



**ΑΝΟΙΚΤΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΚΥΠΡΟΥ**

ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα

**ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ
ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ**

ΔΙΑΤΡΙΒΗ ΕΠΙΠΕΔΟΥ ΜΑΣΤΕΡ

Βιοφυσική Χαρτογράφηση της Κύπρου από
δεδομένα MODIS και οι εφαρμογές της

Ελένη Τσεκμέ

Επιβλέπων Καθηγητής
Γιώργος Μηλιαρέσης

Ιούνιος , 2014

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου
ΣΧΟΛΗ ΘΕΤΙΚΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ
ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ
ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Βιοφυσική Χαρτογράφηση της Κύπρου
από δεδομένα MODIS και οι εφαρμογές της

Ελένη Τσεκμέ

Επιβλέπων Καθηγητής
Γιώργος Μηλιαρέσης

Ιούνιος , 2014

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

Ευχαριστίες.....	vii
Ελληνική Περίληψη.....	viii
Αγγλική Περίληψη.....	x
Πίνακες / Εικόνες / Σχήματα	xii

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	1
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Καταγραφή προβλήματος.....	3
1.3 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης.....	4
1.4 Σκοποί και Στόχοι.....	5

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ.....	6
2.1 Εισαγωγή.....	6
2.2 Ιστορική Αναδρομή.....	6
2.2.1 Τηλεπισκόπηση.....	6
2.2.2 Αισθητήρες/Σαρωτές	8
2.2.3 Αρχές Λειτουργίας Τηλεπισκοπικών Αισθητήρων.....	9
2.2.3.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία.....	9
2.2.3.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα.....	10
2.2.3.3 Μέλαν Σώμα	11
2.2.3.4 Φασματική Υπογραφή.....	13
2.2.3.5 Φασματικά Παράθυρα.....	13
2.2.4 Καταγραφικά Συστήματα- Δορυφόροι.....	15
2.3 Θεωρητικό πλαίσιο.....	20
2.3.1 Τηλεσκοπικά Βιοφυσικά Δεδομένα.....	20
2.3.1.1 Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης, NDVI	20
2.3.1.2 Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης, EVI	21
2.3.1.3 Θερμοκρασίες Ημέρας και Νύχτας, (Θ. ημέρας & νύχτας).....	21
2.3.1.4 Ημερήσια Διακύμανση Θερμοκρασίας (Diurnal)	22
2.3.2 Δεδομένα Καλύψεων Γης.....	22
2.3.2.1 Corine Land Cover (CLC).....	23
2.3.3 Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα Εδάφους.....	24
2.3.4 Τεχνικές Ανάλυσης.....	26
2.3.4.1 Σύνθεση Διανυσματικών και Πλεγματικών Αναπαραστάσεων	26
2.3.4.2 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση.....	27

2.3.4.3	Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών / Principal Component Analysis (PCA).....	28
2.3.5	Εφαρμογές- Διεθνής Πραγματικότητα	29
2.3.6	Κυπριακή Πραγματικότητα	32
2.3.7	Συμπεράσματα	33

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ

3	ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ.....	34
3.1	Σκοπός και Στόχοι	36
3.2	Ερευνητικά Ερωτήματα.....	36
3.3	Σχεδιασμός	36
3.4	Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων.....	37
3.5	Δεδομένα	38
3.5.1	Πολυφασματικός σαρωτής MODIS.....	38
3.5.1.1	Λειτουργία του σαρωτή MODIS	38
3.5.1.2	Φασματική Διακριτική Ικανότητα.....	39
3.5.1.3	Χωρική Διακριτική Ικανότητα	40
3.5.1.4	Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα (αριθμό διαβαθμίσεων του γκριζου) ...	41
3.5.1.5	Χρονική Διακριτική Ικανότητα (Temporal resolution).....	41
3.5.1.6	Εφαρμογές	41
3.5.2	Corine Land Cover 2006.....	42
3.5.3	Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (SRTM-3)	44
3.5.4	Βιοφυσικές παράμετροι – Προϊόντα MODIS	46
3.5.4.1	Προϊόν MOD13C2 - NDVI	46
3.5.4.2	Προϊόν MOD13C2 - EVI	46
3.5.4.3	Προϊόν MYD11C3 - LST	47
3.5.4.4	Ημερήσια Διακύμανση Θ.	47
3.6	Περιοχή Μελέτης	47
3.6.1	Γενικά.....	47
3.6.2	Μορφολογία.....	48
3.6.3	Πληθυσμός - Αστική Ανάπτυξη	49
3.6.4	Κλίμα- Κλιματολογικά χαρακτηριστικά.....	49
3.6.4.1	Θερμοκρασία	50
3.6.4.2	Βροχόπτωση	50
3.6.4.3	Ακραία Καιρικά φαινόμενα.....	51
3.6.5	Γεωργία.....	52
3.6.6	Δάση.....	52
3.7	Προδιαγραφές και ακρίβεια των δεδομένων	53

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

4	ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	54
4.1	Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης, EVI.....	54
4.2	Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης, NDVI.....	66

4.3	Θερμοκρασία Ημέρας, (Θ. ημέρας)	78
4.4	Θερμοκρασία Νύχτας, (Θ. νύχτας).....	90
4.5	Ημερήσια Διακύμανση Θερμοκρασίας	102

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΜΠΤΟ

5	ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ – ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ.....	114
5.1	Ποσοτικός Έλεγχος Δεδομένων	114
5.1.1	Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων EVI.....	114
5.1.2	Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων NDVI	115
5.1.3	Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων Θ. ημέρας.....	115
5.1.4	Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων Θ. νύχτας.....	116
5.1.5	Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων ημερήσιας διακύμανσης Θ.....	117
5.2	Ποιοτικός Έλεγχος Δεδομένων σε περιβάλλον ΣΓΠ	118
5.2.1	Ερμηνεία της χωρικής κατανομής EVI.....	118
5.2.2	Ερμηνεία της χωρικής κατανομής Θ. ημέρας.....	121
5.2.3	Ερμηνεία της χωρικής κατανομής Θ. νύχτας.....	124
5.2.4	Ερμηνεία της χωρικής κατανομής ημερήσιας διακύμανσης Θ.....	126
5.3	Περιορισμοί μελέτης	130
5.4	Συμπεράσματα και Εισηγήσεις	131
6.	ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	134
7.	ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ- Ακρωνύμια και Συμβολισμοί.....	146

Στους γονείς μου *Θεόδωρο και Μαρία,*
στο σύζυγό μου *Κυριάκο*
και στα παιδιά μου *Ανδρέα και Μαρία*

Ευχαριστίες

Ιδιαίτερες ευχαριστίες οφείλω στον επιβλέπων καθηγητή μου Δρ. Γεώργιο Μηλιαρέση για την εμπιστοσύνη που έδειξε στο πρόσωπό μου με την ανάθεση της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, αλλά και για τη συνολική επίβλεψή του ώστε αυτή να αποπερατωθεί επιτυχώς. Η συνεχής και άμεση καθοδήγησή του ήταν ουσιαστική και καθοριστική και οι επιστημονικές του συμβουλές ανεκτίμητες, τόσο στην εκμάθηση των τεχνικών που χρησιμοποιήθηκαν στη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, όσο και στη επίλυση προβλημάτων/αποριών που προέκυψαν στην πορεία αυτής.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω επίσης ολόθερμα τα άτομα της οικογένειάς μου που μου στάθηκαν στη διαδρομή αυτή. Συγκεκριμένα, ευχαριστώ τους γονείς μου Θεόδωρο και Μαρία, για την ανιδιοτελή αγάπη τους και τη συνεχή και πολυεπίπεδη στήριξή τους σε όλη την πορεία μου και τις επιλογές μου.

Θερμές ευχαριστίες στο σύζυγο μου Κυριάκο, ο οποίος αποτέλεσε το κίνητρο για την έναρξη των μεταπτυχιακών μου σπουδών. Τον ευχαριστώ για την τεράστια υπομονή και την πολύτιμη στήριξη του καθόλη τη διάρκεια των μεταπτυχιακών μου σπουδών τόσο στην παροχή χρήσιμων συμβουλών, όσο και στην ανάληψη των οικογενειακών υποχρεώσεων.

Τέλος, ειλικρινείς ευχαριστίες στα παιδιά μου Ανδρέα και Μαρία, τα οποία αποτέλεσαν το κίνητρο για την ολοκλήρωση των μεταπτυχιακών σπουδών μου τα δύο αυτά χρόνια. Η κατανόηση και η ανεκτικότητα που δείξαν το διάστημα αυτό ήταν καθοριστικής σημασίας.

Τους ευχαριστώ όλους από καρδιάς και τους αφιερώνω την παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

Ελληνική Περίληψη

Στη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή πραγματοποιείται η βιοφυσική χαρτογράφηση της Κύπρου από το καταγραφικό σύστημα MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), που παρουσιάζει υψηλή φασματική, ραδιομετρική και χρονική διακριτική ικανότητα. Οι φασματικές καταγραφές του MODIS χρησιμοποιούνται από την NASA και την USGS για την σύνθεση παράγωγων δεδομένων όπως η θερμοκρασία και ο δείκτης βλάστησης. Τα δεδομένα αυτά συνθέτουν καταγραφές που αντιστοιχούν σε προκαθορισμένες ώρες της ημέρας (01:30, 10:30, 13:30, 22:30), ενώ ομαδοποιούνται (μεταξύ άλλων πχ εβδομαδιαίες) σε μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις.

