έχουμε μια εξωτερική πηγή η οποία εκπέμπει σήμα το οποίο μετά την ανάκλασή του από την επιφάνεια της γης επιστρέφει πίσω στο πομπό όπου και ανιχνεύεται. Το σήμα που επιστρέφει καταγράφεται ως ηχώ. Η διαδικασία αυτή επιτρέπει στα συστήματα αυτά να μπορούν να καταγράφουν σήματα και να λειτουργήσουν ανεξάρτητα των καιρικών συνθηκών αλλά και ανεξάρτητα μέρας ή νύχτας.

**Παθητικά Συστήματα:** Σε αντίθεση με τα ενεργητικά συστήματα, τα παθητικά δεν παράγουν τα ίδια το σήμα το οποίο ανιχνεύουν εν αντίθεση τα συστήματα αυτά ανιχνεύουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία αντανακλάτε από την γήινη επιφάνεια. Παράλληλα μπορούν να ανιχνεύσουν την εκπομπή θερμοκρασίας των σωμάτων παρατήρησης στο θερμικό υπέρυθρο. Υπάρχει η δυνατότητα ανάλογα με την εφαρμογή που χρειαζόμαστε κάθε φορά να επιλέγουμε εμείς πια είναι η κατάλληλη φασματική περιοχή που θέλουμε να μελετήσουμε.



Εικόνα 2. Παθητικά και Ενεργητικά Συστήματα Τηλεσκόπησης

### 1.3 LANDSAT 8

Ο δορυφόρος αυτός χρησιμοποιήθηκε για τη δημιουργία όλων των δεικτών αλλά και της άντλησης των δεδομένων που χρειαστήκαμε έτσι ώστε να υπολογίσουμε την διακύμανση της οικολογικής κατάστασης αλλά και τον συσχετισμό της. Το πρόγραμμα δορυφόρων Landsat, το οποίο ξεκίνησε το 1972, είναι το μακροβιότερο δορυφορικό πρόγραμμα παρακολούθησης της Γης, παρέχοντας χρήσιμα δεδομένα για πολλές περιβαλλοντικές μελέτες και για την διαχείριση των φυσικών πόρων. Ο Landsat 8, του οποίου η εκτόξευση πραγματοποιήθηκε τον Φεβρουάριο του 2013, αποτελεί την πιο πρόσφατη έκδοση αυτής της σειράς δορυφόρων, παρέχοντας προηγμένα δεδομένα για την επιφάνεια της Γης, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ φάσμα εφαρμογών.

Ο Landsat 8 φέρει δύο βασικούς αισθητήρες, τον **Operational Land Imager (OLI)** και τον **Thermal Infrared Sensor (TIRS)** (Εικ. 3.). Ο OLI συλλέγει δεδομένα από 9 φασματικά κανάλια που καλύπτουν περιοχές του φάσματος από το μπλε μέχρι το υπέρυθρο. Αυτός ο αισθητήρας επιτρέπει την καταγραφή λεπτομερών πληροφοριών για τη βλάστηση, τη χρήση γης και την αλλαγή της επιφάνειας του εδάφους, με ανάλυση 30 μέτρων. Αντίστοιχα, ο TIRS καταγράφει τη θερμική ακτινοβολία, προσφέροντας στοιχεία για τη θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους και των υδάτων. Στον παρακάτω πίνακα φαίνονται αναλυτικά τα φασματικά κανάλια του δορυφόρου και πολλά από τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για τα δεδομένα της εργασίας.

Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) and Thermal Infrared Sensor (TIRS)  Launched February 11, 2013	Bands	Wavelength (micrometers)	Resolution (meters)
	Band 1 - Coastal aerosol	0.43 - 0.45	30
	Band 2 - Blue	0.45 - 0.51	30
	Band 3 - Green	0.53 - 0.59	30
	Band 4 - Red	0.64 - 0.67	30
	Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85 - 0.88	30
	Band 6 - SWIR 1	1.57 - 1.65	30
	Band 7 - SWIR 2	2.11 - 2.29	30
	Band 8 - Panchromatic	0.50 - 0.68	15
	Band 9 - Cirrus	1.36 - 1.38	30
	Band 10 - Thermal Infrared (TIRS) 1	10.60 - 11.19	100
	Band 11 - Thermal Infrared (TIRS) 2	11.50 - 12.51	100

Εικόνα 3. Αισθητήρες Landsat 8

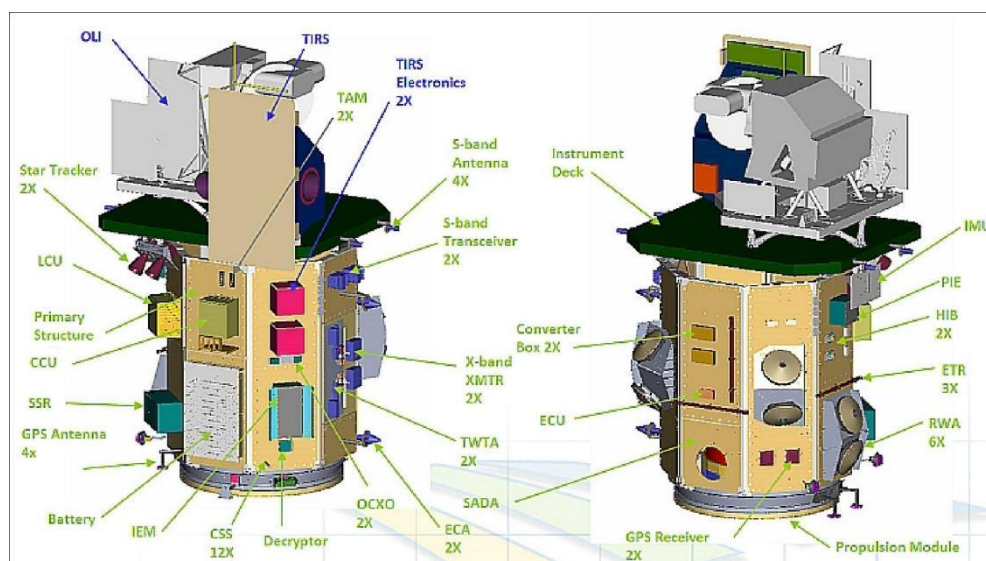
### Χρήσεις και Σημασία

Ο Landsat 8 είναι ένας από τους πιο πολύτιμους δορυφόρους για τη συλλογή δεδομένων σε διάφορους τομείς όπως:

- **Περιβαλλοντική παρακολούθηση:** Μέσω των εικόνων του Landsat 8, οι επιστήμονες μπορούν να αναλύσουν τη βλάστηση και την κάλυψη του εδάφους, παρακολουθώντας τις αλλαγές στη χλωρίδα και την υδρολογία. Τα δεδομένα αυτά είναι ζωτικής σημασίας για τη μελέτη των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής και των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων.



- **Παρακολούθηση θερμοκρασίας:** Ο αισθητήρας TIRS του Landsat 8 καταγράφει δεδομένα θερμοκρασίας που επιτρέπουν την εκτίμηση των θερμικών συνθηκών του εδάφους και των υδάτινων επιφανειών. Αυτή η πληροφορία είναι κρίσιμη για τη μελέτη μικροκλιμάτων και την ανάλυση φαινομένων όπως η ξηρασία και η κλιματική αλλαγή.
- **Χρήση γης και αλλαγές:** Οι δορυφορικές εικόνες του Landsat 8 χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση της χρήσης γης συμπεριλαμβανομένων αστικών, αγροτικών και δασικών περιοχών. Οι εικόνες του δορυφόρου επιτρέπουν την ανίχνευση αλλαγών, όπως η αποψίλωση των δασών και η επέκταση των αστικών περιοχών, με στόχο την καλύτερη διαχείριση του περιβάλλοντος.
- **Διαχείριση υδάτινων πόρων:** Ο Landsat 8 παρέχει δεδομένα που είναι χρήσιμα για τη διαχείριση υδάτινων πόρων, παρακολουθώντας την υγρασία του εδάφους και τις μεταβολές στη στάθμη των υδάτων. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο σε περιοχές με προβλήματα ξηρασίας ή πλημμυρών.



Εικόνα 4. LANDSAT 8

Τα δεδομένα του δορυφόρου είναι διαθέσιμα μέσω της πλατφόρμας **USGS EarthExplorer** κάτι το οποίο αποτελεί και ένα πλεονέκτημα του καθώς στην πλατφόρμα αυτή μπορεί ο καθένας να τα έχει δωρεάν. Η δυνατότητα αυτή επιτρέπει την ευρεία χρήση των δορυφορικών εικόνων για έρευνα, παρακολούθηση της Γης και περιβαλλοντικές μελέτες από επιστήμονες, ερευνητές και φοιτητές σε όλο τον κόσμο (Schowengerdt), (Ποϊραζίδης, Κ. κ.α. 2013,).

Οι εικόνες του Landsat 8 έχουν χρησιμοποιηθεί σε πολυάριθμες μελέτες για την παρακολούθηση περιβαλλοντικών αλλαγών και φαινομένων, παρέχοντας κρίσιμες πληροφορίες για την κατανόηση της κλιματικής αλλαγής, των μεταβολών στη χρήση γης, και της διαχείρισης φυσικών πόρων. Οι εικόνες αυτές είναι πολύτιμες για μακροχρόνιες αναλύσεις και παρέχουν ένα ανεκτίμητο εργαλείο για τη μελέτη των χωροχρονικών μεταβολών σε οικοσυστήματα όπως στην περίπτωση της διπλωματικής αυτής για την περιοχή της Κρήτης.



Με τη συνεχόμενη παροχή δεδομένων υψηλής ανάλυσης, ο Landsat 8 βοηθά την επιστημονική κοινότητα να παρακολουθεί και να κατανοεί τις περιβαλλοντικές προκλήσεις σε πραγματικό χρόνο, ενισχύοντας την προσπάθεια διαχείρισης των φυσικών πόρων και την προστασία του περιβάλλοντος.

#### 1.4 Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS)

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών (GIS) αποτελούν ένα σύγχρονο τεχνολογικό εργαλείο που συνδυάζει δεδομένα χωρικής πληροφορίας με προηγμένες αναλυτικές μεθόδους. Τα GIS επιτρέπουν την αποθήκευση την διαχείριση την ανάλυση αλλά και την οπτικοποίηση γεωγραφικών δεδομένων συμβάλλοντας στη βαθύτερη κατανόηση της σχέσης μεταξύ του χώρου και των διαδικασιών που λαμβάνουν χώρα σε αυτόν. Τα ΓΣΠ διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο σε πολλούς επιστημονικούς τομείς όπως είναι η περιβαλλοντική διαχείριση στην πολεοδομία στην γεωργία και στην παρακολούθηση-αξιολόγηση φυσικών καταστροφών ανά τον πλανήτη. Στην εργασία αυτή χρησιμοποιήσαμε τα ΓΣΠ τόσο για τη μελέτη της οικολογικής ποιότητας της Κρήτης και παράλληλα για τη συσχέτισή της με γεωμορφολογικούς παράγοντες όπως θα δούμε και σε επόμενα κεφάλαια.

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών αποτελούνται από πέντε βασικά στοιχεία τα οποία είναι τα εξής:

- Υλικό(hardware): Περιλαμβάνει υπολογιστές, διακομιστές, GPS και λοιπές συσκευές συλλογής και αποθήκευσης γεωγραφικών δεδομένων.
- Λογισμικό(software): Ειδικές εφαρμογές όπως το QGIS και το ArcGISpro που επιτρέπουν την εισαγωγή την επεξεργασία και την ανάλυση των δεδομένων.
- Δεδομένα(data): Πληροφορίες που προέρχονται από δορυφορικές εικόνες, αεροφωτογραφίες, τοπογραφικούς χάρτες και επιτόπιες μετρήσεις.
- Μέθοδοι ανάλυσης: Τεχνικές όπως η διαχείριση χωρικών βάσεων δεδομένων, η μοντελοποίηση και η χωρική στατιστική που επιτρέπουν την εξαγωγή συμπερασμάτων.
- Χρήστες (users): Ερευνητές, αναλυτές δεδομένων, μηχανικοί και άλλοι επαγγελματίες που χρησιμοποιούν τα GIS σε διάφορες εφαρμογές.

Τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών αποτελούνται από δύο βασικούς τύπους δεδομένων τα διανυσματικά (vector) και τα ψηφιδωτά (raster) δεδομένα. Αυτοί οι τύποι δεδομένων χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση γεωγραφικών χαρακτηριστικών και φαινομένων στον χώρο.

##### Διανυσματικά Δεδομένα (Vector Data)

Τα διανυσματικά δεδομένα είναι ένας τύπος γεωχωρικών δεδομένων που αναπαριστούν χωρικά αντικείμενα χρησιμοποιώντας σημεία, γραμμές και πολύγωνα. Αυτή η μορφή δεδομένων είναι ιδανική για τη χαρτογράφηση διακριτών χαρακτηριστικών όπως οι δρόμοι τα κτίρια και οι διοικητικές διαιρέσεις.

Κάποιες από τις μορφές που έχουν τα διανυσματικά δεδομένα είναι:

- Σημεία (Points): Αναπαριστούν μοναδικές τοποθεσίες στο χώρο. Χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση σημειακών χαρακτηριστικών (πηγές νερού, τοποθεσίες πόλεων κ.λπ.)

- Γραμμές (Lines ή Polylines): Αποτελούνται από δύο ή περισσότερα σημεία που συνδέονται μεταξύ τους. Χρησιμοποιούνται για τη χαρτογράφηση γραμμικών χαρακτηριστικών( δρόμοι, ποτάμια).
- Πολύγωνα (Polygons): Τα πολύγωνα είναι κλειστά σχήματα που σχηματίζονται από γραμμές. Χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση περιοχών( λίμνες, διοικητικά όρια, γεωργικές εκτάσεις κ.λπ.)

Τα πλεονεκτήματα των Διανυσματικών Δεδομένων είναι αρκετά. Αρχικά μας παρέχουν μεγάλη ακρίβεια και λεπτομέρεια καθώς τα γεωμετρικά σχήματα που αποτυπώνονται είναι μεγάλης ακρίβειας. Παράλληλα κάθε σημείο, γραμμή ή πολύγωνο μπορεί να συνδέεται με ιδιότητες (attributes), όπως όνομα, ύψόμετρο, πληθυσμός κλπ κάτι το οποίο μας προσφέρει την δυνατότητα να αναλύουμε και να μελετάμε ανάλογα το αντικείμενό μας εύκολα πληροφορίες για την κάθε περιοχή. Επίσης σε σχέση με τα ψηφιδωτά δεδομένα τα διανυσματικά δεδομένα καταλαμβάνουν λιγότερο αποθηκευτικό χώρο και είναι καλύτερα διαχειρίσιμα και χρησιμοποιούνται σε χωρικές αναλύσεις, όπως εύρεση της κοντινότερης διαδρομής ή ανάλυση πυκνότητας σημείων.

#### Ψηφιδωτά Δεδομένα (Raster Data)

Τα ψηφιδωτά δεδομένα αποτελούνται από ένα πλέγμα κελιών (pixels). Κάθε κελί περιέχει μια τιμή που αντιπροσωπεύει ένα χαρακτηριστικό του χώρου σαν την θερμοκρασία την βλάστηση ή το υψόμετρο. Τα δεδομένα αυτά είναι ιδανικά για την αναπαράσταση συνεχών φαινομένων. Τα ψηφιδωτά δεδομένα οργανώνονται σε πλέγματα (grid), όπου κάθε κελί έχει μια συγκεκριμένη τιμή. Η ανάλυση (resolution) των δεδομένων εξαρτάται από το μέγεθος των κελιών δηλαδή μικρότερα κελιά σημαίνουν μεγαλύτερη ακρίβεια, αλλά και αυξημένο μέγεθος αρχείου.

Κάποιες από τις μορφές που έχουν τα ψηφιδωτά δεδομένα είναι

- Δορυφορικές εικόνες (Satellite imagery): Παρέχουν δεδομένα για το έδαφος, τη βλάστηση, τα καιρικά φαινόμενα.
- Αεροφωτογραφίες: Χρησιμοποιούνται στη χαρτογράφηση και την ανάλυση τοπίου.
- Χάρτες χρήσεων γης :Δείχνουν π.χ. αστικές περιοχές, γεωργικές εκτάσεις, δάση.
- Ψηφιακά Μοντέλα Εδάφους (DEM - Digital Elevation Model): Παρέχουν πληροφορίες για το ανάγλυφο του εδάφους.

Κάποια από τα πλεονεκτήματα των Ψηφιδωτών Δεδομένων είναι αρχικά η αναπαράσταση συνεχών φαινομένων δηλαδή είναι κατάλληλα για φυσικά χαρακτηριστικά όπως η θερμοκρασία, η υγρασία, η βλάστηση όπως κάναμε και στη εργασία μας. Χρησιμοποιούνται σε αναλύσεις μέσω δορυφορικών εικόνων και αεροφωτογραφιών και διαθέτουν την ικανότητα ανάλυσης δεδομένων μεμονωμένων κελιών. Μπορούν να γίνουν υπολογισμοί και αλλαγές στη θερμοκρασία ή στην πυκνότητα της βλάστησης κλπ. Ταυτόχρονα τα ψηφιδωτά Δεδομένα έχουν και κάποια μειονεκτήματα όπως το μεγάλο μέγεθος αρχείων λόγω της υψηλής ανάλυσης απαιτούν μεγάλο αποθηκευτικό χώρο. Επίσης έχουν χαμηλότερη ακρίβεια σε λεπτομέρειες. Σε σχέση με τα διανυσματικά δεδομένα τα ψηφιδωτά δεν αναπαριστούν καλά ακριβείς γεωμετρικές δομές. Επιπλέον έχουν περιορισμένη δυνατότητα διαχείρισης ιδιοτήτων: Δεν είναι τόσο εύκολο να αποθηκευτούν πολλαπλές πληροφορίες για κάθε κελί, όπως στα διανυσματικά δεδομένα.

Τα ΓΣΠ βρίσκουν εφαρμογή σε πολλούς τομείς:

- Περιβαλλοντική διαχείριση: Παρακολούθηση της ρύπανσης, της ποιότητας του αέρα και του νερού, καθώς και της διάβρωσης του εδάφους.
- Διαχείριση φυσικών πόρων: Χαρτογράφηση και προστασία οικολογικά ευαίσθητων περιοχών, διαχείριση υδάτινων πόρων και γεωργικών εκτάσεων.
- Αστικός και περιφερειακός σχεδιασμός: Παρακολούθηση της αστικής εξάπλωσης, σχεδιασμός υποδομών και ανάλυση των επιπτώσεων των χρήσεων γης.
- Διαχείριση καταστροφών: Προβλέψεις και μελέτες για φυσικές καταστροφές, όπως πλημμύρες, σεισμοί και πυρκαγιές

### Πλεονεκτήματα των ΓΣΠ

Τα ΓΣΠ προσφέρουν πολλαπλά πλεονεκτήματα, όπως:

- Αποτελεσματική ανάλυση μεγάλων δεδομένων: Δυνατότητα επεξεργασίας και απεικόνισης τεράστιων γεωγραφικών συνόλων δεδομένων.
- Συνδυασμός πληροφοριών από διαφορετικές πηγές: Δορυφορικά δεδομένα, επιτόπιες μετρήσεις, ιστορικές καταγραφές μπορούν να συνδυαστούν για ακριβέστερες αναλύσεις.
- Χωρική πρόβλεψη και ανάλυση τάσεων: Χρήση μοντέλων πρόβλεψης περιβαλλοντικών μεταβολών και ανάλυση των επιπτώσεων ανθρωπογενών δραστηριοτήτων.
- Βελτιωμένη λήψη αποφάσεων: Παροχή ακριβών και αξιόπιστων πληροφοριών για τη διαχείριση περιβαλλοντικών ζητημάτων

Στην εργασία αυτή, τα ΓΣΠ χρησιμοποιήθηκαν για τη μελέτη της οικολογικής ποιότητας της Κρήτης, με έμφαση στη συσχέτιση του δείκτη RSEI με το υψόμετρο, την κλίση του εδάφους και τις χρήσεις γης. Με τη χρήση λογισμικών όπως το QGIS και το ArcGIS, δημιουργήθηκαν θεματικοί χάρτες που απεικονίζουν τη χωρική κατανομή των οικολογικών δεικτών NDVI, WET, LST, NDBSI και RSEI

Η ανάλυση των δεδομένων μέσω ΓΣΠ επέτρεψε την ποσοτικοποίηση των μεταβολών της οικολογικής ποιότητας, εντοπίζοντας περιοχές που παρουσίασαν σημαντικές διαφοροποιήσεις σε βάθος χρόνου. Επιπλέον η χρήση χωρικών στατιστικών μεθόδων συνέβαλε στην αναγνώριση προτύπων και τάσεων βοηθώντας στην εξαγωγή χρήσιμων συμπερασμάτων για τις περιβαλλοντικές αλλαγές στο νησί της Κρήτης.

Συνολικά τα ΓΣΠ αποτελούν ένα ανεκτίμητο εργαλείο για την παρακολούθηση και αξιολόγηση της οικολογικής κατάστασης μιας περιοχής. Η ενσωμάτωσή τους σε περιβαλλοντικές μελέτες όπως αυτή της Κρήτης επιτρέπει την αποτελεσματική ανάλυση χωρικών δεδομένων και την υποστήριξη στρατηγικών βιώσιμης διαχείρισης φυσικών πόρων.

### 1.5 Στατιστική Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (PCA)

Η Στατιστική Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών (Principal Component Analysis - PCA) είναι μια στατιστική μέθοδος που χρησιμοποιείται για τη μείωση της πολυπλοκότητας των δεδομένων διατηρώντας ταυτόχρονα τη μέγιστη δυνατή πληροφορία. Σκοπός της είναι να εντοπίσει μοτίβα και σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών, μετασχηματίζοντάς τις σε ένα μικρότερο σύνολο νέων

μεταβλητών, τις κύριες συνιστώσες. Οι συνιστώσες αυτές είναι ασυσχέτιστες μεταξύ τους και κατατάσσονται με βάση τη συμβολή τους στη συνολική διακύμανση των δεδομένων. Η μέθοδος PCA λειτουργεί μέσω ενός μαθηματικού μετασχηματισμού που αναλύει τις μεταβλητές και δημιουργεί έναν νέο ορθογώνιο σύστημα αξόνων, όπου κάθε άξονας (κύρια συνιστώσα) εξηγεί ένα ποσοστό της συνολικής διακύμανσης των αρχικών δεδομένων. Η πρώτη κύρια συνιστώσα (PC1) εξηγεί τη μεγαλύτερη δυνατή διακύμανση, η δεύτερη κύρια συνιστώσα (PC2) την αμέσως επόμενη μεγαλύτερη διακύμανση κ.ο.κ. Με αυτόν τον τρόπο, η ανάλυση κύριων συνιστωσών επιτρέπει τη μείωση του αριθμού των μεταβλητών, διατηρώντας παράλληλα την πληροφορία που είναι πιο σημαντική για τη δομή των δεδομένων.

### Εφαρμογές της PCA

Η PCA χρησιμοποιείται ευρέως σε περιβαλλοντικές επιστήμες, τηλεπισκόπηση, οικονομικά, μηχανική μάθηση και πολλές άλλες εφαρμογές όπου υπάρχουν μεγάλα σύνολα δεδομένων. Ενδεικτικές εφαρμογές περιλαμβάνουν:

- Τηλεπισκόπηση και περιβαλλοντική ανάλυση: Στην ανάλυση δορυφορικών εικόνων για τη μείωση των φασματικών καναλιών και την ανίχνευση αλλαγών στη χρήση γης.
- Ανάλυση κλιματικών δεδομένων: Για την ανίχνευση προτύπων στις μεταβολές της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης και άλλων κλιματικών παραμέτρων.
- Ανάλυση ποιότητας νερού: Στην αξιολόγηση των βασικών παραγόντων που επηρεάζουν τη ρύπανση υδάτινων πόρων.

### Εφαρμογή της PCA στην παρούσα μελέτη

Στην παρούσα μελέτη, η PCA αξιοποιήθηκε ως βασικό εργαλείο για τη δημιουργία ενός σύνθετου δείκτη περιβαλλοντικής ποιότητας, γνωστού ως RSEI (Remote Sensing Ecological Index – Τηλεπισκοπικός Δείκτης Οικολογικής Ποιότητας). Η ανάγκη προκύπτει από το γεγονός ότι η οικολογική ποιότητα ενός τόπου εξαρτάται από πολλούς παράγοντες ταυτόχρονα – στη συγκεκριμένη περίπτωση, αντλήσαμε πληροφορίες από δορυφορικά δεδομένα σχετικά με τη βλάστηση, την υγρασία του εδάφους/την υγρότητα, την ξηρότητα/άγονο έδαφος και τη θερμική ακτινοβολία. Πιο συγκεκριμένα, χρησιμοποιήθηκαν τέσσερις θεματικοί δείκτες που θεωρούνται κρίσιμοι για την περιγραφή της οικολογικής κατάστασης μιας περιοχής: (α) ο δείκτης βλάστησης NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) που εκφράζει την πυκνότητα και υγεία της φυτοκάλυψης (πράσινη βιομάζα), (β) ένας δείκτης υγρασίας ή υγρότητας (όπως η συνιστώσα WET από μετασχηματισμούς τύπου Tasseled Cap), (γ) ένας δείκτης ξηρότητας/γυμνού εδάφους όπως ο NDBSI (Normalized Difference Bare Soil Index, που συσχετίζεται και με την έντονη αστική ή άλλου τύπου γυμνή επιφάνεια), και (δ) η Θερμοκρασία Επιφάνειας Εδάφους (LST) η οποία αντανάκλα το θερμικό περιβάλλον και έμμεσα το μικροκλίμα μιας περιοχής. Κάθε ένας από αυτούς τους δείκτες από μόνος του δίνει μια μερική εικόνα της οικολογικής κατάστασης – για παράδειγμα, το NDVI είναι υψηλό στα υγιή οικοσυστήματα με πλούσια βλάστηση, ενώ ο NDBSI είναι υψηλός σε αστικές ή ξηρές εκτάσεις με λίγο πράσινο. Η εφαρμογή της PCA μας επέτρεψε να συνδυάσουμε όλες αυτές τις μεταβλητές και να εξάγουμε από κοινού τις κυριότερες συνιστώσες που περιγράφουν την συνολική οικολογική ποιότητα. Κατά την ανάλυση, διαπιστώθηκε ότι η πρώτη κύρια συνιστώσα (PC1) συγκεντρώνει το μεγαλύτερο μέρος της πληροφορίας των τεσσάρων δεικτών. Πρακτικά, η PC1 προέκυψε ως ένας συνδυασμός όπου οι περιοχές με υψηλό NDVI και υψηλή υγρότητα (WET) αλλά χαμηλό NDBSI και χαμηλή θερμοκρασία (LST) λαμβάνουν υψηλές τιμές, και αντιστρόφως οι περιοχές υποβαθμισμένες οικολογικά (χαμηλή βλάστηση/υγρασία, υψηλή ξηρότητα και θερμότητα) λαμβάνουν χαμηλές

τιμές. Με άλλα λόγια, η πρώτη συνιστώσα λειτουργεί ουσιαστικά ως ένας άξονας “περιβαλλοντικής ποιότητας”, διαχωρίζοντας τις ευνοϊκές οικολογικές συνθήκες από τις δυσμενείς. Αυτό επιβεβαιώθηκε και από το ποσοστό διακύμανσης που εξηγεί: η PC1 βρέθηκε να εξηγεί σημαντικά υψηλό ποσοστό της συνολικής διακύμανσης (συχνά, σύμφωνα και με τη βιβλιογραφία, άνω του 80% όταν χρησιμοποιούνται οι συγκεκριμένοι τέσσερις δείκτες). Ένα τόσο μεγάλο ποσοστό υποδεικνύει ότι μια μόνο συνιστώσα μπορεί να εκπροσωπήσει επάξια το σύστημα των τεσσάρων αρχικών μεταβλητών. Για το λόγο αυτό, επιλέχθηκε η πρώτη συνιστώσα ως βάση για τον υπολογισμό του RSEI: ουσιαστικά, ο RSEI αντιστοιχεί στις τιμές της PC1, μετασχηματισμένες κατάλληλα (π.χ. κανονικοποιημένες σε εύρος 0–1) ώστε να αποτελέσουν έναν δείκτη οικολογικής ποιότητας για κάθε σημείο της περιοχής μελέτης. Οι επόμενες κύριες συνιστώσες (PC2, PC3, κ.λπ.) βρέθηκαν να έχουν πολύ μικρότερη συμβολή στη συνολική πληροφορία. Η PC2 συνήθως αντικατοπτρίζει έναν δευτερεύοντα τρόπο μεταβλητότητας π.χ. μπορεί να εκφράζει μια διαφοροποίηση ανάμεσα στις μεταβλητές υγρασίας και βλάστησης ή κάποια τοπικά ιδιαίτερα χαρακτηριστικά που δεν σχετίζονται γραμμικά με την PC1. Ωστόσο, στην περίπτωση μας, η PC2 εξηγεί μόνο ένα μικρό επιπλέον ποσοστό της διακύμανσης και αντιπροσωπεύει πιο λεπτές διαφορές στο οικολογικό προφίλ (ίσως διαφοροποιεί περιοχές όπου η θερμοκρασία είναι σχετικά υψηλή αλλά η βλάστηση παραμένει υψηλή, έναντι περιοχών όπου συμβαίνει το αντίστροφο). Αυτές οι πληροφορίες είναι μεν ενδιαφέρουσες για την επιστημονική κατανόηση, όμως κρίθηκε ότι δεν είναι απαραίτητες για τον γενικό δείκτη οικολογικής ποιότητας. Επομένως, μόνο η πρώτη συνιστώσα χρησιμοποιήθηκε για τον υπολογισμό του RSEI, ενώ οι υπόλοιπες παρατηρήθηκαν συμπληρωματικά ως προς την ερμηνεία των δεδομένων. Συνοψίζοντας, κάθε κύρια συνιστώσα αντιπροσωπεύει: η PC1 τον κύριο άξονα “καλής – κακής” οικολογικής κατάστασης (συνδυάζοντας θετικά τη βλάστηση/υγρασία και αρνητικά τη θερμότητα/ξηρότητα), η PC2 έναν δευτερεύοντα άξονα διαφοροποίησης (λιγότερο σαφή οικολογικά, ενδεχομένως σχετιζόμενο με ειδικές περιπτώσεις τοπίου ή κλίματος), ενώ οι επόμενες συνιστώσες έχουν ολοένα και μικρότερη σημασία και μπορεί να θεωρηθούν κυρίως ως θόρυβος ή ειδικές περιπτώσεις. Η συμβολή της PCA στη χαρτογράφηση της οικολογικής ποιότητας μέσω του RSEI ήταν καθοριστική. Έχοντας υπολογίσει τον RSEI (δηλαδή τις τιμές της PC1) για κάθε χωρική μονάδα της Κρήτης, δημιουργήσαμε έναν ενιαίο χάρτη οικολογικής ποιότητας. Αυτός ο χάρτης δίνει μια συνολική εκτίμηση της περιβαλλοντικής κατάστασης: περιοχές με υψηλές τιμές RSEI εμφανίζονται ως οικολογικά πιο υγιείς (π.χ. δασώδεις εκτάσεις ή υγρές ζώνες), ενώ περιοχές με χαμηλές τιμές RSEI ξεχωρίζουν ως πιο υποβαθμισμένες (π.χ. ξηρά τοπία με ελάχιστη βλάστηση). Είναι σημαντικό ότι αυτός ο ενιαίος δείκτης προέκυψε αντικειμενικά από τα δεδομένα η PCA αυτομάτως υπολόγισε τον κατάλληλο συνδυασμό (βάρη) των τεσσάρων αρχικών δεικτών για να μεγιστοποιήσει την εξήγηση της συνολικής διακύμανσης. Έτσι, ο RSEI ενσωματώνει την συλλογική συμβολή όλων των παραμέτρων, λειτουργώντας ως μια συνοπτική αποτύπωση της οικολογικής κατάστασης. Στην πράξη, η χρήση της PCA και του RSEI μας επέτρεψε να περάσουμε από τέσσερις χωριστούς χάρτες (NDVI, WET, NDBSI, LST) σε έναν και μόνο χάρτη που συμπυκνώνει την ουσία και των τεσσάρων. Αυτό διευκολύνει την ερμηνεία και τη λήψη αποφάσεων, καθώς οι ενδιαφερόμενοι (ερευνητές, φορείς περιβάλλοντος, χωροτάκτες) μπορούν να δουν άμεσα ποιες περιοχές της Κρήτης παρουσιάζουν οικολογικά προβλήματα και ποιες βρίσκονται σε καλή κατάσταση, χωρίς να χρειάζεται να συνδυάσουν μόνοι τους πολλαπλές πληροφορίες.

Εν κατακλείδι, η Στατιστική Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών αποτελεί θεμελιώδη μεθοδολογία για την ολιστική κατανόηση μεγάλης κλίμακας δεδομένων. Στην περίπτωση της Κρήτης, η εφαρμογή

της PCA κατέδειξε πώς μπορούμε να συνδυάσουμε πολλαπλές περιβαλλοντικές πληροφορίες και να εξάγουμε έναν χρήσιμο δείκτη για τη συνολική οικολογική υγεία του νησιού. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να επεκταθεί και σε άλλες περιοχές ή χρονικές περιόδους, επιτρέποντας τη σύγκριση της οικολογικής ποιότητας διαχρονικά και διατοπικά. Η PCA ενισχύει την ικανότητά μας να λαμβάνουμε τεκμηριωμένες αποφάσεις σε προβλήματα όπου η πολυπλοκότητα των δεδομένων θα μπορούσε αλλιώς να σταθεί εμπόδιο προσφέροντας σαφήνεια εκεί που πριν υπήρχε πολυπλοκότητα, γεγονός που την καθιστά αναπόσπαστο κομμάτι της σύγχρονης ανάλυσης δεδομένων στην οικολογική έρευνα και πέρα από αυτήν.

## 2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

### 2.1 Περιοχή Μελέτης

Η περιοχή μελέτης μας για την δημιουργία του οικολογικού δείκτη RSEI αφορά το νησί της Κρήτης(Εικ 5.). Η Κρήτη αποτελεί το μεγαλύτερο νησί της Ελλάδας και το πέμπτο μεγαλύτερο σε μέγεθος στη Μεσόγειο και βρίσκεται στο νότιο τμήμα του Αιγαίου πελάγους. Η έκταση του νησιού είναι περίπου 8.336 τετραγωνικά χιλιόμετρα και το νησί της Κρήτης χαρακτηρίζεται ως ένα από τα πιο ιδιαίτερα χάρις στην μεγάλη ποικιλόμορφη γεωμορφολογία, που περιλαμβάνει βουνά, οροπέδια, φαράγγια, πεδιάδες και εκτεταμένες ακτές. Αυτή η ποικιλομορφία δημιουργεί διαφορετικά οικοσυστήματα και μικροκλίματα, τα οποία διαδραματίζουν καθοριστικό ρόλο στη διαμόρφωση της οικολογικής ποιότητας της περιοχής και τα οποία όπως θα παρατηρήσουμε και στη συνέχεια της εργασίας αποτελούν καθοριστικό παράγοντα για την διαμόρφωση του οικολογικού δείκτη.



Εικόνα 5. Κρήτη

Διοικητικά, η Κρήτη χωρίζεται σε τέσσερις νομούς: τα Χανιά, το Ρέθυμνο, το Ηράκλειο και το Λασιθί. Ο νομός Χανίων, στο δυτικό άκρο του νησιού, είναι γνωστός για τα Λευκά Όρη και τον εθνικό δρυμό της Σαμαριάς. Το Ρέθυμνο, που βρίσκεται ακριβώς ανατολικά, διαθέτει ποικίλα οικοσυστήματα, από βουνά μέχρι παράκτιες ζώνες. Το Ηράκλειο, ο μεγαλύτερος νομός της Κρήτης, αποτελεί το οικονομικό και πολιτιστικό κέντρο του νησιού, ενώ στο ανατολικότερο άκρο βρίσκεται ο νομός Λασιθίου, γνωστός για το οροπέδιο του Λασιθίου και τις πανέμορφες παραλίες του. Ο πληθυσμός της Κρήτης σύμφωνα και με την τελευταία απογραφή είναι περίπου 635.000 κάτοικοι με το μεγαλύτερο μέρος του να συγκεντρώνεται στις μεγάλες πόλεις, όπως είναι κυρίαρχα το Ηράκλειο, τα Χανιά, το Ρέθυμνο και ο Άγιος Νικόλαος. Οι τοπικές κοινότητες διατηρούν μια ισχυρή πολιτιστική ταυτότητα, που εκφράζεται μέσα από τα ήθη και τα έθιμα, τη μουσική και τη γαστρονομία τους. Αυτή η κοινωνική και πολιτιστική ποικιλομορφία βρίσκει μεγάλο αντίκρισμα στο φυσικό περιβάλλον του νησιού.

Η οικονομία της Κρήτης βασίζεται σε μεγάλο βαθμό τόσο στον τουρισμό όσο και στη γεωργία. Το νησί είναι ένας από τους πιο δημοφιλείς τουριστικούς προορισμούς στην Ελλάδα με το πλήθος των τουριστών να αυξάνετε κάθε χρόνο. Οι τουρίστες προτιμούν την Κρήτη κυρίως χάρη στα ιστορικά μνημεία της, τις πανέμορφες παραλίες και τα παραδοσιακά χωριά της. Παράλληλα οι αρχαιολογικοί χώροι, όπως η Κνωσός και η Φαιστός, προσελκύουν εκατομμύρια επισκέπτες όλων των ηλικιών κάθε χρόνο. Επιπλέον η γεωργική παραγωγή είναι ιδιαίτερα ανεπτυγμένη με τα

βασικά προϊόντα να είναι το ελαιόλαδο, τα εσπεριδοειδή, τα σταφύλια, τα αρωματικά φυτά και τα γαλακτοκομικά.

Το νησί της Κρήτης χαρακτηρίζεται από ένα μεσογειακό κλίμα με αρκετές διαφοροποιήσεις ανάλογα με την εποχή αλλά και λόγο της ποικιλόμορφης μορφολογίας που έχει το νησί. Η περίοδος του χειμώνα είναι υγρή και ήπια ιδιαίτερα στις παράκτιες περιοχές που οι μέσες θερμοκρασίες είναι μεταξύ 12°C έως 16°C. Παράλληλα στις πιο ορεινές περιοχές της Κρήτης όπως είναι ο Ψηλορείτης, τα Λευκά Όρη και τα Όρη Δίκτη, οι θερμοκρασίες μπορεί να είναι αισθητά χαμηλότερες, με συχνές χιονοπτώσεις και πολύ πιο έντονες βροχοπτώσεις τόσο σε συχνότητα όσο και σε ύψος νερού. Οι χειμερινοί μήνες είναι η κύρια περίοδος βροχοπτώσεων για την περιοχή αλλά ειδικά στη δυτική Κρήτη, όπου η γεωμορφολογία συμβάλλει σε αυξημένες βροχοπτώσεις μέσω του φαινομένου της ορογραφικής ανύψωσης. Η αυξημένη υγρασία ενισχύει την ανάπτυξη της βλάστησης, επηρεάζοντας θετικά δείκτες όπως τον Normalized Difference Vegetation Index (NDVI).

Σε αντίθεση το καλοκαίρι η Κρήτη έχει έντονες ζέστες και ξηρές συνθήκες, με θερμοκρασίες που συχνά φτάνουν ή και ξεπερνούν τους 35°C στις πεδινές και παράκτιες περιοχές. Αυτή η κατάσταση έχει άμεσο αντίκτυπο στον δείκτη Land Surface Temperature (LST), ο οποίος καταγράφει τις θερμοκρασίες της επιφάνειας και βοηθά στην κατανόηση φαινομένων όπως η αστική θερμική νησίδα και η ξηρασία. Η έλλειψη βροχοπτώσεων κατά τη θερινή περίοδο οδηγεί σε μείωση της υγρασίας του εδάφους, γεγονός που αντανakλάται σε χαμηλότερους δείκτες βλάστησης σε περιοχές που δέχονται έντονη ηλιακή ακτινοβολία και θερμική πίεση.