Συγκεκριμένα, πραγματοποιήθηκε κατάτμηση της Κύπρου σε χωρικές ζώνες που παρουσιάζουν διαφορετική ετήσια χωροχρονική μεταβολή των μέσων μηνιαίων τιμών για το έτος 2010 ως προς: 1) την θερμοκρασία ημέρας και νύχτας (LST day/night) 2) την ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας (Diurnal) και 3) τους δύο δείκτες βλάστησης, (NDVI, EVI). Οι ζώνες διαφοροποιούνται ως προς την εποχική μεταβολή της θερμοκρασίας και της βλάστησης σε συνάρτηση με τις καλύψεις/χρήσης γης και την τοποθέτηση τους στο γεωμορφολογικό και γεωγραφικό περιβάλλον.

Οι τεχνικές που ακολουθήθηκαν για την επίτευξη του στόχου αυτού περιλαμβάνουν αρχικά την φωτοερμηνεία των εικόνων που αντιστοιχούν στις μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις των βιοφυσικών δεικτών της θερμοκρασίας και της βλάστησης. Επιπρόσθετα, χρησιμοποιήθηκε η τεχνική της κανονικοποιημένης ανάλυσης κυρίων συνιστωσών για να εφαρμοσθεί ένα φίλτράρισμα στα δεδομένα, πριν τον προσδιορισμό χωρικών υποσυνόλων με διαφοροποιημένη εποχική βιοφυσική υπογραφή με την τεχνική της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης. Τα χωρικά υποσύνολα ή ζώνες για κάθε βιοφυσικό δείκτη αξιολογήθηκαν με βάση την χωρική τους κατανομή και το κέντρο βάρους (μέση μηνιαία εκτίμηση για κάθε μήνα του έτους 2010) των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε κάθε ζώνη. Επιπλέον οι ζώνες αυτές συγκρίνονται με δεδομένα καλύψεων γης (Corine) και υψομετρικές πληροφορίες (SRTM 3) προκειμένου να ερμηνευτούν οι μεταβολές με βάση το φυσικό περιβάλλον και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

Η μελέτη των ζωνών κατέδειξε διαφοροποιήσεις ως προς τις βιοφυσικές υπογραφές, υποδεικνύοντας χωροχρονικές μεταβολές σε συγκεκριμένες ζώνες που συσχετίζονται με τις καλύψεις και χρήσεις γης και συνέβαλε στην άντληση πληροφοριών σχετικά με το χρόνο εμφάνισης των δύο κύριων αλλαγών των εποχών (θερμή→ψυχρή περίοδο και αντιστρόφως).

Ενδεικτικά αναφέρεται:

- Το δασικό οικοσύστημα της περιοχής Τροόδους για παράδειγμα, συμβάλει στην αύξηση της πυκνότητας της βλάστησης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες και στη διατήρηση χαμηλότερων θερμοκρασιών.
- Στην περιοχή της Μεσαορίας, όπου οι γεωργικές δραστηριότητες περιορίζονται εκεί όπου υπάρχει άρδευση, η πυκνότητα της βλάστησης ελαχιστοποιείται κατά τους μήνες του καλοκαιριού και παρατηρούνται υψηλές θερμοκρασίες ημέρας σε αντιστοιχία με χαμηλές θερμοκρασίες νύχτας.
- Ενώ όσον αφορά τις ημερήσιες διακυμάνσεις Diurnal κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού η περιοχή του Τροόδους εμφανίζει μέχρι και 10⁰C χαμηλότερες τιμές εύρους σε σύγκριση με την περιοχή της Μεσαορίας.

- Τέλος, εντοπίστηκαν περιοχές του ευρύτερου αστικού συγκροτήματος της Λευκωσίας που παρουσιάζουν φαινόμενο αστικής θερμονησίδας, με τη ημερήσια διακύμανση Diurnal να είναι μέχρι και 6⁰C χαμηλότερη κατά τους μήνες του καλοκαιριού.

Οι χωρικές και χρονικές συγκρίσεις των συνθηκών της βλάστησης και της θερμοκρασίας που προκύπτουν από την επεξεργασία των δορυφορικών βιοφυσικών δεδομένων, συμβάλουν στην ανίχνευση των αλλαγών στη χρήση γης, στην αξιολόγηση της πυκνότητας φυτοκάλυψης, στη μελέτη των διαδικασιών της εξατμοδιαπνοής και της απερίμωσης, στη διάκριση και προγραμματισμό των καλλιεργειών, στην ερμηνεία του φαινομένου της αστικής θερμονησίδας, ενώ με βάση την βιβλιογραφία συμβάλουν στην πρόβλεψη σεισμών και σε πληθώρα άλλων εφαρμογών (γεωθερμία, ηφαιστειολογία, δασοκομία).

Απώτερος στόχος είναι τα αποτελέσματα της χαρτογράφησης αυτής να διαχυθούν στους κρατικούς φορείς της Κύπρου ούτως ώστε να ληφθούν υπόψη για τη χωροθέτηση – εγκατάσταση χρήσεων και δραστηριοτήτων (καλλιέργειες, επέκταση σχεδίων πόλεων, χωροθέτηση τουριστικών εγκαταστάσεων κ.α.), που θα οδηγήσουν στον καλύτερο περιβαλλοντικό χωροταξικό σχεδιασμό, τον σχεδιασμό προγραμμάτων αποκατάστασης και στρατηγικών έγκαιρης πρόληψης, συμβάλλοντας παράλληλα και στη βελτίωση των βιοφυσικών υπογραφών.

Οι κύριοι περιορισμοί της έρευνας έχουν σχέση με το μέγεθος του εικονοστοιχείου, το στοιχειώδες μέσο χρονικό διάστημα (μήνας, ενώ υπάρχουν δεδομένα σε εβδομαδιαία και ημερήσια βάση) και το εύρος της χρονικής περιόδου (1 έτος, ενώ η διαθεσιμότητα δεδομένων ξεκινά από το 2000 έως σήμερα). Αυτό σημαίνει ότι στο άμεσο μέλλον η διαθεσιμότητα βιοφυσικών δεδομένων με υποπενταπλάσια έως και υποδεκαπλάσια χωρική διακριτική ικανότητα θα επιτρέψει τη χαρτογράφηση ενοτήτων με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή που θα έχουν πολύ μικρότερη επιφανειακή εξάπλωση. Επιπροσθέτως η αύξηση του εύρους της χρονικής περιόδου μελέτης θα επιτρέψει την αναγνώριση διαφοροποιήσεων που έχουν σχέση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή. Ενώ η θεώρηση μικρότερου μέσου χρονικού διαστήματος θα επιτρέψει τον ακριβέστερο προσδιορισμό χρονικά της μετάβασης των εποχών. Βέβαια οι τρεις προτεινόμενες βελτιώσεις- αναθεωρήσεις θα αυξήσουν τον όγκο των δεδομένων και το χρονικό διάστημα επεξεργασίας.

Αγγλική Περίληψη

Aim of the present master thesis is the biophysical mapping of Cyprus, using biophysical products from MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), a system with high spectral, radiometric and temporal resolution ability. MODIS spectral recordings are used by NASA and USGS for the synthesis of product data, e.g. land surface temperature and vegetation index. This data compose recordings that correspond to predefined day times (01:30, 10:30, 13:30, 22:30), while they group (among others e.g. weekly), into mean monthly assessments.

More specifically, segmentation of Cyprus into spatial zones was performed, based on the annual spatial and temporal variation of the monthly average values for the year 2010, for the biophysical signatures of the: 1) Land Surface Temperature (Day and Night) 2) Diurnal variations of Land Surface Temperature and 3) two Vegetation indices, the Normalized (NDVI) and Enhanced (EVI). The zones differentiate based on the seasonal temperature and vegetation variation, in relation to land covers/uses and to their placement in the geomorphological and geographical environment.

The techniques used to achieve this aim initially included the photo-interpretation of the imagery that correspond to the mean monthly estimates of the biophysical indexes of temperature and vegetation. In addition, the standardized Principal Component Analysis (sPCA) method was used to filter data, before the determination of spatial subgroups with differential seasonal biophysical signature by the unsupervised clustering technique. The spatial subgroups or zones for each biophysical index were evaluated based on their spatial distribution and the centroid value (mean monthly estimate for each month in 2010) of the pixels that belong to each zone. Finally, these zones are compared with land cover (Corine) and elevation data (SRTM 3) in order to interpret the changes based on natural environment and human activities.

The study of the classifications showed variations in the biophysical signatures, indicating spatiotemporal changes in specific areas associated with land covers and uses. It also contributed to gather information in relation to the time of appearance of the two main seasonal changes (warm→cold period and vice versa).

Indicative:

- The forest ecosystem of the Troodos region contributes to the increase in vegetation density during summer and keeps low temperatures LST day/night, despite the high temperatures occurring.
- In contrast, in the Mesaoria area where agricultural activities are limited only where irrigation is present, the vegetation density is minimized during the summer and there are high LST day and low LST night temperatures.
- In regard to the Diurnal range fluctuations during the summer, the Troodos area displays up to 10⁰C lower value range compared to the Mesaoria area.
- Finally, areas of the wider urban area of Nicosia were identified that present the urban heating phenomenon, where the Diurnal range fluctuations are up to 6⁰C lower during summer.