Η μεγάλη και ιδιαίτερη γεωγραφική και τοπογραφική ποικιλία της Κρήτης δημιουργεί ένα σύμπλεγμα μικροκλιμάτων τα οποία έχουν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της οικολογικής ποιότητας. Οι ορεινές περιοχές οι οποίες έχουν μεγαλύτερο ύψος και εμφανίζουν μεγαλύτερη κλίση στο έδαφος διατηρούν και όπως είδαμε από τα αποτελέσματα μικρότερη οικολογική ποιότητα σε σχέση με τις πιο πεδινές και παράκτιες περιοχές παρόλο που στις περιοχές αυτές η ανθρώπινη δραστηριότητα (τουρισμός, γεωργία κλπ) είναι πιο έντονη. Οι φυσικές περιοχές με μικρότερη ανθρώπινη παρέμβαση διατηρούν υψηλότερους δείκτες βλάστησης και χαμηλότερες θερμοκρασίες επιφάνειας, ενισχύοντας την ανθεκτικότητα του τοπίου στις κλιματικές προκλήσεις και κατεπέκταση δημιουργούν τις κατάλληλες συνθήκες για μεγαλύτερη οικολογική ποιότητα αλλά και τις προϋποθέσεις να διατηρήσουν τον ψηλό δείκτη για περισσότερο χρονικό διάστημα.

Παράλληλα, οι χρήσεις γης και η τοπογραφία επιδρούν άμεσα στη διαμόρφωση των περιβαλλοντικών συνθηκών του νησιού. Οι αστικές και γεωργικές περιοχές παρουσιάζουν αυξημένες θερμοκρασίες επιφάνειας και χαμηλότερη βλάστηση, ενώ οι ορεινές περιοχές, με λιγότερη ανθρώπινη παρέμβαση, έχουν υψηλότερες τιμές στους δείκτες που σχετίζονται με την οικολογική ποιότητα. Ο συνδυασμός των δεικτών NDVI, LST και άλλων οικολογικών δεικτών τηλεπισκόπησης επιτρέπει μια λεπτομερή καταγραφή και παρακολούθηση της οικολογικής δυναμικής της Κρήτης, δίνοντας πολύτιμα δεδομένα για την κατανόηση των χωρικών και κλιματικών επιδράσεων στα οικοσυστήματα του νησιού.

Συνολικά, το μεσογειακό κλίμα της Κρήτης, σε συνδυασμό με τις τοπικές διαφοροποιήσεις λόγω γεωμορφολογίας, καθορίζει την οικολογική δομή και δυναμική του νησιού. Οι παράγοντες αυτοί, που αντικατοπτρίζονται στους δείκτες τηλεπισκόπησης, προσφέρουν τη δυνατότητα για στοχευμένη παρακολούθηση των μεταβολών στην περιβαλλοντική ποιότητα, επιτρέποντας καλύτερη διαχείριση των φυσικών πόρων και προώθηση της βιώσιμης ανάπτυξης.

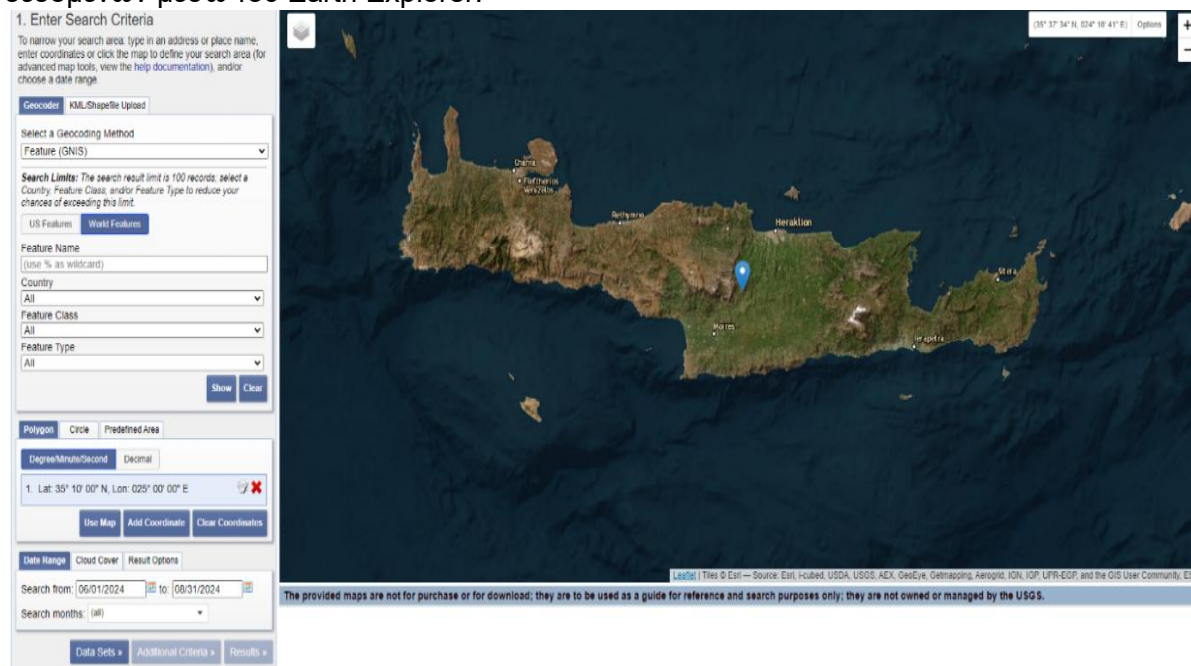


Η μελέτη του οικολογικού δείκτη στην Κρήτη παρουσιάζει ιδιαίτερο ενδιαφέρον λόγω της συνύπαρξης φυσικών και ανθρωπογενών οικοσυστημάτων. Οι φυσικοί πόροι της Κρήτης, σε συνδυασμό με την ανθρώπινη δραστηριότητα, επηρεάζουν άμεσα την οικολογική ποιότητα της περιοχής. Το νησί αποτελεί μια μικρογραφία διαφορετικών περιβαλλοντικών συνθηκών, γεγονός που το καθιστά ιδανικό για την ανάλυση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη διερεύνηση της σχέσης μεταξύ φυσικών πόρων και ανθρώπινης δραστηριότητας.

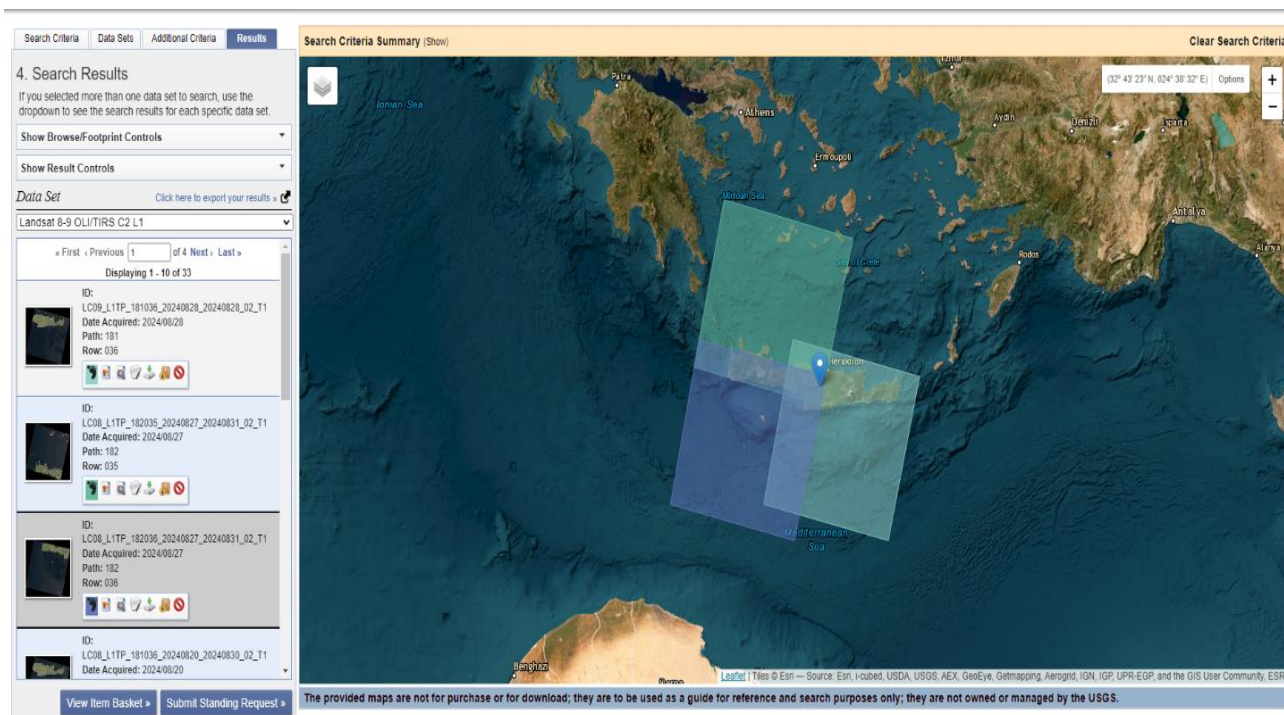
## 2.2 Δεδομένα και Επεξεργασία

### 2.2.1 Συλλογή Δεδομένων

Η επεξεργασία των δεδομένων μας έγινε χρησιμοποιώντας δύο διαφορετικά προγράμματα το Qgis και το ArcGis όπου και στα δύο αυτά προγράμματα τα δεδομένα που επεξεργαστήκαμε προήλθαν από τον δορυφόρο Landsat 8. Τα στοιχεία και οι πληροφορίες που χρειαστήκαμε για την συγκεκριμένη εργασία προήλθαν από το Earth explorer ( <https://earthexplorer.usgs.gov/> ). Η ιστοσελίδα αυτή της Αμερικανικής Κυβέρνησης μας παρείχε δορυφορικές εικόνες για την περιοχή μελέτης μας και για όλες τις χρονολογίες που έγινε η επεξεργασία των δεδομένων. Για να μπορέσει να γίνει μια καλύτερη ανάλυση των δεδομένων με όσο το δυνατόν λιγότερους εξωτερικούς παράγοντες να την επηρεάζουν οι δορυφορικές εικόνες οι οποίες χρησιμοποιήθηκαν πάρθηκαν από το ίδιο χρονικό διάστημα για κάθε χρονολογία το οποίο ήταν η εποχή του καλοκαιριού ( Ιούνιος – Αύγουστος ) και από συγκεκριμένες μέρες στις οποίες η νεφοκάλυψη ήταν μικρότερη ή ίση του 10%. Αυτός ο τρόπος συλλογής των δορυφορικών δεδομένων μας έδωσε τη δυνατότητα να μπορούμε να συγκρίνουμε όσο το δυνατόν με μεγαλύτερη ακρίβεια τα αποτελέσματα του RSEI από το 2014 μέχρι και το 2024 με διάστημα μελέτης 2 ετών. Στις παρακάτω φωτογραφίες (Εικ. 6,7)παρουσιάζετε ο τρόπος συλλογής των δεδομένων μέσω του Earth Explorer.



Εικόνα 6. Earth explorer

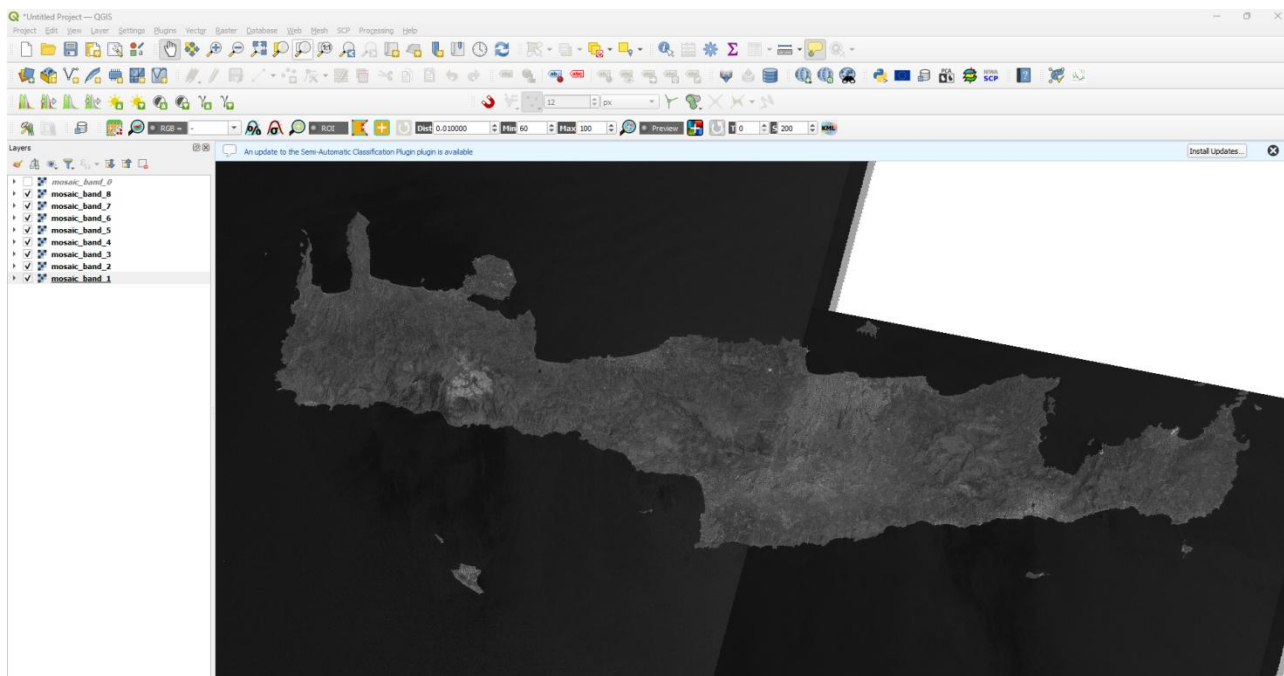


Εικόνα 7. Earth explorer 2

Παράλληλα για την συλλογή των δεδομένων που χρειάστηκε για την δημιουργία των χαρτών DEM και SLOPE αντλήσαμε τα δεδομένα μας από μια online βάση δεδομένων. Το DEM είναι το ψηφιακό μοντέλο υψομέτρου με μέγεθος εικονοστοιχείου 30 μ. το οποίο και χρησιμοποιήσαμε μέσω του ιστότοπου του <https://earthexplorer.usgs.gov/> . Το SLOPE είναι η κλίση του εδάφους μετρημένη σε μοίρες όπως παρουσιάζεται και παρακάτω. Ο χάρτης της κλίσης δημιουργήθηκε στο λογισμικό του GIS παίρνοντας ως βάση τον χάρτη του υψομέτρου. Επίσης για τη δημιουργία των χαρτών των χρήσεων γης επισκεφτήκαμε τον ιστότοπο του ERSI(<https://www.esri.com/en-us/home>) από όπου και κατεβάσαμε τους χάρτες για όλες τις χρονικές περιόδους μελέτης μας. Ο ιστότοπος παρέχει λογισμικό, εργαλεία και δεδομένα για χαρτογράφηση την χωρική ανάλυση και την διαχείριση γεωγραφικών πληροφοριών. Το πιο γνωστό λογισμικό του είναι το ArcGIS, που χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς όπως τις περιβαλλοντικές επιστήμες την πολεοδομία τις μεταφορές και την διαχείριση φυσικών πόρων.

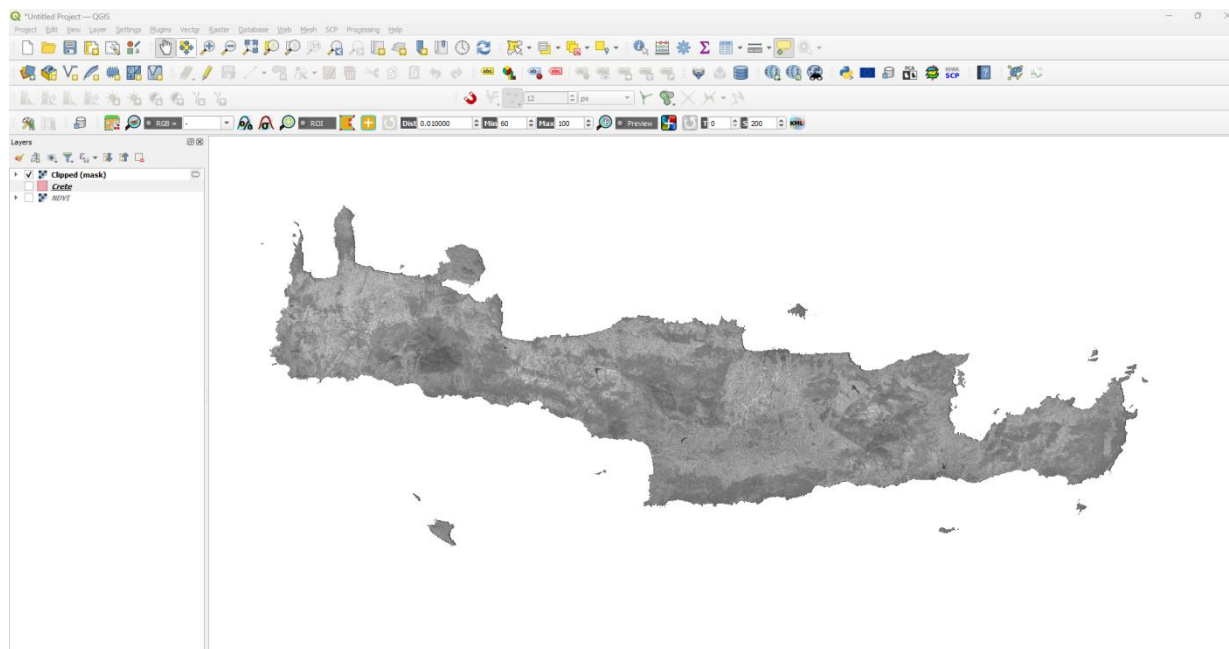
### 2.2.2 Επεξεργασία Δεδομένων

Αφού συλλέξουμε τα απαραίτητα δεδομένα τα μεταφέρουμε στο περιβάλλον του QGIS. Εκεί διαλέγουμε μόνο τα bands του δορυφόρου που θα χρησιμοποιήσουμε για τη εργασία μας και την δημιουργία των αρχικών χαρτών καθώς δεν είναι όλα τα bands απαραίτητα. Μέσω της εντολής merge και χρησιμοποιώντας το SCP plugin δημιουργούμε το τελικό προς επεξεργασία χάρτη για την περιοχή της Κρήτης. Το SCP plugin είναι ένα εργαλείο στο πρόγραμμα του QGIS το οποίο μας επιτρέπει να κάνουμε την διαχείριση των bands πιο εύκολη και παράλληλα ότι υπολογισμούς χρειαζόμαστε. Ο τελικός χάρτης επεξεργασίας( Εικ.8) μας αποτελείτε από τα μωσαϊκά των απαραίτητων bands και παράλληλα είναι το αρχικό μας δεδομένο για την δημιουργία των δεικτών NVDI, WET, NDBSI και LST από όπου θα προκύψει και ο κύριος δείκτης μας ο RSEI.



Εικόνα 8. Επεξεργασία Δεδομένων QGIS

Για να έχουμε μόνο την περιοχή της Κρήτης χωρίς να επηρεάσει η θαλάσσια περιοχή τους δείκτες μας καθώς δεν ισχύουν οι ίδιοι παράμετροι και οι δορυφορικές εικόνες δεν είναι ακριβής για την θάλασσα, χρησιμοποιήσαμε ένα αρχείο τύπου shapefile(.shp) της περιοχής και την εντολή clip master by mask layer και καταφέραμε να απομονώσουμε ακριβώς την ζητούμενη περιοχή όπως φαίνεται παρακάτω(Εικ. 9).



Εικόνα 9. Δημιουργία Χάρτη QGIS

## 2.3 Αρχικοί Δείκτες

Οι αρχικοί μας δείκτες από την στιγμή που έχουμε όλα τα δεδομένα και μέσω του raster calculator υπολογίστηκαν ως εξής:

### 2.3.1 NDVI(Normalized Difference Vegetation Index)

Ο NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) είναι ένας από τους πιο ευρέως χρησιμοποιούμενους δείκτες για την εκτίμηση της κατάστασης και της υγείας της βλάστησης σε μια περιοχή. Βασίζεται στην ανακλαστικότητα της ηλιακής ακτινοβολίας από την επιφάνεια της Γης, συνδυάζοντας δεδομένα από το ορατό κόκκινο φάσμα (Red) και το κοντινό υπέρυθρο φάσμα (NIR). Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται μέσω του τύπου:

$$NDVI = \frac{(R_{nir} - R_{red})}{(R_{nir} + R_{red})} \quad (1)$$

Οι τιμές του NDVI κυμαίνονται από -1 έως 1, με το 0 να αντιπροσωπεύει περιοχές χωρίς βλάστηση. Υψηλές τιμές, κοντά στο +1, υποδηλώνουν πυκνή και υγιή βλάστηση, ενώ τιμές κοντά στο 0 ή αρνητικές τιμές υποδηλώνουν έλλειψη βλάστησης, παρουσία νερού ή αστικών περιοχών.

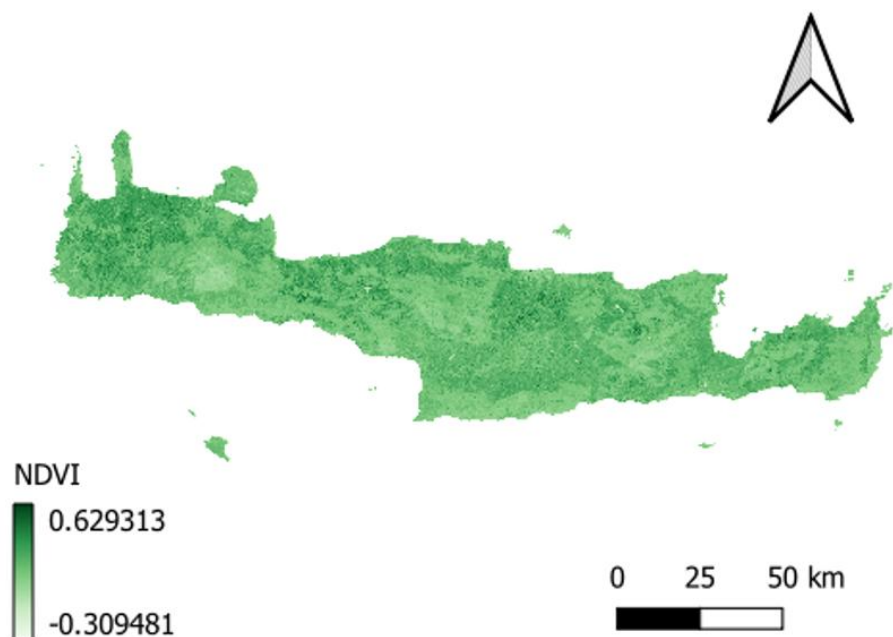
Ο NDVI βασίζεται στην ιδιότητα των φυτών να απορροφούν το ορατό φως (στο κόκκινο φάσμα) για τη φωτοσύνθεση, ενώ αντανακλούν το μεγαλύτερο μέρος της ακτινοβολίας στο κοντινό υπέρυθρο (NIR) λόγω της κυτταρικής δομής τους. Οι πιο υγιείς περιοχές βλάστησης απορροφούν περισσότερο κόκκινο φως και αντανακλούν περισσότερο υπέρυθρο, οδηγώντας σε υψηλότερες τιμές NDVI.

### Εφαρμογές του NDVI

Ο NDVI έχει πληθώρα εφαρμογών, τόσο στην περιβαλλοντική παρακολούθηση όσο και στη γεωργία, και χρησιμοποιείται ευρέως για:

- Ποσοτική εκτίμηση της βλάστησης: Μέσω χαρτών NDVI, οι ερευνητές μπορούν να εκτιμήσουν την πυκνότητα της βλάστησης και τη βιομάζα, ιδίως σε γεωργικές και δασικές περιοχές.
- Παρακολούθηση υγείας της βλάστησης: Ο NDVI βοηθά στην ανίχνευση αλλαγών στην υγεία της βλάστησης που μπορεί να προκληθούν από παράγοντες όπως η ξηρασία, οι ασθένειες ή οι περιβαλλοντικές πιέσεις.
- Περιβαλλοντική παρακολούθηση: Ο NDVI χρησιμοποιείται για την εκτίμηση των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών, την αποδάσωση, και τη δυναμική της γης, όπως η ερημοποίηση και οι πυρκαγιές.
- Γεωργία: Στον γεωργικό τομέα, οι καλλιεργητές μπορούν να χρησιμοποιούν τον NDVI για την παρακολούθηση της υγείας των καλλιεργειών και τον εντοπισμό περιοχών που χρειάζονται επιπλέον άρδευση ή λίπανση.





Χάρτης 1. NDVI

Ο NDVI είναι εξαιρετικά αποτελεσματικός για τη χαρτογράφηση της βλάστησης και τη μακροχρόνια παρακολούθηση περιβαλλοντικών αλλαγών( Χάρτης 1). Με τα δεδομένα NDVI, οι επιστήμονες μπορούν να παρακολουθούν τις εποχιακές και ετήσιες μεταβολές στα οικοσυστήματα, κάνοντας συγκρίσεις σε διάφορες χρονικές περιόδους. Παρόλα αυτά, ο NDVI έχει και ορισμένους περιορισμούς, καθώς δεν μπορεί να διαχωρίσει εύκολα διαφορετικούς τύπους βλάστησης και μπορεί να επηρεαστεί από τις συνθήκες της ατμόσφαιρας ή του εδάφους.

Πιο αναλυτικά για το εύρος τιμών του δείκτη μετά την κανονικοποίησή τους από -1 σε +1 .Οι τιμές οι οποίες βρίσκονται κοντά στο συν ένα υποδεικνύουν μια πυκνή. Και υγιή βλάστηση άρα και μια πολύ καλή οικολογική ποιότητα. Αντιθέτως, οι τιμές οι οποίες βρίσκονται κοντά στο μηδέν ή οι αρνητικές τιμές αντιστοιχούν σε εδάφη τα οποία είναι είτε γυμνά είτε σε περιοχές οι οποίες έχουν νερό είτε σε αστικοποιημένες περιοχές ή περιοχές με ελάχιστη ή και καθόλου βλάστηση υποδηλώνοντας οικολογικά υποβαθμισμένες συνθήκες.(Zhang, W andXinfeng, F., 2015; Pettorelli, 2013; Xueman Zuo et al., 2023).

### 2.3.2 LSM/WET (Land Surface Moisture)

Ο δείκτης Land Surface Moisture (WET) είναι ένα αρκετά χρήσιμο εργαλείο για την παρακολούθηση της υγρασίας στην επιφάνεια του εδάφους. Η υγρασία του εδάφους είναι πολύ σημαντική για τη γεωργία, τα φυσικά οικοσυστήματα και τη διαχείριση των υδάτινων πόρων, καθώς επηρεάζει άμεσα την ανάπτυξη των φυτών, τις καλλιέργειες και τον κύκλο του νερού.

Ο δείκτης WET υπολογίζεται μέσω δορυφορικών δεδομένων που προέρχονται από το κοντινό υπέρυθρο (NIR) και το μεσαίο υπέρυθρο (MIR) φάσμα. Αυτά τα φασματικά κανάλια σχετίζονται άμεσα με την περιεκτικότητα του νερού στο έδαφος και την απορροφητικότητα του υγρού εδάφους σε σύγκριση με το ξηρό. Το υγρό έδαφος απορροφά περισσότερο το υπέρυθρο φως, ενώ το ξηρό έδαφος το αντανακλά περισσότερο. Έτσι, ο WET μετρά τις μεταβολές στην υγρασία

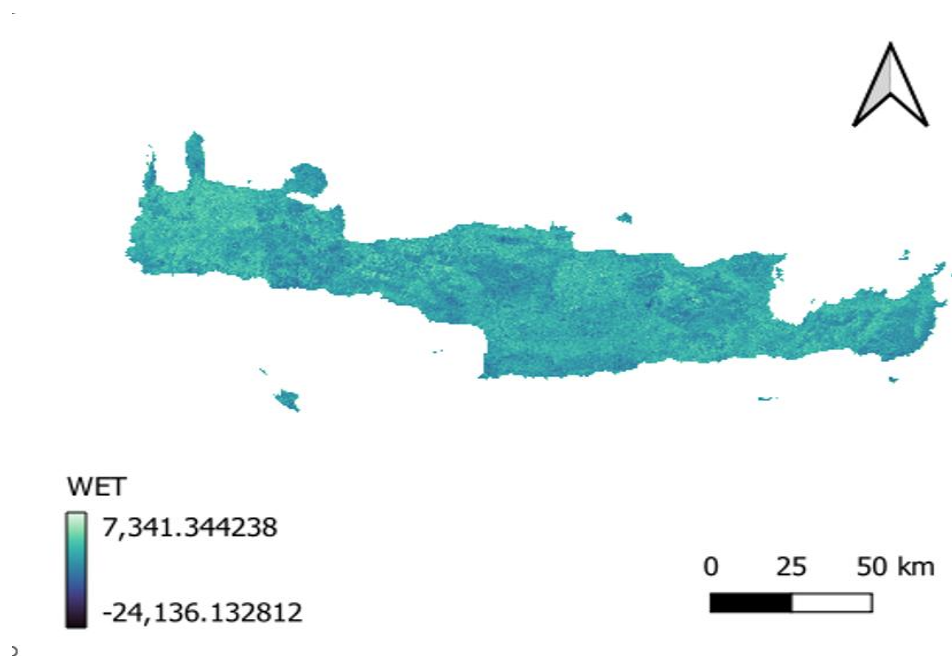
του εδάφους με μεγάλη ακρίβεια, χρησιμοποιώντας δεδομένα δορυφόρων όπως ο Landsat 8. Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται μέσω του τύπου:

$$\text{WET(OLI)} = 0.1511R_{\text{blue}} + 0.1973R_{\text{green}} + 0.3283R_{\text{red}} + 0.3407R_{\text{nir}} - 0.7117R_{\text{nir2}} - 0.4599R_{\text{nir1}} \quad (2)$$

### Εφαρμογές του WET

Ο WET χρησιμοποιείται σε διάφορους τομείς, με στόχο την παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους, ιδιαίτερα σε περιοχές με υψηλό ενδιαφέρον για την αγροτική παραγωγή ή τα φυσικά οικοσυστήματα. Οι βασικές εφαρμογές περιλαμβάνουν την :

- Γεωργία: Η υγρασία του εδάφους είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη των καλλιεργειών. Ο δείκτης WET παρακολουθεί τη διαθεσιμότητα του νερού στο έδαφος, βοηθώντας στη βελτιστοποίηση της άρδευσης και στη διατήρηση της υψηλής παραγωγικότητας.
- Περιβαλλοντική Διαχείριση: Στα φυσικά οικοσυστήματα, η υγρασία του εδάφους επηρεάζει την υγεία των φυτών και τη βιοποικιλότητα. Ο WET χρησιμοποιείται για την παρακολούθηση της ξηρασίας και της διαθεσιμότητας του νερού στα οικοσυστήματα αυτά.
- Διαχείριση Υδάτινων Πόρων: Η σωστή κατανομή και χρήση των αποθεμάτων νερού εξαρτάται από την καλή κατανόηση της υγρασίας του εδάφους. Ο WET παρέχει πολύτιμα δεδομένα για την σωστή και χρήσιμη κατανομή των υδάτινων πόρων.
- Ανάλυση Κλιματικών Αλλαγών: Ο WET χρησιμοποιείται για την ανίχνευση των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής στην υγρασία του εδάφους, επιτρέποντας στους επιστήμονες να παρακολουθούν τις μεταβολές στη διαθεσιμότητα του νερού σε οποιοδήποτε οικοσύστημα θελήσουν .



Χάρτης 2. WET

Ο δείκτης WET (Χάρτης 2) προσφέρει μεγάλα πλεονεκτήματα, καθώς επιτρέπει την παρακολούθηση της υγρασίας του εδάφους σε ευρείες περιοχές και σε τακτική βάση, μειώνοντας σημαντικά το κόστος της παρακολούθησης. Ωστόσο, μπορεί να έχει περιορισμούς σε περιοχές με πυκνή βλάστηση, όπου το φύλλωμα μπορεί να επηρεάσει τη δυνατότητα ανίχνευσης της πραγματικής υγρασίας του εδάφους. Όσον αφορά τις τιμές του δείκτη μετά την κανονικοποίησή τους από -1 σε +1, οι τιμές που πλησιάζουν το συν ένα δείχνουν υψηλή περιεκτικότητα του εδάφους σε υγρασία και επομένως θεωρούνται οικολογικά ευνοϊκές, καθώς συνήθως αντιστοιχούν σε περιοχές με πλούσια βλάστηση και υδάτινα σώματα. Αντιθέτως, οι τιμές οι οποίες βρίσκονται πιο κοντά στο μείον ένα, χαρακτηρίζουν συνήθως εδάφη τα οποία είναι ξηρά και υποβαθμισμένα περιβάλλοντα, τα οποία με τη σειρά τους έχουν αρνητικές επιπτώσεις στην οικολογική ποιότητα και στον δείκτη μας RSEI.(Xueman Z. et.al., 2023)

### 2.3.3 NDBSI (Normalized Differential Build-Up and Bare Soil Index)

Ο Δείκτης Normalized Differential Build-Up and Bare Soil Index (NDBSI) είναι ένας δείκτης που χρησιμοποιείται στη δορυφορική απεικόνιση για τη διάγνωση των περιοχών με δομημένο περιβάλλον σε σχέση με τις εδαφικές επιφάνειες που δεν έχουν κτίσματα(Χάρτης 3) . Για την εκτίμηση του NDBSI χρειάζεται η χρήση δεδομένων από συγκεκριμένα φάσματα, συνήθως από δορυφορικές εικόνες, και η διαδικασία περιλαμβάνει τον υπολογισμό δύο βασικών δεικτών: του Δείκτη Εδάφους (Soil Index, SI) και του Δείκτη Δόμησης (Built-Up Index, IBI).

Ο Δείκτης Εδάφους (SI) υπολογίζεται συνήθως με τη χρήση των φασμάτων near infrared (NIR), του RED, του shortwave infrared(MIR) και του BLUE . Ο υπολογισμός του SI γίνεται με τη φόρμουλα:

$$SI = \frac{[(Rmir1+Rred)-(Rnir+Rblue)]}{[(Rmir1+Rred)+(Rnir+Rblue)]} \quad (3)$$

Αυτή η μέθοδος επιτρέπει τον προσδιορισμό των εδαφικών περιοχών μέσω της ανάλυσης των διαφορών στην ανακλαστικότητα των εδαφών, παρέχοντας πολύτιμες πληροφορίες για τη χωροταξική κατανομή της γης.

Από την άλλη πλευρά, ο Δείκτης Δόμησης (IBI) μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας δεδομένα από συγκεκριμένα φάσματα. Ο υπολογισμός του IBI γίνεται με την εξής φόρμουλα:

$$IBI = \frac{2Rmir1/(Rmir1+Rnir)-[Rnir/(Rnir+Rred)+Rgreen/(Rgreen+Rmir1)]}{2Rmir1/(Rmir1+Rnir)+[Rnir/(Rnir+Rred)+Rgreen/(Rgreen+Rmir1)]} \quad (4)$$

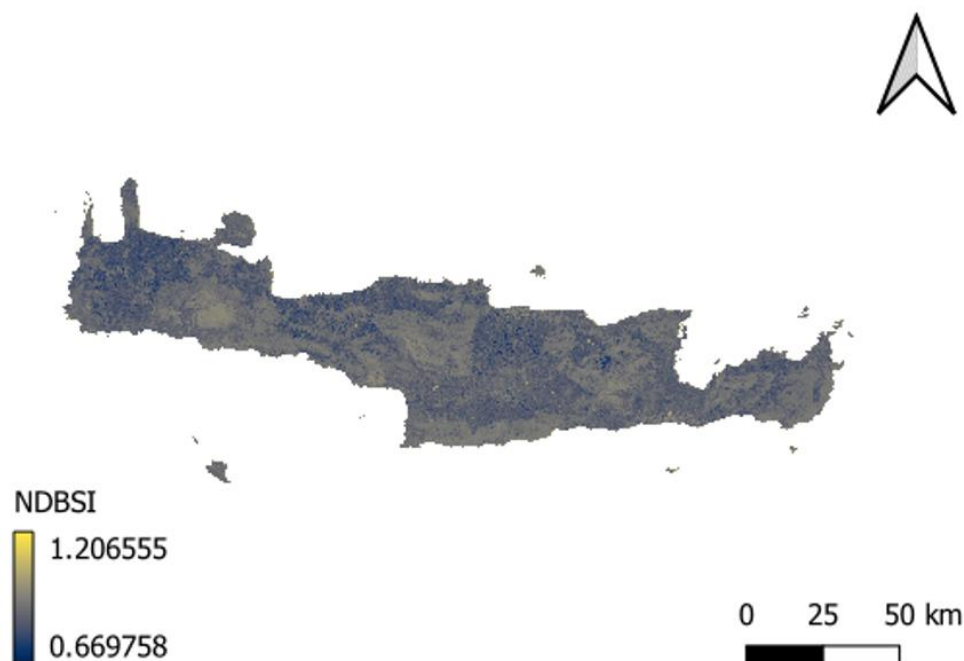
Στις παραπάνω εξισώσεις, τα φάσματα NIR, MIR, RED, GREEN και BLUE αναφέρονται στην ανακλαστικότητα της επιφάνειας σε διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Ο Δείκτης Δόμησης έχει στόχο να εντοπίσει τις περιοχές που έχουν υποστεί αστικοποίηση, διακρίνοντας την ανακλαστικότητα των δομημένων περιβαλλόντων από αυτή των φυσικών.

Αφού υπολογιστούν οι δύο δείκτες, ο NDBSI μπορεί να προσδιοριστεί χρησιμοποιώντας την παρακάτω φόρμουλα:

$$NDBSI = \frac{(SI+IBI)}{2} \quad (5)$$

Ο υπολογισμός του NDBSI παρέχει τη δυνατότητα ανάλυσης και διάκρισης μεταξύ των περιοχών που είναι καλυμμένες από δομικά στοιχεία και εκείνων που είναι γυμνές. Η διαδικασία

αυτή είναι εξαιρετικά χρήσιμη για μελέτες που σχετίζονται με την αστική ανάπτυξη, την παρακολούθηση της γης και την εκτίμηση περιβαλλοντικών αλλαγών.



Χάρτης 3. NDBSI

Η εφαρμογή του NDBSI στην απομακρυσμένη παρατήρηση μπορεί να προσφέρει πολύτιμα δεδομένα για τη διαχείριση της γης και την πολιτική χωροταξίας. Με την ανάλυση των αποτελεσμάτων του δείκτη, οι ερευνητές και οι πολεοδόμοι μπορούν να αποκτήσουν πολύτιμες πληροφορίες για τη χρήση της γης και την αξιολόγηση των επιπτώσεων των ανθρωπίνων δραστηριοτήτων στο φυσικό περιβάλλον. Όσον αφορά τις τιμές του συγκεκριμένου δείκτη μετά την κανονικοποίησή τους, οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται κοντά στην τιμή +1 υποδεικνύουν περιοχές με υψηλό ποσοστό γυμνού εδάφους, έντονη ξηρότητα και αυξημένη αστικοποίηση που υποδηλώνει μια χαμηλότερη οικολογική ποιότητα. Οι περιοχές οι οποίες βρίσκονται κοντά στο -1 υποδηλώνουν περιοχές με μικρότερη παρουσία γυμνού εδάφους, μικρότερη αστικοποίηση και λιγότερη ξηρότητα. Άρα οι περιοχές αυτές παρουσιάζουν και μια υψηλότερη οικολογική Ποιότητα. (Zhang, Y., & Weng, Q, 2015; Xueman, Z. et al., 2023).

#### 2.3.4 LST (Land Surface Temperature)

Ο δείκτης (LST) αναφέρεται στη θερμοκρασία που εκπέμπεται από την επιφάνεια της Γης και αποτελεί έναν από τους πιο σημαντικούς παράγοντες για την παρακολούθηση των κλιματικών και περιβαλλοντικών μεταβολών. Η μέτρηση του LST πραγματοποιείται μέσω δορυφορικών δεδομένων ειδικά από αισθητήρες θερμικής υπέρυθρης ακτινοβολίας οι οποίοι καταγράφουν τη θερμική εκπομπή από το έδαφος. Η θερμοκρασία της επιφάνειας της Γης επηρεάζεται από πάρα πολλούς παράγοντες όπως η ακτινοβολία του ήλιου, η κάλυψη του εδάφους αλλά και οι τοπικές κλιματικές συνθήκες οι οποίες στην περιοχή μελέτης μας αποτελούν καθοριστικό ρόλο στην διαμόρφωση της θερμοκρασίας.



Ο δείκτης LST(Χάρτης 4) για να δημιουργηθεί αντλεί τα δεδομένα μέσω δορυφόρων όπως ο Landsat 8 στην περίπτωση της εργασίας μας οι οποίοι χρησιμοποιούν τον αισθητήρα Thermal Infrared Sensor (TIRS) για να καταγράψουν την υπέρυθρη ακτινοβολία που εκπέμπεται από την επιφάνεια του εδάφους. Η χωρική ανάλυση των δεδομένων επιτρέπει την ακριβή χαρτογράφηση των θερμοκρασιακών μεταβολών σε τοπική και περιφερειακή κλίμακα. Οι πληροφορίες αυτές είναι κρίσιμες για την ανάλυση μικροκλιμάτων και τη μελέτη περιβαλλοντικών φαινομένων όπως η αστική θερμική νησίδα, οι ξηρασίες και οι μεταβολές στη χρήση γης.

Ο δείκτης αυτός υπολογίζεται μέσω των τύπων:

- ToA(Top of atmosphere radiance):  $TOA = 0,0003342 * Band10 + 0.1 - 0.29(6)$

- BT (Brightness Temperature):  $BT = \frac{(1321,0789)}{\left(\frac{\ln(774,8853)}{ToA+1}\right)} - 273.14(7)$

- $NDVI = \frac{(Rnir-Rred)}{(Rnir+Rred)}(8)$

- LSE(Land Surface Emissivity):  $PV = \left(\frac{(NDVI-NDVImin)}{(NDVImax-NDVI)}\right)^2(9)$

- $E = 0,004 * PV + 0.986(10)$

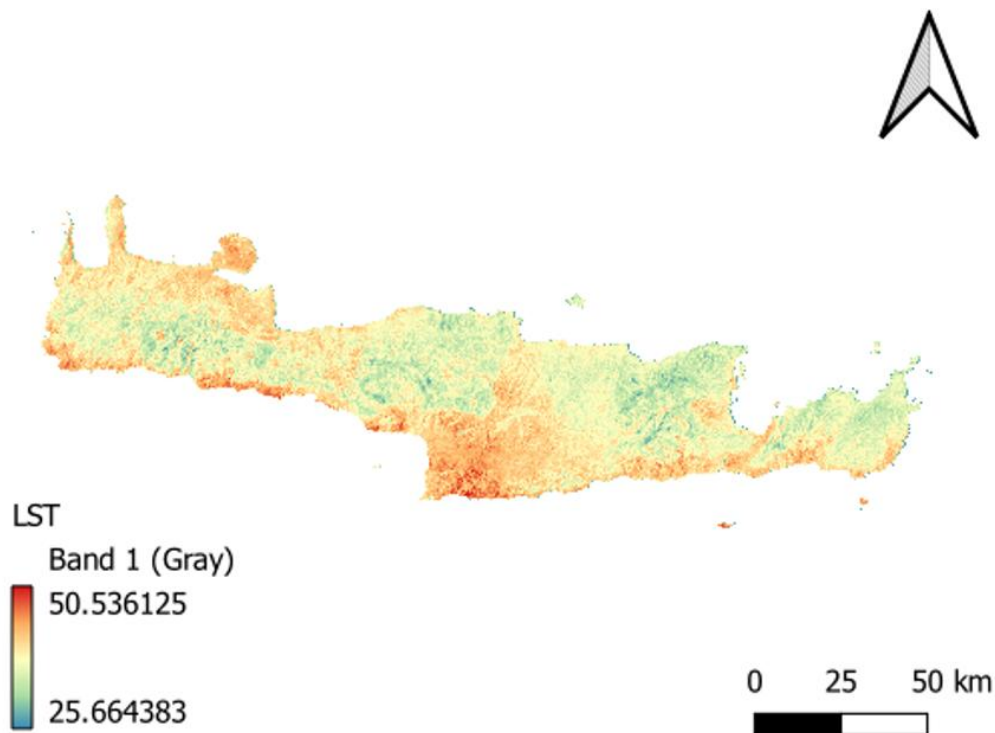
- $LST = \frac{BT}{\left(1 + \left(\lambda * \frac{BT}{c^2}\right) * \ln(E)\right)}(11)$

Ο δείκτης LST χρησιμοποιείται σε πολλές εφαρμογές. Αποτελεί βασικό εργαλείο για την ανάλυση της κλιματικής αλλαγής, καθώς οι μεταβολές στη θερμοκρασία της επιφάνειας σχετίζονται άμεσα με τις αλλαγές στο παγκόσμιο κλίμα. Μέσω της μακροχρόνιας παρακολούθησης των θερμοκρασιακών δεδομένων, οι επιστήμονες μπορούν να εντοπίζουν τις επιπτώσεις της υπερθέρμανσης του πλανήτη και να αναλύουν τις συνέπειες σε διάφορες περιοχές της Γης. Παράλληλα ο LST συμβάλλει στη γεωργική διαχείριση και την εκτίμηση των αναγκών άρδευσης. Οι θερμοκρασίες του εδάφους επηρεάζουν άμεσα τη διαθεσιμότητα του νερού και την ανάπτυξη των καλλιεργειών, και η παρακολούθηση των δεδομένων αυτών βοηθά τους γεωργούς να προσαρμόσουν τις τεχνικές άρδευσης ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν.

Επιπλέον, ο LST χρησιμοποιείται για την ανάλυση των επιπτώσεων της αστικοποίησης. Στις μεγάλες πόλεις, παρατηρείται συχνά το φαινόμενο της αστικής θερμικής νησίδας, όπου οι θερμοκρασίες είναι σημαντικά υψηλότερες από τις γύρω αγροτικές ή δασικές περιοχές λόγω της συγκέντρωσης κτιρίων και αστικών υποδομών. Ο δείκτης LST παρέχει σημαντικά δεδομένα για την ανάλυση αυτών των φαινομένων, βοηθώντας τις τοπικές αρχές να προσαρμόσουν τις πολιτικές αστικής ανάπτυξης και να λάβουν μέτρα για τον μετριασμό των θερμικών επιπτώσεων.

Παρά τα πλεονεκτήματά του, ο LST έχει και ορισμένους περιορισμούς. Οι δορυφορικές μετρήσεις της θερμοκρασίας της επιφάνειας είναι ευαίσθητες σε καιρικές συνθήκες, όπως τα σύννεφα, που μπορεί να επηρεάσουν την ακρίβεια των δεδομένων. Επιπλέον, σε περιοχές με πυκνή βλάστηση, η θερμοκρασία της επιφάνειας του εδάφους ενδέχεται να διαφέρει σημαντικά

από τη θερμοκρασία της κόμης των δέντρων, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει σε μικρές αποκλίσεις στις μετρήσεις. Για να καταλάβουμε καλύτερα. Τις τιμές τις οποίες παίρνει ο δείκτη μας στην προκειμένη περίπτωση χρειάζεται να σκεφτούμε ότι οι τιμές οι οποίες είναι υψηλότερες, δηλαδή πιο κοντά στο +1, υποδηλώνουν περιοχές οι οποίες έχουν Υψηλότερες θερμοκρασίες Και παρουσιάζουν μια περιβαλλοντική υποβάθμιση λόγω της έλλειψης βλάστησης ή της έντονης αστικής ανάπτυξης. Παράλληλα, οι τιμές οι οποίες είναι κοντά στο μηδέν και μείον ένα υποδηλώνουν περιοχές στις οποίες παρουσιάζεται πιο έντονη βλάστηση χαμηλότερη θερμοκρασία και μικρότερη ανθρωπογενή επίδραση.( Li, Z. L, et.al., 2013).



Χάρτης 4. LST

## 2.4 Δείκτης RSEI (Remote Sensing Ecological Index)

Αφού υπολογίσουμε για την κάθε χρονική περίοδο και τους τέσσερις αρχικούς μας δείκτες (LST,WET,NDVSI,NDVI) μπορούμε πλέον μέσω αυτών να διαμορφώσουμε και τον τελικό οικολογικό μας δείκτη τον RSEI τον οποίο θα συσχετίσουμε με διάφορους οικολογικούς παράγοντες. Η συνάρτηση υπολογισμού του RSEI είναι η εξής:

$$RSEI = f(Greenness, Wetness, Dryness, Heat)(12)$$

Όπου για το Greenness έχουμε ως δεδομένο τον δείκτη NDVI , ο δείκτης WET ανταποκρίνεται στο Wetness , το Dryness είναι ο δείκτης NDBSI και ο LST ανταποκρίνεται στην μεταβλητή Heat. Στην συνέχεια για να περιορίσουμε το πόσο θα επιδρούσαν στα αποτελέσματα οι διακυμάνσεις μεταξύ των διαφορετικών τιμών καθώς και το διαφορετικό εύρος τιμών του κάθε δείκτη μετατρέψαμε όλους τους δείκτες έτσι ώστε όλοι να έχουν το ίδιο εύρος τιμών από 0 έως 1. Για να συνεχίσουμε στον υπολογισμό η μέθοδος με την οποία βγάλαμε τον δείκτη σε σχέση με

τις μεταβλητές του είναι το Principal Component Analysis (PCA). Το PC1 που είναι το πρώτο δεδομένο της μεθόδου χρησιμοποιήθηκε για τον δείκτη RSEI με την φόρμουλα να μετατρέπεται ως εξής:

$$RSEI_0 = PC1[f(LST, NDVI, WET, NDBSI)](13)$$

Οι τιμές οι οποίες προκύπτουν αντικατοπτρίζουν και την ποιότητα του δείκτη πχ μια μεγαλύτερη τιμή σημαίνει ότι η οικολογική ποιότητα είναι καλή και αντίστοιχα μια μικρότερη τιμή σημαίνει ότι η οικολογική ποιότητα είναι χειρότερη. Για να το διασφαλίσουμε αυτό και λόγο ότι σε πολλές περιπτώσεις ενώ οι μεταβλητές μας ήταν σε καλά επίπεδα ο τελικός δείκτης δεν είχε το επιθυμητό αποτέλεσμα έτσι τελειοποιήσαμε την φόρμουλα αφαιρώντας από το 1 από το  $RSEI_0$ . Η τελική μορφή του τύπου υπολογισμού του RSEI είναι η εξής:

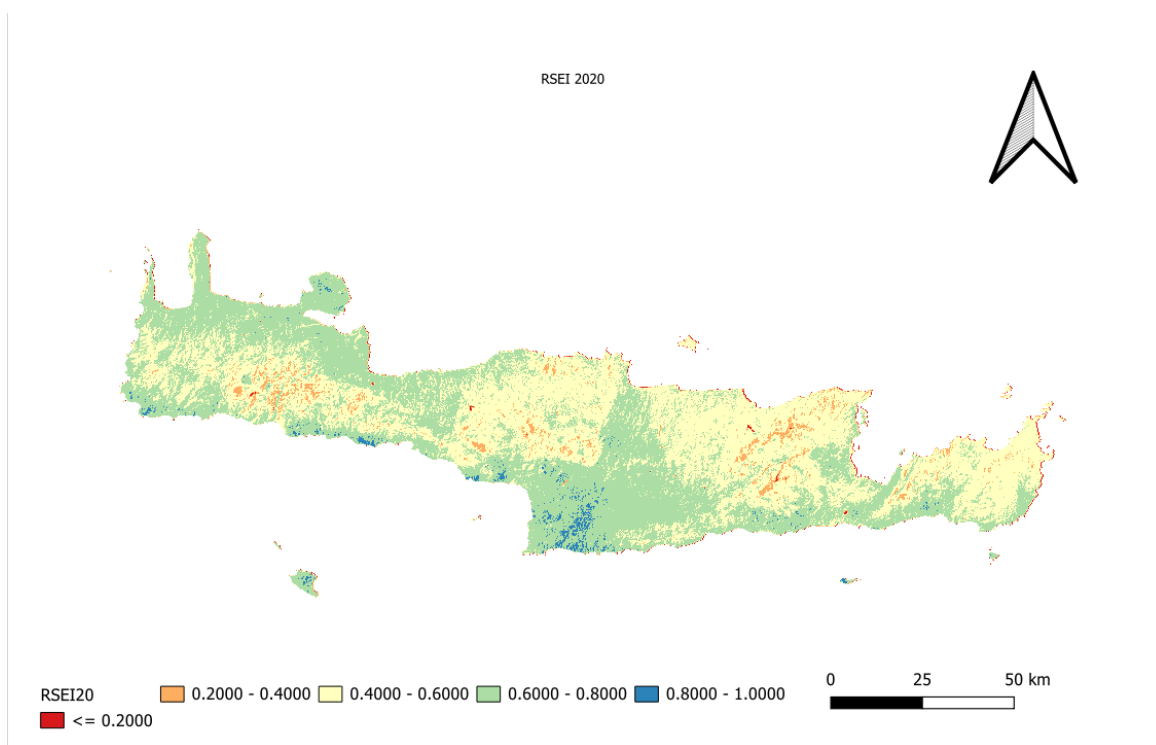
$$RSEI = 1 - PC1[f(LST, NDVI, WET, NDBSI)](14)$$

Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε, ο δείκτης μας βασίζεται στην πρώτη κύρια συνιστώσα(PC1) η οποία προκύπτει από την εφαρμογή της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA) στους 4 επιμέρους δείκτες μας(LST,WET,NDVI,NDBSI). Στην αρχική της μορφή η πρώτη κύρια συνιστώσα δεν έχει μια ξεκάθαρη σχέση με την οικολογική ποιότητα, δηλαδή οι υψηλές τιμές της μπορεί να αντιστοιχούν ίσως και σε μια χαμηλή οικολογική ποιότητα δηλαδή χαμηλή βλάστηση υψηλή θερμοκρασία και έντονη παρουσία γυμνού εδάφους. Κάτι που θα μας έδινε λανθασμένα αποτελέσματα στην περαιτέρω μελέτη της. Για να είναι ο δείκτης μας πρακτικά πιο κατανοητός και χρήσιμος ακολουθήσαμε μια συνήθης παραδοχή που εφαρμόζεται στην ήδη υπάρχουσα βιβλιογραφία παγκοσμίως. Η παραδοχή αυτή είναι ότι η πρώτη κύρια συνιστώσα αφαιρείται από τη μονάδα (1-PC1) όπως φαίνεται και στην παραπάνω σχέση. Το αποτέλεσμα ήταν να αντιστρέψει την κλίμακα τιμών ώστε οι περιοχές που αρχικά είχαν υψηλή τιμή να έχουν να έχουν πλέον χαμηλές τιμές και αντίθετα οι περιοχές που είχαν αρχικά χαμηλές τιμές να έχουν πλέον υψηλές.

Τέλος μετατρέψαμε το εύρος τιμών του τελικού RSEI από 0 έως 1 και δημιουργήσαμε 5 κατηγορίες όπου και θα κατατάξουμε τα αποτελέσματα μας. Οι κατηγορίες αυτές είναι άριστη (0.8-1),καλή (0.6-0.8), μέτρια (0.4-0.6), σχετικά κακή (0.2-0.4) και κακή (0-0.2). Η τελική μορφή του δείκτη φαίνεται στον επόμενο Χάρτη (Χάρτης 5). Ο RSEI στηρίζεται στην παραδοχή που έχουμε κάνει και βάση της ήδη υπάρχουσας βιβλιογραφίας ότι η υψηλή τιμή που παίρνει ο δείκτης αντιστοιχεί σε μια καλή οικολογική ποιότητα, ενώ ταυτόχρονα χαμηλή σε υποβαθμισμένη οικολογική κατάσταση. Για να μπορέσει να ισχύσει αυτή η παραδοχή είναι απαραίτητο επιμέρους δείκτες που συνθέτουν τον δείκτη μας να είναι ευθυγραμμισμένη σε αυτή τη λογική. Πιο συγκεκριμένα, οι δείκτες NDVI και WET εμφανίζουν θετική συσχέτιση Εκεί ποιότητα, καθώς υψηλές τιμές τους υποδεικνύουν αρκετή βλάστηση και υγρασία δηλαδή. Χαρακτηριστικά, τα οποία είναι θετικά ως προς την οικολογική ποιότητα. Παράλληλα, οι δείκτες. LST και NDBSI εμφανίζουν αρνητική συσχέτιση ως προς την οικολογική ποιότητα καθώς οι υψηλές τιμές τους συνδέονται αρχικά με αυξημένη θερμοκρασία επιφανείας, γυμνά εδάφη Και περιοχές με μεγαλύτερη αστική ανάπτυξη και κατεπένταση υποβάθμιση του περιβαλλοντικού μας δείκτη. Μέσω της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών εφαρμόστηκε ο κατάλληλος μετασχηματισμός στις τιμές των δεικτών, δηλαδή η κανονικοποίηση τους από μείον ένα έως ένα, έτσι ώστε όλοι οι δείκτες είτε με αρνητική επίδραση στην οικολογική ποιότητα είτε με θετική επίδραση στην οικολογική ποιότητα να επηρεάζουν τον δείκτη αναλόγως. Πιο συγκεκριμένα, όπως αναφέραμε και παραπάνω, οι δείκτες που αφορούν τη βλάστηση και την υγρασία επηρεάζουν θετικά την οικολογική ποιότητα και τη τελική τιμή του RSEI, ενώ οι δείκτες που αφορούν τη θερμοκρασία

επιφανείας και τον δείκτη Για το δομημένο περιβάλλον και γυμνό έδαφος Επηρεάζουν αρνητικά την τελική τιμή του δείκτη RSEI. Έτσι έχουμε εξασφαλίσει σε ένα μεγάλο βαθμό. Ότι οι τελικές τιμές του δείκτη μας αντικατοπτρίζουν στην περίπτωση που είναι Υψηλές Καλές οικολογικές συνθήκες ενώ στην περίπτωση που οι τελικές τιμές του δείκτη είναι χαμηλές μας δείχνουν περιοχές με πιο χαμηλή οικολογική ποιότητα.

(Xueman Z.et.a., 2023),( Geng JW, Yu KY, Xie Z et al, 2022)



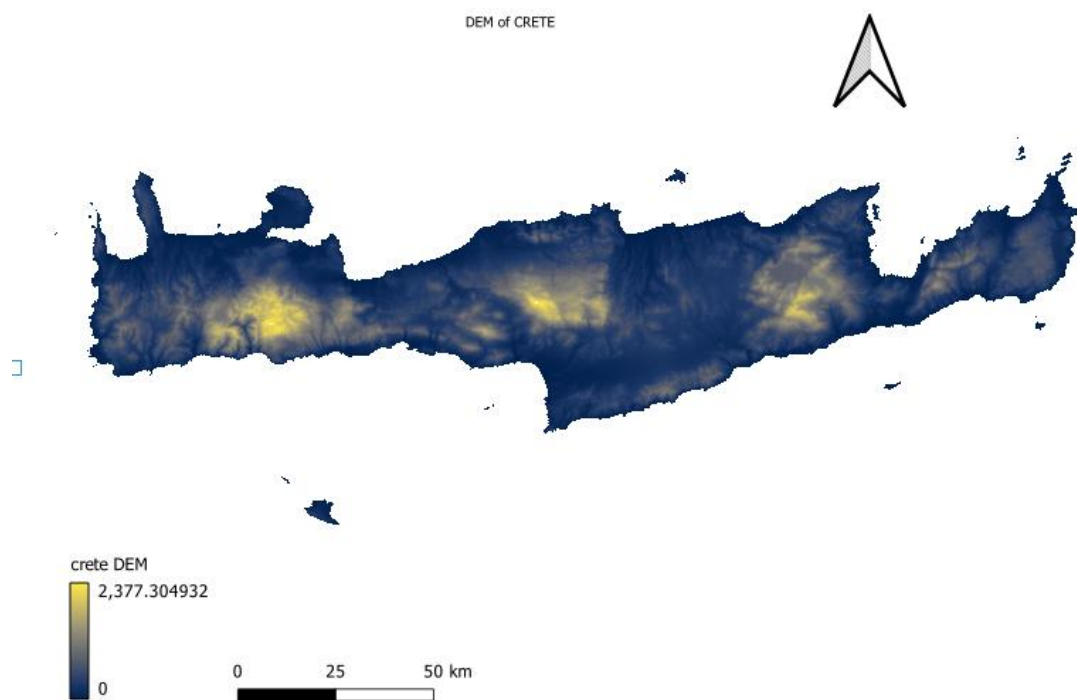
Χάρτης 5. RSEI

## 2.5 Περιβαλλοντικοί Παράγοντες

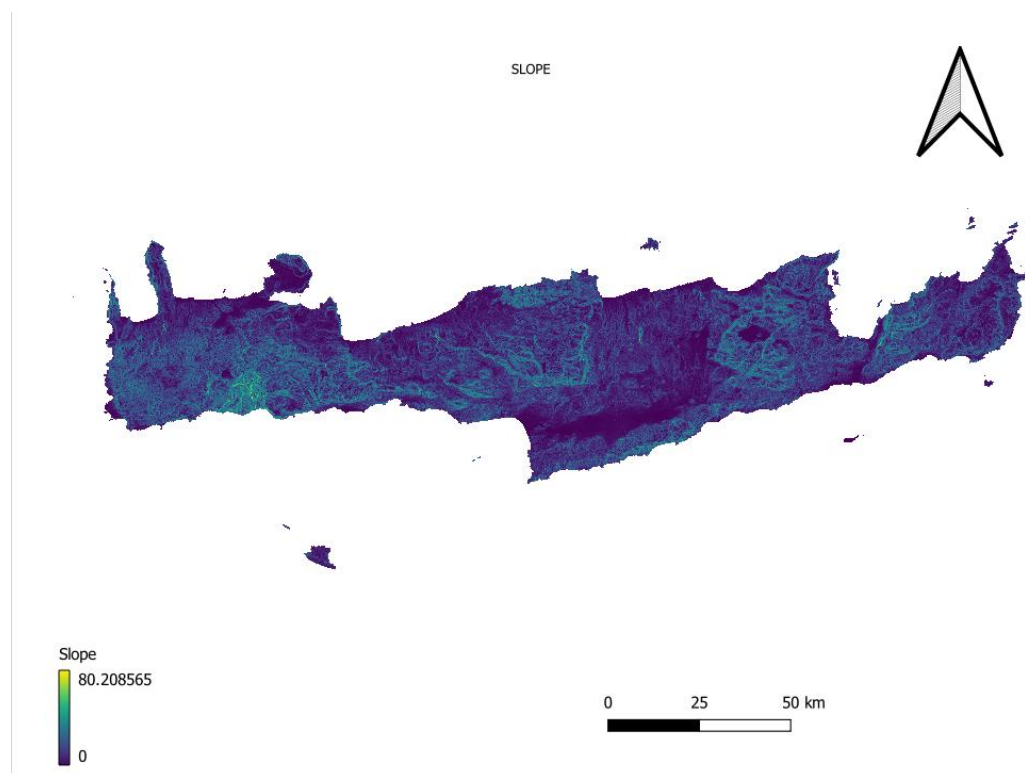
Αφού έχουμε δημιουργήσει τον δείκτη μας το επόμενο βήμα της εργασίας μας είναι να τον συσχετίσουμε με διάφορους περιβαλλοντικούς παράγοντες που κρίναμε ότι επηρεάζουν ενεργά και σε μεγάλο βαθμό την ποιότητα του RSEI για κάθε μια από τις διαφορετικές χρονικές περιόδους μελέτης μας. Οι παράγοντες αυτοί είναι το υψόμετρο, η κλίση του εδάφους και οι χρήσεις γης.

### 2.5.1 Δεδομένα Μορφολογίας

Για τα δεδομένα μορφολογίας δημιουργήσαμε δύο καινούργιους χάρτες. Πιο συγκεκριμένα ένα χάρτη (Χάρτης 6) ο οποίος αφορά το υψόμετρο( Ψηφιακό μοντέλο εδάφους DEM ) της Κρήτης και ένα δεύτερο χάρτη(Χάρτης 7) ο οποίος απεικονίζει την κλίση του εδάφους της περιοχής μελέτης μας, όπου ο χάρτης της κλίσης δημιουργήθηκε με την εντολή slope του λογισμικού GIS και αρχικό δεδομένο το ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου DEM.



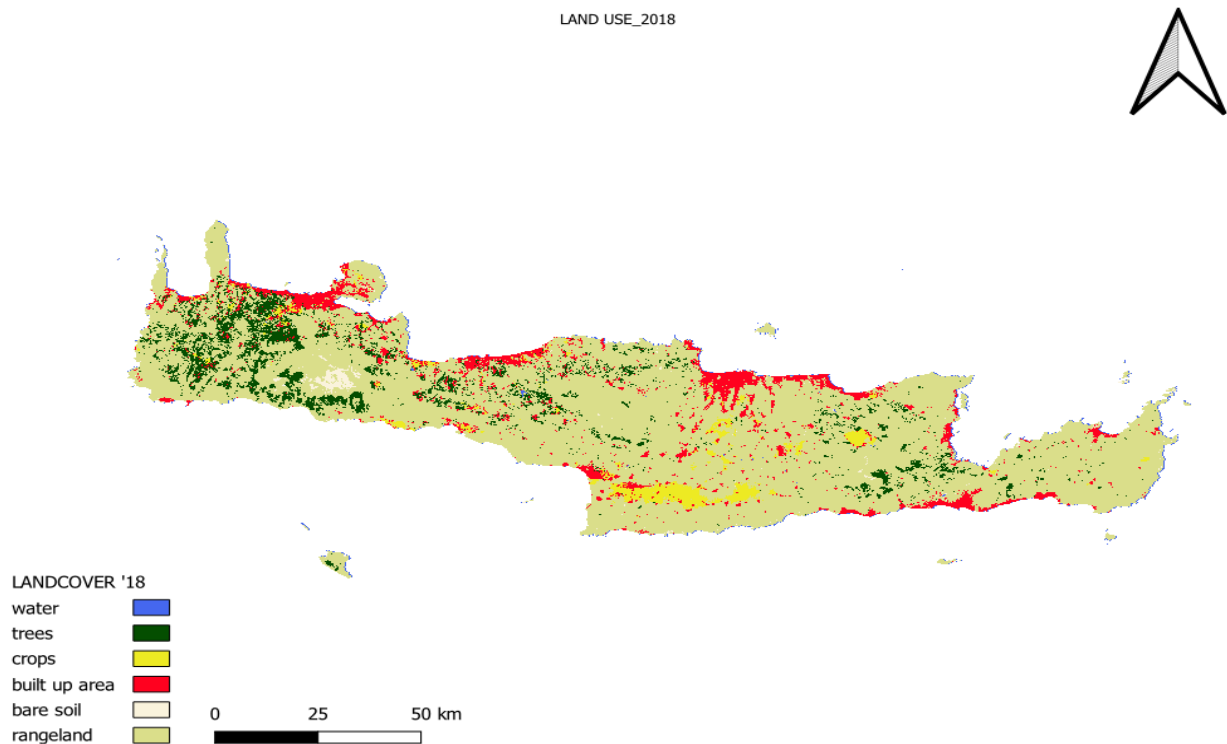
Χάρτης 6. Digital Elevation Model(DEM)



Χάρτης 7. SLOPE

### 2.5.2 Χρήσεις Γης

Για τα δεδομένα των χρήσεων γης χρησιμοποιήσαμε για κάθε χρονιά μελέτης ένα ξεχωριστό χάρτη ο οποίος απεικονίζει 11 διαφορετικές χρήσεις γης για την περιοχή της Κρήτης όπου και βάση αυτών των 11 έγινε και η συσχέτισή με σκοπό να δούμε πως κάθε μία από τις χρήσεις επηρεάζει τον οικολογικό μας δείκτη και σε ποιες από αυτές εμφανίζει μεγαλύτερες και σε ποιες μικρότερες τιμές. Για την ακριβέστερη μελέτη από τις 11 συνολικές κλάσεις αναλύσαμε τον δείκτη μας βάση των 6 κυριότερων όπως παρουσιάζεται στον παρακάτω χάρτη(Χάρτης 8).



Χάρτης 8. Land use 2018

Οι έξη κατηγορίες είναι οι εξής:

- Water: όπου η κατηγορία αυτή περιέχει όλες τις υδάτινες περιοχές του νησιού (ποτάμια λίμνες). Οι παράμετροι του RSEI δεν ισχύουν πλήρως για τις περιοχές αυτές.
- Trees: εδώ συναντάμε όλες τις περιοχές που αφορούν δασικές εκτάσεις όπως και περιοχές NATURA
- Crops: η κατηγορία αυτή αφορά όλες τις περιοχές του νησιού, οι οποίες είναι καλλιεργήσιμες.
- Built up Area: Στην κατηγορία αυτή βρίσκουμε όλες τις εκτάσεις της Κρήτης, οι οποίες αποτελούν τον αστικό ιστό της από τις μεγάλες πόλεις μέχρι και τα μικρά χωριά.

- Bare Soil: Η κατηγορία αυτή ουσιαστικά αφορά τις περιοχές αυτές που δεν υπάρχει ούτε μεγάλη βλάστηση ούτε κάποιος αστικός ιστός, ούτε κάποια υδάτινη περιοχή, δηλαδή ουσιαστικά αυτή η κατηγορία αναφέρεται στις περιοχές που υπάρχει έδαφος
- Rangeland: Στην κατηγορία αυτή εντάσσονται όλες οι περιοχές του νησιού, οι οποίες έχουν είτε χαμηλή βλάστηση είτε αποτελούν βοσκοτόπια είτε βρίσκονται ανάμεσα στην προηγούμενη κατηγορία και στην κατηγορία που αφορά τις καλλιέργειες.

### 3 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

Στο κεφάλαιο αυτό θα δούμε τα αποτελέσματα της μελέτης μας όπως έχει παρουσιαστεί στο προηγούμενο κεφάλαιο. Τα αποτελέσματα επικεντρώνονται σε κάθε χρονιά μελέτης ξεχωριστά όπου και θα δούμε τους σχετικούς χάρτες(NDVI,WET,LST,NDBSI,RSEI), τις συσχετίσεις μεταξύ του οικολογικού μας δείκτη και των περιβαλλοντικών παραγόντων και τις αλλαγές μαζί με τις διακυμάνσεις του ίδιου του δείκτη μας ανά χρονική περίοδο.

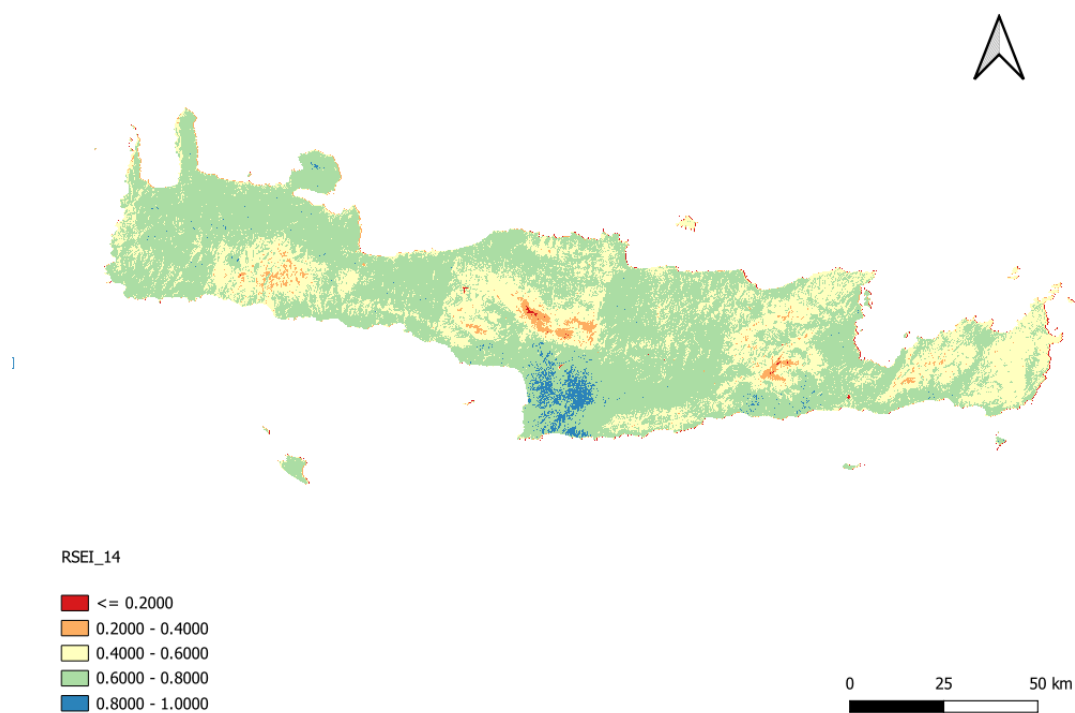
Για το κάθε έτος θα έχουμε αρχικά τους θεματικούς χάρτες που αποτυπώνουν την χωρική κατανομή των δεικτών μας από όπου μπορούμε να έχουμε και μια αρχική οπτική εικόνα της περιοχής μας ανάλογα και με ποιον δείκτη μελετάμε. Οι χάρτες αυτοί επιτρέπουν την ανάλυση των οικολογικών διαφοροποιήσεων μεταξύ και συνολικά όλης της Κρήτης αλλά και μεταξύ μικρότερων περιοχών δίνοντας την δυνατότητα για μελέτη των πιθανών περιβαλλοντικών επιπτώσεων κυρίως από την ανθρώπινη δραστηριότητα.

Στην συνέχεια αφού έχει πραγματοποιηθεί η στατιστική ανάλυση για την συσχέτιση του κύριου δείκτη μας με τους περιβαλλοντικούς παράγοντες θα παρουσιαστεί σε μορφή πινάκων και σχεδιαγραμμάτων. Επιπλέον καταγράφονται οι μεταβολές του RSEI με την πάροδο του χρόνου, με αναφορά στις ετήσιες διακυμάνσεις και στα ποσοστά βελτίωσης ή υποβάθμισης της οικολογικής ποιότητας. Η σύγκριση των διαχρονικών μεταβολών προσφέρει πολύτιμες πληροφορίες για τις τάσεις βελτίωσης ή επιδείνωσης που παρατηρούνται σε συγκεκριμένες περιοχές και αναδεικνύει πιθανές αιτίες, όπως η αλλαγή χρήσεων γης ή οι περιβαλλοντικές συνθήκες.

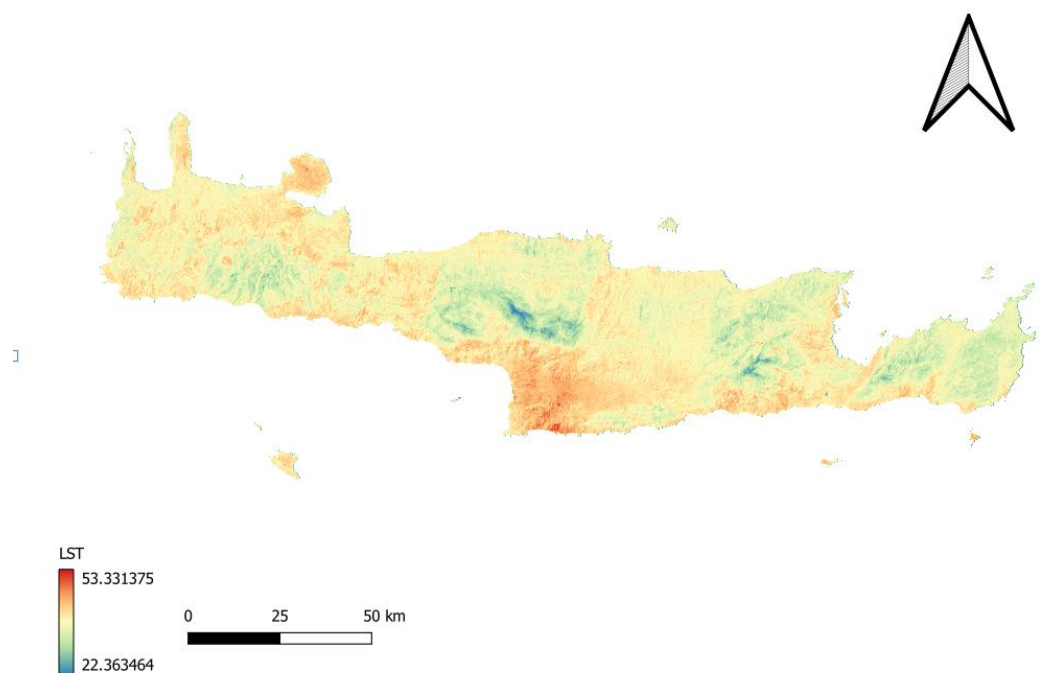
#### 3.1 Αποτελέσματα 2014

Για το έτος 2014 παρουσιάζονται παρακάτω οι χάρτες των δεικτών μας NDVI,WET,LST,NDBSI,RSEI όπου ο αρχικός δείκτης παρουσιάζεται πριν γίνει η κανονικοποίηση στο εύρος τιμών τους τους ( Χάρτες 9,10,11,12,13).

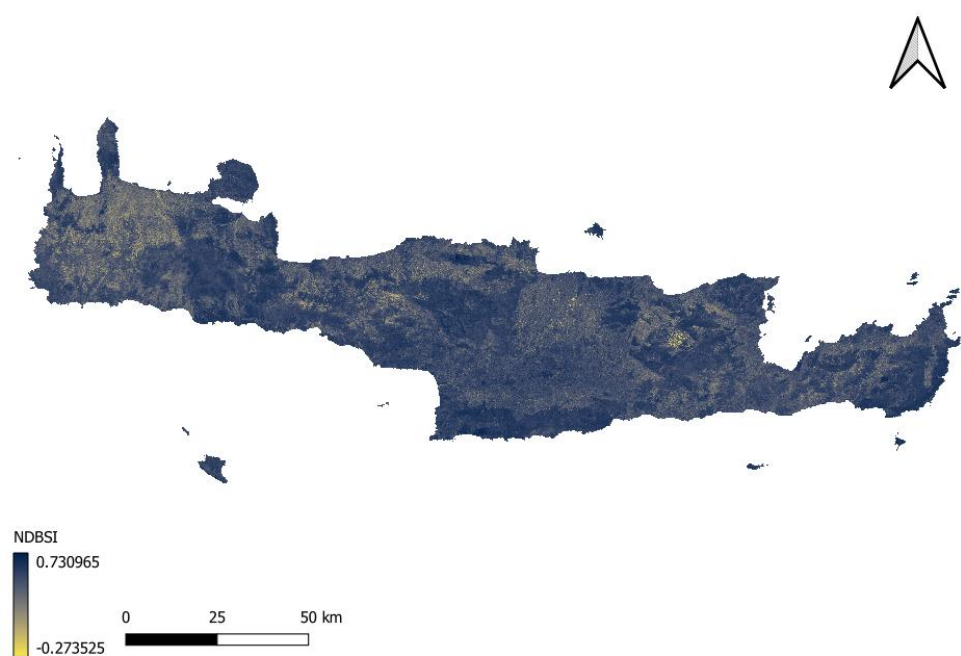




Χάρτης 9. RSEI 2014

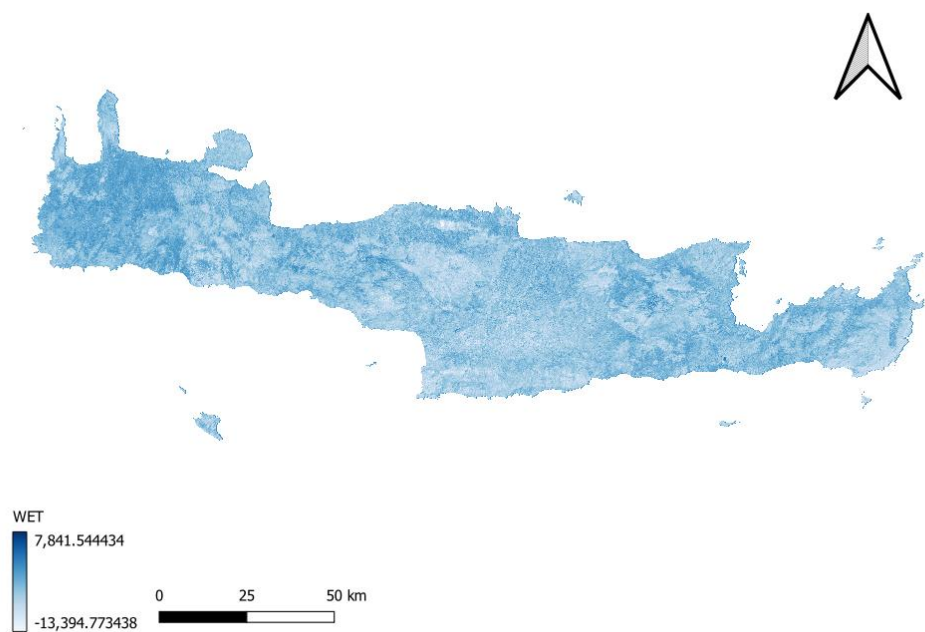


Χάρτης 10.