The spatial and temporal comparisons of vegetation and temperature conditions resulting from the processing of satellite biophysical data contribute to the detection of changes in land use, the evaluation of vegetation density, the study of the processes of evapotranspiration and desertification, the crop distinction and planning, the interpretation of the urban heating phenomenon, while according to literature they contribute to, the prediction of earthquakes, as well as in numerous other applications (geothermal, volcanology, forestry).

The ultimate goal of this master thesis is the dissemination of the results of this mapping exercise to the government agencies of Cyprus, in order to be considered for the siting - installation of uses and activities (farming, urban expansion plans, siting of tourism facilities etc.), which will lead to a better environmental spatial planning, designing of rehabilitation programs and early prevention strategies, while contributing to the improvement of the biophysical signatures.

There are three major limitations associated to a) pixel size- spatial resolution, b) time amplitude (day, week, month), c) and time span (1- 14 years since data availability initiated on 2000). In the near future biophysical data will be at a 500-1000m spatial resolution. On the other hand the increased spatial resolution will increase geometrically the data volume and the data processing time. The same is valid for increased time amplitude and time span too. The advantages being a) the detection of spatial finer objects with distinct biophysical signatures from their surroundings, b) the more accurate detection of season's transitions and c) the revealing of climatic change effects.

Πίνακες/ Εικόνες/ Σχήματα

ΠΙΝΑΚΕΣ

Πίνακας 1.2.1: Χαρακτηρισμός Έντασης Δυσφορίας και Καύσωνα.....	3
Πίνακας 2.2.4.1: Χαρακτηριστικά των δορυφόρων Landsat 1-8.....	17
Πίνακας 3.1: Διάγραμμα μεθοδολογίας προσέγγισης του θέματος.....	35
Πίνακας 3.5.1.2.1: Φασματικές περιοχές μέτρησης του MODIS.....	39
Πίνακας 3.5.1.2.2: Φασματικές Ζώνες του MODIS.....	39
Πίνακας 3.5.1.6.1: Προτεινόμενες εφαρμογές κάθε φασματικού καναλιού του MODIS.....	41
Πίνακας 3.6.2: Κατανομή αστικού/ αγροτικού πληθυσμού ανά Επαρχία.....	49
Πίνακας 3.6.4.2.1 : Ετήσια Βροχόπτωση εικοσαετίας (1991-2011).....	51
Πίνακας 4.1.1: Βαθμός συσχέτισης των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων EVI.....	60
Πίνακας 4.1.2: Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών EVI (PCA).....	61
Πίνακας 4.1.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) του EVI.....	64
Πίνακας 4.1.4: Κέντρα βάρους 8 τάξεων (cluster) του EVI.....	65
Πίνακας 4.2.1: Βαθμός συσχέτισης των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων NDVI.....	72
Πίνακας 4.2.2: Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών NDVI (PCA).....	73
Πίνακας 4.2.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) του NDVI.....	76
Πίνακας 4.2.4: Κέντρα βάρους 8 τάξεων (cluster) του NDVI.....	77
Πίνακας 4.3.1: Βαθμός συσχέτισης των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων Θ. ημέρας.....	84
Πίνακας 4.3.2: Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών Θ. ημέρας (PCA).....	85
Πίνακας 4.3.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) της Θ. ημέρας.....	88
Πίνακας 4.3.4: Κέντρα βάρους 8 τάξεων (cluster) της Θ. ημέρας.....	89
Πίνακας 4.4.1: Βαθμός συσχέτισης των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων Θ. νύχτας.....	96
Πίνακας 4.4.2: Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών Θ. νύχτας (PCA).....	97
Πίνακας 4.4.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) της Θ. νύχτας.....	100
Πίνακας 4.4.4: Κέντρα βάρους 8 τάξεων (cluster) της Θ. νύχτας.....	101
Πίνακας 4.5.1: Βαθμός συσχέτισης των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων ημερήσιας διακύμανσης Θ.	108
Πίνακας 4.5.2: Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών ημερήσιας διακύμανσης Θ. (PCA).....	109
Πίνακας 4.5.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) της ημερήσιας διακύμανσης Θ.	112
Πίνακας 4.5.4: Κέντρα βάρους 8 τάξεων (cluster) της ημερήσιας διακύμανσης Θ.	113

ΕΙΚΟΝΕΣ

Εικόνα 2.2.3.1.1: Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα.....	9
Εικόνα 2.2.3.3.1: Η κατανομή της έντασης φασματικής ακτινοβολίας μέλανος σώματος ως προς το μήκος κύματος, σύμφωνα με το Νόμο του Planck.....	12
Εικόνα 2.2.4.1: Μηχανή αναζήτησης Earth Explorer.....	15
Εικόνα 2.2.4.2: Χρονοσειρά εκτόξευσης των δορυφόρων Landsat.....	16
Εικόνα 2.2.4.3: Παγκόσμιο σύστημα τηλεσκοπικών δορυφόρων.....	19
Εικόνα 2.3.4.2.1: Αυτόματη ταξινόμηση εικόνας. Ομαδοποίηση k-μέσων τιμών.....	27
Εικόνα 2.3.4.3.1: Διαγραμματική αναπαράσταση της εφαρμογής PCA μεθοδολογίας σε συσχετιζόμενες τιμές δύο φασματικών τάξεων.....	29
Εικόνα 3.5.1.1.1 Σχηματική αναπαράσταση της «bow-tie» σάρωσης του MODIS.....	39
Εικόνα 3.5.1.2.1: Δίοδοι ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και η κατανομή των καναλιών του MODIS.....	40
Εικόνα 3.5.2.1: Το σύστημα γεωταξινόμησης καλύψεων γης Κύπρου CLC 2006.....	43

Εικόνα 3.5.2.2: Ιστόγραμμα συχνοτήτων εικονοστοιχείων CLC 2006 Κύπρου.....	43
Εικόνα 3.5.3.1: Χάρτης διαβαθμίσεων Ισοϋψών καμπυλών σε (m).....	45
Εικόνα 3.5.3.2: Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου.....	45
Εικόνα 3.6.1.1: Χάρτης Κύπρου.....	48
Εικόνα 4.1.1: EVI Ιανουαρίου.....	54
Εικόνα 4.1.2: EVI Φεβρουαρίου.....	55
Εικόνα 4.1.3: EVI Μαρτίου.....	55
Εικόνα 4.1.4: EVI Απριλίου.....	56
Εικόνα 4.1.5: EVI Μαΐου.....	56
Εικόνα 4.1.6: EVI Ιουνίου.....	57
Εικόνα 4.1.7: EVI Ιουλίου.....	57
Εικόνα 4.1.8: EVI Αυγούστου.....	58
Εικόνα 4.1.9: EVI Σεπτεμβρίου.....	58
Εικόνα 4.1.10: EVI Οκτωβρίου.....	59
Εικόνα 4.1.11: EVI Νοεμβρίου.....	59
Εικόνα 4.1.12: EVI Δεκεμβρίου.....	60
Εικόνα 4.1.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα EVI (67,3% της πληροφορίας).....	61
Εικόνα 4.1.14 : Δεύτερη κύρια συνιστώσα EVI (27,8% της πληροφορίας).....	62
Εικόνα 4.1.15: Τρίτη κύρια συνιστώσα EVI (1,84% της πληροφορίας).....	62
Εικόνα 4.1.16: RGB 321 των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών EVI.....	63
Εικόνα 4.1.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων/cluster των 6 κύριων συνιστωσών EVI.....	63
Εικόνα 4.2.1: NDVI Ιανουαρίου.....	66
Εικόνα 4.2.2: NDVI Φεβρουαρίου.....	67
Εικόνα 4.2.3: NDVI Μαρτίου.....	67
Εικόνα 4.2.4: NDVI Απριλίου.....	68
Εικόνα 4.2.5: NDVI Μαΐου.....	68
Εικόνα 4.2.6: NDVI Ιουνίου.....	69
Εικόνα 4.2.7: NDVI Ιουλίου.....	69
Εικόνα 4.2.8: NDVI Αυγούστου.....	70
Εικόνα 4.2.9: NDVI Σεπτεμβρίου.....	70
Εικόνα 4.2.10: NDVI Οκτωβρίου.....	71
Εικόνα 4.2.11: NDVI Νοεμβρίου.....	71
Εικόνα 4.2.12: NDVI Δεκεμβρίου.....	72
Εικόνα 4.2.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα NDVI (58.96% της πληροφορίας).....	73
Εικόνα 4.2.14: Δεύτερη κύρια συνιστώσα NDVI (21.4% της πληροφορίας).....	74
Εικόνα 4.2.15: Τρίτη κύρια συνιστώσα NDVI (5 % της πληροφορίας).....	74
Εικόνα 4.2.16: RGB 321 των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών NDVI.....	75
Εικόνα 4.2.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) των 6 κύριων συνιστωσών NDVI.....	75
Εικόνα 4.3.1: Θ. ημέρας Ιανουαρίου.....	78
Εικόνα 4.3.2: Θ. ημέρας Φεβρουαρίου.....	79
Εικόνα 4.3.3: Θ. ημέρας Μαρτίου.....	79
Εικόνα 4.3.4: Θ. ημέρας Απριλίου.....	80
Εικόνα 4.3.5: Θ. ημέρας Μαΐου.....	80
Εικόνα 4.3.6: Θ. ημέρας Ιουνίου.....	81
Εικόνα 4.3.7: Θ. ημέρας Ιουλίου.....	81
Εικόνα 4.3.8: Θ. ημέρας Αυγούστου.....	82
Εικόνα 4.3.9: Θ. ημέρας Σεπτεμβρίου.....	82
Εικόνα 4.3.10: Θ. ημέρας Οκτωβρίου.....	83
Εικόνα 4.3.11: Θ. ημέρας Νοεμβρίου.....	83
Εικόνα 4.3.12: Θ. ημέρας Δεκεμβρίου.....	84
Εικόνα 4.3.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα Θ. ημέρας (80.9 % της πληροφορίας).....	85