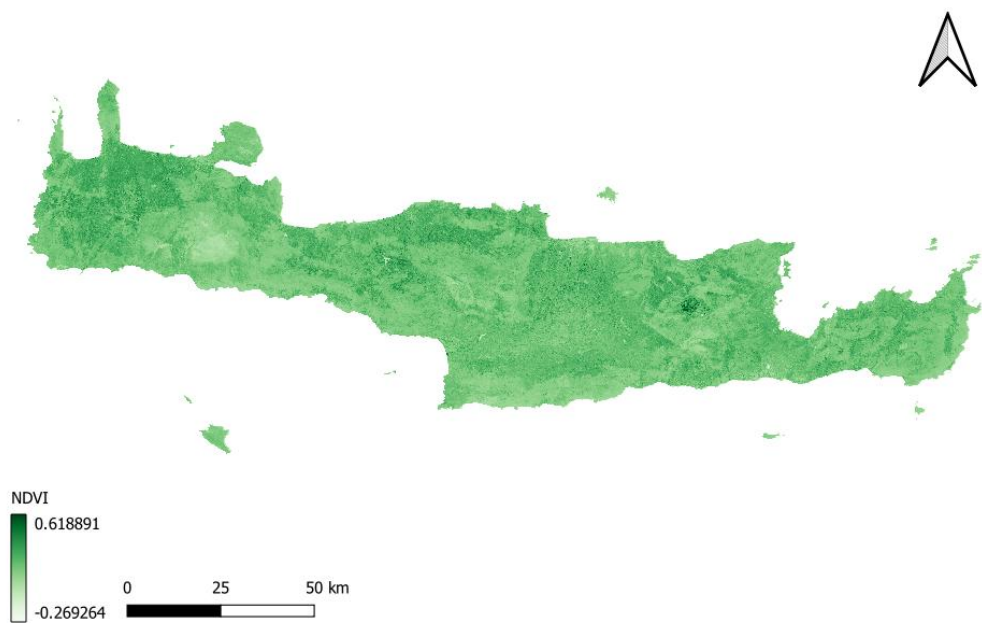


LST 20

Χάρτης 11. NDBSI 2014

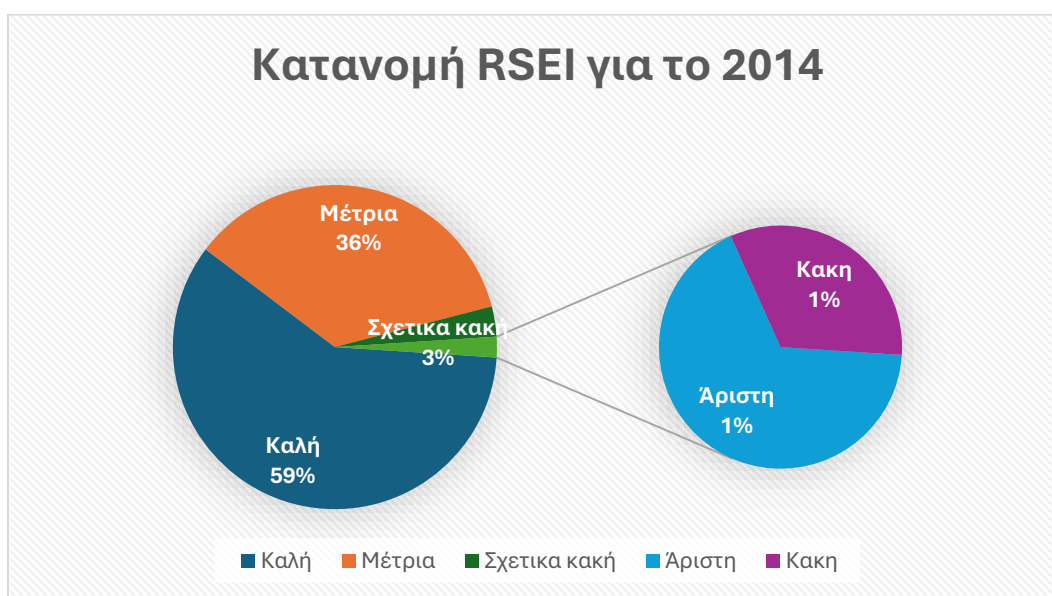


Χάρτης 12. WET 2014



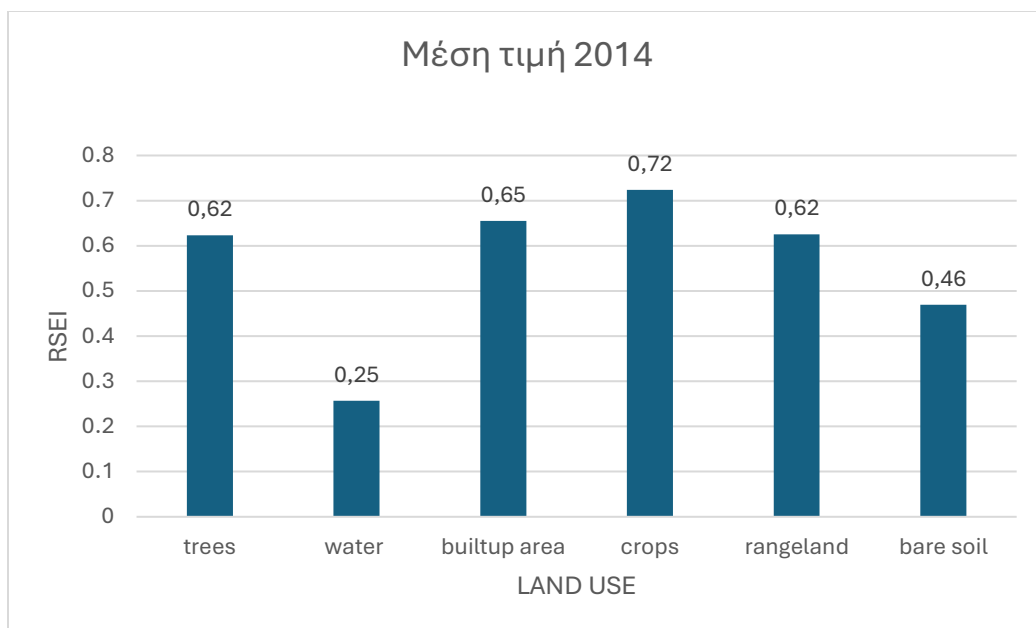
Χάρτης 13. NDVI 2014

Αφού παραθέσαμε τους χάρτες μας μπορούμε να προχωρήσουμε με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κύριου δείκτη μας (RSEI) έτσι ώστε να μπορέσουμε και στο επόμενο κεφάλαιο να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για την συμπεριφορά του δείκτη ανά τα έτη και κατα επέκταση την οικολογική ποιότητα ης Κρήτης. Αυτά τα αποτελέσματα αποτελούν κρίσιμο στοιχείο για τη διαχρονική σύγκριση των δεδομένων και τη διαμόρφωση συμπερασμάτων. Έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων που εξηγήσαμε από τους χάρτες και την επεξεργασία τους στο πρόγραμμα του excel δημιουργήσαμε την μέση ποσόστωση της οικολογικής ποιότητας για το νησί αλλά και το πώς κατανέμετε κάθε κλάση του δείκτη και τι ποσοστό επί του συνολικού καταλαμβάνει ( Διάγραμμα 1).Ο μέσος όρος της οικολογικής ποιότητας για το 2014 είναι **0.62** τιμή η οποία για το έτος μελέτης μας κατατάσσει την μέση τιμή του δείκτη μας οριακά στην κατηγορία καλή. Η τιμή αυτή υποδηλώνει ότι, παρόλο που ορισμένες περιοχές διατηρούν ικανοποιητική περιβαλλοντική κατάσταση, υπάρχουν επίσης ζώνες με ενδείξεις υποβάθμισης.

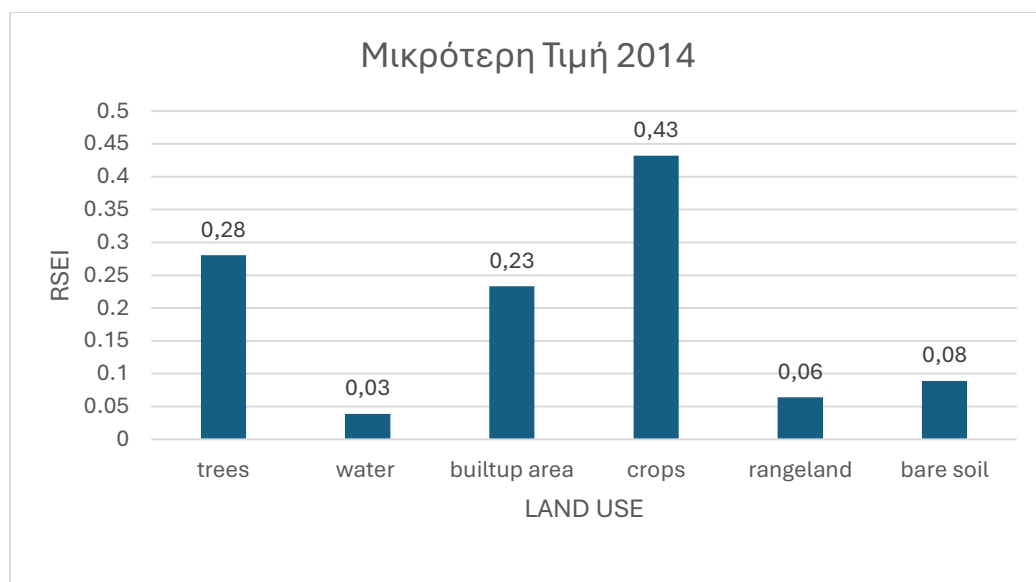


Διάγραμμα 1. Κατανομή RSEI 2014

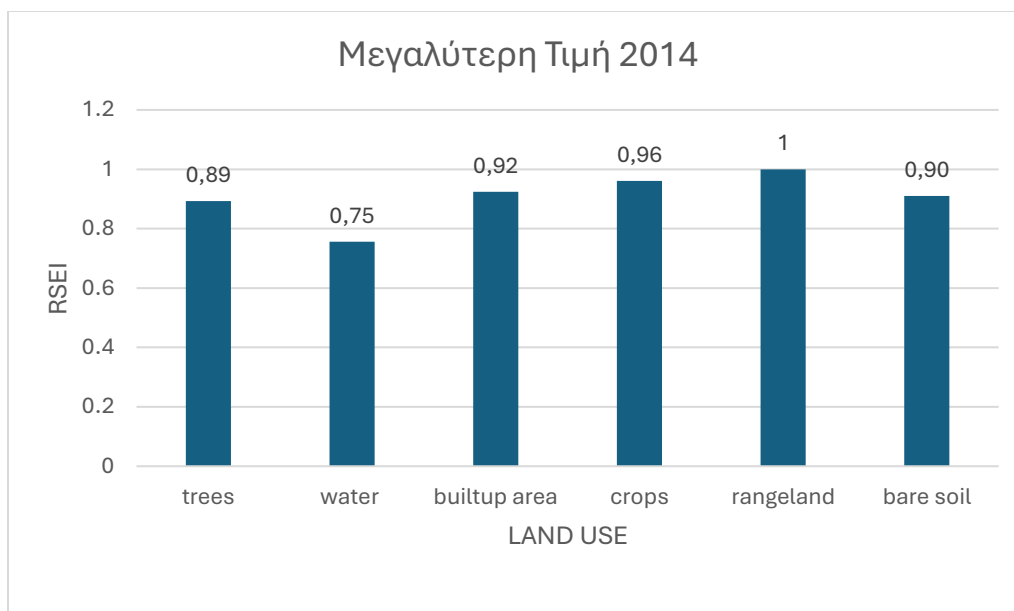
Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση για κάθε μία από τις έξι κύριες κατηγορίες χρήσεων γης του νησιού. Για κάθε κατηγορία υπολογίστηκαν οι μέσες, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές του δείκτη RSEI. Στόχος αυτής της ανάλυσης ήταν η καλύτερη κατανόηση του τρόπου με τον οποίο οι διαφορετικές χρήσεις γης επηρεάζουν τον δείκτη, καθώς και του πώς ο ίδιος ο δείκτης διαφοροποιείται σε κάθε κατηγορία. Η συγκεκριμένη διαδικασία επιτρέπει την εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με την επίδραση των ανθρώπινων δραστηριοτήτων και των φυσικών χαρακτηριστικών σε κάθε περιοχή. Ακολουθούν τρία διαγράμματα( Διάγραμμα 2,3,4) που παρουσιάζουν συγκεντρωτικά τις μέσες, τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές του RSEI ανά κατηγορία χρήσης γης, παρέχοντας μια σαφή εικόνα για τις οικολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε κλάση. Τα διαγράμματα αυτά αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση της οικολογικής ποιότητας και τη συσχέτισή της με τις διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων. Για την χρονιά μελέτης μας η μέση τιμή για την κάθε κλάση είναι η εξής : Trees **0,62** , Built Area **0,65** , Crops **0,72** ,Water **0,25** ,Rangeland **0,62** και Bare Soil **0,46**.



Διάγραμμα 2. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2014



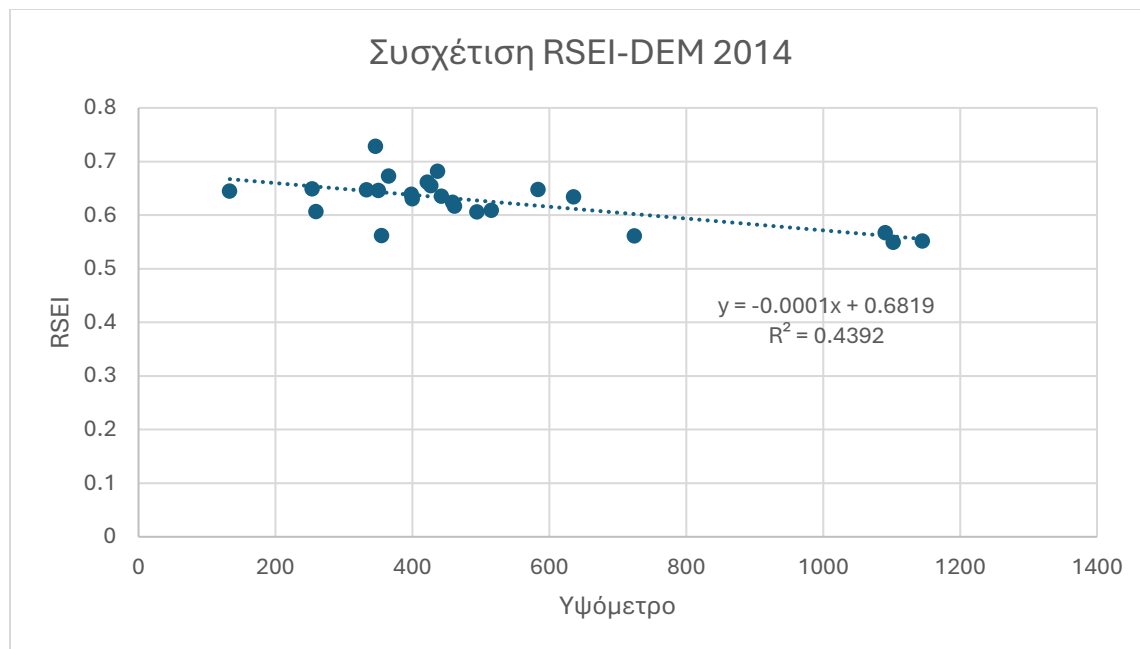
Διάγραμμα 3. Μικρότερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2014



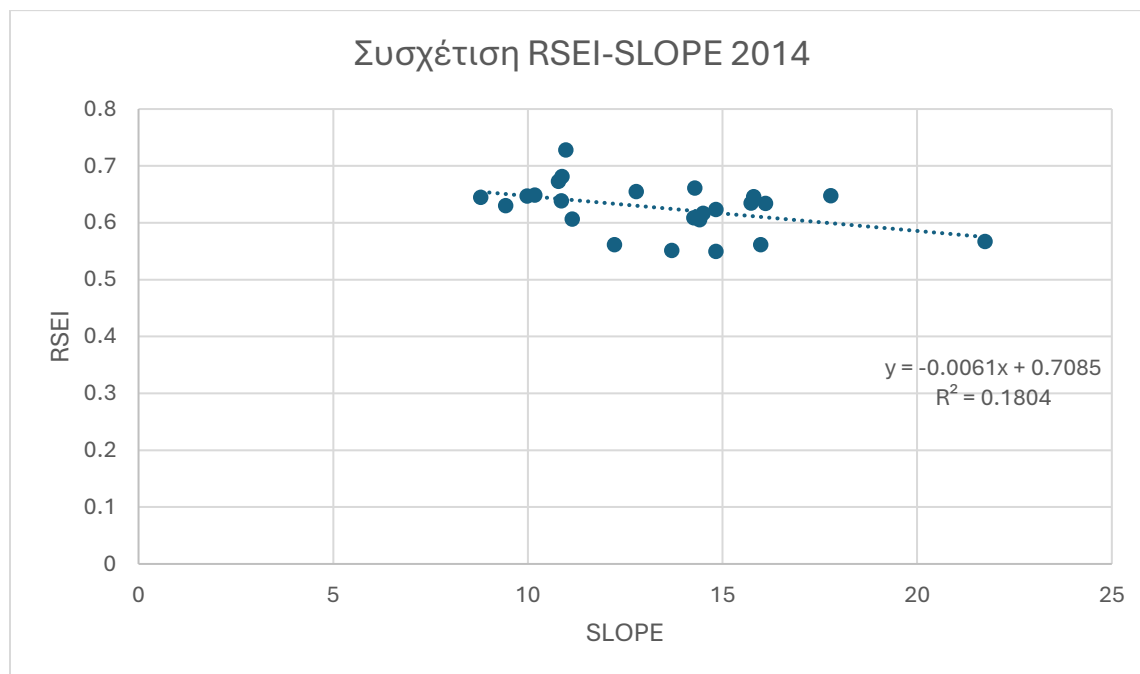
Διάγραμμα 4. Μεγαλύτερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2014

Αφού ολοκληρώθηκε η ανάλυση του δείκτη RSEI και των σχέσεων του με τις χρήσεις γης για το συγκεκριμένο έτος μελέτης, το επόμενο βήμα ήταν η διερεύνηση της συσχέτισης του δείκτη με γεωμορφολογικούς παράγοντες, όπως το υψόμετρο και η κλίση του εδάφους. Οι χάρτες που δημιουργήθηκαν για αυτές τις μεταβλητές παρέχουν μια λεπτομερή χωρική απεικόνιση της επίδρασής τους στις τιμές του δείκτη, επιτρέποντας την εξαγωγή σημαντικών συμπερασμάτων για τη σχέση ανάμεσα στη γεωμορφολογία και την οικολογική ποιότητα. Η ανάλυση των δεδομένων αποκάλυψε ότι η αύξηση του υψομέτρου σχετίζεται με πτωτική τάση του δείκτη RSEI.

Περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές οικολογικής ποιότητας, γεγονός που μπορεί να αποδοθεί στη μειωμένη κάλυψη βλάστησης και στις δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στις ορεινές ζώνες. Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της κλίσης του εδάφους συνδέεται επίσης με μείωση του δείκτη. Οι περιοχές με έντονες κλίσεις ενδέχεται να είναι πιο ευάλωτες σε διάβρωση και δυσκολότερα προσβάσιμες γεγονός που περιορίζει τη δυνατότητα ανάπτυξης βλάστησης και μειώνει την οικολογική ποιότητα. Αυτή η διπλή επίδραση της αύξησης τόσο του υψομέτρου όσο και της κλίσης στις τιμές του RSEI υπογραμμίζει τη σημασία των γεωμορφολογικών παραμέτρων στη διαμόρφωση της οικολογικής κατάστασης.



*Διάγραμμα 5. RSEI-DEM 2014*



*Διάγραμμα 6. RSEI-SLOPE 2014*

Η συσχέτιση του δείκτη RSEI με το υψόμετρο και την κλίση του εδάφους όπως φαίνεται και στα παραπάνω διαγράμματα (Διαγράμματα 5,6), έδειξε πως όσο μεγαλώνει το υψόμετρο και η κλίση η οικολογική ποιότητα μειώνεται με τον συντελεστή  $R^2$  να καταδεικνύει τον βαθμό επίδρασης αυτών των γεωμορφολογικών παραμέτρων στην οικολογική ποιότητα. Οι τιμές του  $R^2$  ( **$R^2 = 0.4392$** ) έδειξαν ότι υπάρχει μέτρια συσχέτιση μεταξύ του RSEI και του υψομέτρου, γεγονός που υποδηλώνει ότι καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, μειώνεται η οικολογική ποιότητα. Η τάση αυτή

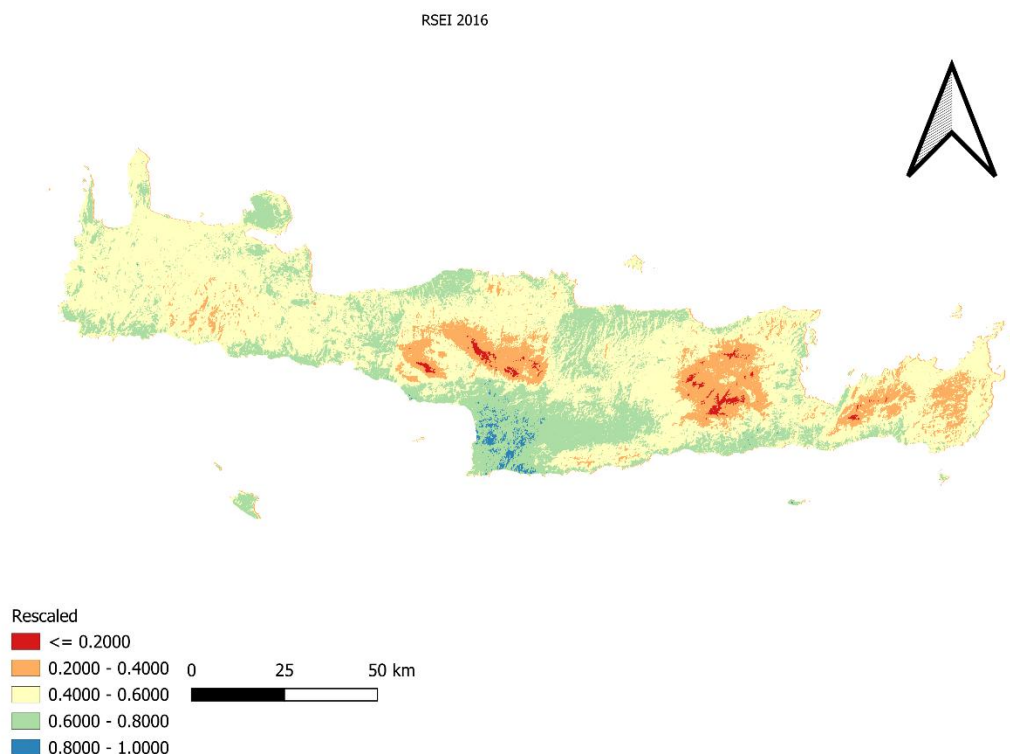


μπορεί να αποδοθεί στις περιορισμένες συνθήκες ανάπτυξης βλάστησης και τις δυσμενείς περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στις περιοχές με υψηλά υψόμετρα.

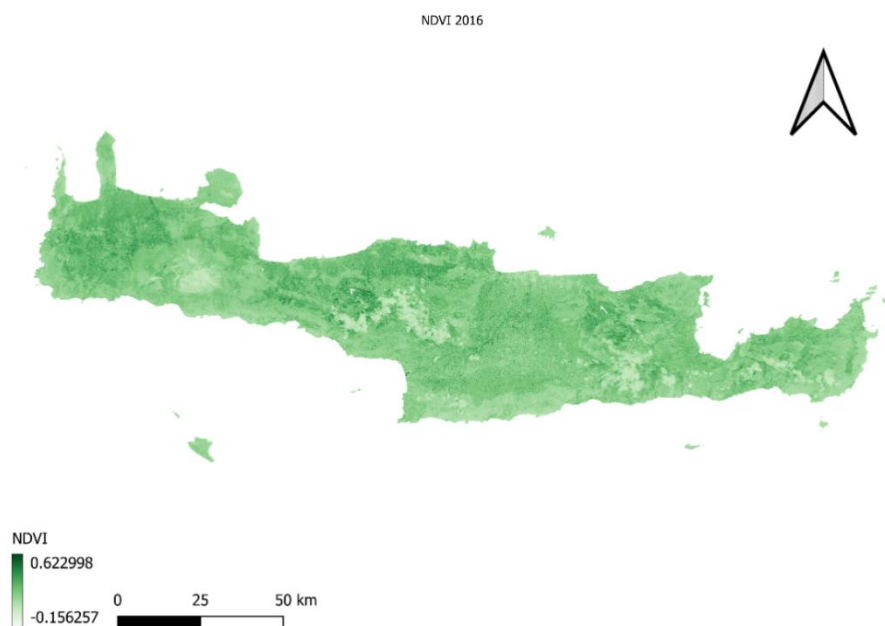
Παράλληλα, η συσχέτιση του RSEI με την κλίση του εδάφους παρουσίασε επίσης μια αδύναμη σχέση ( $R^2 = 0.1804$ ). Οι μεγαλύτερες κλίσεις συνδέονται με μειωμένες τιμές οικολογικής ποιότητας, πιθανώς λόγω της αυξημένης διάβρωσης και της δυσκολίας διατήρησης σταθερής βλάστησης στις περιοχές αυτές. Τα αποτελέσματα αυτά υπογραμμίζουν τη σημαντική επίδραση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών στην οικολογική δυναμική και παρέχουν ουσιαστικές πληροφορίες για τη χωρική διαφοροποίηση του δείκτη RSEI στο νησί.

### 3.2 Αποτελέσματα 2016

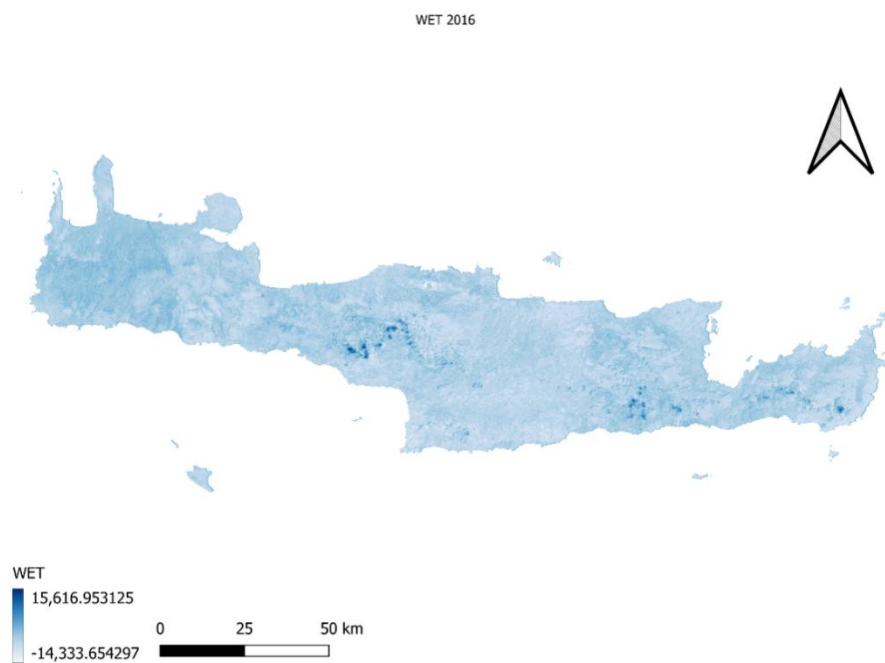
Για το έτος 2016 παρουσιάζονται παρακάτω οι χάρτες των δεικτών μας NDVI, WET, LST, NDBSI, RSEI όπου ο αρχικό δείκτης παρουσιάζονται πριν γίνει η κανονικοποίηση στο εύρος τιμών τους τους (Χάρτες 14,15,16,17,18).



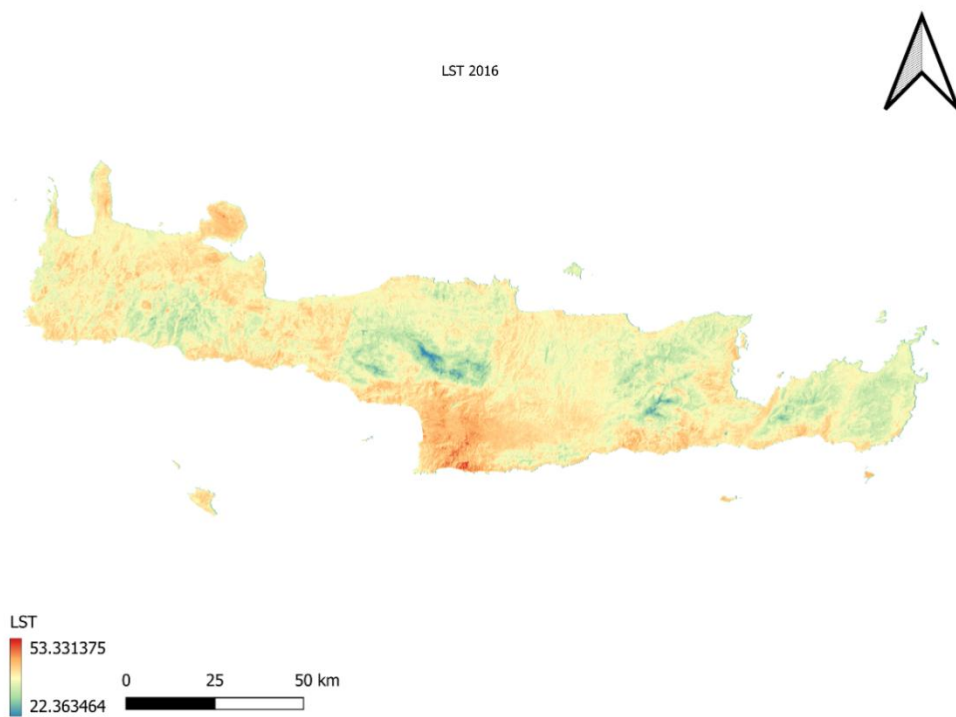
Χάρτης 14. RSEI 2016



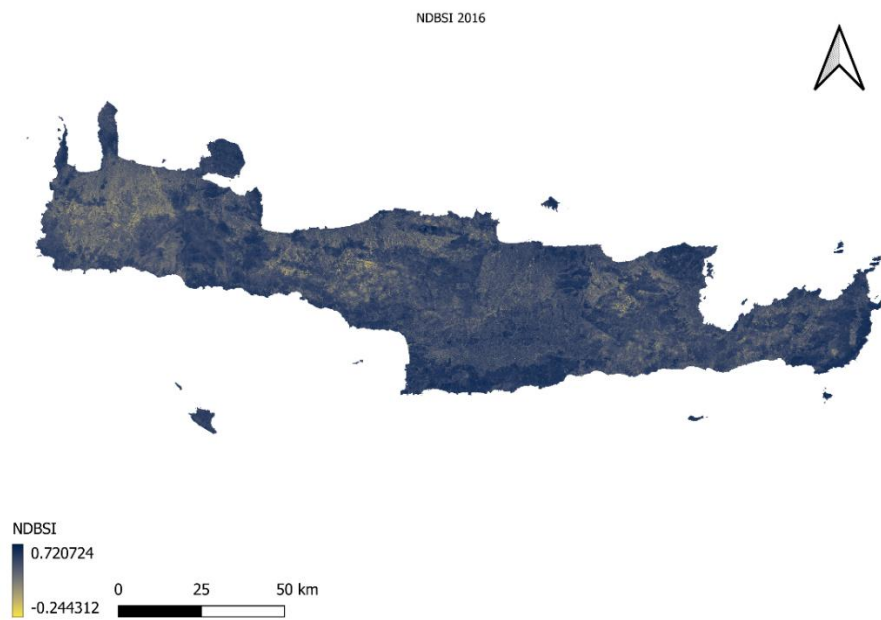
Χάρτης 15. NDVI 2016



Χάρτης 16. WET 2016

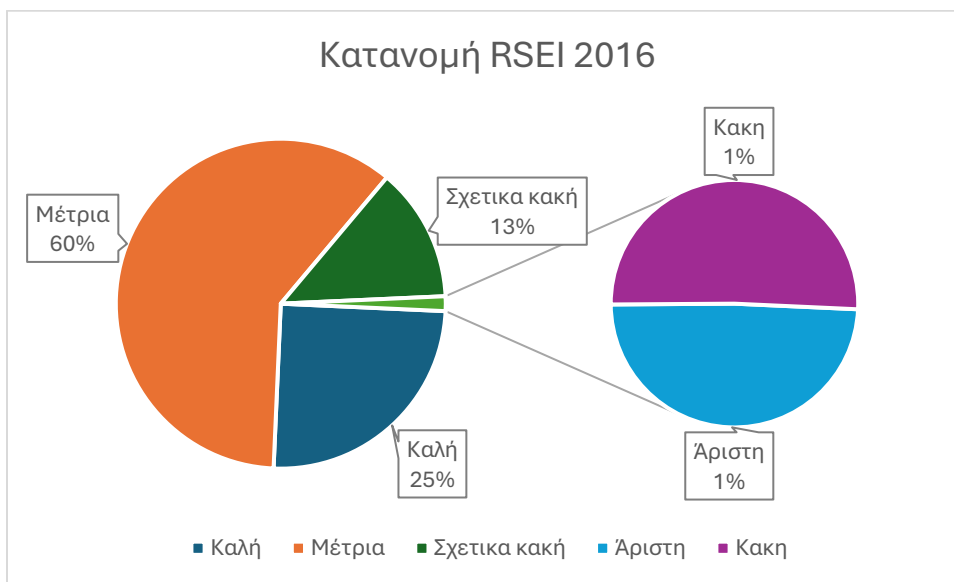


Χάρτης 17. LST 2016



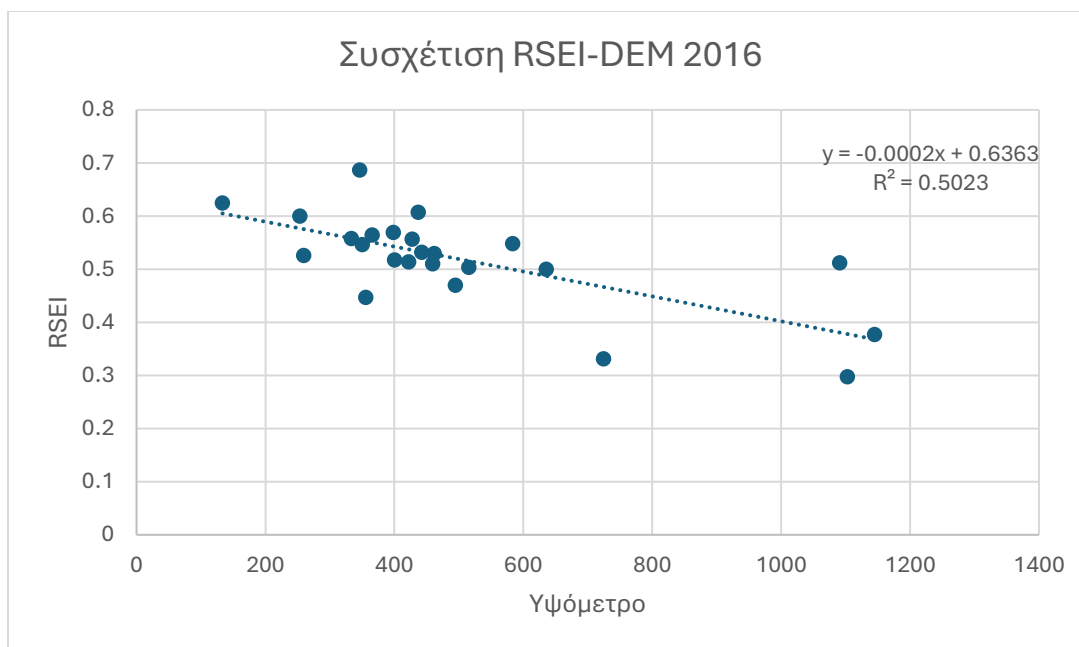
Χάρτης 18. NDBSI 2016

Αφού παραθέσαμε τους χάρτες μας μπορούμε να προχωρήσουμε με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κύριου δείκτη μας (RSEI) έτσι ώστε να μπορέσουμε και στο επόμενο κεφάλαιο να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για την συμπεριφορά του δείκτη ανά τα έτη και κα επέκταση την οικολογική ποιότητα ης Κρήτης. Αυτά τα αποτελέσματα αποτελούν κρίσιμο στοιχείο για τη διαχρονική σύγκριση των δεδομένων και τη διαμόρφωση συμπερασμάτων. Έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων που εξήγαμε από τους χάρτες και την επεξεργασία τους στο πρόγραμμα του excel δημιουργήσαμε την μέση ποσόστωση της οικολογικής ποιότητας για το νησί αλλά και το πώς κατανέμετε κάθε κλάση του δείκτη και τι ποσοστό επί του συνολικού καταλαμβάνει ( Διάγραμμα 7). Ο μέσος όρος της οικολογικής ποιότητας για το 2016 είναι **0.51** τιμή η οποία για το έτος μελέτης μας κατατάσσει την μέση τιμή του δείκτη μας στην κατηγορία μέτρια.

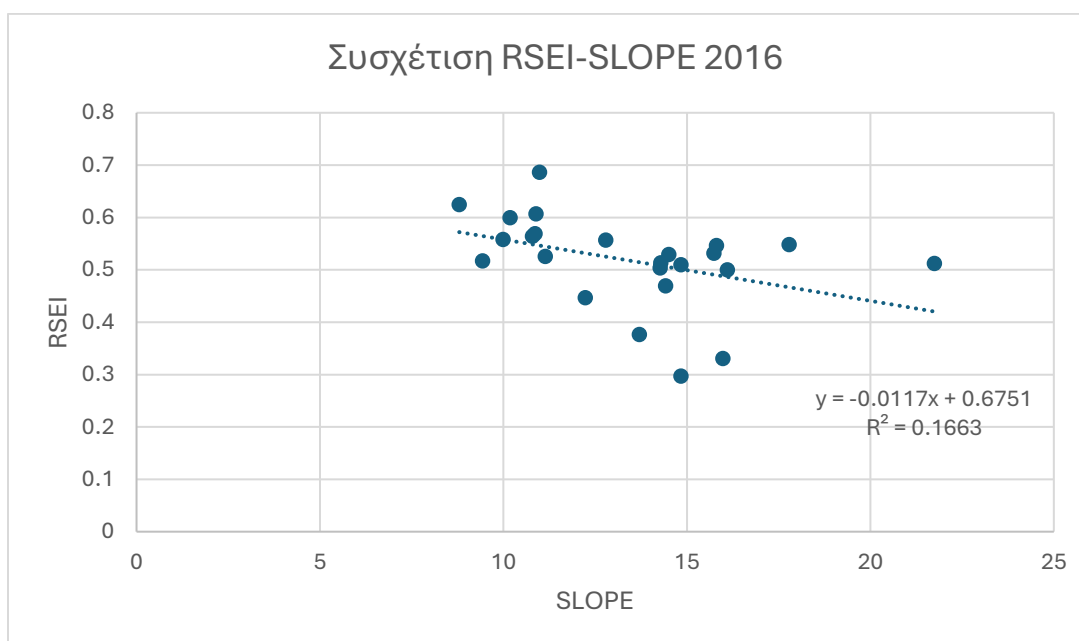


*Διάγραμμα 7. Κατανομή RSEI 2016*

Όπως και στην προηγούμενη περίοδο μελέτης έτσι και για το έτος 2016 το επόμενο βήμα ήταν η διερεύνηση της συσχέτισης του δείκτη με γεωμορφολογικούς παράγοντες δηλαδή με τους χάρτες που έχουμε ήδη κατασκευάσει και χρησιμοποιήσι. Παράλληλα και πάλι παρατηρούμε πως περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές οικολογικής ποιότητας. Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της κλίσης του εδάφους συνδέεται επίσης με μείωση του δείκτη.