Εικόνα 4.3.14: Δεύτερη κύρια συνιστώσα Θ. ημέρας (11 % της πληροφορίας).....	86
Εικόνα 4.3.15: Τρίτη κύρια συνιστώσα Θ. ημέρας (4.32 % της πληροφορίας).....	86
Εικόνα 4.3.16: RGB 321 των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών Θ. ημέρας.....	87
Εικόνα 4.3.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) των 6 κύριων συνιστωσών Θ. ημέρας.....	87
Εικόνα 4.4.1: Θ. νύχτας Ιανουαρίου.....	90
Εικόνα 4.4.2: Θ. νύχτας Φεβρουαρίου.....	91
Εικόνα 4.4.3: Θ. νύχτας Μαρτίου.....	91
Εικόνα 4.4.4: Θ. νύχτας Απριλίου.....	92
Εικόνα 4.4.5: Θ. νύχτας Μαΐου.....	92
Εικόνα 4.4.6: Θ. νύχτας Ιουνίου.....	93
Εικόνα 4.4.7: Θ. νύχτας Ιουλίου.....	93
Εικόνα 4.4.8: Θ. νύχτας Αυγούστου.....	94
Εικόνα 4.4.9: Θ. νύχτας Σεπτεμβρίου.....	94
Εικόνα 4.4.10: Θ. νύχτας Οκτωβρίου.....	95
Εικόνα 4.4.11: Θ. νύχτας Νοεμβρίου.....	95
Εικόνα 4.4.12: Θ. νύχτας Δεκεμβρίου.....	96
Εικόνα 4.4.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα Θ. νύχτας (88,5% της πληροφορίας).....	97
Εικόνα 4.4.14: Δεύτερη κύρια συνιστώσα Θ. νύχτας (4,3% της πληροφορίας).....	98
Εικόνα 4.4.15: Τρίτη κύρια συνιστώσα Θ. νύχτας (1,9% της πληροφορίας).....	98
Εικόνα 4.4.16: RGB321 των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών Θ. νύχτας.....	99
Εικόνα 4.4.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) των 6 κύριων συνιστωσών Θ. νύχτας.....	99
Εικόνα 4.5.1: Ημερήσια διακύμανση Θ. Ιανουαρίου.....	102
Εικόνα 4.5.2: Ημερήσια διακύμανση Θ. Φεβρουαρίου.....	103
Εικόνα 4.5.3: Ημερήσια διακύμανση Θ. Μαρτίου.....	103
Εικόνα 4.5.4: Ημερήσια διακύμανση Θ. Απριλίου.....	104
Εικόνα 4.5.5: Ημερήσια διακύμανση Θ. Μαΐου.....	104
Εικόνα 4.5.6: Ημερήσια διακύμανση Θ. Ιουνίου.....	105
Εικόνα 4.5.7: Ημερήσια διακύμανση Θ. Ιουλίου.....	105
Εικόνα 4.5.8: Ημερήσια διακύμανση Θ. Αυγούστου.....	106
Εικόνα 4.5.9: Ημερήσια διακύμανση Θ. Σεπτεμβρίου.....	106
Εικόνα 4.5.10: Ημερήσια διακύμανση Θ. Οκτωβρίου.....	107
Εικόνα 4.5.11: Ημερήσια διακύμανση Θ. Νοεμβρίου.....	107
Εικόνα 4.5.12: Ημερήσια διακύμανση Θ. Δεκεμβρίου.....	108
Εικόνα 4.5.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα ημερήσιας διακύμανσης Θ. (89.9 % της πληροφορίας).....	109
Εικόνα 4.5.14: Δεύτερη κύρια συνιστώσα ημερήσιας διακύμανσης Θ. (3.5 % της πληροφορίας).....	Error! Bookmark not defined. 10
Εικόνα 4.5.15 : Τρίτη κύρια συνιστώσα ημερήσιας διακύμανσης Θ. (3.4 % της πληροφορίας).....	Error! Bookmark not defined. 10
Εικόνα 4.5.16: RGB 321 των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών ημερήσιας διακύμανσης Θ.....	Error! Bookmark not defined. 11
Εικόνα 4.5.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) των 6 κυρίων συνιστωσών ημερήσιας διακύμανσης Θ.....	Error! Bookmark not defined. 1
Εικόνα 5.2.1.1: EVI 3 ^η θεματική τάξη.....	118
Εικόνα 5.2.1.1 (α): EVI 3 ^η τάξη (μεγέθυνση του βορειοδυτικού τμήματος).....	119
Εικόνα 5.2.1.1 (β): EVI 3 ^η τάξη (μεγέθυνση του νοτιοανατολικού τμήματος).....	119
Εικόνα 5.2.1.2: EVI 6 ^η θεματική τάξη.....	120

Εικόνα 5.2.1.2 (α): EVI 6 ^η τάξη (μεγέθυνση βορειοδυτικού τμήματος).....	120
Εικόνα 5.2.2.1: 1 ^η θεματική τάξη Θ. ημέρας.....	121
Εικόνα 5.1.2.2.1(α): 1 ^η θεματική τάξη Θ. ημέρας (μεγέθυνση νοτιοδυτικού τμήματος).....	122
Εικόνα 5.2.2.1(β): 1 ^η θεματική τάξη Θ. ημέρας (μεγέθυνση βορειοανατολικού τμήματος)...	122
Εικόνα 5.2.2.2: 8 ^η θεματική τάξη Θ. ημέρας.....	123
Εικόνα 5.2.2.2 (α): 8 ^η τάξη Θ. ημέρας (μεγέθυνση περιοχής).....	123
Εικόνα 5.2.3.1: 1 ^η θεματική τάξη Θ. νύχτας (Corine-ισοϋψείς).....	124
Εικόνα 5.2.3.1 (α): 1 ^η θεματική τάξη Θ. νύχτας (Corine-Οδικό δίκτυο- Πόλεις).....	125
Εικόνα 5.2.3.2: 2 ^η θεματική τάξη Θ. νύχτας (Corine-ισοϋψείς).....	125
Εικόνα 5.2.3.2 (α): 2 ^η θεματική τάξη Θ. νύχτας (Corine-Οδικό δίκτυο-Πόλεις).....	126
Εικόνα 5.2.4.1: 1 ^η θεματική τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ.(Corine-ισοϋψείς-πόλεις).....	127
Εικόνα 5.2.4.1(α): 1 ^η τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ. (μεγέθυνση βορειοδυτικού τμήματος).....	127
Εικόνα 5.2.4.1(β): 1 ^η τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ. (μεγέθυνση βορειοανατολικού τμήματος)	128
Εικόνα 5.2.4.2: 3 ^η θεματική τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ. (Corine-ισοϋψείς-πόλεις).....	128
Εικόνα 5.2.4.2(α): Μεγέθυνση 3 ^η θεματικής τάξης ημερήσιας διακύμανσης Θ. (Corine-ισοϋψείς-πόλεις).....	129
Εικόνα 5.2.4.3: 2 ^η θεματική τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ.....	130

ΣΧΗΜΑΤΑ

Σχήμα 2.2.3.2.1: Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.....	10
Σχήμα 2.2.3.4.1: Φασματικές υπογραφές νερού (μπλέ), βλάστησης (πράσινο) κι εδάφους (καφέ).....	13
Σχήμα 2.2.3.5.1: Δίοδοι ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα.....	14
Σχήμα 4.1.1: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) EVI.....	64
Σχήμα 4.2.2: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) NDVI.....	77
Σχήμα 4.3.3: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) της Θ. ημέρας.....	89
Σχήμα 4.4.4: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) της Θ. νύχτας.....	101
Σχήμα 4.5.5: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) ημερήσιας διακύμανσης Θ.....	113

Κεφάλαιο Πρώτο

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Εισαγωγή

Ο γενικός τρόπος έρευνας - προσέγγισης της μελέτης του περιβάλλοντος με τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων, πρώτα επιτρέπει τη διάκριση του περιβάλλοντος σε χωρικά αντικείμενα και μετά καθορίζει την παραμετρική αναπαράσταση τους με ιδιότητες και προσδιορίζει τις δυνητικές τιμές τους, έχοντας σαν στόχο τον χαρακτηρισμό αυτών (Lillesand et al., 2008). Ο χαρακτηρισμός αυτός μπορεί να αφορά μια βιοφυσική κατάσταση (π.χ. το κάψιμο ενός δάσους ή την εμφάνιση ασθένειας σε κάποια δέντρα) ή τον προσδιορισμό ζωνών με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή ή τον εντοπισμό βιοφυσικών ανωμαλιών (Coolbaugh et al., 2007; Miliareisis, 2009a; Hartemink et al., 2010; Miliareisis and Tsatsaris, 2011).