*Διάγραμμα 8. RSEI-DEM 2016*

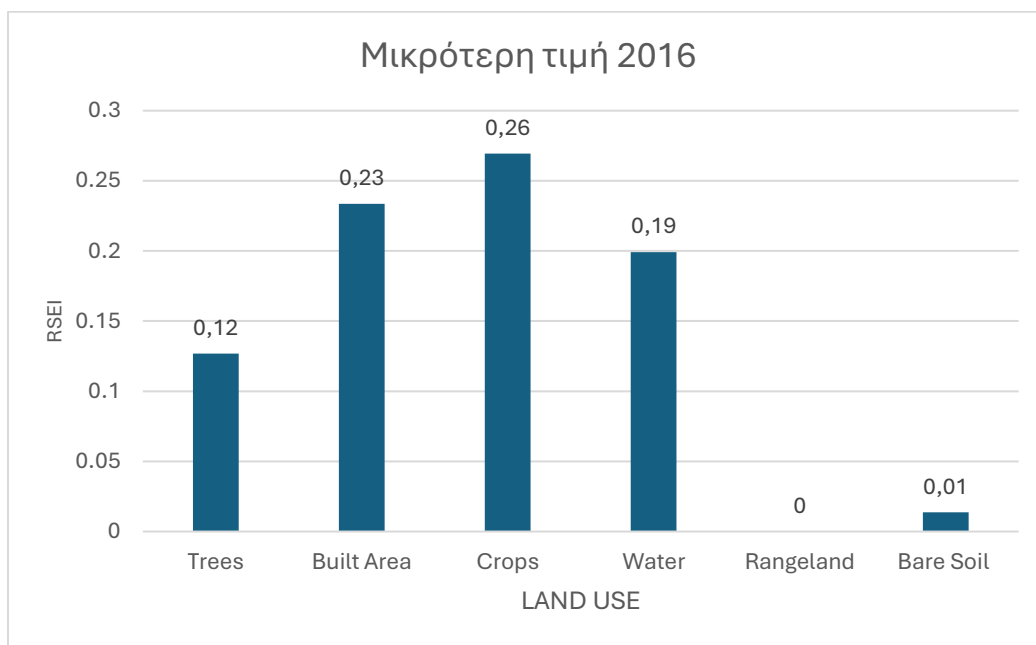


*Διάγραμμα 9. RSEI-SLOPE 2016*

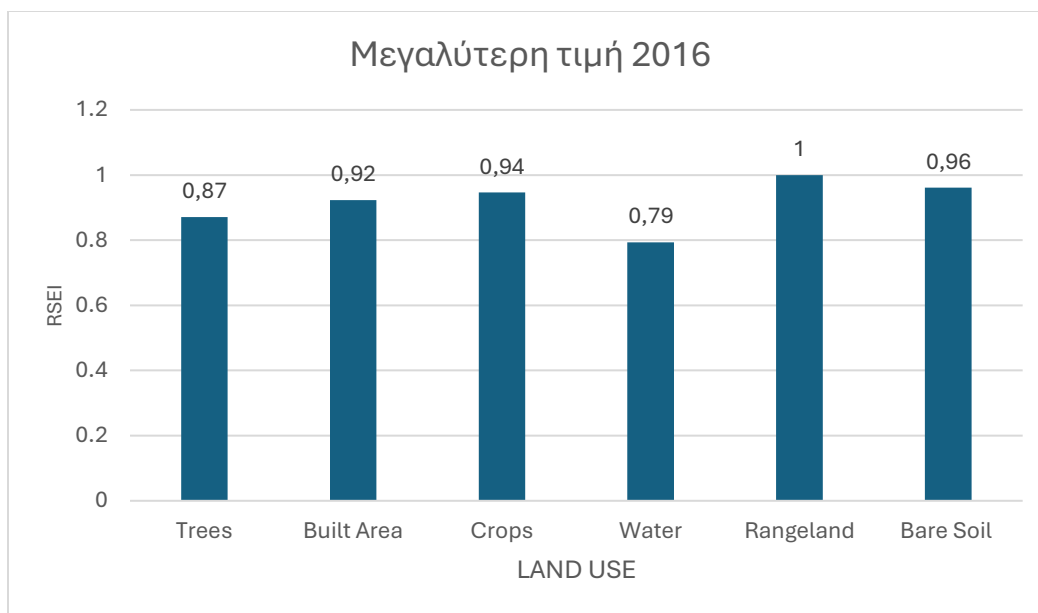
Η συσχέτιση του δείκτη RSEI με το υψόμετρο και την κλίση του εδάφους, έδειξε πως όσο μεγαλώνει το υψόμετρο και η κλίση η οικολογική ποιότητα μειώνεται με τον συντελεστή  $R^2$  να καταδεικνύει τον βαθμό επίδρασης αυτών των γεωμορφολογικών παραμέτρων στην οικολογική ποιότητα. Οι τιμές του  $R^2$  ( $R^2 = 0.5023$ ) έδειξαν ότι υπάρχει μέτρια συσχέτιση μεταξύ του RSEI και του υψομέτρου, γεγονός που υποδηλώνει ότι καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, μειώνεται η οικολογική ποιότητα

Παράλληλα, η συσχέτιση του RSEI με την κλίση του εδάφους παρουσίασε επίσης μια αδύναμη σχέση ( $R^2 = 0.1663$ ). Τα αποτελέσματα αυτά όπως φαίνονται στα διαγράμματα (Διαγράμματα 8,9) υπογραμμίζουν τη σημαντική επίδραση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών στην οικολογική δυναμική και παρέχουν ουσιαστικές πληροφορίες για τη χωρική διαφοροποίηση του δείκτη RSEI στο νησί.

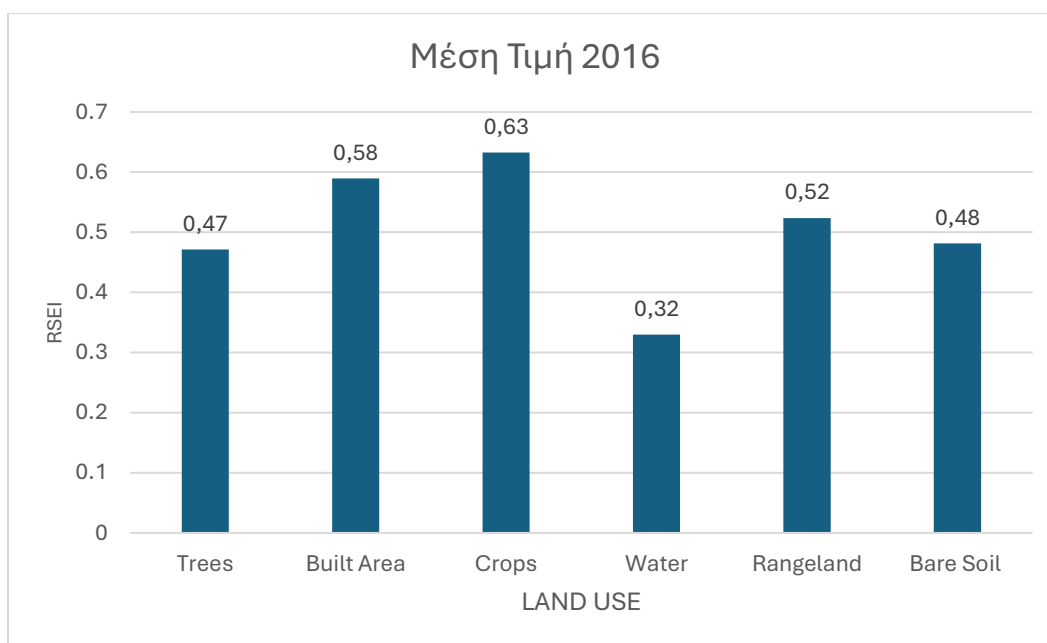
Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση για κάθε μία από τις έξι κύριες κατηγορίες χρήσεων γης του νησιού. Για κάθε κατηγορία υπολογίστηκαν οι μέσες, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές του δείκτη RSEI. Ακολουθούν τρία διαγράμματα (Διαγράμματα 10,11,12) που παρουσιάζουν συγκεντρωτικά τις μέσες, τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές του RSEI ανά κατηγορία χρήσης γης, παρέχοντας μια σαφή εικόνα για τις οικολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε κλάση. Τα διαγράμματα αυτά αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση της οικολογικής ποιότητας και τη συσχέτισή της με τις διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων. Για την χρονιά μελέτης μας η μέση τιμή για την κάθε κλάση είναι η εξής : Trees **0,47** , Built Area **0,58** , Crops **0,63** ,Water **0,32**,Rangeland **0,52** και Bare Soil **0,48**.



Διάγραμμα 10. Μικρότερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2016



Διάγραμμα 11. Μεγαλύτερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2016

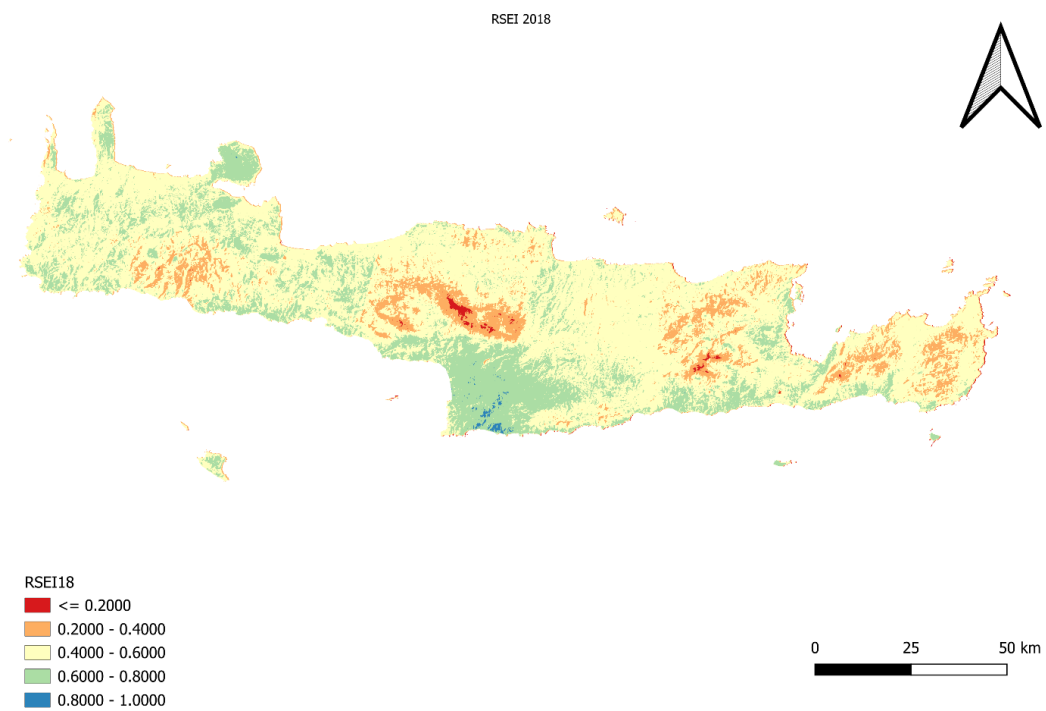


Διάγραμμα 12. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2016

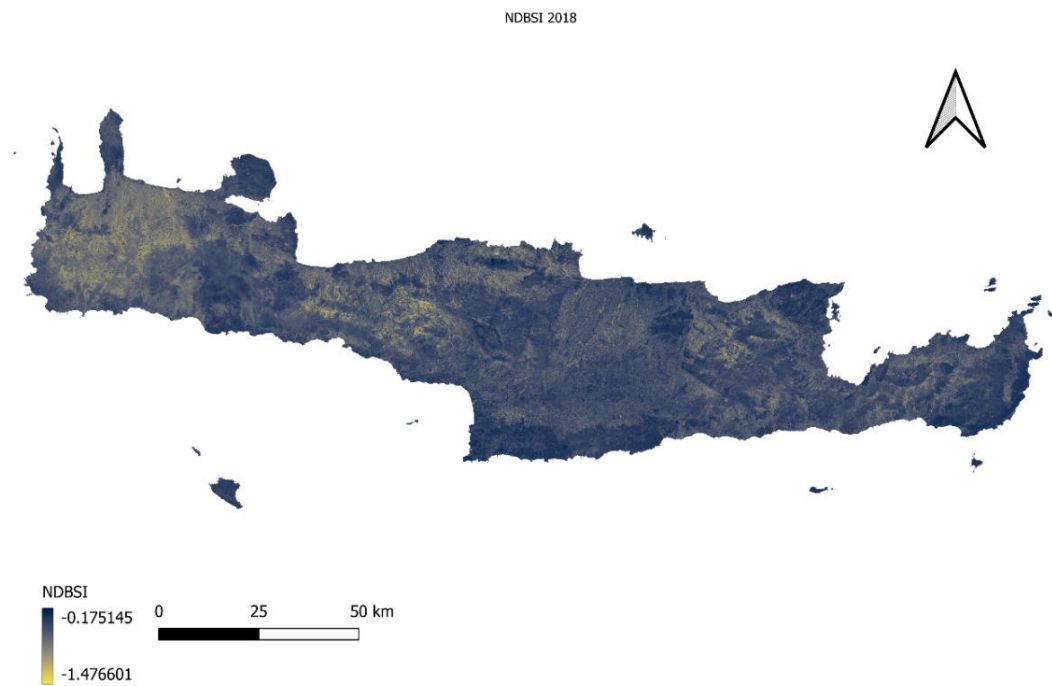
### 3.3 Αποτελέσματα 2018

Για το έτος 2018 παρουσιάζονται παρακάτω οι χάρτες των δεικτών μας NDVI, WET, LST, NDBSI, RSEI όπου ο αρχικός δείκτης παρουσιάζεται πριν γίνει η κανονικοποίηση στο εύρος τιμών τους τους (Χάρτες 19,20,21,22,23).

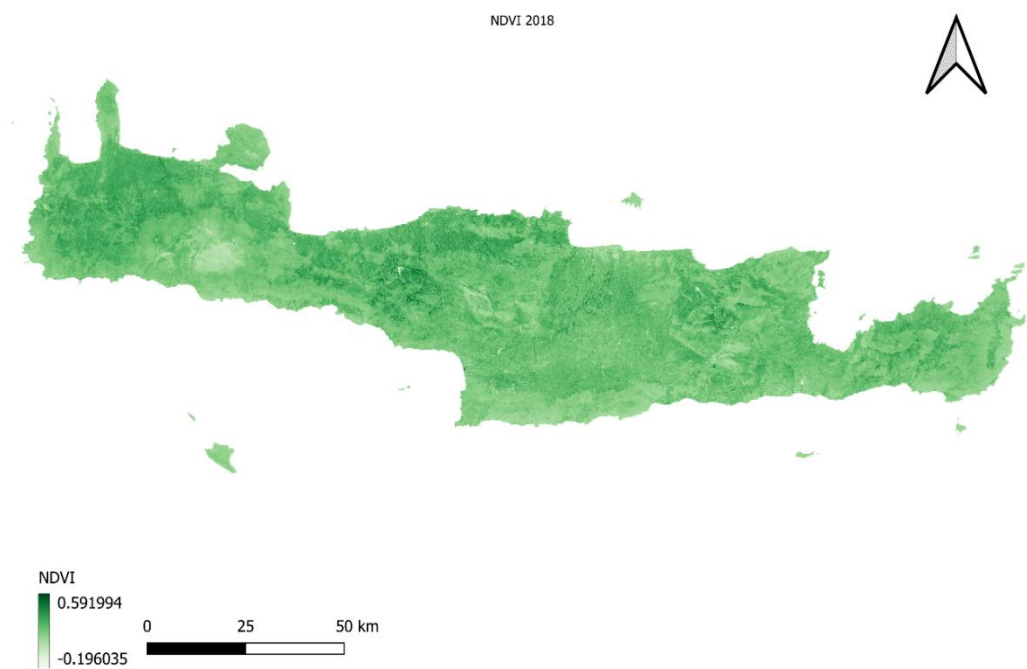




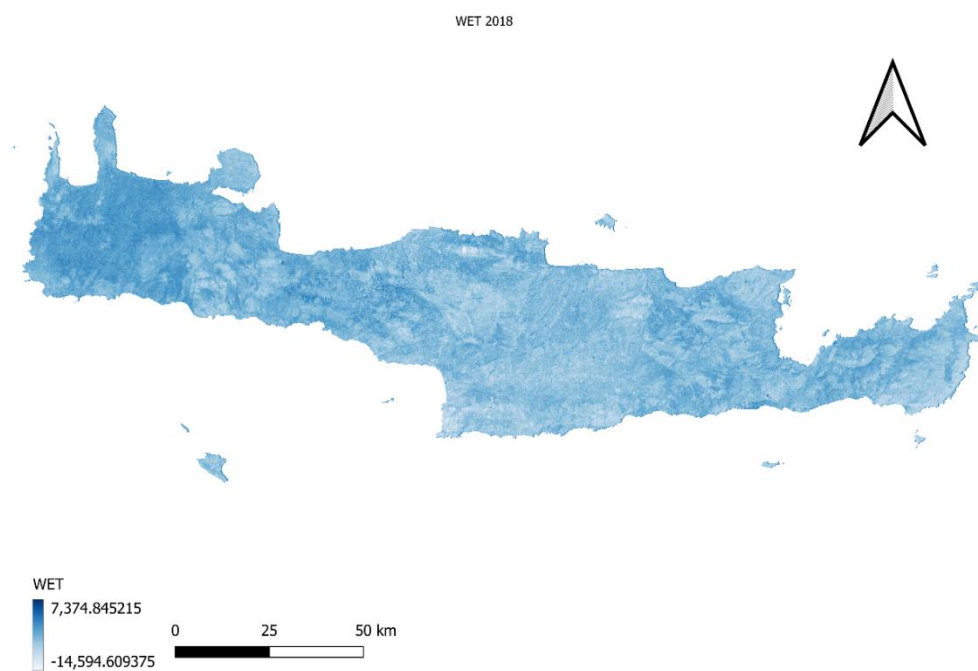
Χάρτης 19. RSEI 2018



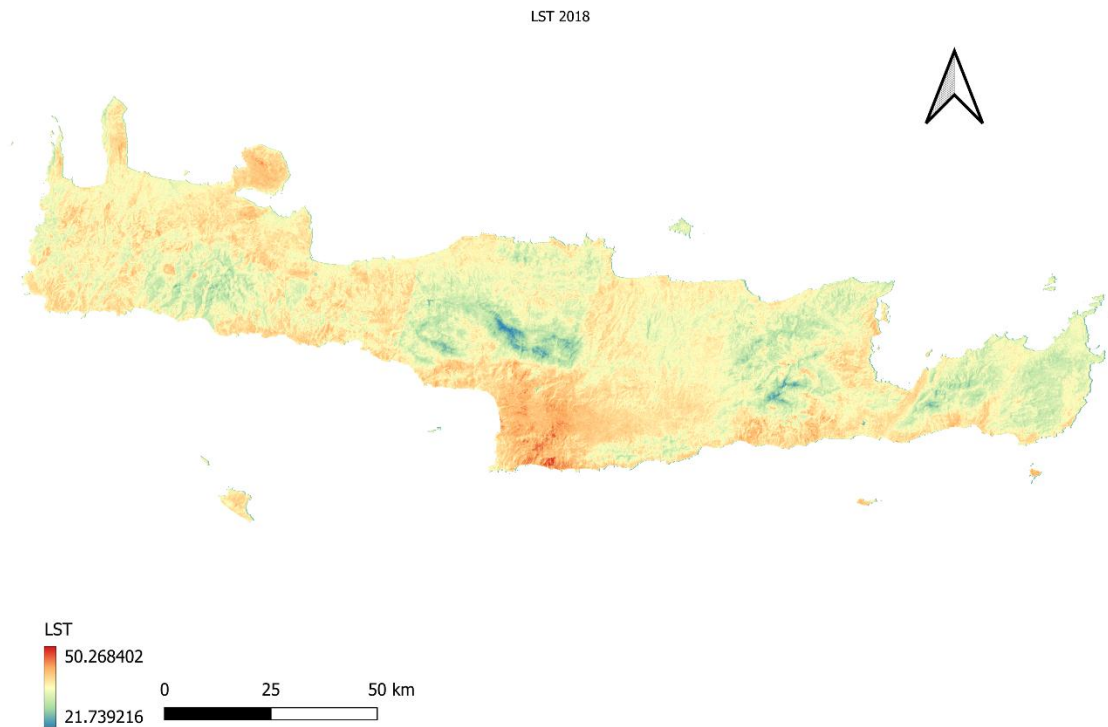
Χάρτης 20. NDBSI 2018



Χάρτης 21. NDVI 2018

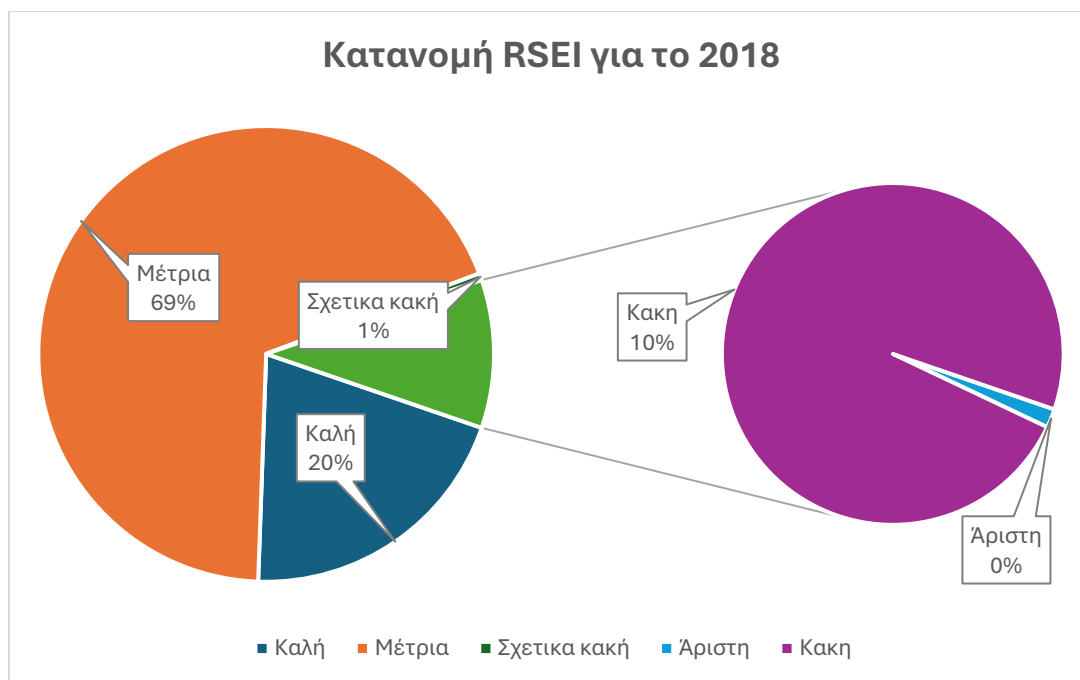


Χάρτης 22. WET 2018



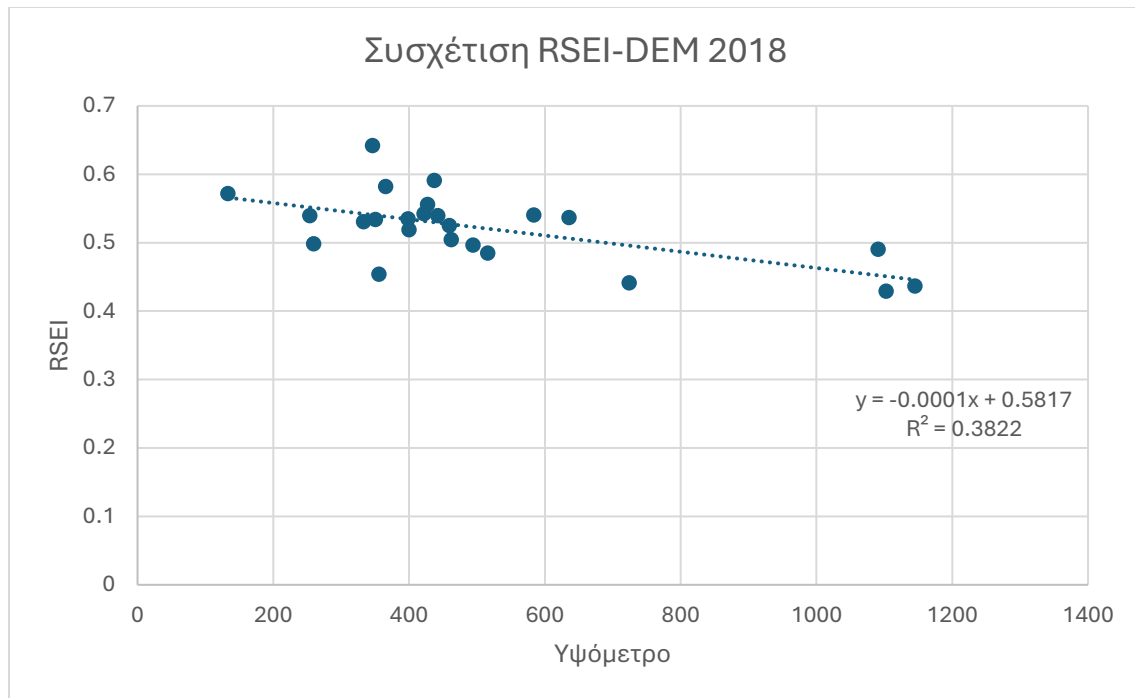
*Χάρτης 23. LST 2018*

Αφού παραθέσαμε τους χάρτες μας μπορούμε να προχωρήσουμε με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κύριου δείκτη μας (RSEI) έτσι ώστε να μπορέσουμε και στο επόμενο κεφάλαιο να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για την συμπεριφορά του δείκτη ανά τα έτη και κα επέκταση την οικολογική ποιότητα ης Κρήτης. Αυτά τα αποτελέσματα αποτελούν κρίσιμο στοιχείο για τη διαχρονική σύγκριση των δεδομένων και τη διαμόρφωση συμπερασμάτων. Έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων που εξήγαμε από τους χάρτες και την επεξεργασία τους στο πρόγραμμα του excel δημιουργήσαμε την μέση ποσόστωση της οικολογικής ποιότητας για το νησί αλλά και το πώς κατανέμετε κάθε κλάση του δείκτη και τι ποσοστό επί του συνολικού καταλαμβάνει (Διάγραμμα 13). Ο μέσος όρος της οικολογικής ποιότητας για το 2014 είναι **0.52** τιμή η οποία για το έτος μελέτης μας κατατάσσει την μέση τιμή του δείκτη μας στην κατηγορία μέτρια.

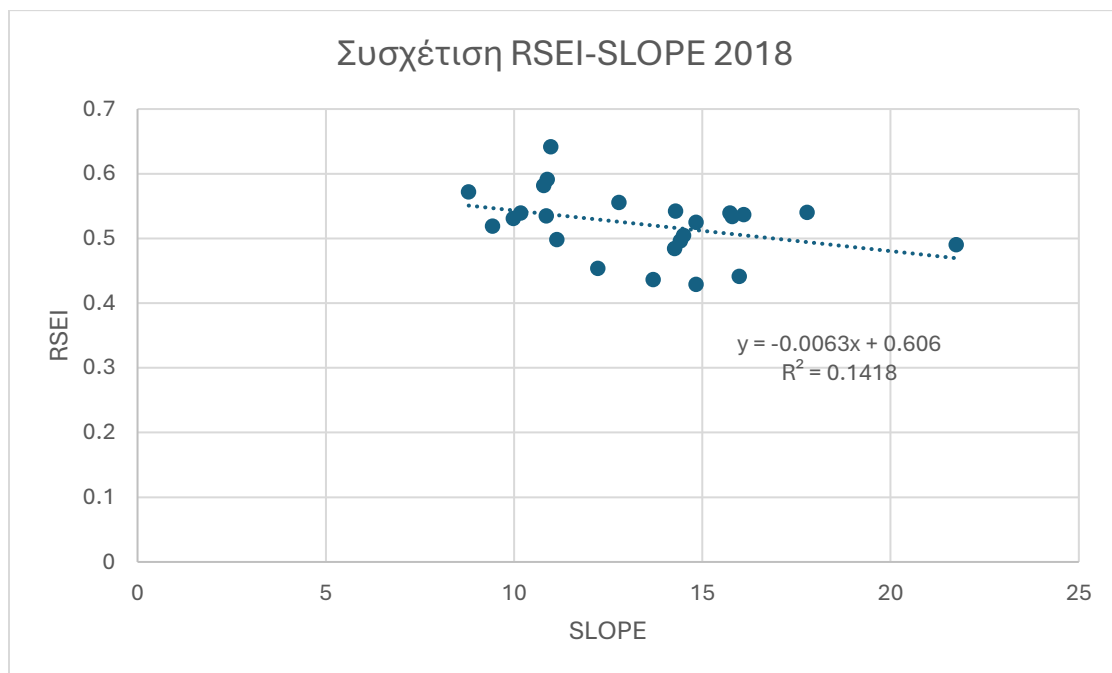


*Διάγραμμα 13. Κατανομή RSEI 2018*

Όπως και στις προηγούμενες περιόδους μελέτης έτσι και για το έτος 2018 το επόμενο βήμα ήταν η διερεύνηση της συσχέτισης του δείκτη με γεωμορφολογικούς παράγοντες δηλαδή με τους χάρτες που έχουμε ήδη κατασκευάσει και χρησιμοποιήσι. Παράλληλα και πάλι παρατηρούμε πως περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές οικολογικής ποιότητας. Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της κλίσης του εδάφους συνδέεται επίσης με μείωση του δείκτη.



*Διάγραμμα 14. RSEI-DEM 2018*

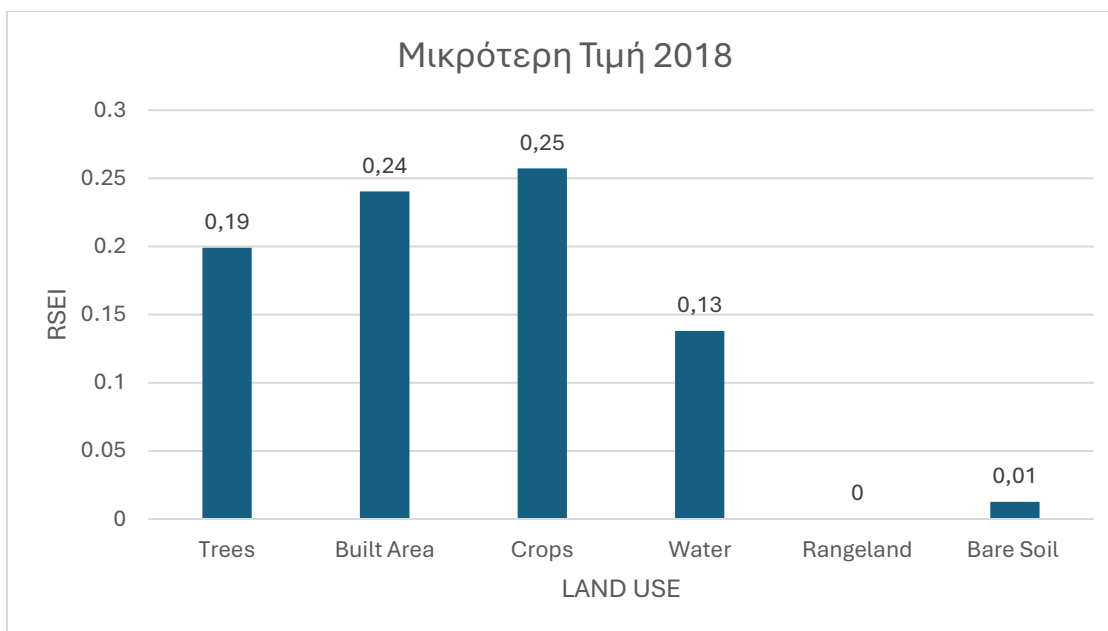


*Διάγραμμα 15. RSEI-SLOPE 2018*

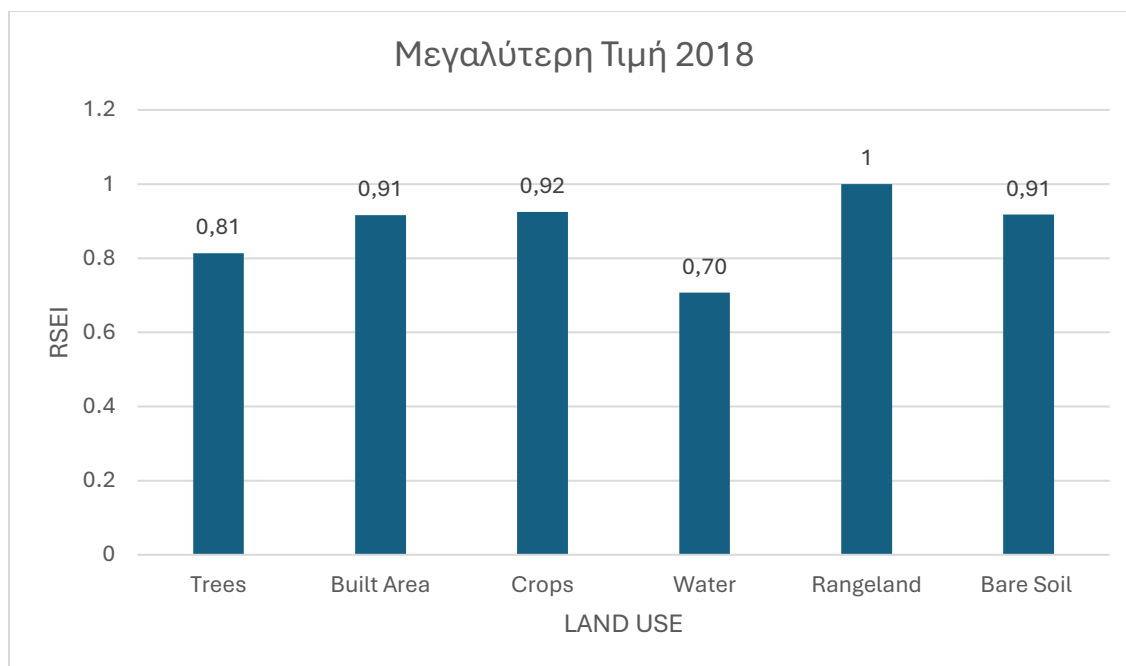
Η συσχέτιση του δείκτη RSEI με το υψόμετρο και την κλίση του εδάφους, έδειξε πως όσο μεγαλώνει το υψόμετρο και η κλίση η οικολογική ποιότητα μειώνετε με τον συντελεστή  $R^2$  να καταδεικνύει τον βαθμό επίδρασης αυτών των γεωμορφολογικών παραμέτρων στην οικολογική ποιότητα όπως φαίνεται στα διαγράμματα παραπάνω (Διαγράμματα 14,15). Οι τιμές του  $R^2$  ( $R^2 = 0.3822$ ) έδειξαν ότι υπάρχει μέτρια συσχέτιση μεταξύ του RSEI και του υψομέτρου, γεγονός

που υποδηλώνει ότι καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, μειώνεται η οικολογική ποιότητα. Παράλληλα, η συσχέτιση του RSEI με την κλίση του εδάφους παρουσίασε επίσης μια αδύναμη σχέση ( $R^2 = 0.1418$ ).

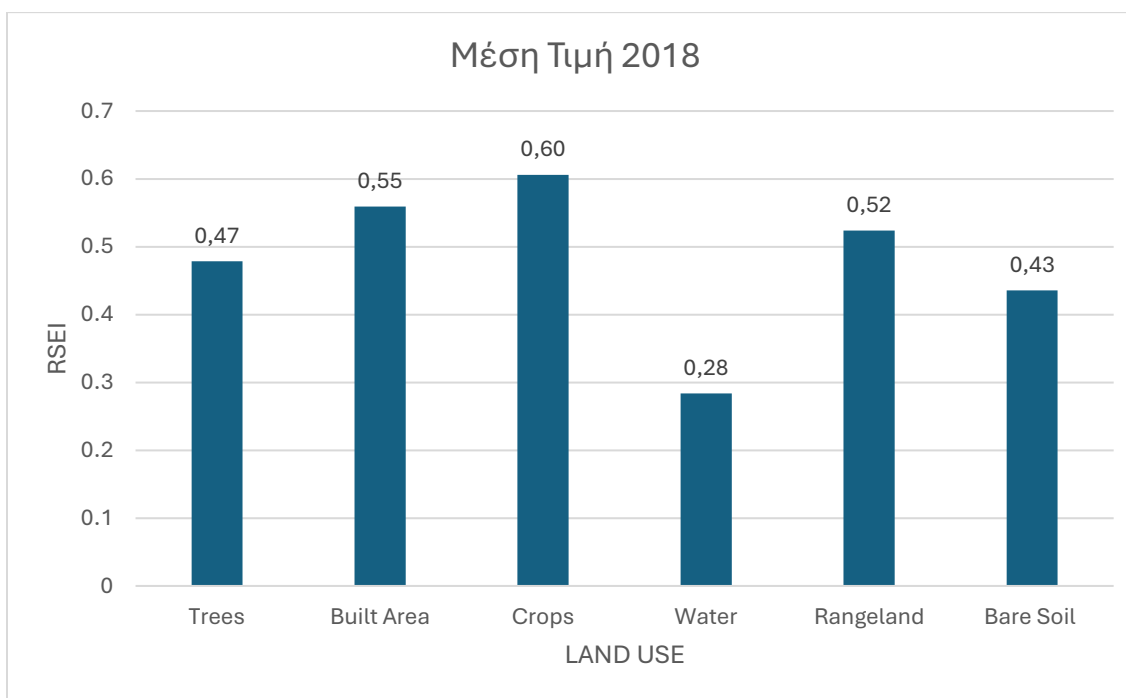
Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση για κάθε μία από τις έξι κύριες κατηγορίες χρήσεων γης του νησιού. Για κάθε κατηγορία υπολογίστηκαν οι μέσες, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές του δείκτη RSEI. Ακολουθούν τρία διαγράμματα (Διαγράμματα 16, 17, 18) που παρουσιάζουν συγκεντρωτικά τις μέσες, τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές του RSEI ανά κατηγορία χρήσης γης, παρέχοντας μια σαφή εικόνα για τις οικολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε κλάση. Τα διαγράμματα αυτά αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση της οικολογικής ποιότητας και τη συσχέτισή της με τις διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων. Για την χρονιά μελέτης μας η μέση τιμή για την κάθε κλάση είναι η εξής: Trees **0,47**, Built Area **0,55**, Crops **0,60**, Water **0,28**, Rangeland **0,52** και Bare Soil **0,43**.



Διάγραμμα 16. Μικρότερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2018



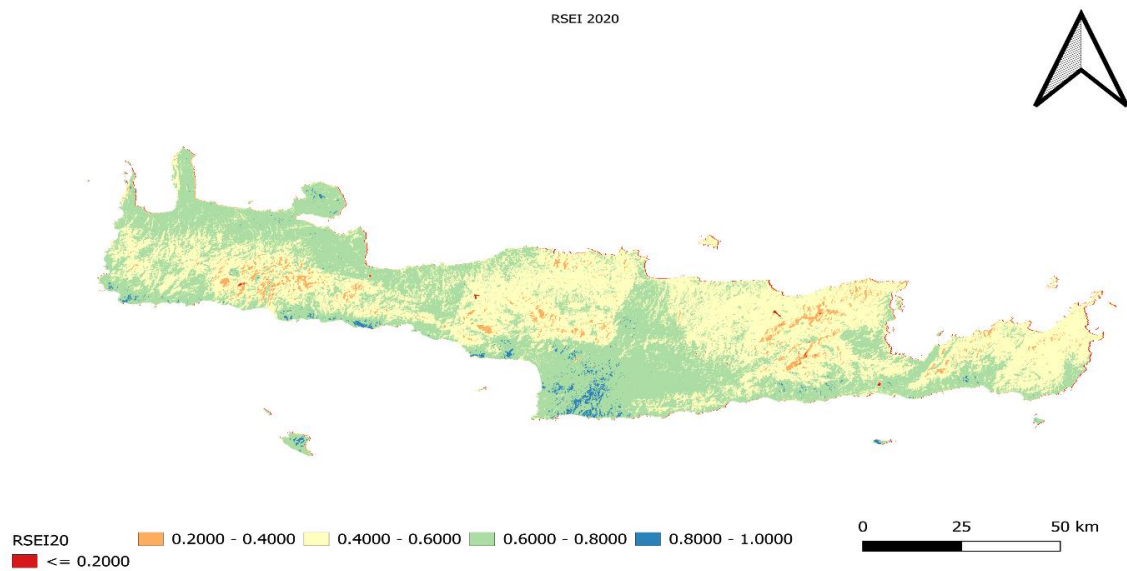
Διάγραμμα 17. Μεγαλύτερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2018



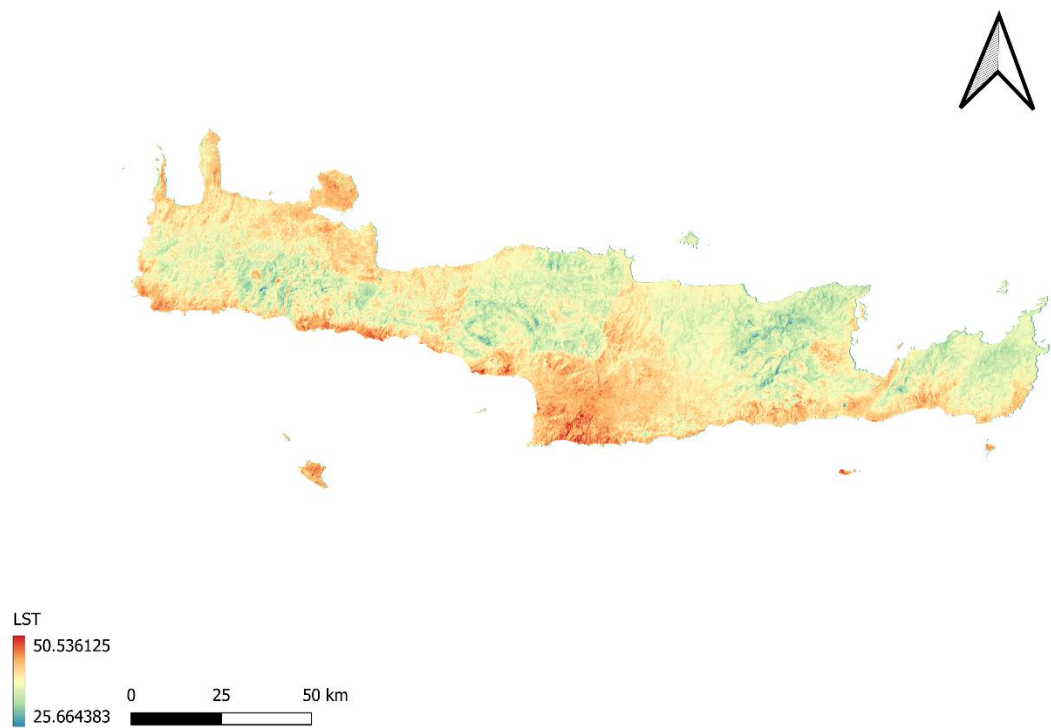
Διάγραμμα 18. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2018

### 3.4 Αποτελέσματα 2020

Για το έτος 2020 παρουσιάζονται παρακάτω οι χάρτες των δεικτών μας NDVI, WET, LST, NDBSI, RSEI όπου ο αρχικός δείκτης παρουσιάζονται πριν γίνει η κανονικοποίηση στο εύρος τιμών τους τους (Χάρτες 24, 25, 26, 27, 28).