Η βιοφυσική παραμετρική αναπαράσταση μπορεί να ανατεθεί σε στοιχεία καλύψεων γης ή να βοηθήσει στη διάκριση περιοχών μέσα στην ίδια κάλυψη γης (π.χ δάσος Τροόδους) ή χρήσεων γης (πολεοδομικό συγκρότημα Λευκωσίας) με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή. Αυτές οι διακρίσεις βοηθούν στο να εντοπίσουμε ζώνες που είναι περισσότερο επιδεκτικές σε συγκεκριμένες χρήσεις (κατοικίες, καλλιέργειες κ.α), επιτρέποντας τη βέλτιστη χωροθέτηση δραστηριοτήτων, ιδιαίτερα μάλιστα όταν επίκεινται και κλιματικές αλλαγές (Miliareisis, 2014b).

Στη περίπτωση που για μία βιοφυσική παράμετρο με χαρακτηριστικά εποχικότητας (πχ η θερμοκρασία) διαπιστώνεται μία μη εποχική μεταβολή, τότε υπάρχει βιοφυσική ανωμαλία (Miliareisis, 2012c). Επίσης, βιοφυσική ανωμαλία σύμφωνα με τους Setiawan, Yoshino & Prasetyo (2014), μπορεί να υπάρξει και σε μεταβολή βιοφυσικών παραμέτρων που δεν παρουσιάζουν εποχικότητα (π.χ. κόψιμο δέντρων σε ένα δάσος). Βιοφυσική ανωμαλία αποτελεί και η μη ύπαρξη διαφορών σε ένα βιοφυσικό δείκτη, π.χ. βιομηχανική θερμική ρύπανση που ομογενοποιεί τη θερμική υπογραφή σε μία ζώνη με διαφορετικές καλύψεις γης (Cheval & Dumitrescu 2009; Tomlinson et al., 2012;). Η βιοφυσική ανωμαλία μπορεί να προκύπτει και σαν συνδυασμός δύο, τριών ή περισσότερων βιοφυσικών δεικτών που παρουσιάζουν διαφορετική εποχικότητα π.χ. ο δείκτης βλάστησης ή της ύλης που φωτοσυνθέτει ή του φυλλώματος ή της θερμοκρασίας. Αν η εποχικότητα είναι κοινή, τότε χαρακτηρίζεται η περιοχή σαν ζώνη βιοφυσικής ανωμαλίας και υποδηλώνει διαφοροποίηση στον κύκλο ανάπτυξης της βλάστησης, αποτέλεσμα κλιματικών αλλαγών, ασθενειών κ.α.(Miliareisis, 2014a).

Μέχρι σήμερα, η χαρτογράφηση και παρακολούθηση των μεταβολών του φυσικού περιβάλλοντος, από υψομετρικά και δορυφορικά δεδομένα, έχει επιτευχθεί μέσα από:

- την αποτύπωση χαρτών καλύψεων/χρήσεων γης π.χ. Corine, GlobCover (EPA, 2014)

- τη μελέτη μορφομετρικών βιοφυσικών δεικτών από Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα Εδάφους ΨΥΜΕ, π.χ. δείκτης διάδοσης, έκθεση στην ηλιακή ακτινοβολία κ.α. (Li, Zhu and Gold, 2010)
- τον εντοπισμό αλλαγών από διαχρονικές δορυφορικές εικόνες π.χ. η μεταβολή της επιφάνειας μιας λίμνης ή μιας δασικής έκτασης από το 1972 μέχρι σήμερα (Yang & Lo, 2002; Kloiber, Brezonik & Bauer 2002).

Οι χάρτες καλύψεων/χρήσεων γης CORINE έχουν συντεθεί τρεις φορές για το σύνολο της Ευρώπης, κατά το 1990, 2000 και 2006, ενώ εντός του 2014 αναμένεται και η έκδοση του 2012 Παρέχουν μια στατιστική εικόνα των καλύψεων/χρήσεων γης για τις δεδομένες χρονικές στιγμές (λήψεις δορυφορικών εικόνων). Οι εν λόγω χάρτες είναι βιοφυσικοί δείκτες αλλά στατικοί (EPA, 2014).

Οι μορφομετρικοί βιοφυσικοί δείκτες, είναι και αυτοί στατικοί και αναφέρονται σε μια δεδομένη γεωμορφολογία του αναγλύφου που προσδιορίζεται από το ΨΥΜΕ (Li, Zhu and Gold 2010). Προσδιορίζονται με βάση μόνο τη γεωμετρία της επιφάνειας (υδρολογικές λεκάνες, κλίσεις, υψόμετρο κ.α) χωρίς να λαμβάνουν υπόψη τη φυσική της περιοχής μελέτης (θερμοκρασία, υγρασία, εξατμοδιαπνοή κ.α). Τέλος, ο εντοπισμός αλλαγών αφορά συνήθως τη μεταβολή στη γεωμετρία ενός αντικειμένου ή στο είδος της κάλυψης/χρήσης γης από πεπερασμένο και ασυνεχή ρυθμό δορυφορικών λήψεων (Mather, 2004).

Σήμερα οι δορυφόροι, στα πλαίσια του παγκόσμιου συστήματος παρακολούθησης της Γης EOS (Earth Observation System), επιτρέπουν την παρακολούθηση της επιφάνειας της Γης καταγράφοντας βιοφυσικά δεδομένα, όπως θερμοκρασία μέρας και νύχτας (LSTday/night), δείκτες βλάστησης (NDVI, EVI), πυκνότητα φυλλώματος (LAI), λευκαύγεια (albedo) κ.α., με υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα, δίνοντας έτσι τη δυνατότητα για πληθώρα περιβαλλοντικών εφαρμογών (Wan 2007, Withers et al., 2009).

Παραδείγματα τέτοιων περιβαλλοντικών εφαρμογών αποτελούν οι εργασίες των Sakamoto et al. (2010), οι οποίοι παρακολούθησαν τις εποχικές αλλαγές στην ανάπτυξη των καλλιεργειών με τη χρήση ψηφιακών εικόνων μέρας και νύχτας, αλλά και των Vintrou et al. (2012) που απέδειξαν ότι η διαχρονική εξέλιξη των καλλιεργειών μπορεί να περιγραφεί από μέτριας διακριτικής ικανότητας δορυφορικά δεδομένα. Οι Patel et al. (2012) λαμβάνοντας υπόψη ότι η ξηρασία στη γεωργία συνδέεται στενά με την εξατμοδιαπνοή, συνέθεσαν ένα νέο δείκτη που περιγράφει την κατάσταση βλάστησης θερμοκρασίας (VTCI, Vegetation Temperature Condition Index). Αυτός συνδυάζει τα βιοφυσικά δεδομένα θερμοκρασίας με το δείκτη βλάστησης (NDVI) για την παρακολούθηση της ξηρασίας των καλλιεργειών και την αξιολόγησή τους. Οι Coolbaugh et al. (2007), με την επεξεργασία βιοφυσικών θερμικών δεδομένων χαρτογράφησαν θερμικές ανωμαλίες που σχετίζονται με την γεωθερμική δραστηριότητα της περιοχής Hot Springs Brady στη Νεβάδα, ενώ οι Pieri and Abrams, (2005), πάλι από την επεξεργασία βιοφυσικών θερμικών δεδομένων μελέτησαν την ηφαιστειακή δραστηριότητα του ηφαιστείου Chikurachi. Τέλος, οι Thenkabail et al. (2012) προσπάθησαν να κατανοήσουν, με τη χρήση βιοφυσικών δεδομένων, τη σχέση μεταξύ των γεωργικών δραστηριοτήτων και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής, όσο αφορά τη διαθεσιμότητα τροφίμων.

Το καταγραφικό σύστημα MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), προϊόντα του οποίου θα επεξεργαστούμε στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, βρίσκεται σε ένα αστερισμό δύο δορυφορικών συστημάτων (AQUA, TERRA) και είναι ένα

προηγμένης τεχνολογίας ραδιόμετρο. Αποστολή του είναι η παροχή καταγραφών βιοφυσικών παραμέτρων της επιφάνειας της γης, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας, με μέση χωρική αλλά υψηλή φασματική διακριτική ικανότητα και επαναληψιμότητα λήψεων, αφού καταγράφει 4 φορές το εικοσιτετράωρο. Η υψηλή ραδιομετρική και χρονική διακριτική του ικανότητα το καθιστά εργαλείο υψηλής επιστημονικής αξίας για τη μελέτη της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής. Τα δεδομένα αυτά στο επίπεδο επεξεργασίας level 3 ομαδοποιούνται σε εβδομαδιαίες, δεκαπενθήμερες και μηνιαίες εκτιμήσεις για το σύνολο της επιφάνειας της γης κι επομένως είναι δυνατόν να ορίσουμε ζώνες με κοινή βιοφυσική υπογραφή σε εβδομαδιαία, μηνιαία, εποχική, ετήσια και διαχρονική βάση (MODIS Web, 2013).

1.2 Καταγραφή προβλήματος

Η αλλαγή του κλίματος παγκοσμίως λόγω της αύξησης των εκπομπών του θερμοκηπίου είναι πλέον γεγονός. Η Κύπρος ως χώρα της Ανατολικής Μεσογείου τις τελευταίες δεκαετίες επηρεάζεται από τις κλιματικές αλλαγές, με άμεσες επιπτώσεις την αύξηση της θερμοκρασίας, την μείωση των βροχοπτώσεων και την αύξηση των ξηροθερμικών συνθηκών.

Στατιστική ανάλυση των ετήσιων καταγραφών βροχόπτωσης από 29 σταθμούς της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας Κύπρου, για τη χρονική περίοδο 1917 – 2006, που διεξήχθη από τους Michaelides et al. (2009), με σκοπό να διερευνηθεί κατά πόσο οι μεταβολές της βροχόπτωσης οφείλονται σε γεωγραφικές επιρροές ή στην αλλαγή του κλίματος, έδειξαν την εμφάνιση μεταβολών στις βροχοπτώσεις σε όλες τις περιοχές ανεξαρτήτως των γεωγραφικών τους χαρακτηριστικών.

Επιπρόσθετα, στοιχεία της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας της Κύπρου (2013), καταγράφουν σημαντικές διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και της βροχόπτωσης, οι οποίες εμφανίζουν αύξηση του ρυθμού μεταβολής το δεύτερο μισό του 20^{ου} και αρχές του 21^{ου} αιώνα. Συγκεκριμένα, η μέση θερμοκρασία της περιόδου 1991 - 2007 ήταν 17.7°C, μισό βαθμό ψηλότερη από την κανονική (17.2°C) της περιόδου 1961 – 1990 και με τις περισσότερες πιο θερμές χρονιές του 20ού αιώνα να έχουν παρατηρηθεί τις τελευταίες δύο δεκαετίες. Το έτος 1998 ήταν το πιο θερμό στην Κύπρο, με τον πληθυσμό να βιώνει συνθήκες σοβαρού καύσωνα, ενώ τον Αύγουστο του 2010 σημειώθηκαν οι πιο ψηλές μέγιστες θερμοκρασίες, με το σταθμό της Αθαλάσσης να καταγράφει θερμοκρασία 45.6 °C.

Στοιχεία της μελέτης του Χατζηγιάννου (2013), για τις συνθήκες Αισθητής Θερμοκρασίας και Καύσωνα στη Λευκωσία, για τους μήνες Ιούλιο - Αύγουστο κατά την πενταετία 1996-2000, έδειξαν ότι για κάθε μήνα καταγράφηκαν 15 μέρες καύσωνα και 5-6 μέρες σοβαρού καύσωνα. Λεπτομέρειες αναφορικά με το χαρακτηρισμό έντασης δυσφορίας και καύσωνα δίνονται στον Πίνακα 1.2.1.

Πίνακας 1.2.1: Χαρακτηρισμός Έντασης Δυσφορίας και Καύσωνα

Αισθητή θερμοκρασία ¹ 25,0 - 25,9 ⁰ C	: Ελαφρό αίσθημα δυσφορίας
Αισθητή θερμοκρασία 26,0 - 27,9 ⁰ C	: Μέτριο αίσθημα δυσφορίας
Αισθητή θερμοκρασία 28,0 - 29,9 ⁰ C	: Σοβαρό αίσθημα δυσφορίας - Καύσωνα
Αισθητή θερμοκρασία ≥ 30 ⁰ C	: Πολύ σοβαρό αίσθημα δυσφορίας - Σοβαρός καύσωνα
¹ Η μαθηματική σχέση για τον υπολογισμό της Αισθητής Θερμοκρασίας (AΘ) σε βαθμούς Κελσίου (°C) δίνεται από τον τύπο: $A\Theta = \Theta - 0,4 * (\Theta - 10) * (1 - 0,01 * Y)$, όπου Θ : η θερμοκρασία σε βαθμούς Κελσίου (°C) Y : η σχετική υγρασία σε εκατοστιαίες μονάδες	

Όσον αφορά την πτωτική τάση των βροχοπτώσεων, η μέση ετήσια βροχόπτωση της τελευταίας τριακονταετίας του 20^{ου} αιώνα ανέρχεται στα 462 mm, παρουσιάζοντας ποσοστό μείωσης 17% σε σύγκριση με τη μέση ετήσια βροχόπτωση της πρώτης τριακονταετίας που ήταν 559 mm (Χατζηιωάννου, 2013).

Εξειδικευμένες προβλέψεις από τους Giannakopoulos et al. (2010), για τις επόμενες δύο τριακονταετίες δείχνουν ότι εάν δεν υπάρξουν σοβαρές μειώσεις στις παγκόσμιες εκπομπές αερίων του θερμοκηπίου, αναμένεται για την Κύπρο αύξηση της θερμοκρασίας κατά 1,3-1,9°C μέχρι τα μέσα του 21^{ου} αιώνα (2021-2050) και κατά 3,6 - 5,0°C μέχρι τα τέλη του αιώνα (2071-2100). Μεγαλύτερες αυξήσεις θερμοκρασίας αναμένονται τη θερινή παρά τη χειμερινή περίοδο, με επακόλουθο την αύξηση και των ημερών καύσωνα. Ενώ σε ό,τι αφορά τη βροχόπτωση, μεσοπρόθεσμα αναμένεται μικρή μείωση, που προβλέπεται όμως να είναι σημαντική ως τα τέλη του αιώνα.

Οι κλιματικές αλλαγές επομένως επιφέρουν αλλαγές των βιοφυσικών παραμέτρων. Οι μετεωρολογικοί σταθμοί παρέχουν αξιόπιστες εκτιμήσεις για την παρακολούθηση διαφόρων παραμέτρων του κλίματος και τη χωρική μοντελοποίηση των διακυμάνσεων αυτών, το δίκτυο όμως εντοπίζεται σε περιορισμένο αριθμό σημείων δειγματοληψίας με συνέπεια να υπάρχουν περιοχές που δεν καλύπτονται από αυτό (Hill, 2013).

Η επεξεργασία από το ραδιόμετρο MODIS βιοφυσικών δορυφορικών δεδομένων που καταγράφονται 4 φορές το εικοσιτετράωρο, δύο φορές από το δορυφόρο AQUA στις 01:30 και 13:30 τοπική ώρα διέλευσης από την Κύπρο και άλλες 2 από το δορυφόρο TERRA στις 10:30 και 22:30 αντίστοιχα, επιτρέπουν την ικανοποιητική αποτύπωση αυτών σε όλο το γεωγραφικό πλάτος της Κύπρου και κατ' επέκταση τη βιοφυσική χαρτογράφηση αυτών.

1.3 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης

Πέρα από τις επιπτώσεις των κλιματικών αλλαγών (αύξηση της θερμοκρασίας, μεταβολή στις βροχοπτώσεις, αύξηση της συχνότητας ακραίων καιρικών φαινομένων ξηρασίες, πλημμύρες, καύσωνες κ.α.) που επηρεάζουν αρνητικά την Κύπρο επιφέροντας αλλαγές στο βιοφυσικό περιβάλλον της, η παρακολούθηση και καταγραφή των καλύψεων/χρήσεων γης αποτελεί επιπρόσθετα ένα σημαντικό κομμάτι αποτίμησης των πιέσεων που ασκούνται στο φυσικό περιβάλλον, τόσο από τις κλιματικές αλλαγές όσο και από τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες (πυρκαγιές, καλλιέργειες, οικιστική ανάπτυξη κ.α.).

Μελέτη των Λιαρικού et al. (2012) της World Wide Fund for nature (WWF), η οποία αναφέρεται στην χαρτογράφηση καλύψεων γης στην Ελλάδα, έδειξε με τη χρήση δορυφορικών εικόνων Landsat, σημαντική μεταβολή στο φυσικό πλούτο της χώρας για το διάστημα 1987-2007. Συγκεκριμένα, 6 εκατομμύρια στρέμματα φυσικών εκτάσεων χάθηκαν, έναντι μιας αύξησης των γεωργικών και αστικών καλύψεων. Σε αυτή την απώλεια συνέβαλαν η εγκατάλειψη των γεωργικών γαιών κι η δάσωση περιοχών χαμηλής βλάστησης λόγω μείωσης της κτηνοτροφίας. Συνολικά περισσότερα από 1,31 εκατ. στρέμματα δάσους χάθηκαν εξαιτίας των άναρχων αλλαγών που επέφερε η ανθρωπογενής πίεση. Κατά 4,9 εκατ. στρέμματα μειώθηκαν οι εκτάσεις θαμνώδους και χαμηλής βλάστησης, ενώ κατά 5,7 εκατ. στρέμματα αυξήθηκαν οι γεωργικές εκτάσεις. Η δόμηση και τα έργα υποδομής τέλους αυξήθηκαν κατά 333.675 στρέμματα.

Οι καλύψεις/χρήσεις γης επομένως δεν είναι κάτι το στατικό. Ακόμη και στην απουσία έντονης κλιματικής αλλαγής μεταβάλλονται λόγω των ανθρωπογενών δραστηριοτήτων, με αποτέλεσμα τις αλλαγές του βιοφυσικού περιβάλλοντος.

Είναι επομένως πολύ σημαντικό να υπάρξει κατάτμηση του γεωγραφικού χώρου της Κύπρου σε χωρικά υποσύνολα, τα οποία να εμφανίζουν ετήσια χωροχρονική μεταβολή μιας σειράς από βιοφυσικούς δείκτες. Μέσω αυτής της κατάτμησης θα δοθεί η δυνατότητα για προσδιορισμό της καταλληλότητας των χωρικών υποσυνόλων σαν συνάρτηση της χωροχρονικής μεταβολής των δεικτών αυτών. Αυτό θα δώσει την δυνατότητα χωροθέτησης – εγκατάστασης χρήσεων και δραστηριοτήτων (καλλιέργειες, επέκταση σχεδίων πόλεων, χωροθέτηση τουριστικών εγκαταστάσεων κ.α.) σε σχέση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή.