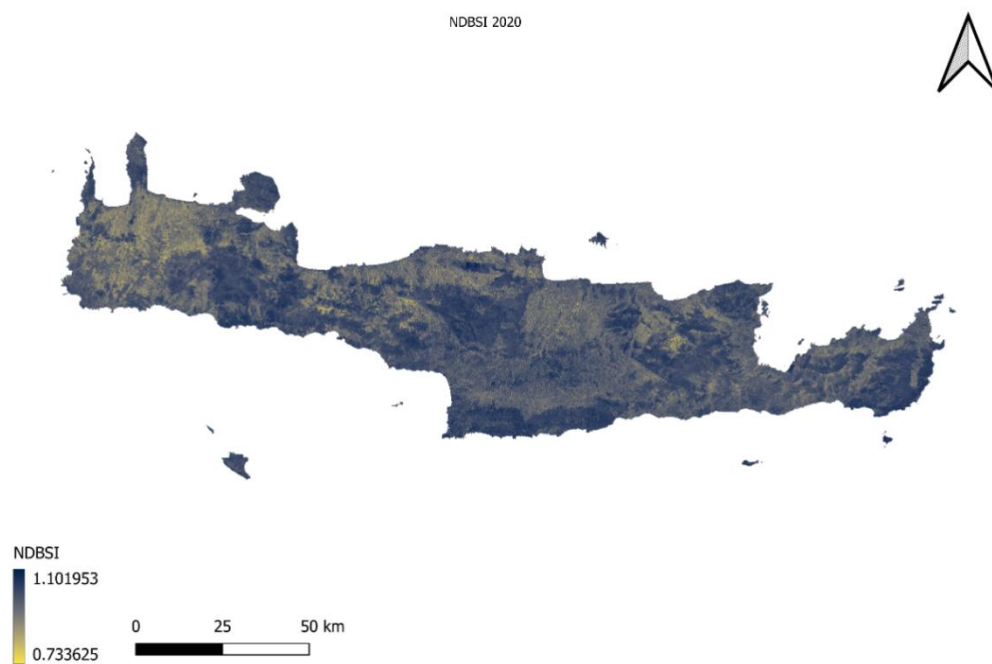


Χάρτης 24. RSEI 2020

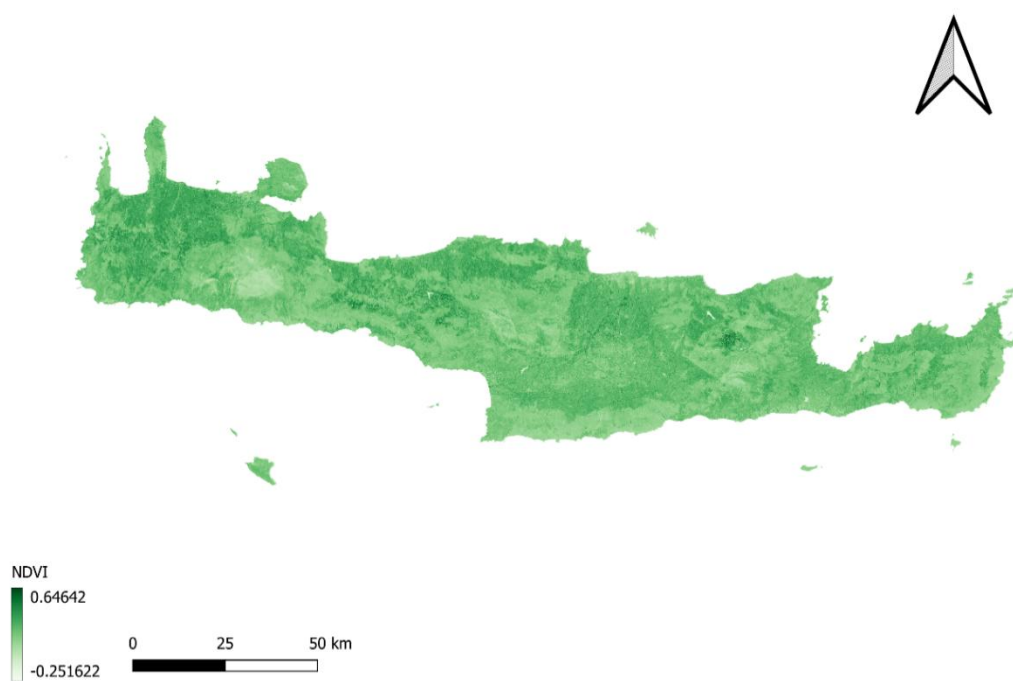


Χάρτης 25. LST 2020

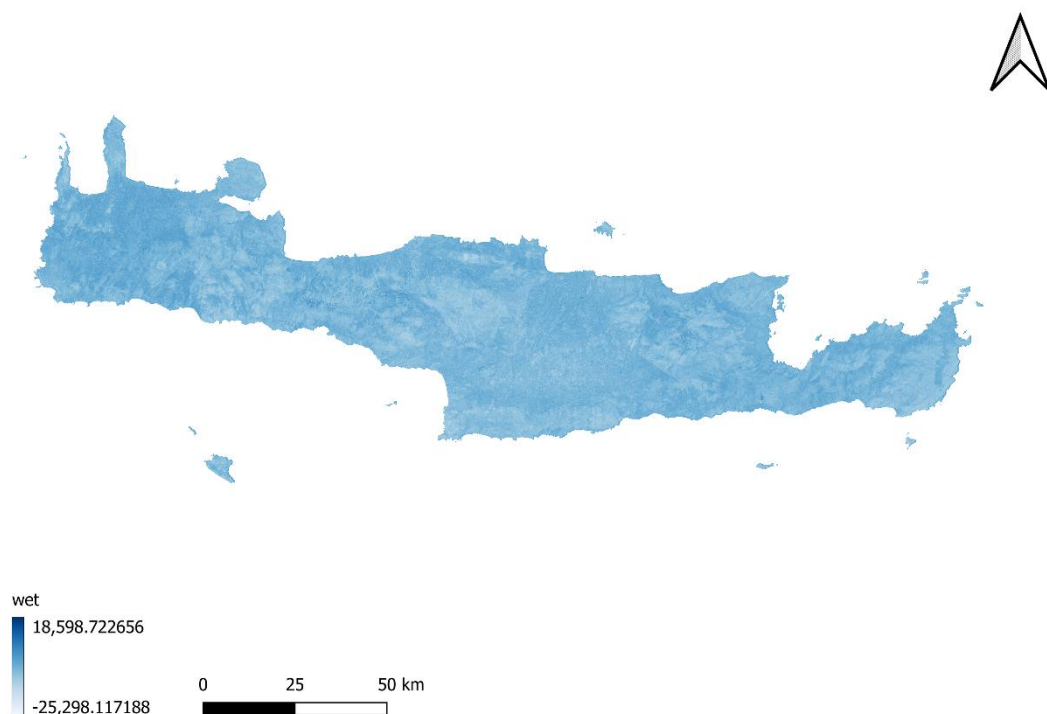




Χάρτης 26. NDBSI 2020

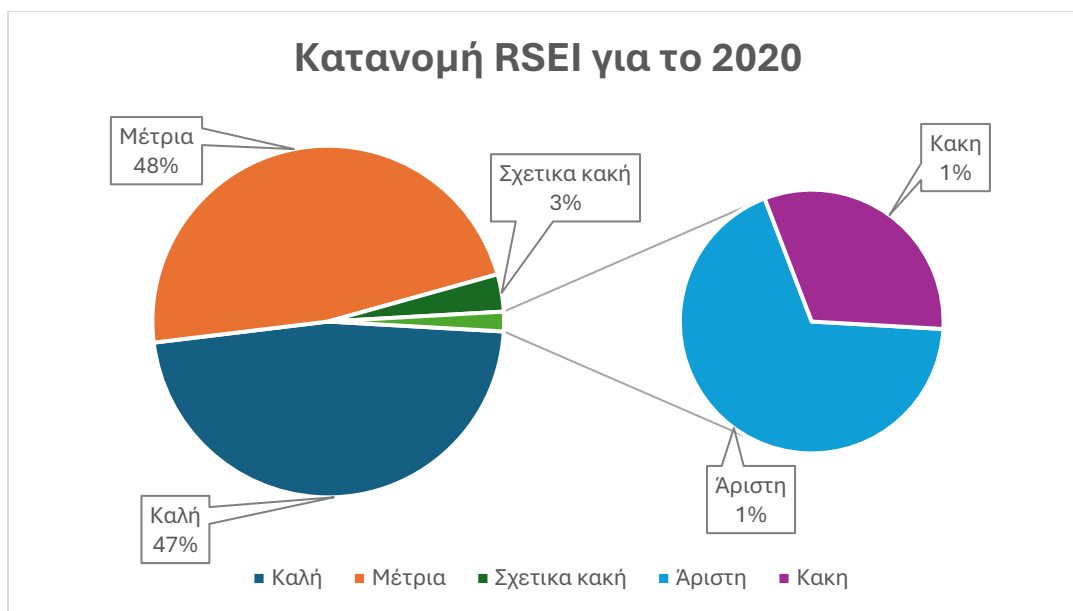


Χάρτης 27 . NDVI 2020



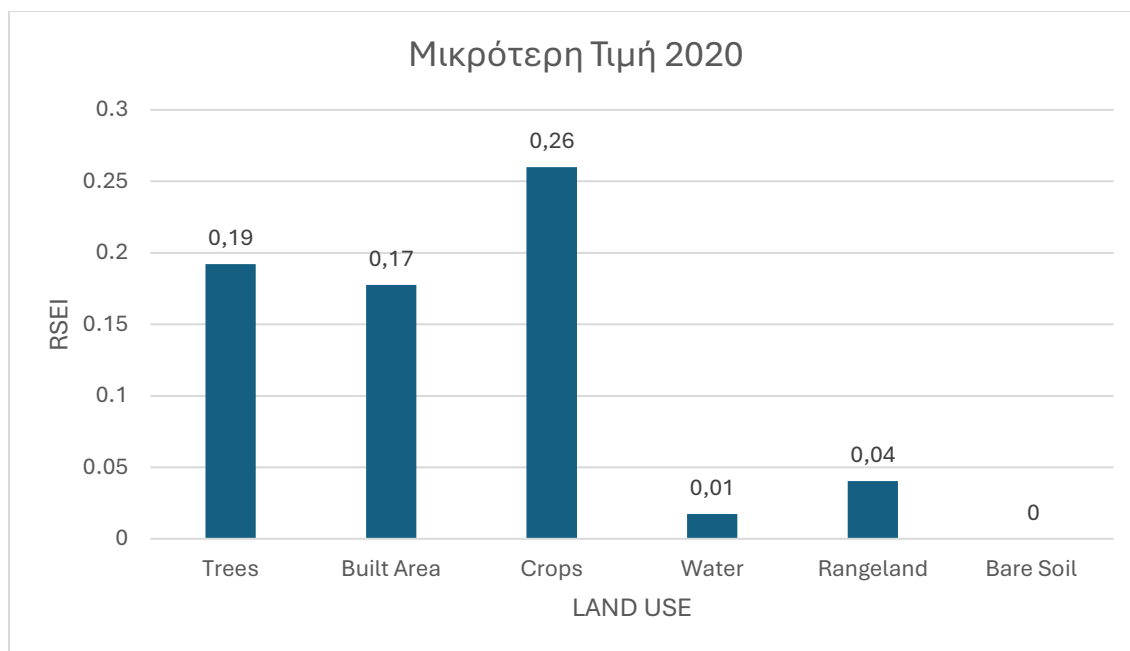
Χάρτης 28. WET 2020

Αφού παραθέσαμε τους χάρτες μας μπορούμε να προχωρήσουμε με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κύριου δείκτη μας (RSEI) έτσι ώστε να μπορέσουμε και στο επόμενο κεφάλαιο να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για την συμπεριφορά του δείκτη ανά τα έτη και κα επέκταση την οικολογική ποιότητα ης Κρήτης. Έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων που εξήγαμε από τους χάρτες και την επεξεργασία τους στο πρόγραμμα του excel δημιουργήσαμε την μέση ποσόστωση της οικολογικής ποιότητας για το νησί αλλά και το πώς κατανέμετε κάθε κλάση του δείκτη και τι ποσοστό επί του συνολικού καταλαμβάνει (Διάγραμμα 19). Ο μέσος όρος της οικολογικής ποιότητας για το 2020 είναι **0.59**, τιμή η οποία για το έτος μελέτης μας κατατάσσει την μέση τιμή του δείκτη μας οριακά στην κατηγορία μέτρια.

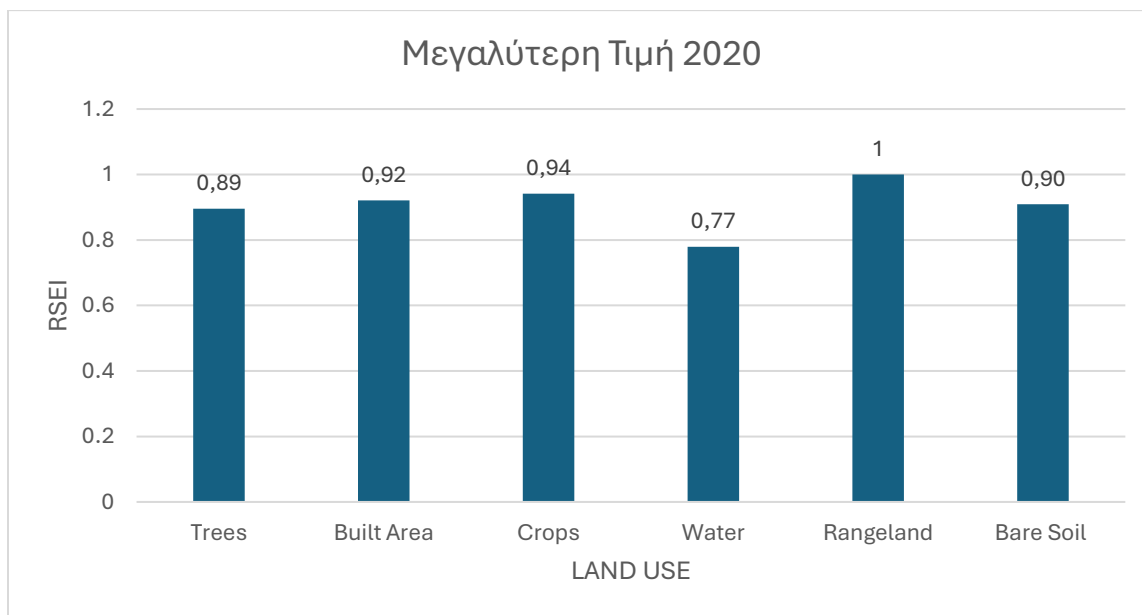


*Διάγραμμα 19. Κατανομή RSEI 2020*

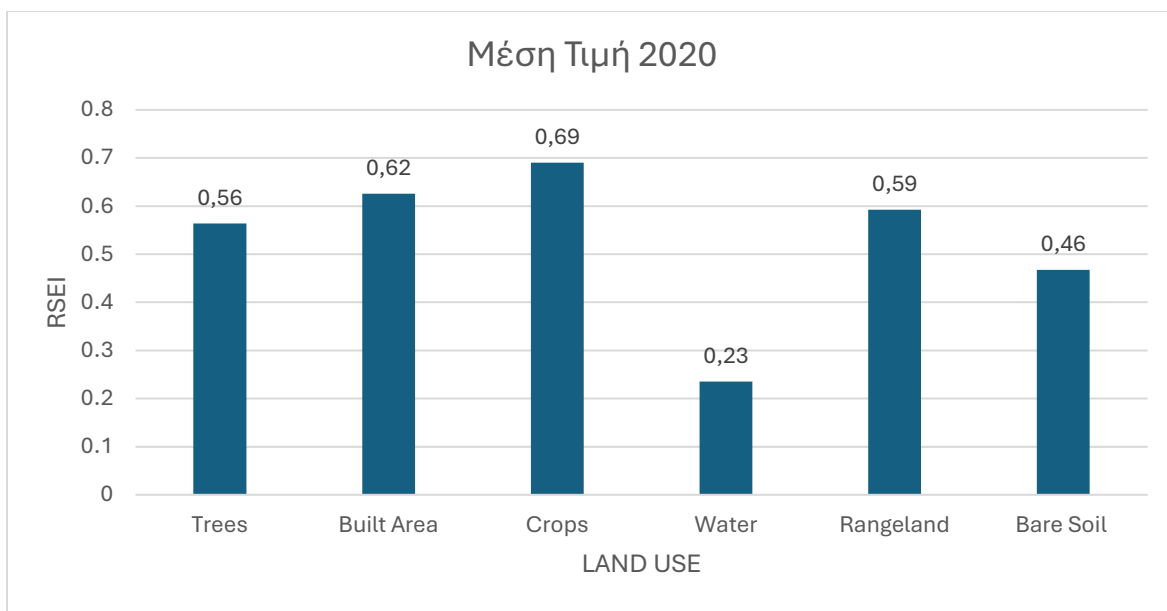
Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση για κάθε μία από τις έξι κύριες κατηγορίες χρήσεων γης του νησιού. Για κάθε κατηγορία υπολογίστηκαν οι μέσες, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές του δείκτη RSEI. Ακολουθούν τρία διαγράμματα(Διαγράμματα 20,21,22) που παρουσιάζουν συγκεντρωτικά τις μέσες, τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές του RSEI ανά κατηγορία χρήσης γης, παρέχοντας μια σαφή εικόνα για τις οικολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε κλάση. Τα διαγράμματα αυτά αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση της οικολογικής ποιότητας και τη συσχέτισή της με τις διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων. Για την χρονιά μελέτης μας η μέση τιμή για την κάθε κλάση είναι η εξής : Trees **0.56**, Built Area **0.62**, Crops **0.69** ,Water **0.23** , Rangeland **0.59** και Bare Soil **0.46**.



Διάγραμμα 20. Μικρότερη Τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2020

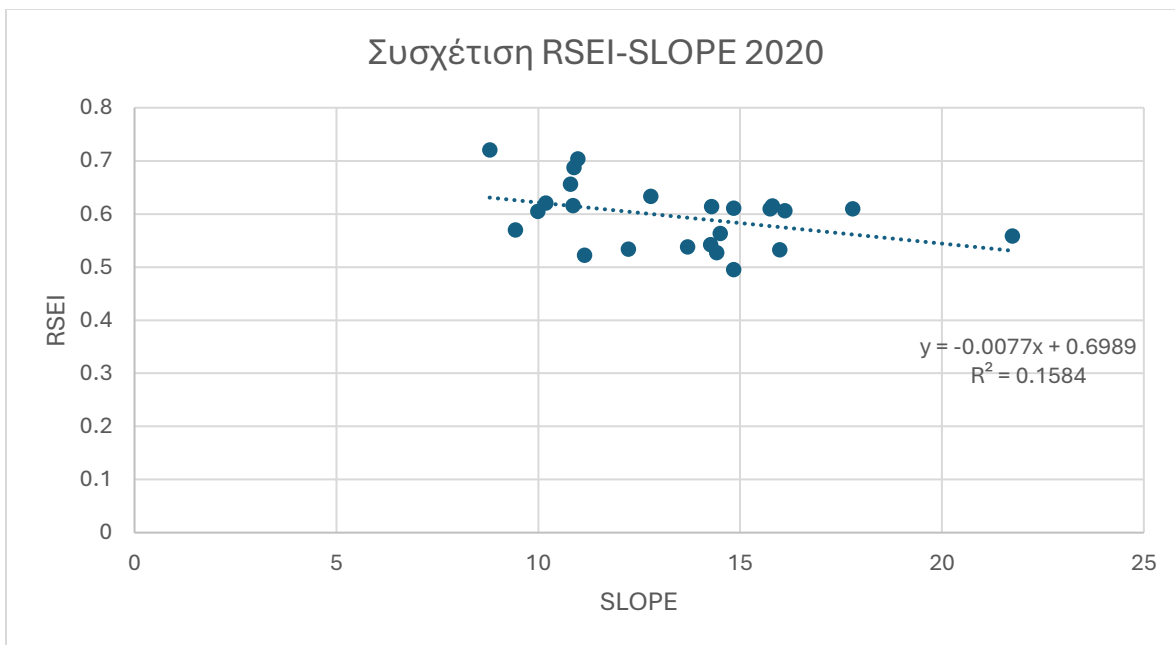


Διάγραμμα 21. Μεγαλύτερη τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2020

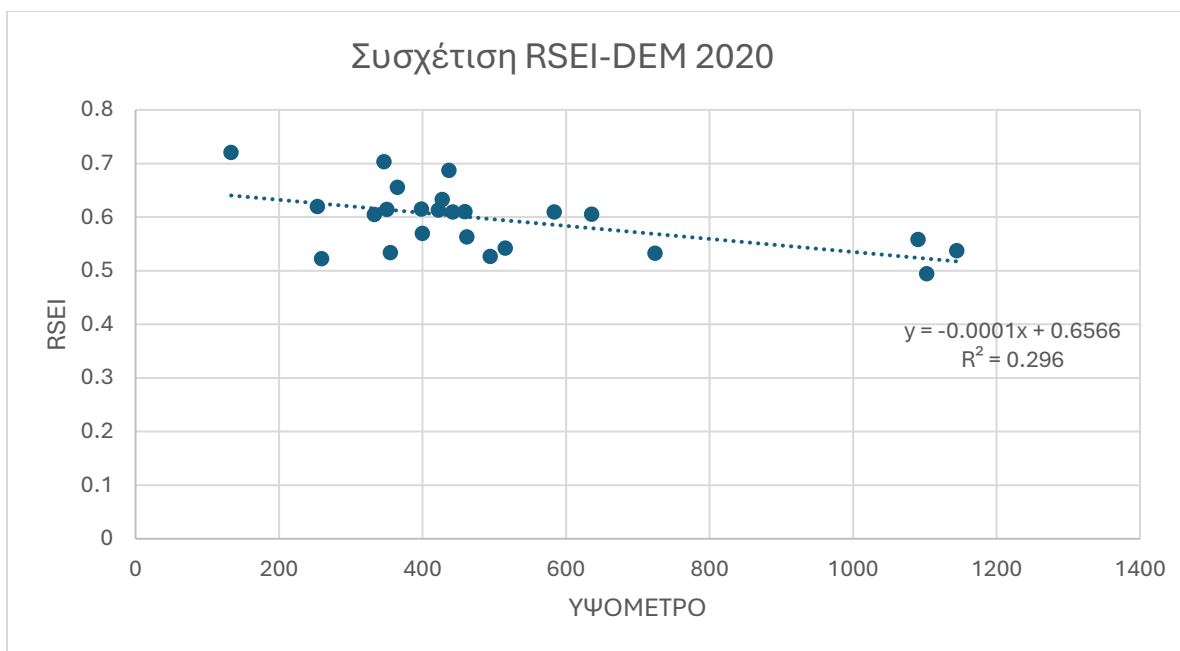


Διάγραμμα 22. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2020

Όπως και στις προηγούμενες περιόδους μελέτης έτσι και για το έτος 2020 το επόμενο βήμα ήταν η διερεύνηση της συσχέτισης του δείκτη με γεωμορφολογικούς παράγοντες δηλαδή με τους χάρτες που έχουμε ήδη κατασκευάσει και χρησιμοποιήσουμε. Επίσης και πάλι παρατηρούμε πως περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές οικολογικής ποιότητας. Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της κλίσης του εδάφους συνδέεται επίσης με μείωση του δείκτη όπως παρουσιάζετε και στα παρακάτω διαγράμματα (Διαγράμματα 23, 24).



Διάγραμμα 23. RSEI-SLOPE 2020

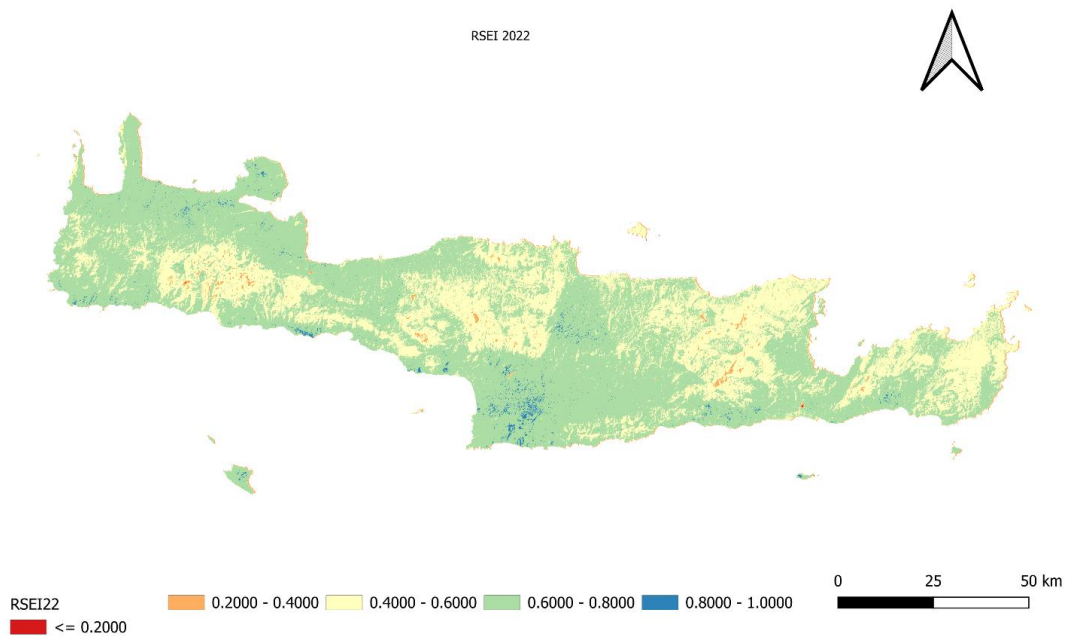


Διάγραμμα 24. RSEI-DEM 2020

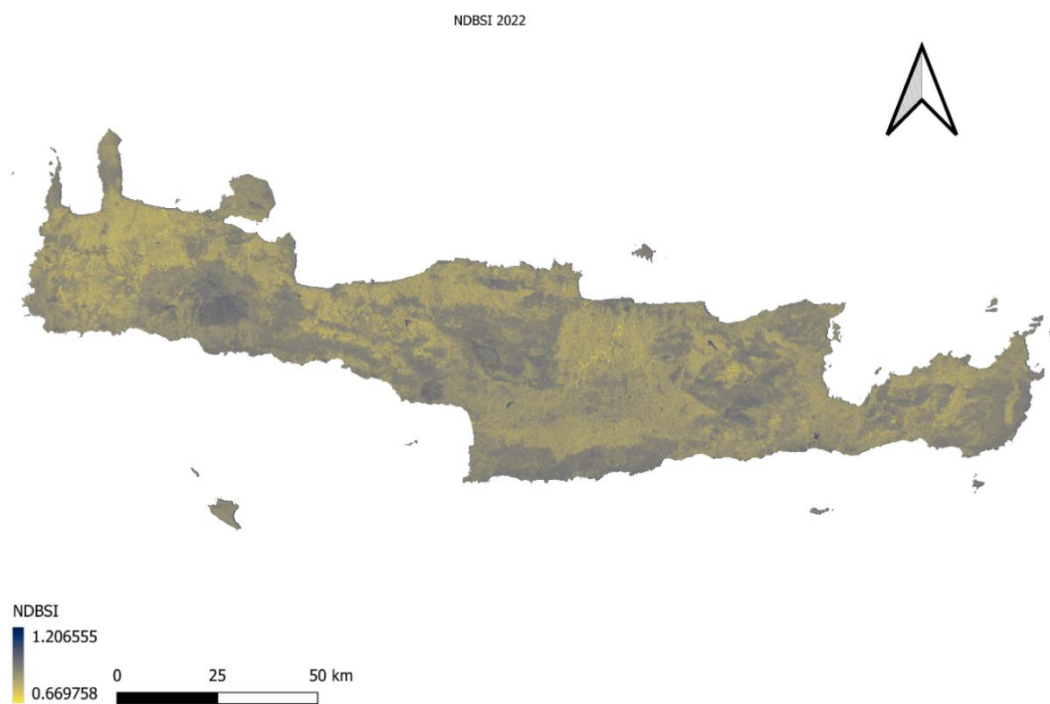
Η συσχέτιση του δείκτη RSEI με το υψόμετρο και την κλίση του εδάφους, έδειξε πως όσο μεγαλώνει το υψόμετρο και η κλίση η οικολογική ποιότητα μειώνετε με τον συντελεστή  $R^2$  να καταδεικνύει τον βαθμό επίδρασης αυτών των γεωμορφολογικών παραμέτρων στην οικολογική ποιότητα. Οι τιμές του  $R^2$  ( $R^2 = 0.296$ ) έδειξαν ότι υπάρχει σχετικά αδύναμη συσχέτιση μεταξύ του RSEI και του υψομέτρου, γεγονός που υποδηλώνει ότι καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, μειώνεται η οικολογική ποιότητα. Παράλληλα, η συσχέτιση του RSEI με την κλίση του εδάφους παρουσίασε επίσης μια αδύναμη σχέση ( $R^2 = 0.1584$ ).

### 3.5 Αποτελέσματα 2022

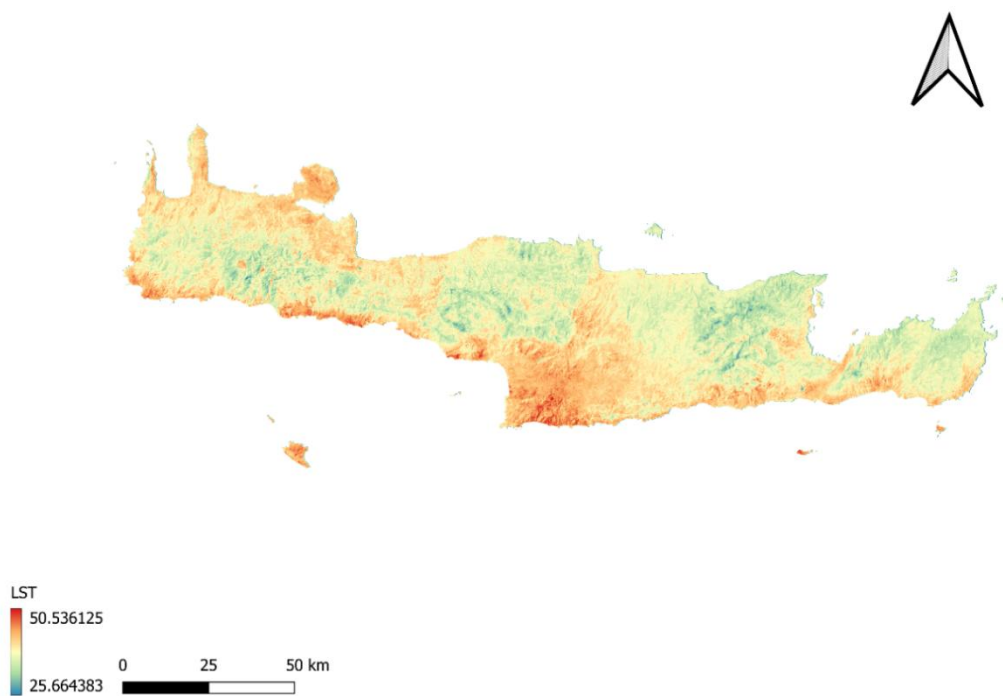
Για το έτος 2022 παρουσιάζονται παρακάτω οι χάρτες των δεικτών μας NDVI, WET, LST, NDBSI, RSEI όπου ο αρχικοί δείκτες παρουσιάζονται πριν γίνει η κανονικοποίηση στο εύρος τιμών τους τους (Χάρτες 29,30,31,32,33).



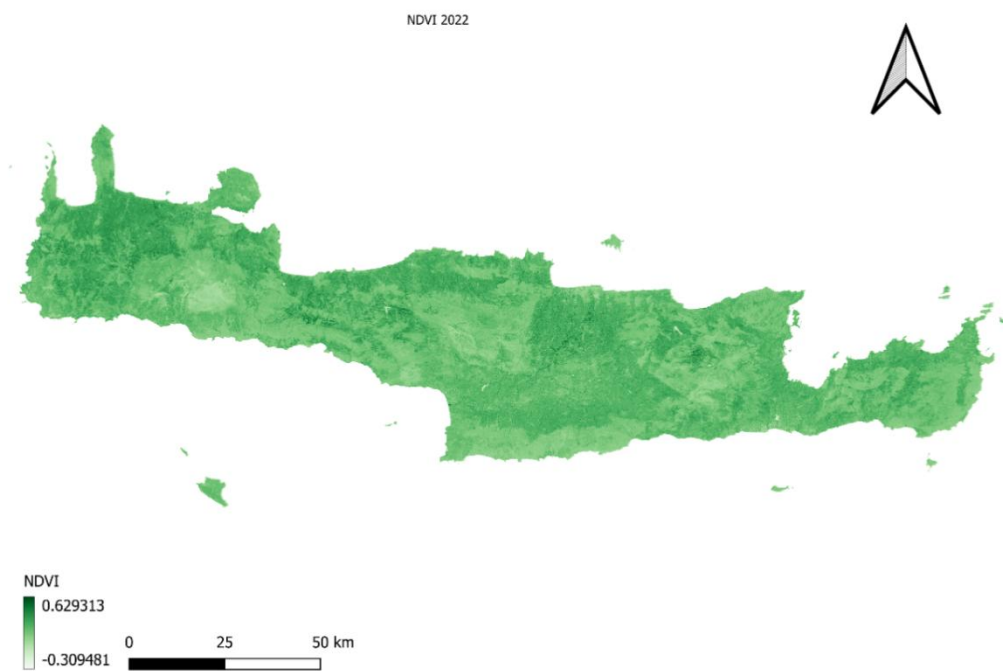
Χάρτης 29. RSEI 2022



Χάρτης 30. NDBSI 2022

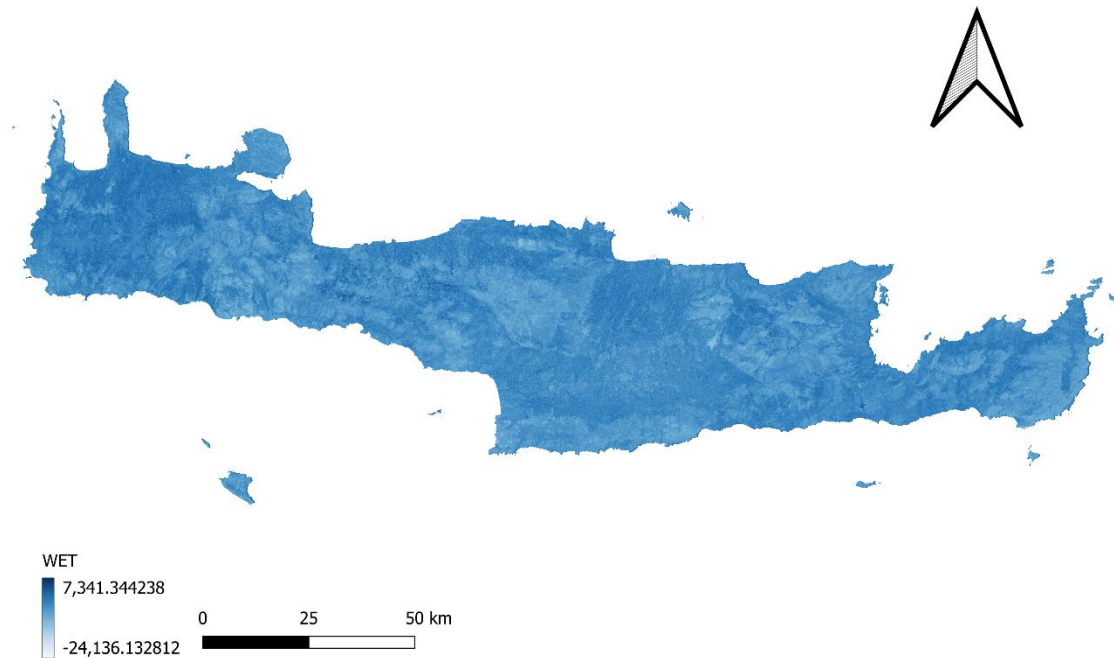


Χάρτης 31. LST 2022



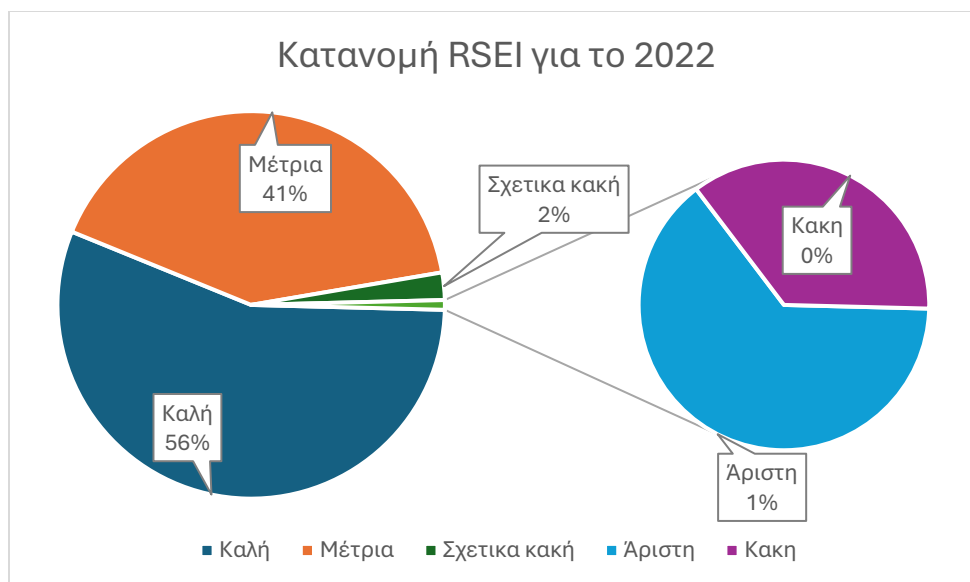
Χάρτης 32. NDVI 2022





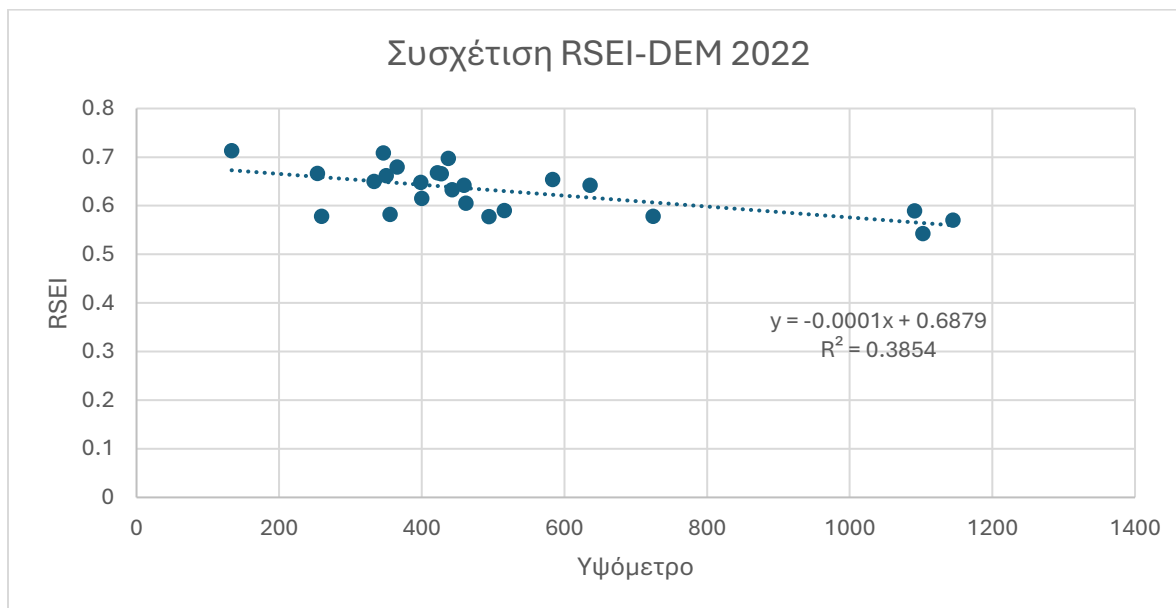
Χάρτης 33. WET 2022

Αφού παραθέσαμε τους χάρτες μας μπορούμε να προχωρήσουμε με τα αποτελέσματα της ανάλυσης του κύριου δείκτη μας (RSEI) έτσι ώστε να μπορέσουμε και στο επόμενο κεφάλαιο να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα για την συμπεριφορά του δείκτη ανά τα έτη και κα επέκταση την οικολογική ποιότητα ης Κρήτης. Έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία των αποτελεσμάτων που εξήγαμε από τους χάρτες και την επεξεργασία τους στο πρόγραμμα του excel δημιουργήσαμε την μέση ποσόστωση της οικολογικής ποιότητας για το νησί αλλά και το πώς κατανέμετε κάθε κλάση του δείκτη και τι ποσοστό επί του συνολικού καταλαμβάνει (Διάγραμμα 25). Ο μέσος όρος της οικολογικής ποιότητας για το 2022 είναι **0.63** τιμή η οποία για το έτος μελέτης μας κατατάσσει την μέση τιμή του δείκτη μας οριακά στην κατηγορία μέτρια.

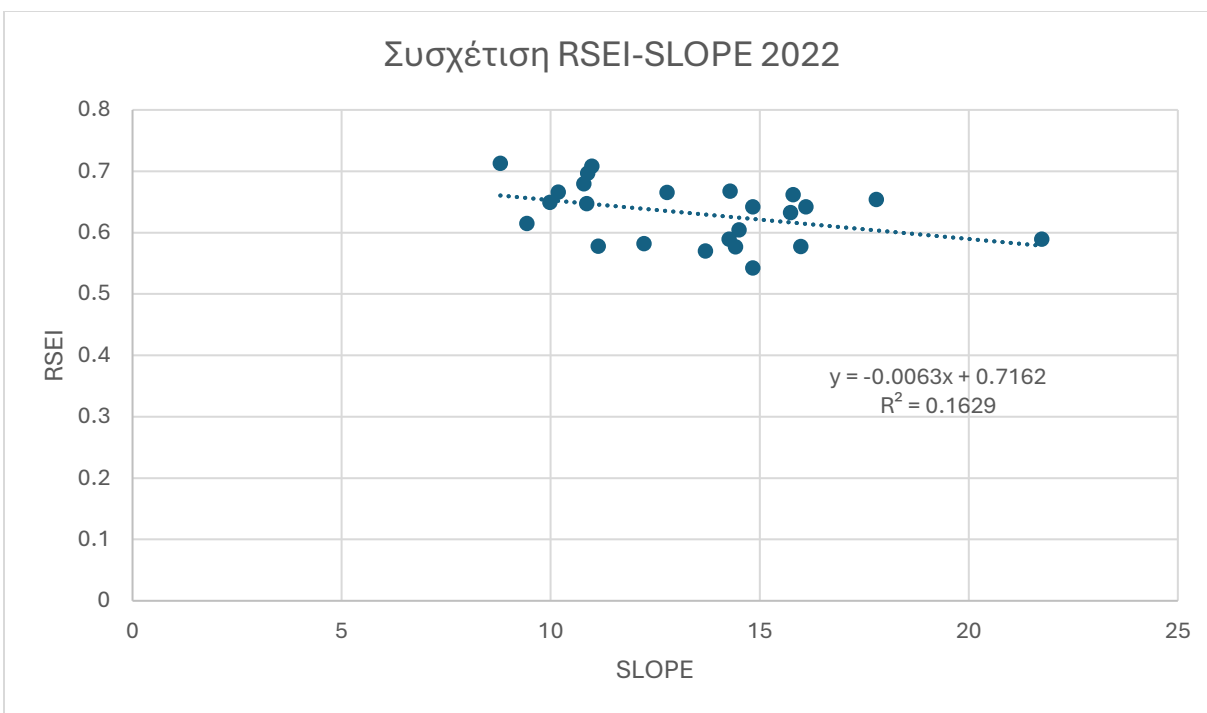


Διάγραμμα 25. Κατανομή RSEI 2022

Όπως και στις προηγούμενες περιόδους μελέτης έτσι και για το έτος 2022 το επόμενο βήμα ήταν η διερεύνηση της συσχέτισης του δείκτη με γεωμορφολογικούς παράγοντες δηλαδή με τους χάρτες που έχουμε ήδη κατασκευάσει και χρησιμοποιήσει. Επιπροσθέτως πάλι παρατηρούμε πως περιοχές με μεγαλύτερο υψόμετρο εμφανίζουν χαμηλότερες τιμές οικολογικής ποιότητας. Αντίστοιχα, παρατηρήθηκε ότι η αύξηση της κλίσης του εδάφους συνδέεται επίσης με μείωση του δείκτη όπως φαίνεται παρακάτω (Διαγράμματα 26, 27).



Διάγραμμα 26. RSEI-DEM 2022

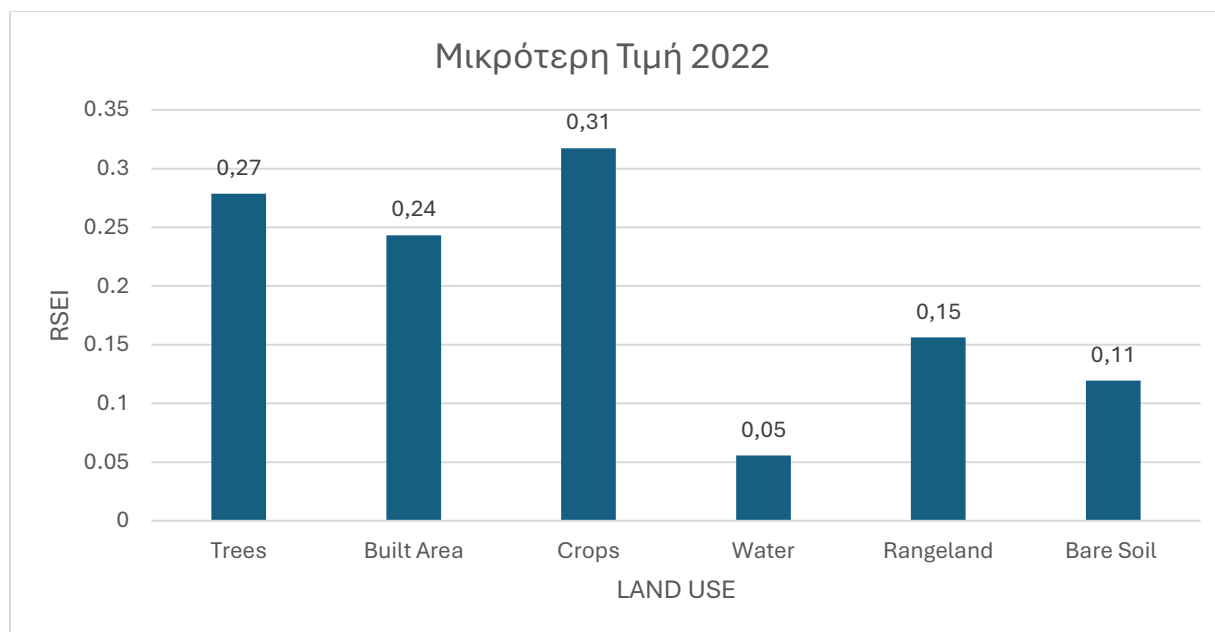


Διάγραμμα 27. RSEI-SLOPE 2022

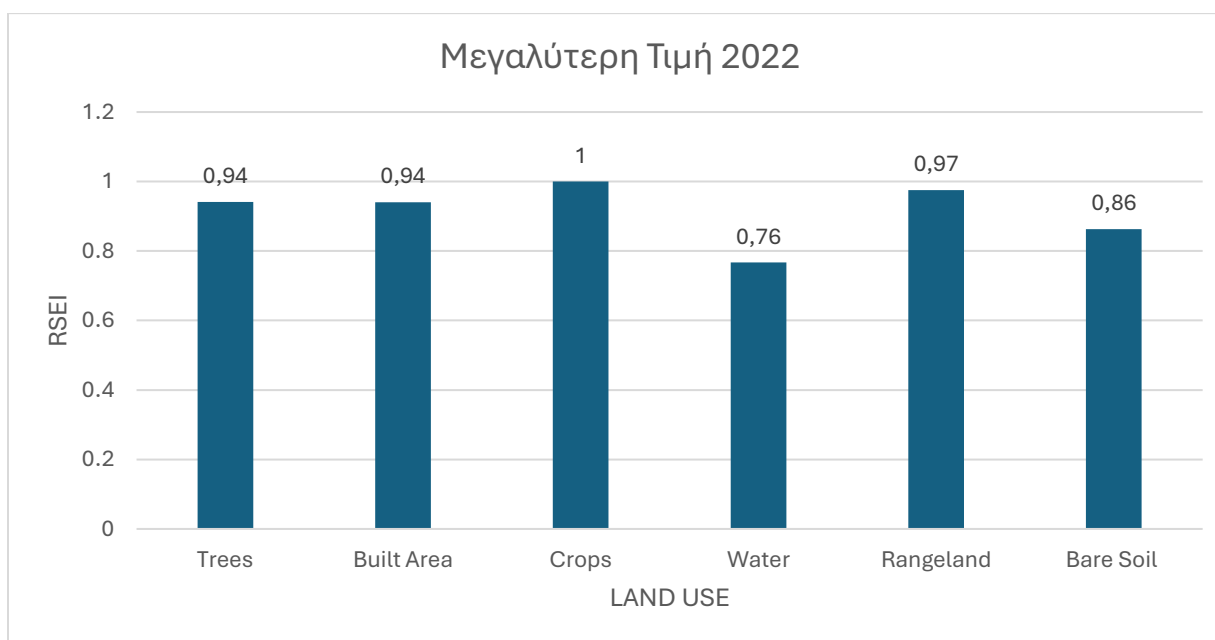
Η συσχέτιση του δείκτη RSEI με το υψόμετρο και την κλίση του εδάφους, έδειξε πως όσο μεγαλώνει το υψόμετρο και η κλίση η οικολογική ποιότητα μειώνεται με τον συντελεστή  $R^2$  να καταδεικνύει τον βαθμό επίδρασης αυτών των γεωμορφολογικών παραμέτρων στην οικολογική ποιότητα. Οι τιμές του  $R^2$  ( $R^2 = 0.3854$ ) έδειξαν ότι υπάρχει μέτρια συσχέτιση μεταξύ του RSEI και του υψομέτρου, γεγονός που υποδηλώνει ότι καθώς αυξάνεται το υψόμετρο, μειώνεται η οικολογική ποιότητα.

Παράλληλα, η συσχέτιση του RSEI με την κλίση του εδάφους παρουσίασε επίσης μια αδύναμη σχέση ( $R^2 = 0.1629$ ).

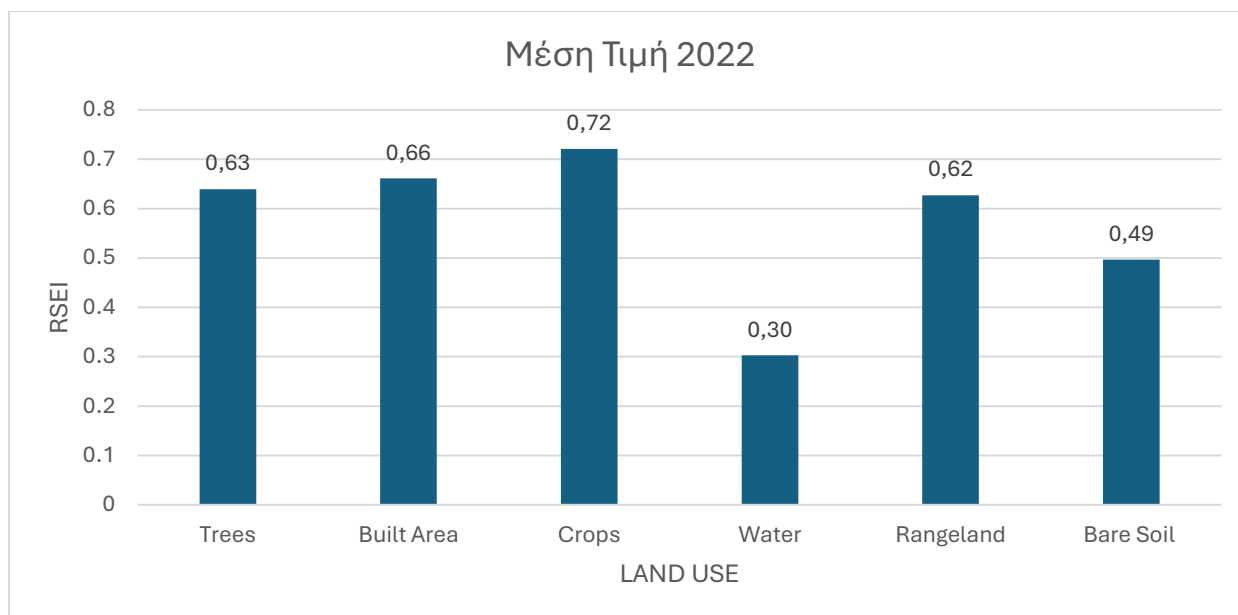
Στη συνέχεια, πραγματοποιήθηκε ανάλυση για κάθε μία από τις έξι κύριες κατηγορίες χρήσεων γης του νησιού. Για κάθε κατηγορία υπολογίστηκαν οι μέσες, οι ελάχιστες και οι μέγιστες τιμές του δείκτη RSEI. Ακολουθούν τρία διαγράμματα (διαγράμματα 28,29,30) που παρουσιάζουν συγκεντρωτικά τις μέσες, τις ελάχιστες και τις μέγιστες τιμές του RSEI ανά κατηγορία χρήσης γης, παρέχοντας μια σαφή εικόνα για τις οικολογικές συνθήκες που επικρατούν σε κάθε κλάση. Τα διαγράμματα αυτά αποτελούν σημαντικό εργαλείο για την ανάλυση της οικολογικής ποιότητας και τη συσχέτισή της με τις διαφορετικές κατηγορίες χρήσεων. Για την χρονιά μελέτης μας η μέση τιμή για την κάθε κλάση είναι η εξής : Trees **0,63**, Built Area **0,66** , Crops **0,72** ,Water **0,30** ,Rangeland **0,62** και Bare Soil **0,49**.



Διάγραμμα 28. Μικρότερη Τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2022



Διάγραμμα 29. Μεγαλύτερη Τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2022



Διάγραμμα 30. Μέση τιμή RSEI για κάθε χρήση γης για το 2022

Η ακρίβεια των αποτελεσμάτων του δείκτη RSEI αποτελεί κρίσιμο στοιχείο για την ερμηνεία της οικολογικής ποιότητας μιας περιοχής. Αν και ο RSEI παρέχει μια συνολική εκτίμηση της κατάστασης του περιβάλλοντος, η ερμηνεία μικρών διαφορών στις τιμές του απαιτεί προσοχή. Για παράδειγμα, μια διαφορά της τάξης του 0.05 (π.χ. από 0.50 σε 0.55) ενδέχεται να μην είναι περιβαλλοντικά σημαντική, εάν εμπίπτει στα όρια του σφάλματος της μεθόδου ή εάν δεν αντιστοιχεί σε ουσιαστική αλλαγή στις συνθήκες του τοπίου. Αντίθετα, μεγαλύτερες διαφορές, της τάξης του 0.10-0.20, μπορεί να σηματοδοτούν ουσιαστικές διαφοροποιήσεις στην οικολογική ποιότητα, ειδικά όταν αυτές συνοδεύονται από αλλαγές στις χρήσεις γης ή σε άλλες περιβαλλοντικές μεταβλητές.

Ένας παράγοντας που επηρεάζει την ακρίβεια του δείκτη είναι η χωρική και χρονική ανάλυση των δεδομένων. Ο RSEI εξαρτάται από δορυφορικές εικόνες οι οποίες ενδέχεται να επηρεάζονται από ατμοσφαιρικές συνθήκες, θόρυβο στα δεδομένα ή τη διακριτική ικανότητα του αισθητήρα. Επιπλέον, η μέθοδος της Ανάλυσης Κυρίων Συνιστωσών (PCA) βασίζεται στη στατιστική κατανομή των επιμέρους δεικτών γεγονός που σημαίνει ότι μικρές αποκλίσεις στις εισόδους μπορούν να οδηγήσουν σε αντίστοιχες μεταβολές στην τελική τιμή του RSEI.

Για την καλύτερη ερμηνεία των αποτελεσμάτων, είναι χρήσιμη η ομαδοποίηση των τιμών του RSEI σε κατηγορίες (π.χ. χαμηλή, μέτρια, υψηλή οικολογική ποιότητα), καθώς αυτό βοηθά στην καλύτερη κατανόηση της κατάστασης μιας περιοχής, αποφεύγοντας τη σύγκριση μικρών αριθμητικών διαφορών που μπορεί να είναι στατιστικά ασήμαντες. Σε αυτή την προσέγγιση, η έμφαση δίνεται στις γενικές τάσεις και στις χωρικές διακυμάνσεις του δείκτη, παρά σε απόλυτες διαφορές μεταξύ συγκεκριμένων τιμών.

### 3.6 ΣΥΣΧΕΤΗΣΗ ΕΠΙΜΕΡΟΥΣ ΔΕΙΚΤΩΝ

Οι τέσσερις δείκτες μας WET, LST, NDVI, NDBSI συνδέονται μεταξύ τους και αντανακλούν την κατάσταση του περιβάλλοντος όπου γίνεται και η εκάστοτε μελέτη. Στη βιβλιογραφία αναφέρονται

συχνά ως αντιπροσωπευτικοί τέσσερις παράγοντες: η βλάστηση (NDVI), η υγρασία (WET), η ξηρότητα/αστικοποίηση (NDBSI) και η θερμότητα (LST). Σε οικοσυστήματα που θεωρούνται υγιή παρατηρούνται υψηλές τιμές NDVI και WET (πλούσια βλάστηση με υγρασία), ενώ χαμηλές τιμές NDBSI και LST (λιγότερη ξηρότητα και χαμηλότερες θερμοκρασίες). Αντίθετα, σε υποβαθμισμένα ή αστικά περιβάλλοντα κυριαρχούν υψηλότερες θερμοκρασίες και ξηρότητα (LST και NDBSI), με μειωμένη βλάστηση και υγρασία (χαμηλά NDVI, WET). Παρακάτω θα παρουσιάσουμε την συσχέτιση που έχουν οι δείκτες μεταξύ τους

Για τους δείκτες NDVI και LST έχουμε ισχυρά αρνητική συσχέτιση δηλαδή όπου αυξάνεται η βλάστηση μειώνεται η επιφανειακή θερμοκρασία. Αυτό αναδεικνύει την ψυκτική επίδραση της βλάστησης στην επιφάνεια. Η αρνητική σχέση είναι αποτέλεσμα της βλάστησης. Πιο συγκεκριμένα τα φυτά με ποικίλους τρόπους κρατούν δροσερότερες τις περιοχές όπου έχουμε υψηλό NDVI. Επιπλέον στις πόλεις το φαινόμενο αυτό εκδηλώνεται ως περιορισμός της αστικής θερμονησίδας γιατί οι χώροι πρασίνου έχουν χαμηλότερο LST σε σχέση με τις γυμνές ή αστικοποιημένες εκτάσεις. Μελέτες σε πόλεις δείχνουν ισχυρή αρνητική γραμμική σχέση NDVI–LST στις πυκνοδομημένες ζώνες, υπογραμμίζοντας ότι όπου υπάρχει περισσότερη βλάστηση, η θερμοκρασία επιφάνειας είναι χαμηλότερη. Σαν συμπέρασμα και βάση της ήδη υπάρχουσας βιβλιογραφίας αναλύσεις και μελέτες δείχνουν ότι στις περισσότερες περιοχές του κόσμου ο NDVI συσχετίζεται αρνητικά με τον LST, τονίζοντας τον ρόλο της βλάστησης στη ρύθμιση της θερμοκρασίας.

Για τους δείκτες NDVI και WET έχουμε θετική συσχέτιση. Οι περιοχές με υψηλό NDVI συνήθως έχουν και υψηλότερη υγρασία εδάφους καθώς η παρουσία πυκνής βλάστησης συνδέεται με διαθεσιμότητα νερού και πιο υγρού κλίματος. Όπου η βλάστηση είναι άφθονη συνυπάρχει και επιφανειακή υγρασία (π.χ. υγρό έδαφος, βρεγμένη βλάστηση). Ένας λόγος είναι ότι η βλάστηση ευδοκimeί σε υγρές συνθήκες και παράλληλα αυξάνει την υγρασία μέσω της διαπνοής. Ωστόσο, σε περιοχές με κορεσμένα εδάφη ή έλη, υπερβολική υγρασία μπορεί να μειώσει το NDVI (λόγω ασφυξίας ριζών), οδηγώντας σε πιο περίπλοκες σχέσεις σε αυτές τις περιπτώσεις. Γενικά πάντως, ο δείκτης υγρότητας WET θεωρείται δείκτης ωφέλιμος όπως και ο NDVI για την οικολογική ποιότητα, καθώς και οι δύο ανεβαίνουν όταν βελτιώνεται το φυσικό περιβάλλον

Για τους δείκτες NDVI και NDBSI έχουμε ότι η μεταξύ τους συσχέτιση είναι αρνητική. Καθώς αυξάνεται η αστική επέκταση ή οι γυμνές ξηρές επιφάνειες η βλάστηση μειώνεται αρκετά Π.χ. σε έρευνα για την αστική θερμονησίδα, ο NDVI και ο NDBI (ένας παρεμφερής δείκτης δομημένου ιστού) είχαν σχεδόν απόλυτα αντίστροφη σχέση ( $r \approx -0.98$ ). Αυτό σημαίνει ότι οι περιοχές με υψηλή τιμή NDBSI έχουν μηδαμινή βλάστηση. Αντίστροφα, όπου υπάρχει πυκνή φυτοκάλυψη, ο NDBSI είναι πολύ χαμηλός. Κατά την αστικοποίηση μιας περιοχής συνήθως παρατηρείται άνοδος του NDBSI και ταυτόχρονη πτώση του NDVI, κάτι που επιδεινώνει τους δείκτες οικολογικής ποιότητας. Στοιχεία από την Κίνα έδειξαν ότι η ραγδαία αρχική κατασκευή σε μια νέα αστική περιοχή μείωσε απότομα τον μέσο οικολογικό δείκτη (RSEI) λόγω της πτώσης του NDVI και WET και αύξησης του NDBSI και LST το 2017–2018, ενώ αργότερα μέτρα αποκατάστασης πρασίνου βελτίωσαν ξανά τον NDVI/WET και μείωσαν την ξηρότητα

Για τους δείκτες LST NDBSI έχουμε συχνά θετική συσχέτιση. Οι αστικές/γυμνές ξηρές επιφάνειες πολλές φορές είναι πιο θερμές από τις φυτοκαλυμμένες ή τις πιο υγρές. Έτσι υψηλές τιμές NDBSI συνδέονται με υψηλότερο LST. Πολλές μελέτες για το φαινόμενο της θερμονησίδας βρίσκουν ότι όσο αυξάνεται ο δομημένος ιστός, αυξάνεται και η θερμοκρασία. Για παράδειγμα, σε αστική περιοχή της Τουρκίας αναφέρεται ότι «η συσχέτιση μεταξύ LST και NDVI είναι αρνητική, ενώ η LST παρουσιάζει θετική συσχέτιση με τον NDBSI», δηλαδή οι δομημένες

εκτάσεις εντείνουν την αύξηση της θερμοκρασίας σε αντίθεση με τη επίδραση της βλάστησης. Γενικότερα ο LST συσχετίζεται θετικά με τον βαθμό αστικοποίησης/ξηρότητας και αντιστρόφως. Αξίζει να σημειωθεί ότι και ο ίδιος ο NDBSI μπορεί να θεωρηθεί «δείκτης θερμικού κινδύνου», αφού εντοπίζει τις ξηρές/δομημένες ζώνες που συμβάλλουν σε υψηλότερες θερμοκρασίες.

Για τους δείκτες LST WET παρουσιάζουν αρνητική. Οι υγρές επιφάνειες (π.χ. βρεγμένο έδαφος, βλάστηση με υψηλή υγρασία, ή υδάτινες εκτάσεις) θερμαίνονται πιο αργά και δροσίζονται μέσω εξάτμισης έτσι εμφανίζουν χαμηλότερο LST από ότι ξηρές επιφάνειες. Έτσι όπου ο δείκτης WET είναι υψηλός ο LST είναι χαμηλός ενώ η ξηρασία συντελεί σε υψηλές θερμοκρασίες. Επομένως, WET και LST λειτουργούν ως ανταγωνιστικοί δείκτες διότι η υγρασία μετριάζει τη θερμική καταπόνηση ενώ η έλλειψή της την εντείνει.

## 4 Συμπεράσματα

Στο κεφάλαιο αυτό το οποίο αποτελεί και το τελικό της εργασίας θα κάνουμε μια ανάλυση των αποτελεσμάτων τα οποία παρουσιάσαμε στο Κεφάλαιο 3 και κατασκευάσαμε όπως περιγράφουμε στο κεφάλαιο 2α, με σκοπό να καταλήξουμε σε κάποια συμπεράσματα σχετικά με την συμπεριφορά του δείκτη RSEI κατά την διάρκεια των χρόνων μελέτης αλλά και ταυτόχρονα το πως επηρεάζεται από τους παράγοντες που τον έχουμε συσχετίσει.

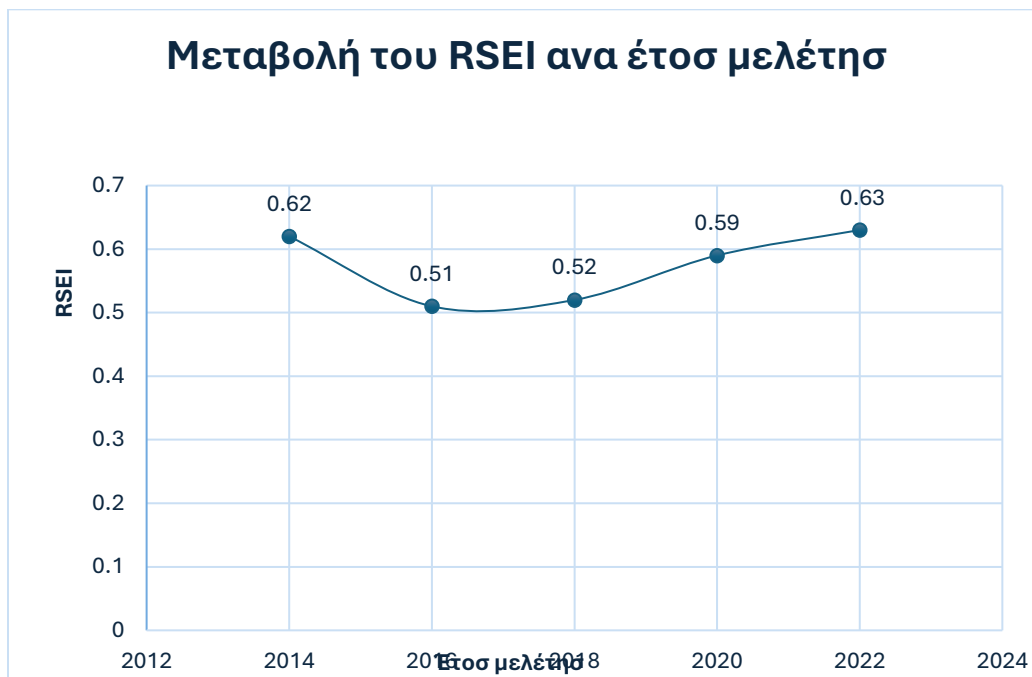
Αρχικά θα ξεκινήσουμε κάνοντας ένα σχόλιο και μια ανάλυση σχετικά με τις τιμές mean, max, min που έχει ο δείκτης μας και το τί πρακτικά σημαίνουν οι τιμές αυτές. Οι τιμές mean, max, min για τον δείκτη RSEI παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την οικολογική ποιότητα μιας περιοχής. Η ελάχιστη τιμή RSEI αντιπροσωπεύει τη χειρότερη καταγεγραμμένη οικολογική κατάσταση εντός της περιοχής μελέτης όπως μια περιοχή χωρίς καθόλου βλάστηση, με ξηρό έδαφος και υψηλή θερμοκρασία. Αντίθετα, η μέγιστη τιμή RSEI δείχνει το καλύτερο δυνατό επίπεδο οικολογικής ποιότητας π.χ. ένα σημείο με πυκνή βλάστηση, επάρκεια υγρασίας και χαμηλή θερμοκρασία. Η μέση τιμή RSEI αποτυπώνει τη συνολική εικόνα: είναι ο μέσος όρος της οικολογικής ποιότητας σε όλη την περιοχή και δίνει μια γενική εκτίμηση του επιπέδου περιβαλλοντικής κατάστασης. Σε πολλές μελέτες χρησιμοποιούνται κατηγορίες αξιολόγησης του RSEI όπως κάναμε και στην δική μας εργασία. Για παράδειγμα, τιμές 0–0.2 χαρακτηρίζονται ως “πολύ κακή” ποιότητα, 0.2–0.4 “μέτρια προς χαμηλή”, 0.4–0.6 “μέτρια”, 0.6–0.8 “καλή” και 0.8–1 “εξαιρετική”. Με βάση αυτό η ελάχιστη τιμή δείχνει αν υπάρχουν τμήματα της περιοχής σε πολύ κακή κατάσταση (αν η min πέφτει στην κατηγορία “φτωχή”), ενώ η μέγιστη τιμή αποκαλύπτει αν υπάρχει τμήμα με άριστες συνθήκες (π.χ. max κοντά στο 1 υποδηλώνει ότι κάποιο σημείο αγγίζει την κατηγορία “εξαιρετική” οικολογική ποιότητα). Η μέση τιμή βοηθά στο να συνοψίσουμε αν συνολικά η περιοχή βρίσκεται σε χαμηλό, μέτριο ή υψηλό οικολογικό επίπεδο. Για παράδειγμα, μια μέση τιμή ~0.5 υποδεικνύει γενικά μέτρια κατάσταση, ενώ μια μέση ~0.7 θα σήμαινε ότι συνολικά η περιοχή τείνει προς καλή οικολογική ποιότητα.

Η ποικιλία των χρήσεων γης και των καλύψεων μέσα σε μια περιοχή επηρεάζει άμεσα τις στατιστικές τιμές του RSEI. Σε έναν ομοιογενή χώρο (π.χ. ένα εκτεταμένο δάσος), οι τιμές RSEI τείνουν να είναι συγκεντρωμένες σε ένα στενότερο εύρος, με μικρότερες διαφορές μεταξύ min και max. Αντίθετα, σε μια ετερογενή περιοχή με διάφορες καλύψεις (αστικό περιβάλλον με πάρκα, κατοικίες, βιομηχανικές ζώνες, ανοιχτούς χώρους), η κατανομή των τιμών RSEI θα είναι πιο διάσπαρτη. Οι πράσινες και καλά διαχειριζόμενες εκτάσεις θα εμφανίζουν υψηλές τιμές, ενώ οι έντονα δομημένες ή υποβαθμισμένες εκτάσεις χαμηλές. Αυτό οδηγεί σε μεγαλύτερη διαφορά μεταξύ ελάχιστης και μέγιστης τιμής και αυξημένη διακύμανση. Η κατανομή των τιμών συχνά εμφανίζει χωρική αυτοσυσχέτιση δηλαδή ότι περιοχές υψηλής οικολογικής ποιότητας τείνουν να είναι η μία δίπλα ή κοντά στην άλλη, όπως και περιοχές χαμηλής ποιότητας. Αυτό σημαίνει ότι περιοχές με παρόμοια χρήση γης παρουσιάζουν παρόμοιες τιμές RSEI. Συνεπώς, η χωρική ετερογένεια μιας περιοχής καθορίζει το εύρος και την κατανομή των τιμών του δείκτη.

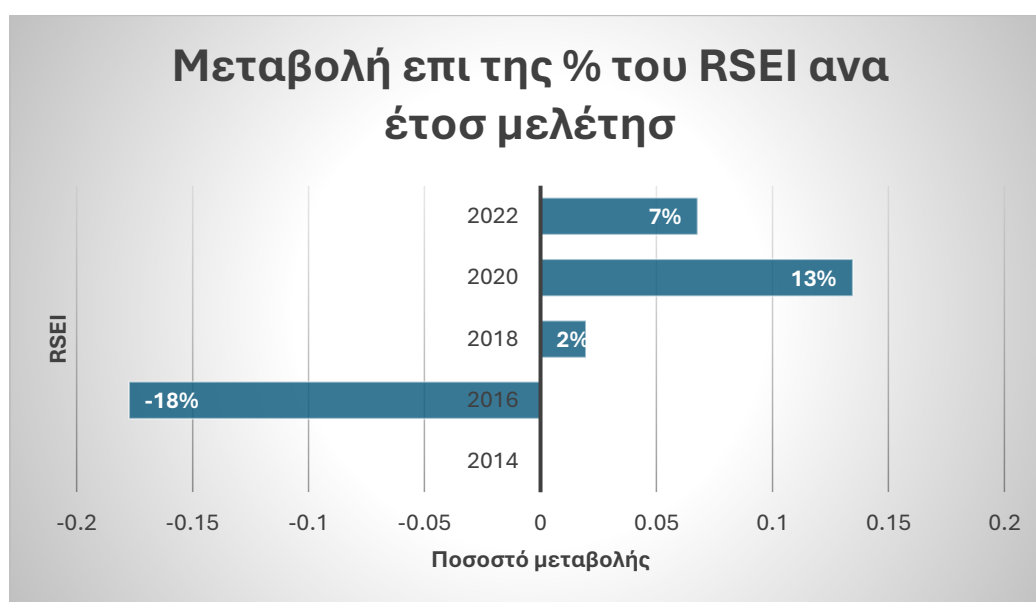
Οι διακυμάνσεις των τιμών RSEI (δηλ. πόσο μεγάλες ή μικρές είναι οι αποκλίσεις από τον μέσο όρο) παρέχουν ενδείξεις για την ομοιογένεια ή ανισοκατανομή της οικολογικής ποιότητας. Μεγάλες αποκλίσεις για παράδειγμα μια πολύ χαμηλή ελάχιστη τιμή και μια πολύ υψηλή μέγιστη τιμή υποδηλώνουν ότι η περιοχή περιλαμβάνει τόσο πολύ υποβαθμισμένα όσο και πολύ υγιή οικοσυστήματα. Ένα μεγάλο εύρος τιμών σημαίνει ότι συνυπάρχουν περιοχές εξαιρετικής οικολογικής ποιότητας με περιοχές έντονης υποβάθμισης



Θα προχωρήσουμε παρατηρώντας την διαχρονική μεταβολή των τιμών του δείκτη RSEI εξετάζοντας τόσο την πτωτική όσο και τη ανοδική του πορεία. Από τα διαγράμματα που ακολουθούν(Διαγράμματα 31,32) μπορούμε να έχουμε μια καλύτερη εικόνα κυρίως οπτική για τη συμπεριφορά του δείκτη στις 5 διαφορετικές χρονικές περιόδους μελέτης αλλά και να εξάγουμε κάποια συμπεράσματα.



Διάγραμμα 31. Συνολική Μεταβολή RSEI



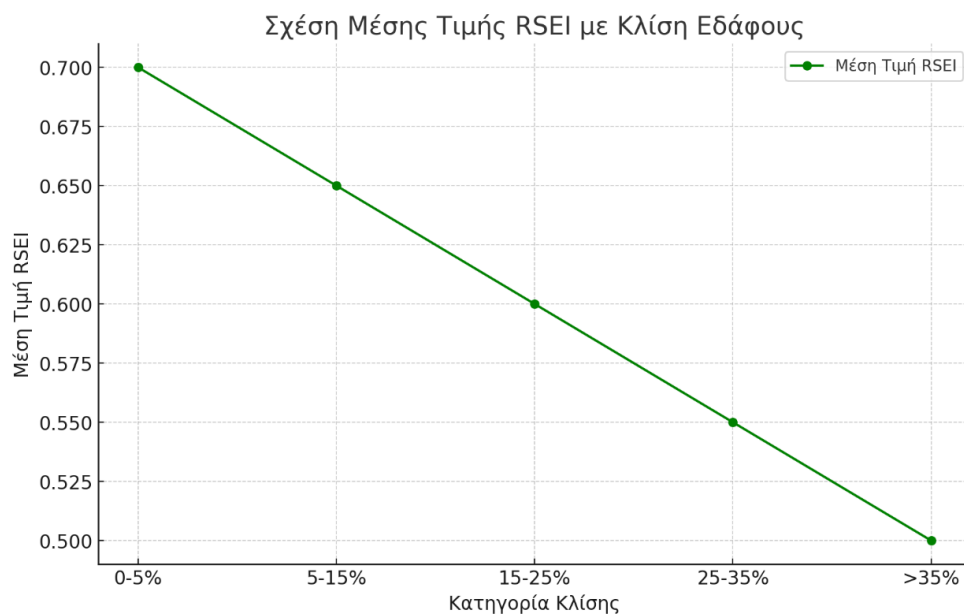
Διάγραμμα 32. Μεταβολή επι της % του RSEI ανά έτος μελέτης

Από το πρώτο διάγραμμα( Διάγραμμα 31) παρατηρούμε ότι η πορεία του δείκτη RSEI ακολουθεί στην αρχή μια πτωτική πορεία από το αρχικό έτος μελέτης 2014 μέχρι και το έτος 2016 κάτι το οποίο σημαίνει πως ταυτόχρονα είχαμε γενικότερη υποβάθμιση της οικολογικής ποιότητάς της Κρήτης. Η μείωση αυτή μπορεί να είναι ένα σύνθετο αποτέλεσμα αρκετών παραγόντων. Αρχικά βάση των στοιχείων που έχουμε εξάγει αλλά όπως παρουσιάζεται και σε ένα παρακάτω πίνακα( Πίνακας 21) στη διάρκεια αυτή η κατηγορία χρήσεων γης trees ( ουσιαστικά οι δασικές εκτάσεις στην Κρήτη ) είχε την μεγαλύτερη μείωση στην μέση τιμή της οικολογικής ποιότητας το οποίο σημαίνει πως στα δύο αυτά έτη οι περιοχές που αποτελούσαν τις δασικές εκτάσεις του νησιού μειώθηκαν σε βαθμό που επηρέασαν και την γενικότερη οικολογική ποιότητα. Λόγοι που μπορεί να έφεραν αυτό το αποτέλεσμα είναι οι όλο και πιο αυξημένες πυρκαγιές τα τελευταία χρόνια, η όλο και μεγαλύτερη αποψίλωση των δασών αλλά και ο ανθρώπινος παράγοντας. Ταυτόχρονα με τις δασικές εκτάσεις μείωση στην μέση τιμή του δείκτη είχαν και οι κατηγορίες Built area , Rangeland και Crops. Οι 3 αυτές κατηγορίες έχουν πολύ μεγάλο ρόλο στη διαμόρφωση των τιμών που θα πάρει ο δείκτης μας καθώς εκτός από το ότι κατέχουν μεγάλο ποσοστό κάλυψης του νησιού είναι και οι τιμές οι οποίες εμφανίζουν τις χαμηλότερες και υψηλότερες τιμές. Πιο συγκεκριμένα για την πτωτική περίοδο του δείκτη επιπλέον παράγοντες επηρεασμού είναι η μεγαλύτερη αστικοποίηση που παρουσιάζεται τα τελευταία χρόνια καθώς οι αστικές περιοχές χαρακτηρίζονται από έλλειψη βλάστησης, υψηλές θερμοκρασίες επιφάνειας και αυξημένη ρύπανση. Επιπλέον για τις περιοχές που εντάσσονται στις κατηγορίες rangeland και crops λόγοι οι οποίοι δρουν αρνητικά στην οικολογική ποιότητα είναι η εντατική γεωργική δραστηριότητα, η διάβρωση των εδαφών, η αλόγιστη και χωρίς έλεγχο χρήση λιπασμάτων και η εξάντληση φυσικών πόρων. Όλοι αυτοί οι παράγοντες υποβαθμίζουν την ποιότητα της γης και επηρεάζουν τον δείκτη. Επιπρόσθετα, η ρύπανση και η υποβάθμιση των υδάτινων εκτάσεων, ιδιαίτερα μέσω γεωργικών απορροών ή αστικών λυμάτων, συνέβαλαν στη μείωση της οικολογικής ποιότητας. Τέλος, η διάβρωση του εδάφους, ιδιαίτερα σε περιοχές με μεγάλες κλίσεις ή έντονες βροχοπτώσεις, επιδεινώνει την κατάσταση, περιορίζοντας τη φυσική ανάπτυξη της βλάστησης.