1.4 Σκοποί και Στόχοι

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι η κατάτμηση της Κύπρου σε ζώνες με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή από θεματικούς χάρτες που εμπεριέχουν μέσες μηνιαίες βιοφυσικές εκτιμήσεις, καθώς και ο εντοπισμός βιοφυσικών διαχρονικών ανωμαλιών και η ερμηνεία τους σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον.

Η επίτευξη του σκοπού αυτού θα επιτευχθεί με τη συλλογή και αξιοποίηση βιοφυσικών πλεγματικών τηλεπισκοπικών δεδομένων θερμοκρασίας και βλάστησης του αισθητήρα MODIS και το συνδυασμό αυτών με υψομετρικά δεδομένα και δεδομένα καλύψεων/χρήσεων γης. Συγκεκριμένα θα χρησιμοποιηθούν μέσες μηνιαίες μετρήσεις θερμοκρασιών ημέρας και νύχτας (LST day/night), ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας (Diurnal), καθώς και δεδομένα των δεικτών βλάστησης (NDVI και EVI), για το έτος 2010.

Τα στάδια που θα ακολουθηθούν για την υλοποίηση του πιο πάνω σκοπού έχουν ως εξής:

- Βιβλιογραφική αναδρομή των τεχνικών βιοφυσικής ανάλυσης, χαρτογράφησης.
- Προσδιορισμός/οργάνωση των βιοφυσικών διαχρονικών εικόνων MODIS για την Κύπρο σε μια πλεγματική βάση δεδομένων.
- Κατάτμηση της Κύπρου σε ζώνες με διαφορετική βιοφυσική καταγραφή για κάθε ένα από τους βιοφυσικούς δείκτες.
- Εντοπισμός βιοφυσικών διαχρονικών ανωμαλιών και ερμηνεία τους σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον.

Η επεξεργασία των δεδομένων θα υλοποιηθεί με τη χρήση των λογισμικών προγραμμάτων ILWIS, IDRISI και QGIS (ILWIS, 2014; IDRISI, 2012; QGIS 2014).

Απώτερος στόχος είναι η χαρτογράφηση αυτή να αποτελέσει εργαλείο για τους κρατικούς φορείς της Κύπρου, στο περιβαλλοντικό χωροταξικό σχεδιασμό και στην υποστήριξη δραστηριοτήτων.

Κεφάλαιο Δεύτερο

2 ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

2.1 Εισαγωγή

Σε αυτή την ενότητα θα περιγράψουμε, μέσα από ενδελεχή ανασκόπηση της βιβλιογραφίας, τις τεχνικές (Mather, 2004) και μεθοδολογίες (Lillesand et.al., 2008) λήψης βιοφυσικών δεδομένων. Συγκεκριμένα, θα γίνει αναφορά στις βασικές αρχές που διέπουν τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων, στους δορυφόρους και στα καταγραφικά συστήματα και μια ιστορική αναδρομή των εμπορικών δορυφορικών καταγραφικών συστημάτων που είναι σε λειτουργία από τη δεκαετία του 70 έως σήμερα.

Επιπρόσθετα, θα γίνει αναφορά στα βασικά χαρακτηριστικά των πλεγματικών βιοφυσικών παραμέτρων και των διανυσματικών και ψηφιακών χωρικών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή και θα δοθεί το πλαίσιο των εφαρμογών τους, τόσο σε διεθνές όσο και σε τοπικό επίπεδο (Κυπριακή πραγματικότητα), μέσα από παραδειγματικές αναφορές (case studies). Απώτερος στόχος, η ανάδειξη του ρόλου τους στη διαδικασία λήψης αποφάσεων, σχεδιασμού στρατηγικών έγκαιρης πρόληψης και ελέγχου.

Μία άλλη διάσταση της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, αφορά την κατανόηση του τρόπου με τον οποίο θα επιτευχθεί η βιοφυσική χαρτογράφηση και η ερμηνεία των βιοφυσικών ανωμαλιών σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον και θα επιτευχθεί μέσα από την περιγραφή των τεχνικών επεξεργασίας και στατιστικών ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Η ολοκλήρωση και σύνθεση γεωγραφικών διανυσματικών και πλεγματικών δεδομένων για την επεξεργασία υψομετρικών βιοφυσικών δεδομένων σε σχέση με διοικητικές διαιρέσεις, οδικούς άξονες, πολύγωνα καλλιεργειών αποτελεί ένα παράδειγμα των τεχνικών αυτών.

2.2 Ιστορική Αναδρομή

2.2.1 Τηλεπισκόπηση

Η επιστήμη της Τηλεπισκόπησης (Remote Sensing) αποτελεί στις μέρες μας τον πλέον σύγχρονο τρόπο επιστημονικής παρατήρησης του περιβάλλοντος. Με βάση την ετυμολογία της λέξης, Τηλεπισκόπηση είναι η ικανότητα της από μακριά «Τήλε» παρατήρησης «επισκόπησης». Κατά τον Αστάρα (2006) Τηλεπισκόπηση καλείται η τεχνική συλλογής στοιχείων και δεδομένων για τον προσδιορισμό της φύσης και των ιδιοτήτων ενός ή περισσότερων αντικειμένων, από απόσταση (από τον αέρα ή το διάστημα), χωρίς την φυσική επαφή από τα αντικείμενα αυτά.

Ο Mather (2004), δίνει ένα πιο επιστημονικό ορισμό, ορίζοντας την Τηλεπισκόπηση ως την επιστήμη που περιλαμβάνει την άντληση πληροφοριών σχετικά με αντικείμενα της γήινης επιφάνειας, από απεικονίσεις που παρατηρούνται ή καταγράφονται από ειδικά όργανα που

φέρουν διάφορα αερομεταφερόμενα ή δορυφορικά μέσα, τα οποία δεν έχουν φυσική επαφή με τα αντικείμενα, χρησιμοποιώντας μία ή περισσότερες περιοχές του φάσματος της εκπεμπόμενης και ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση, για την παρατήρηση και παρακολούθηση της γης, άρχισε τη δεκαετία του 1960 όταν οι τεχνικές δυνατότητες των δορυφόρων συνδυάστηκαν με την ανάπτυξη των δυνατοτήτων των Η/Υ στη διαχείριση μεγάλου όγκου δεδομένων. Η μείωση του κόστους διαχείρισης και επεξεργασίας των δορυφορικών δεδομένων τις δυο τελευταίες δεκαετίες είχε σαν αποτέλεσμα τη ραγδαία ανάπτυξη της δορυφορικής τηλεπισκόπησης και τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων σε ολοένα και περισσότερους τομείς όπως τη γεωργία, την αρχαιολογία, τη βαθυμετρία, τη χαρτογραφία, την κλιματολογία, τη μετεωρολογία, την ωκεανογραφία, τη δασοκομία, τη γεωλογία, τη γεωμορφολογία κ.α. (Rees, 2013).

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση αποτελεί σημαντικό εργαλείο για πολλούς επιστημονικούς τομείς. Παρέχει σημαντικές πληροφορίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρακολούθηση των καλλιεργειών, των παγετώνων, της ατμοσφαιρικής ρύπανσης ή της διάβρωσης των ακτών. Επίσης, για την παρακολούθηση και την πρόβλεψη καταστροφών, την καταγραφή αλλαγών των καλύψεων χρήσης γης, την αστική χαρτογράφηση, την παρακολούθηση και χαρτογράφηση των υδάτινων πόρων και πληθώρα άλλες εφαρμογές (Rees, 2013).

Η ανάπτυξη των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ) έχει συντελέσει σε σημαντικό βαθμό στη ραγδαία ανάπτυξη και διάδοση της δορυφορικής τηλεπισκόπησης. Τα ΣΓΠ αποτελούν ηλεκτρονικά συστήματα τα οποία συλλέγουν, αποθηκεύουν, ανακτούν, αναλύουν και εκθέτουν πληροφορίες σχετιζόμενες με θέματα του γεωγραφικού χώρου (χωρικά δεδομένα). Τα ΣΓΠ επιτρέπουν την επεξεργασία χωρικών δεδομένων όπως π.χ. αλλαγή κλίμακας και προβολικού συστήματος ή προσδιορισμός της τοπολογίας και διαφόρων αποστάσεων. Επιπρόσθετα επιτρέπουν την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση των δεδομένων καθώς και την σύνθεση χωρικών ερωτημάτων και λήψη αποφάσεων. Τέλος, επιτρέπουν την οπτικοποίηση των δεδομένων (χαρτών, εικόνων, διανυσματικών δεδομένων ανάγλυφου κ.α.). Επιτρέπουν δηλαδή, την διαχείριση πληροφοριών είτε για αντικείμενα στην επιφάνεια της γης είτε για φαινόμενα που έχουν χωρική διάσταση, συνδυάζοντας τις δυνατότητες μιας παραδοσιακής βάσης δεδομένων και ενός σχεδιαστικού περιβάλλοντος (Maguire, Goodchild and Rhinds, 1991).