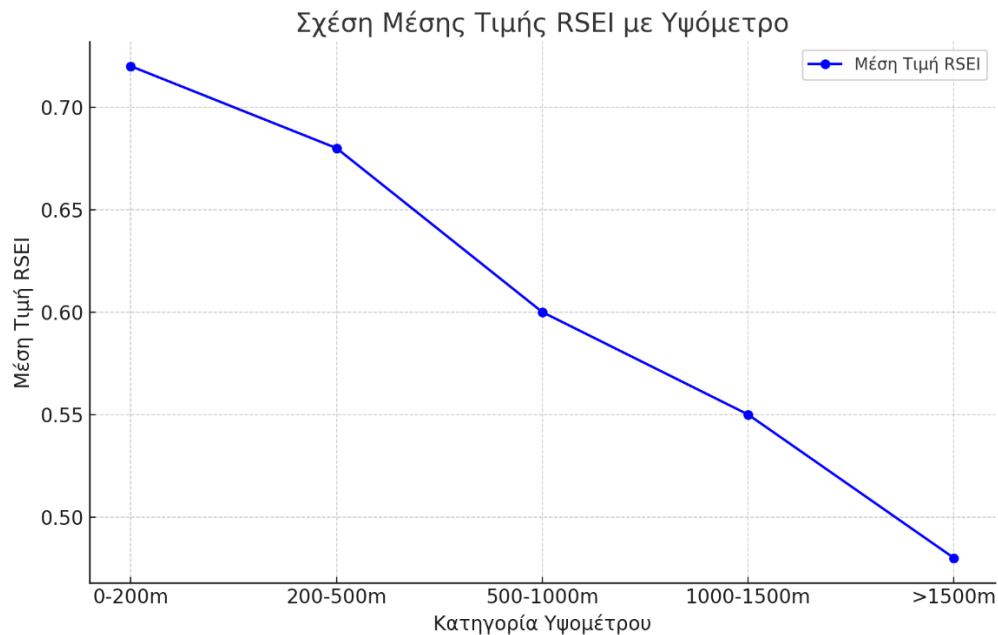
Από το 2016 και μέχρι το τέλος της μελέτης μας παρατηρούμε ότι ο δείκτης έχει πλέον μια ανοδική πορεία που φτάνει ακόμα και να ξεπερνά την μέση τιμή που είχε ο δείκτης στο αρχικό έτος μελέτης μας 2014. Στην αύξηση του δείκτη καθοριστικό ρόλο έχει το φυσικό περιβάλλον και συγκεκριμένα οι περιοχές που βρίσκονται στο νότιο και δυτικό τμήμα της Κρήτης. Οι περιοχές αυτές αποτελούνται κυρίως από μεγάλα οικοσυστήματα που σε μεγάλο μέρος τους είναι και προστατευόμενες περιοχές NATURA 2000. Στις περιοχές αυτές υπάρχει εμφανής μικρότερη ανθρωπογενής δραστηριότητα ως προς το κομμάτι της αστικοποίησης καθώς οι μεγαλύτερες πόλεις του νησιού βρίσκονται στο βόρειο τμήμα του. Την περίοδο μετά το 2016 στην Κρήτη παρατηρήθηκαν μεγαλύτερες και πιο έντονες περιόδους βροχοπτώσεων γεγονός το οποίο βοηθά σε πολύ μεγάλο βαθμό στην ανάπτυξη του φυσικού περιβάλλοντος τις συνθήκες βλάστησης, αλλά και των περιοχών που αποτελούνται κυρίως από δασικές εκτάσεις στα νότια της Κρήτης. Επιπλέον μεγάλο ρόλο έχει παίξει και ότι κατά τη διάρκεια της πανδημίας οι ανθρωπογενείς δραστηριότητες και οι ρύποι μειώθηκαν σε πολύ μεγάλο βαθμό. Αυτό ίσως είχε ως αποτέλεσμα το περιβάλλον να βρει χώρο και χρόνο να ακμάσει πάλι , κάτι το οποίο φαίνεται και από τα παραπάνω διαγράμματα (διάγραμμα 32) αφού στο έτος 2020 είχαμε αύξηση του δείκτη μας κατά 13% που είναι και η μεγαλύτερη μεταξύ δύο ετών μελέτης. Παράλληλα η σταθεροποίηση της γεωργικής δραστηριότητας με την εφαρμογή πιο βιώσιμων πρακτικών, όπως η εναλλαγή καλλιεργειών, ίσως συνέβαλε επίσης στη βελτίωση του δείκτη. Σημαντική ήταν και η βελτίωση στη διαχείριση των υδάτινων πόρων, η οποία περιλάμβανε την προστασία υδροτόπων και την αποκατάσταση των υδάτινων εκτάσεων που είχαν υποστεί ρύπανση. Τέλος η εισαγωγή

πράσινων χώρων στις αστικές περιοχές, όπως πάρκα και δάση, ενίσχυσε τη βελτίωση της οικολογικής ποιότητας σε αυτές τις ζώνες. Στο σημείο αυτό είναι σημαντικό να αναφέρουμε ό τι κατά τη μεθοδολογία μας η αφαίρεση της πρώτης κύριας συνιστώσας από τη μονάδα, προκειμένου να κατασκευαστεί ο δείκτης μας αποτέλεσε μια σημαντική μεθοδολογική παραδοχή. Η επιλογή αυτή εφαρμόζεται συχνά στη διεθνή βιβλιογραφία και έγινε με στόχο την καλύτερη και πιο άμεση ερμηνεία των αποτελεσμάτων. Με τη συγκεκριμένη μετατροπή εξασφαλίστηκε ότι οι υψηλές τιμές του δείκτη αντιστοιχούν σε υψηλή οικολογική ποιότητα, ενώ οι χαμηλές τιμές δείχνουν χαμηλή οικολογική ποιότητα κάνοντας έτσι πιο εύκολο τον τρόπο με τον οποίο διαχειριστήκαμε τα αποτελέσματα και τα κατανοήσαμε.

Παρακάτω παρουσιάζουμε δύο διαγράμματα τα οποία σχέση της μέσης τιμής του δείκτη μας από όλες τις χρονολογίες με την κλίση του εδάφους και με το υψόμετρο. Το πρώτο συμπέρασμα είναι όπως έχουμε αναφέρει σε προηγούμενο κομμάτι της εργασίας μας, ότι όσο αυξάνεται η κλίση, αλλά και το υψόμετρο, παρατηρούμε μια μείωση του δείκτη. Όσο αφορά την κλίση του εδάφους παρατηρούμε ότι ο δείκτης μελέτης μας μειώνεται γραμμικά σε σχέση με την κλίση, Ενώ στο διάγραμμα που αφορά το υψόμετρο παρατηρούμε ότι η μείωση του δείκτη σε σχέση με το ίδιο το υψόμετρο δεν μειώνεται γραμμικά, αλλά υπάρχουν διαφοροποιήσεις ανάλογα με ποια κατηγορία υψόμετρου αναλύουμε κάθε φορά. Όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενα κεφάλαια της εργασίας μας η αρνητική αυτή συσχέτιση συνδέεται με τη μειωμένη κάλυψη βλάστησης και στις δύσκολες περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στις περισσότερες ορεινές περιοχές της Κρήτης. Επιπροσθέτως η σημαντική διάβρωση που υπάρχει στις περιοχές που εμφανίζονται μεγαλύτερες κλίσεις εδάφους(από 25% και πάνω) δεν επιτρέπει ούτε εκεί την ανάπτυξη βλάστησης. Τα αποτελέσματα αυτά υπογραμμίζουν τη σημαντική επίδραση των γεωμορφολογικών χαρακτηριστικών στην οικολογική δυναμική και παρέχουν ουσιαστικές πληροφορίες για τη χωρική διαφοροποίηση του δείκτη RSEI στο νησί.



Διάγραμμα 33. Σχέση Μέσης τιμής RSEI με SLOPE

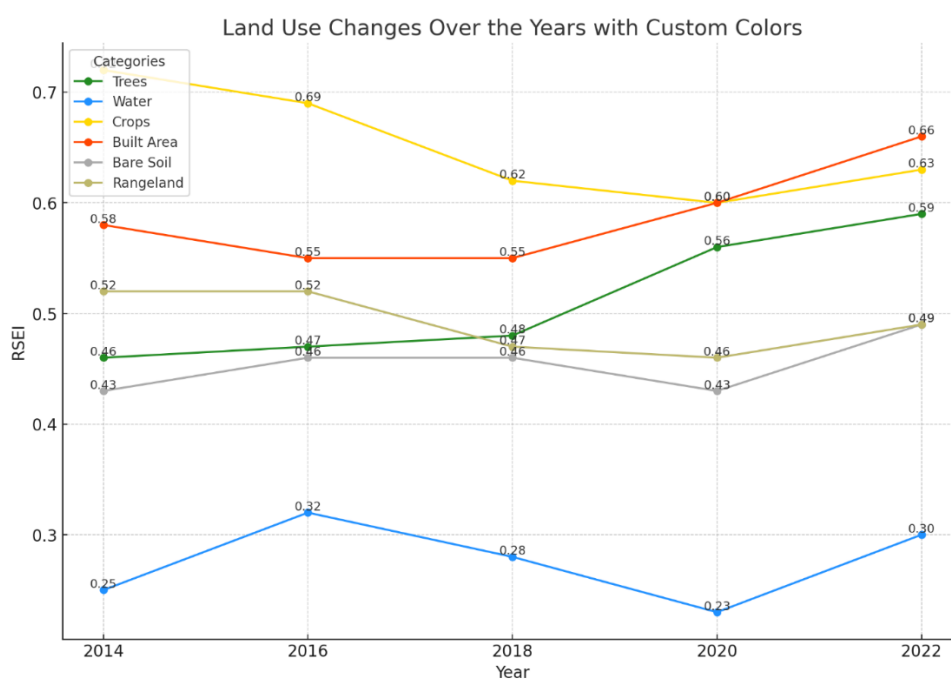


*Διάγραμμα 34. Σχέση Μέσης τιμής RSEI με DEM*

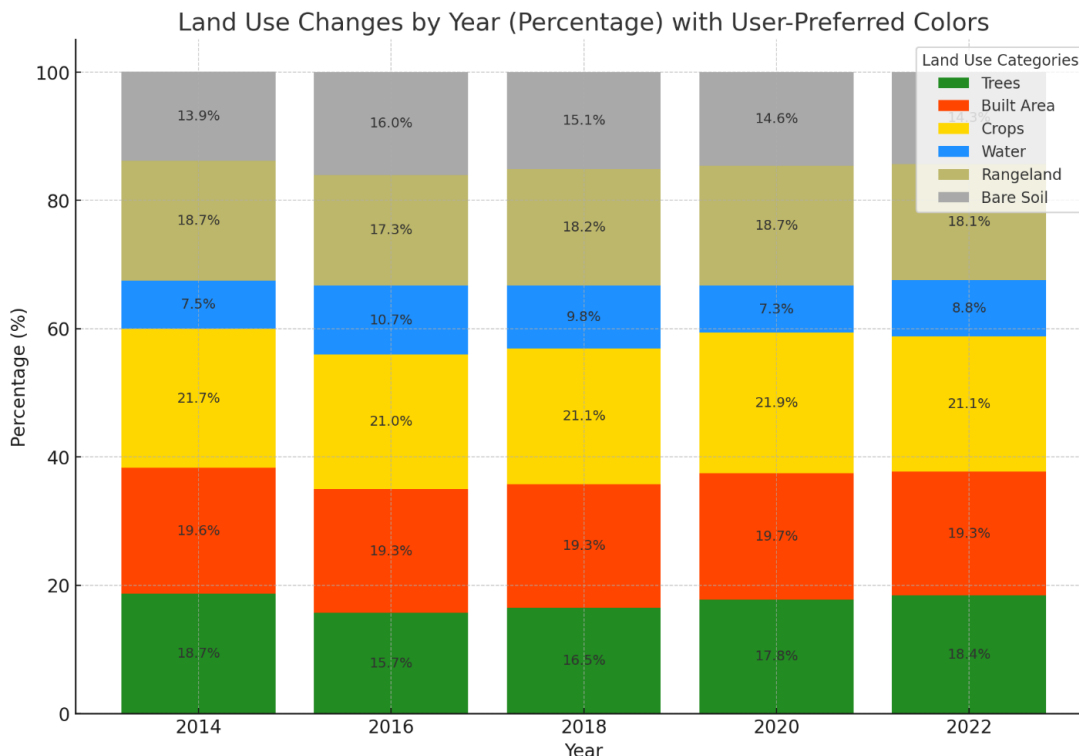
Αφού έχουμε αναλύσει τον ίδιο μας τον δείκτη αλλά και τις διακυμάνσεις αυτού ανά τις περιόδους μελέτης αλλά και το πώς ο ίδιος ο δείκτης σχετίζεται και διαμορφώνεται ανάλογα με την κλίση του εδάφους και το υψόμετρο θα παρουσιάσουμε τα διαγράμματα 35,36 τα οποία αφορούν στις μεταβολές των 6 κατηγοριών χρήσεων γης για το νησί της Κρήτης. Στο πρώτο διάγραμμα απεικονίζεται η μεταβολή της μέσης τιμής για κάθε κατηγορία χρήσης γης για κάθε ξεχωριστή χρονιά μελέτης. Έπειτα ακολουθεί το διάγραμμα 16 στο οποίο εικονίζεται το ποσοστό επί της % της συνολικής έκτασης που καλύπτει κάθε χρήση γης στο νησί της Κρήτης πάλι για κάθε χρονιά μελέτης ξεχωριστά. Εκτός από τα διαγράμματα 15 και 16 που ακολουθούν για την καλύτερη οπτική κατανόηση στο πως συμβάλουν οι χρήσεις γης στον δείκτη RSEI μπορεί να μας βοηθήσει και ο Πίνακας 21 που περιέχει τις μέσες τιμές του δείκτη ανά κατηγορία και ανά έτος και χρωματικά απεικονίζει τις μεγαλύτερες και χαμηλότερες τιμές.

Year	Trees	Built Area	Crops	Water	Rangeland	Bare Soil
2014	0.62	0.65	0.72	0.25	0.62	0.46
2016	0.47	0.58	0.63	0.32	0.52	0.48
2018	0.47	0.55	0.6	0.28	0.52	0.43
2020	0.56	0.62	0.69	0.23	0.59	0.46
2022	0.63	0.66	0.72	0.3	0.62	0.49
Μέση τιμή	0.55	0.612	0.672	0.276	0.574	0.464

Πίνακας 1. Μέσες τιμές δείκτη RSEI ανά χρονική περίοδο



Διάγραμμα 35 . Μεταβολή Χρήσεων Γης ανά έτος μελέτης



Διάγραμμα 36. Μεταβολή ποσοστού Χρήσεων Γης ανά έτος

Τα 2 διαγράμματα αυτά είναι πάρα πολύ σημαντικά, για το πώς συμπεριφέρονται οι 6 κατηγορίες χρήσεων γης που έχουμε ανά τα χρόνια μελέτης. Αρχικά για το έτος 2016, όπου και παρατηρήσαμε τον δείκτη μας να έχει μια πτωτική τάση μπορούμε να δούμε και να επιβεβαιώσουμε τα συμπεράσματα που βγάλαμε προηγουμένως ότι οι κατηγορίες οι οποίες συμβάλλουν στην καλύτερη Οικολογική κατάσταση έχουν και αυτές με τη σειρά τους πτωτική τάση π.χ η δασική έκταση βλέπουμε ότι έχει 3% μείωση από το 2014 στο 2016 ενώ ταυτόχρονα η κατηγορία η οποία αφορά τις καλλιέργειες, παρόλο που το ποσοστό κάλυψης της έχει παραμείνει σχετικά ίδιο, παρατηρούμε ότι η μέση τιμή του δείκτη μας έχει μειωθεί. Ενώ κατηγορίες που με την σειρά τους δεν συμβάλλουν στην καλύτερη οικολογική κατάσταση όπως το γυμνό έδαφος αυξήσαν το ποσοστό τους.

Στην κατηγορία built up βλέπουμε από το διάγραμμα ότι και εδώ έχουμε μια αρχική πτωτική τάση μέχρι το 2016 που παραμένει σταθερή μέχρι το 2018 από όπου και αρχίζει η ανοδική πορεία. Για τον δείκτη built up area παρατηρούμε πως καθώς θα ήταν αναμενόμενο οι περιοχές όπου υπάρχει αστικός ιστός δηλαδή περιοχές όπου έχουμε λιγότερο πράσινους χώρους και περισσότερα κτήρια και οικισμούς να έχουν χαμηλή μέση τιμή RSEI τα αποτελέσματα είναι διαφορετικά. Η παρουσία βλάστησης στις αστικές περιοχές συμβάλλει σημαντικά στην αύξηση του δείκτη RSEI. Το πράσινο όπως αποτυπώνετε μέσω του δείκτη NDVI έχει ως ένας θετικός συντελεστής του RSEI. Πάρκα, δέντρα και κήποι αυξάνουν την φυτοκάλυψη και την υγρασία του εδάφους βελτιώνοντας έτσι τις τοπικές οικολογικές συνθήκες. Οι περιοχές με πλούσια βλάστηση παρουσιάζουν έτσι υψηλότερη τιμή RSEI, καθώς συνδυάζουν μεγαλύτερη φυτοκάλυψη και εδαφική υγρασία με μικρότερη θερμοκρασία και ξηρότητα. Οι πράσινες υποδομές στις πόλεις (π.χ. πράσινες στέγες, αστικά πάρκα) λειτουργούν λοιπόν ως χώροι πρασίνου που ανεβάζουν τον δείκτη, ενισχύοντας την οικολογική ποιότητα του αστικού ιστού.

Το αστικό μικροκλίμα που δημιουργείται από τη βλάστηση συμβάλλει στη διατήρηση υψηλών τιμών RSEI. Η παρουσία δέντρων και φυτών μειώνει τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος μέσω σκίασης και εξατμισοδιαπνοής ενώ αυξάνει τη σχετική υγρασία του αέρα. Αυτές οι μικροκλιματικές ρυθμίσεις μετριάζουν το φαινόμενο της αστικής θερμονησίδας διατηρώντας πιο δροσερό και υγρό τοπικό περιβάλλον στις κατοικημένες περιοχές. Ως αποτέλεσμα οι δείκτες θερμότητας και ξηρότητας που επηρεάζουν αρνητικά τον RSEI μειώνονται ενώ οι δείκτες βλάστησης και υγρασίας παραμένουν σε υψηλά επίπεδα. Τέλος το αστικό περιβάλλον με πλούσια βλάστηση διατηρεί σχετικά υψηλή οικολογική ποιότητα μέσω του ελέγχου της θερμοκρασίας και της υγρασίας, γεγονός που αντανακλάται στις αυξημένες τιμές του RSEI στις γειτονίες με περισσότερο πράσινο.

Οι αιεφόρες πρακτικές διαχείρισης γης και οι περιβαλλοντικές πολιτικές στις πόλεις παίζουν κρίσιμο ρόλο στην ενίσχυση του RSEI. Όπου εφαρμόζονται προγράμματα προστασίας περιβάλλοντος και ανάπτυξης πράσινων χώρων παρατηρείται βελτίωση της οικολογικής ποιότητας. Για παράδειγμα, σε μελέτες πόλεων της Κίνας η συνολική τιμή του RSEI βρέθηκε να βελτιώνεται. Η προώθηση πράσινων υποδομών ως στρατηγική βιώσιμης ανάπτυξης βελτιώνει τη βιοποικιλότητα και το μικροκλίμα των πόλεων ενισχύοντας παράλληλα την οικολογική ποιότητα των κατοικημένων περιοχών. Πιο συγκεκριμένα μεγάλης κλίμακας έργα πρασίνου (π.χ. ζώνες αστικού πρασίνου ή πράσινοι διάδρομοι) έχουν σημαντική επίδραση στην αύξηση των τιμών RSEI τοπικά, δείχνοντας τη σημασία της σωστής και καλά μελετημένης περιβαλλοντικής διαχείρισης.

Παράλληλα ο τρόπος υπολογισμού και ανάλυσης του RSEI μπορεί να επηρεάσει την εμφάνιση υψηλών τιμών στις πόλεις. Ο δείκτης RSEI υπολογίζεται συνδυάζοντας τέσσερις συνιστώσες (βλάστηση/NDVI, υγρασία/WET, θερμότητα/LST, ξηρότητα/δείκτης γυμνών εδαφών/NDBSI) μέσω ανάλυσης κύριων συνιστωσών (PCA). Η μεθοδολογία αυτή δίνει κανονικοποιημένες (0–1) τιμές μέσα στην εκάστοτε περιοχή μελέτης. Ως αποτέλεσμα σε ένα αστικό τοπίο η ύπαρξη ακόμη και μέτριας βλάστησης μπορεί να οδηγήσει σε πιο υψηλό RSEI από το αναμενόμενο διότι συγκρίνεται με τις χαμηλότερες τιμές πιο υποβαθμισμένων περιοχών (π.χ. βιομηχανικές ζώνες ή γυμνές εκτάσεις). Επιπλέον, το βάρος της βλάστησης συχνά κυριαρχεί στην ανάλυση: η PCA τείνει να αποδίδει μεγάλο μέρος της διακύμανσης στην συνιστώσα του NDVI, αξιοποιώντας κυρίως το πρώτο ιδιοδιάνυσμα. Έτσι χωρική και χρονική ανάλυση μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερες τιμές RSEI στις πόλεις όταν λαμβάνονται υπόψη ευνοϊκές συνθήκες. Συνολικά, η ίδια η μέθοδος (PCA και κανονικοποίηση) και οι παραδοχές της μπορούν να δημιουργήσουν μια εικόνα υψηλών τιμών RSEI σε αστικές περιοχές, ιδιαίτερα όταν το αστικό πράσινο είναι αισθητά παρόν και αξιοποιείται συγκριτικά έναντι λιγότερο οικολογικών περιοχών. Διάφορες μελέτες επιβεβαιώνουν το φαινόμενο των υψηλών τιμών RSEI σε οικιστικές/αστικές ζώνες με πράσινο. Για παράδειγμα σε αξιολόγηση της οικολογικής ποιότητας στην πόλη Tianjin, το μεγαλύτερο μέρος της έκτασης βρέθηκε σε μεσαία προς καλή κατηγορία RSEI (0.4–0.8), ενώ ελάχιστο ποσοστό (<1%) είχε πολύ χαμηλές τιμές. Αυτό υποδηλώνει ότι οι κατοικημένες περιοχές με μέτρια προς καλή φυτοκάλυψη διατηρούν αρκετά καλή οικολογική ποιότητα. Αντίστοιχα, διαπιστώθηκε πως το πυκνοδομημένο κέντρο μιας πόλης είχε χαμηλότερο RSEI σε σχέση με τα προάστια. Γενικότερα, μελέτες τηλεπισκόπησης δείχνουν πως οι ευνοϊκότερες οικολογικές συνθήκες σε ένα τοπίο (περισσότερη βλάστηση, υγρασία εδάφους, χαμηλότερη θερμότητα) αντανακλώνται σε υψηλότερο RSEI. Συνοψίζοντας η βιβλιογραφία συμφωνεί ότι οι αστικές κατοικημένες ζώνες με επαρκές πράσινο μπορεί να παρουσιάζουν δείκτες RSEI συγκρίσιμους με ή και ανώτερους από άλλες χρήσεις γης, ειδικά όταν εφαρμόζεται βιώσιμη διαχείριση του αστικού περιβάλλοντος. (Philip, A., R.J, R., & V.K, J. (2024), Li, J.; Gong, J.; Guldmann, J.-M.;

Yang(2022) , Zhang, T.; Yang, R.; Yang,Y.; Li, L.; Chen, L(2021), Al-Hajri, S.; Al-Ramadan,B.; Shafiullah, M.; Rahman, (2025))

Για τις περιοχές όπου εντάσσονται στην κατηγορία Crops παρατηρούμε από τα διαγράμματα 15,16 ότι υπάρχει και εδώ μια πτωτική τάση που ξεκινάει από το 2014 και αρχίζει να ανακάμπτει από το 2020 και μετά. Η αρχική τιμή είναι αρκετά υψηλή καθώς και η κατηγορία αυτή είναι από τις κύριες που συμβάλουν στην καλή οικολογική κατάσταση μια περιοχής αφού οι καλλιέργειες είναι περιοχές με έντονη βλάστηση, περισσότερη υγρασία κλπ. Το ποσοστό κάλυψης της περιοχής μελέτης μας για την κατηγορία crops βλέπουμε ότι παραμένει σχετικά σταθερό κοντά στο 21% της συνολικής επιφάνειας.

Για την κατηγορία water όπως έχουμε αναφέρει και σε προηγούμενά σημεία της εργασίας ο δείκτης λόγο ότι οι δείκτες NDVI, LST και NDBSI προσφέρουν μετρήσεις οι οποίες αφορούν το έδαφος και όχι τα σώματα νερού καθώς εκεί οι μετρήσεις τους δεν είναι ακριβείς. Για τα σώματα νερού υπάρχουν διαφορετικοί δείκτες οι οποίοι μπορούν να μας προσφέρουν αποτελέσματα κάτι όμως που στη εργασία μας δεν χρειάστηκε να κάνουμε. Οπότε και τα αποτελέσματα για τις τιμές του RSEI στην περιοχές αυτές δεν είναι ακριβή.

Στις περιοχές bare soil σε αντίθεση με τις άλλες κατηγορίες υπάρχει μια αύξηση από το 2014 μέχρι το 2016. Η κατηγορία του γυμνού εδάφους επηρεάζει αρνητικά τον δείκτη μας καθώς στις περιοχές αυτές δεν υπάρχει καθόλου βλάστηση και αναπτύσσονται και μεγαλύτερες θερμοκρασίες εδάφους για αυτό και το ποσοστό ανέβηκε από το 2014 στο 2016 σχεδόν 2,1%.

Για την κατηγορία Rangeland παρατηρούμε ότι για τα έτη 2014 και 2016 διατηρεί σταθερή τιμή RSEI με μια πτωτική τάση από το 2016 έως το 2020 από όπου κα ξεκινάει μια μικρή ανοδική τάση. Οι περιοχές δεν έχουν μεγάλες μεταβολές στο ποσοστό κάλυψης και λόγο ότι είναι περιοχές με λιγοστή βλάστηση και βοσκοτόπια επηρεάζουν ελάχιστα θετικά τον δείκτη μας.

Για τα επόμενα έτη μελέτης μας ο δείκτης μας έδειξε ανοδική πορεία. Παρατηρούμε πάλι ότι οι κρίσιμες χρήσεις γης, οι οποίες συμβάλλουν στην καλύτερη εικόνα του δείκτη, πάλι έχουν ανοδική τάση τόσο στο κομμάτι του % κάλυψης της γης, όσο και στις τιμές του RSEI. π.χ η κατηγορία η οποία αφορά τις δασικές εκτάσεις. βλέπουμε ότι το ποσοστό κάλυψης της έχει μια μικρή αύξηση από το 2016 έως το 2022, αλλά η μέση τιμή του δείκτη μας παρουσιάζει αρκετά μεγάλη ανοδική πορεία.

Εν κατακλείδι είναι σημαντικό να αναγνωριστούν οι περιορισμοί του RSEI, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη όλους τους παράγοντες που επηρεάζουν την πραγματική οικολογική αξία μιας περιοχής. Συγκεκριμένα, ο RSEI βασίζεται σε τέσσερις περιβαλλοντικούς δείκτες (NDVI, WET, LST, NDBSI) που σχετίζονται με τη βλάστηση, την υγρασία του εδάφους, τη θερμοκρασία της επιφάνειας και τον βαθμό αστικοποίησης. Παρόλο που αυτοί οι δείκτες είναι εξαιρετικά χρήσιμοι για την ανάλυση της γενικής οικολογικής κατάστασης, δεν μπορούν να αποτυπώσουν πλήρως παράγοντες όπως:

1. Η βιοποικιλότητα και η παρουσία σπάνιων ή προστατευόμενων ειδών χλωρίδας και πανίδας. Για παράδειγμα, ένας φυσικός οικότοπος με υψηλή οικολογική αξία, όπως ένας προστατευόμενος υγρότοπος, μπορεί να εμφανίζει χαμηλές τιμές RSEI εάν δεν έχει έντονη φυτοκάλυψη.
2. Η μοναδικότητα και η οικολογική σημασία του τοπίου. Περιοχές που χαρακτηρίζονται από μοναδικά φυσικά οικοσυστήματα, όπως φαράγγια, σπήλαια ή αλπικά λιβάδια, ενδέχεται να έχουν χαμηλές τιμές RSEI, παρά τη μεγάλη περιβαλλοντική τους αξία.



3. Η ποιότητα του εδάφους και η μικροκλίμακα των περιβαλλοντικών διεργασιών. Για παράδειγμα, οι γεωχημικές συνθήκες μιας περιοχής μπορεί να επηρεάζουν σημαντικά την οικολογική της κατάσταση, χωρίς αυτό να αποτυπώνεται άμεσα στους δείκτες που χρησιμοποιεί ο RSEI.

Ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα των περιορισμών του RSEI είναι το Φαράγγι της Σαμαριάς, το οποίο εμφανίζει σχετικά χαμηλές τιμές του δείκτη, παρά το γεγονός ότι αποτελεί μία από τις πιο σημαντικές προστατευόμενες περιοχές της Κρήτης, με πλούσια βιοποικιλότητα και σπάνια είδη χλωρίδας και πανίδας. Αυτό πιθανότατα οφείλεται στο γεγονός ότι η περιοχή περιλαμβάνει απόκρημνες βραχώδεις εκτάσεις με μικρή φυτοκάλυψη, γεγονός που επηρεάζει αρνητικά τον NDVI και, κατά συνέπεια, την τελική τιμή του RSEI. Για να αντιμετωπιστούν αυτοί οι περιορισμοί, η χρήση του RSEI μπορεί να συνδυαστεί με πρόσθετους περιβαλλοντικούς δείκτες ή να ενσωματωθούν ειδικοί συντελεστές βαρύτητας για ορισμένες κατηγορίες τοπίων. Για παράδειγμα, θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ένας δείκτης βιοποικιλότητας ή ένας δείκτης οικολογικής αξίας των φυσικών οικοσυστημάτων, ώστε να αποτυπωθεί πληρέστερα η οικολογική κατάσταση μιας περιοχής. Εναλλακτικά, θα μπορούσαν να υιοθετηθούν μέθοδοι πολυκριτηριακής ανάλυσης (MCA), που θα συνδυάζουν περισσότερες περιβαλλοντικές μεταβλητές.

Συμπερασματικά, ο RSEI είναι ένα ιδιαίτερα ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση της οικολογικής ποιότητας σε μεγάλη κλίμακα, όμως η χρήση του πρέπει να γίνεται με επίγνωση των περιορισμών του. Η ενσωμάτωση συμπληρωματικών μεθοδολογιών μπορεί να συμβάλει στη βελτίωση της ακρίβειας των αποτελεσμάτων και στην πληρέστερη ερμηνεία των χωρικών και χρονικών μεταβολών της οικολογικής κατάστασης της Κρήτης. (Wang, W., Mao, K., Zhang, S., & Li, Z. (2020), Xu, H., Wang, X., & Xu, Y. (2018), Liu, B., & Zhang, J. (2019))

## 5 Βιβλιογραφία

1. Schowengerdt, Robert A. (2007). [Remote sensing: models and methods for image processing](#) (3rd έκδοση) 77-82 , 188-191 , 363-364
2. Guo, Huadong; Huang, Qingni; Li, Xinwu; Sun, Zhongchang; Zhang, Ying (2013). Spatiotemporal analysis of urban environment based on the vegetation–impervious surface–soil model Vol. 8, Issue 1, 1-17 <https://doi.org/10.1117/1.JRS.8.084597>
3. Geng JW, Yu KY, Xie Z et al (2022) Analysis of spatiotemporal variation and drivers of ecological quality in Fuzhou based on RSEI. Remote Sens 14(19):4900. 1-20 <https://doi.org/10.3390/rs14194900>
4. Xueman Zuo, Jiazheng Li, Ludan Zhang, Zhilong Wu, Sen Lin and Xisheng Hu (2023) Spatio-Temporal Variations in Ecological Quality and Its Response to Topography and Road Network Based on GEE: Taking the Minjiang River Basin as a Case 12(9), 1754 1-25 <https://doi.org/10.3390/land12091754>
5. Zhang weil and Fu Xinfeng (2015) Analysis and Evaluation of principal climatic factors of NDVI in the Yarlung Zangbo River Basin Conf. Ser. 622 012048 1-9 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/622/1/012048/meta>
6. Weimin Wang Kai Liu Rong Tang Shudong Wang (2019) Remote sensing image-based analysis of the urban heat island effect in Shenzhen, China 1-8 <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.002>
7. Pettorelli, N. (2013). *The Normalized Difference Vegetation Index*. Oxford University Press. 27 , 30-43
8. Dixon, M. J. R., Loh, J., Davidson, N. C., Beltrame, C., Freeman, R., & Walpole, M. (2016). Tracking global change in ecosystem area: The Wetland Extent Trends index. *Biological Conservation*, 193, 27-35
9. Zhang, Y., & Weng, Q. (2016). Land cover change detection based on the false color composite of NDBSI and NDVI difference images. *International Journal of Remote Sensing*, 37(6), 1386-1400.
10. Li, Z. L., Tang, B. H., Wu, H., Ren, H., Yan, G., Wan, Z., ... & Sobrino, J. A. (2013). Satellite-derived land surface temperature: Current status and perspectives. *Remote Sensing of Environment*, 131, 14-37.
11. Τσουχλαράκη, Α., Αχιλλέως, Γ., (2010). *Μαθαίνοντας τα GIS στην πράξη*, Εκδόσεις ΔΙΣΙΓΜΑ
12. Philip, A., R.J, R., & V.K, J. (2024). Dynamic monitoring and analysis of ecological quality based on RSEI: A case study of Akkulam-Veli Lake Basin of Thiruvananthapuram City, Kerala, India. *Geology, Ecology, and Landscapes*, 4-18 <https://doi.org/10.1080/24749508.2024.2359772>
13. Li, N.; Wang, J. Comprehensive Eco-Environment Quality Index Model with Spatiotemporal Characteristics. *Sensors* 2022, 22, 9635. <https://doi.org/10.3390/s22249635>

14. Al-Hajri, S.; Al-Ramadan, B.; Shafiullah, M.; Rahman, S.M. Microclimate Performance Analysis of Urban Vegetation: Evidence from Hot Humid Middle Eastern Cities. *Plants* 2025, 14, 521. <https://doi.org/10.3390/plants14040521>
15. Hanqiu Xu, Yifan Wang, Huade Guan, Tingting Shi and Xisheng Hu Detecting Ecological Changes with a Remote Sensing Based Ecological Index (RSEI) Produced Time Series and Change Vector Analysis 2019 <https://doi.org/10.3390/rs11202345>
16. Zhang, T.; Yang, R.; Yang, Y.; Li, L.; Chen, L. Assessing the Urban Eco-Environmental Quality by the Remote-Sensing Ecological Index: Application to Tianjin, North China. *ISPRS Int. J. Geo-Inf.* **2021**, 10, 475 <https://doi.org/10.3390/ijgi10070475>
17. Li, J.; Gong, J.; Guldmann, J.-M.; Yang, J. Assessment of Urban Ecological Quality and Spatial Heterogeneity Based on Remote Sensing: A Case Study of the Rapid Urbanization of Wuhan City. *Remote Sens.* 2021, 13, 4440. <https://doi.org/10.3390/rs13214440>
18. Li, N.; Wang, J. Comprehensive Eco-Environment Quality Index Model with Spatiotemporal Characteristics. *Sensors* 2022, 22, 9635. <https://doi.org/10.3390/s22249635>
19. Wang, W., Mao, K., Zhang, S., & Li, Z. (2020). "Limitations of Remote Sensing Ecological Index (RSEI) in Urban Environmental Quality Assessment." DOI: 10.1016/j.ecolind.2020.106480
20. Xu, H., Wang, X., & Xu, Y. (2018). "Evaluating RSEI effectiveness in national parks: A case study in China." DOI: 10.3390/land7030089
21. Liu, B., & Zhang, J. (2019). "Integrating Biodiversity Indices into RSEI for Improved Environmental Assessment." DOI: 10.1016/j.rse.2019.112012
22. Jolliffe, I. T., & Cadima, J. (2016). "Principal component analysis: a review and recent developments." DOI: 10.1098/rsta.2015.0202
23. Lu, D., & Weng, Q. (2007). "A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance." DOI: 10.1080/01431160600746456
24. Xu, H. (2013). "Remote Sensing Ecological Index (RSEI): A new comprehensive ecological assessment approach based on PCA." DOI: 10.1016/j.rse.2013.04.005
25. Wang, R., Chen, J., & Wang, Z. (2018). "Application of PCA for Environmental Monitoring Using GIS." DOI: 10.1016/j.envsci.2018.02.012
26. Gonzalez, R., & Woods, R. (2017). "Digital Image Processing." DOI: 10.1007/978-3-319-50835-1
27. Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A., & Deering, D.W. (1974) "Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS" NASA Special Publication, 351, 309. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>
28. Crist, E.P., & Cicone, R.C. (1984) "A physically-based transformation of Thematic Mapper data—The TM Tasseled Cap" *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-22(3), <https://doi.org/10.1109/TGRS.1984.350619>
29. Voogt, J.A., & Oke, T.R. (2003) "Thermal remote sensing of urban climates" *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
30. Zha, Y., Gao, J., & Ni, S. (2003) "Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas" *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), <https://doi.org/10.1080/01431160304987>

## Ιστοσελίδες

<https://earthexplorer.usgs.gov/>

<https://livingatlas.arcgis.com/landcover/>

<https://www.usgs.gov/landsat-missions/>

<https://www.earthdata.nasa.gov/learn/earth-observation-data-basics/remote-sensing>

## Βιβλιογραφία εικόνων

Εικόνα 1 : <https://geolearn.in/the-basic-concept-of-remote-sensing/amp/>

Εικόνα 2 : <https://grindgis.com/remote-sensing/active-and-passive-remote-sensing>

Εικόνα 3 : [https://www.researchgate.net/figure/The-wavelength-range-and-radiation-resolution-of-Landsat-8-and-Landsat-9\\_tbl1\\_364683372](https://www.researchgate.net/figure/The-wavelength-range-and-radiation-resolution-of-Landsat-8-and-Landsat-9_tbl1_364683372)

Εικόνα 4 : <https://www.eoportal.org/satellite-missions/landsat-8-ldcm#spacecraft>