Η επεξεργασία και ανάλυση των ψηφιακών δορυφορικών δεδομένων μέσα από τη χρήση των ΣΓΠ συμβάλλει στη γρήγορη αναπαραγωγή χαρτών διαφορετικής κλίμακας και τύπου, καθιστά εύκολη την ενσωμάτωση και τη χρήση τοπογραφικών και άλλων θεματικών πληροφοριών και δίνει τη δυνατότητα δυναμικής επεξεργασίας των δεδομένων. Η διαχρονική παρακολούθηση μέσω των συστημάτων αυτών, των μεταβολών που υφίσταται το περιβάλλον, τα καθιστά ένα πολύ σημαντικό εργαλείο στη διαχείριση του περιβάλλοντος αφού προσφέρουν σημαντικά πλεονεκτήματα στον καθορισμό των μελλοντικών δράσεων (Benz et al., 2004).

Η δορυφορική τηλεπισκόπηση πλεονεκτεί έναντι των παραδοσιακών μεθόδων συλλογής δεδομένων καθώς επιτρέπει την παρακολούθηση δύσβατων περιοχών και μεγάλων εκτάσεων σε μικρό χρονικό διάστημα. Επιπρόσθετα δίνει τη δυνατότητα διαχρονικών απεικονίσεων με σταθερή επαναληψιμότητα για μεγάλα χρονικά διαστήματα. Τέλος ένα ακόμη πλεονέκτημα αποτελεί η δυνατότητα απεικόνισης σε πολλές διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Με αυτό το τρόπο επιτυγχάνεται η ανίχνευση διαφορών μεταξύ βιοφυσικών

ιδιοτήτων των στοιχείων, οι οποίες δεν είναι δυνατόν να γίνουν αντιληπτές με την ανάλυση μόνο μίας φασματικής ζώνης (Turner et al., 2003).

2.2.2 Αισθητήρες/Σαρωτές

Η παρατήρηση της επιφάνειας της γης με τη δορυφορική τηλεπισκόπηση σύμφωνα με τους Gupta (2003), Mather (2004) και Lillesand et.al. (2008), είναι δυνατή με τη χρήση ψηφιακών σαρωτών (τηλεπισκοπικών ανιχνευτών/αισθητήρων) που ανιχνεύουν την ανάκλαση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας της γήινης επιφάνειας και την αποδίδουν ως ψηφιακή εικόνα. Οι σαρωτές/αισθητήρες αποτελούν ένα πολύ σημαντικό όργανο τηλεπισκόπησης. Χρησιμοποιούνται τόσο στο έδαφος, όσο και σε αεροσκάφη και δορυφόρους. Σε κάθε σαρωτή, οι ανιχνευτές είναι σχεδιασμένοι να λαμβάνουν ακτινοβολία σε ειδικά κανάλια. Ο αριθμός των καναλιών, το τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος που το καθένα από αυτά καλύπτει, καθώς και το εύρος λειτουργίας του, ποικίλουν από αισθητήρα σε αισθητήρα με αποτέλεσμα να έχουμε διαφορετικά χαρακτηριστικά στην φασματική ανάλυση. Αυτοί οι συνδυασμοί χαρακτηριστικών καθορίζουν και σε ποιες εφαρμογές είναι κατάλληλος ο κάθε αισθητήρας (Gupta, 2003; Mather 2004).

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των αισθητήρων αυτών, σύμφωνα με τους Gupta (2003), Mather (2004) και Lillesand et.al. (2008), αποτελεί η διακριτική ικανότητα τους, η λεπτομέρεια δηλαδή της πληροφορίας που παρέχεται. Διακρίνεται δε, σε χωρική, φασματική, ραδιομετρική και χρονική διακριτική ικανότητα.

- Η χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution) καθορίζει την ελάχιστη επιφάνεια του εδάφους για την οποία μπορεί να γίνει η παρατήρηση, δηλαδή το ελάχιστο δυνατό μέγεθος αντικειμένου που μπορεί να διακριθεί. Στις ψηφιακές απεικονίσεις ορίζεται σαν το μέγεθος του εικονοστοιχείου (pixel) στο έδαφος και μετράται συνήθως σε μέτρα.
- Η φασματική διακριτική ικανότητα (spectral resolution) ενός καταγραφικού συστήματος αναφέρεται στον τρόπο με τον οποίο καταγράφεται η ανακλώμενη ακτινοβολία-ενέργεια (σε ποια κανάλια-ζώνες). Το ποιες περιοχές του φάσματος θα καταγραφούν και το εύρος τους έχει σχέση με τις εφαρμογές για τις οποίες έχει σχεδιαστεί το συγκεκριμένο καταγραφικό σύστημα. Όσο πιο πολλές και πιο στενές είναι οι ζώνες, με τόσο πιο μεγάλη ακρίβεια καταγράφεται η καμπύλη φασματικής απόκρισης και τόσο μεγαλύτερη είναι η φασματική διακριτική ικανότητα του συστήματος.
- Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα (αριθμός διαβαθμίσεων του γκρίζου), αναφέρεται στον αριθμό των διαβαθμίσεων που χρησιμοποιούνται για την ψηφιοποίηση της έντασης της ακτινοβολίας. Δηλαδή, κάθε ψηφιακό καταγραφικό σύστημα καταγράφει ένα ελάχιστο (H_{min}) και ένα μέγιστο (H_{max}) ποσό ενέργειας σε ένα φασματικό κανάλι. Η διαφορά $H_{max}-H_{min}$ τυποποιείται σε ένα ακέραιο αριθμό διαβαθμίσεων από 0 έως μια τιμή B , όπου B η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα. Είναι σαφές ότι για μεγαλύτερη τιμή του B τότε στο ίδιο εύρος διακύμανσης της ενέργειας ($H_{max}-H_{min}$) η καταγραφή-διαφοροποίηση της προσλαμβανόμενης ενέργειας γίνεται με πιο λεπτομερή τρόπο. Η ραδιομετρική διακριτική ικανότητα έχει άμεση σχέση με το ελάχιστο ποσοστό ενέργειας που απαιτείται να προσληφθεί στο καταγραφικό σύστημα για να μεταβληθεί η διαβάθμιση του γκρίζου με την οποία θα αναπαρασταθεί στην οθόνη. Μετράτε σε bit για τις ψηφιακές απεικονίσεις και

συνήθως το εύρος αυτών των τιμών κυμαίνεται στα 8-14 bit. Για παράδειγμα, μια εικόνα 8 bit μπορεί να περιλαμβάνει σε ένα της κανάλι 256 (2^8) διαβαθμίσεις έντασης, που όταν αναπαρασταθούν σε μια οθόνη μπορούν να αποδοθούν σε 256 διαφορετικούς τόνους του γκρι.

- Η χρονική διακριτική ικανότητα (temporal resolution), αναφέρεται στη χρονική περίοδο στην οποία επαναλαμβάνεται η μέτρηση πάνω από την ίδια περιοχή μελέτης.

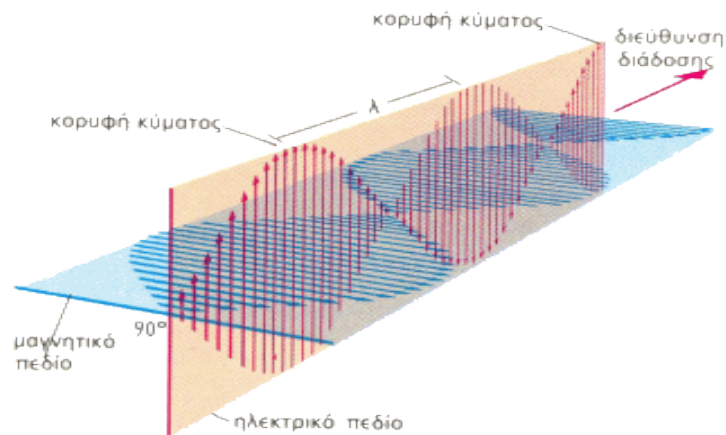
2.2.3 Αρχές Λειτουργίας Τηλεπισκοπικών Αισθητήρων

Στην ενότητα αυτή θα περιγραφούν οι σημαντικότερες αρχές που διέπουν την λειτουργία των δορυφορικών αισθητήρων σύμφωνα με τους Gupta (2003), Mather (2004), Lillesand et.al. (2008) και Rees (2013).

2.2.3.1 Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία

Σημαντική αρχή που διέπει τη χρήση των τηλεσκοπικών δεδομένων είναι η αρχή ότι τα διάφορα αντικείμενα της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας αντανακλούν, απορροφούν, μεταδίδουν ή εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία (Gupta, 2003; Mather, 2004; Rees, 2013).

Ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζεται η μετάδοση της ενέργειας μέσω των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι ταλαντώσεις του ηλεκτρικού και μαγνητικού πεδίου που μεταδίδονται στο χώρο με την ταχύτητα του φωτός. Τα δύο αυτά πεδία είναι κάθετα μεταξύ τους και ως προς τη διεύθυνση διάδοσης του κύματος (Gupta, 2003; Mather, 2004; Rees, 2013)



Εικόνα 2.2.3.1.1: Ηλεκτρομαγνητικό Κύμα
http://www.hlektronika.gr/theory/images/spectrum_3.gif

Η χωρική απόσταση σύμφωνα πάντα με τις ίδιες πηγές, ανάμεσα σε δύο μέγιστα ή δύο ελάχιστα για τα δύο πεδία που βρίσκονται σε συμφωνία φάσης σε ένα επίπεδο κύματος, ονομάζεται μήκος κύματος λ , μετράτε σε m και δίνεται από τον τύπο

$$\lambda = \frac{c}{f}, \text{ όπου}$$

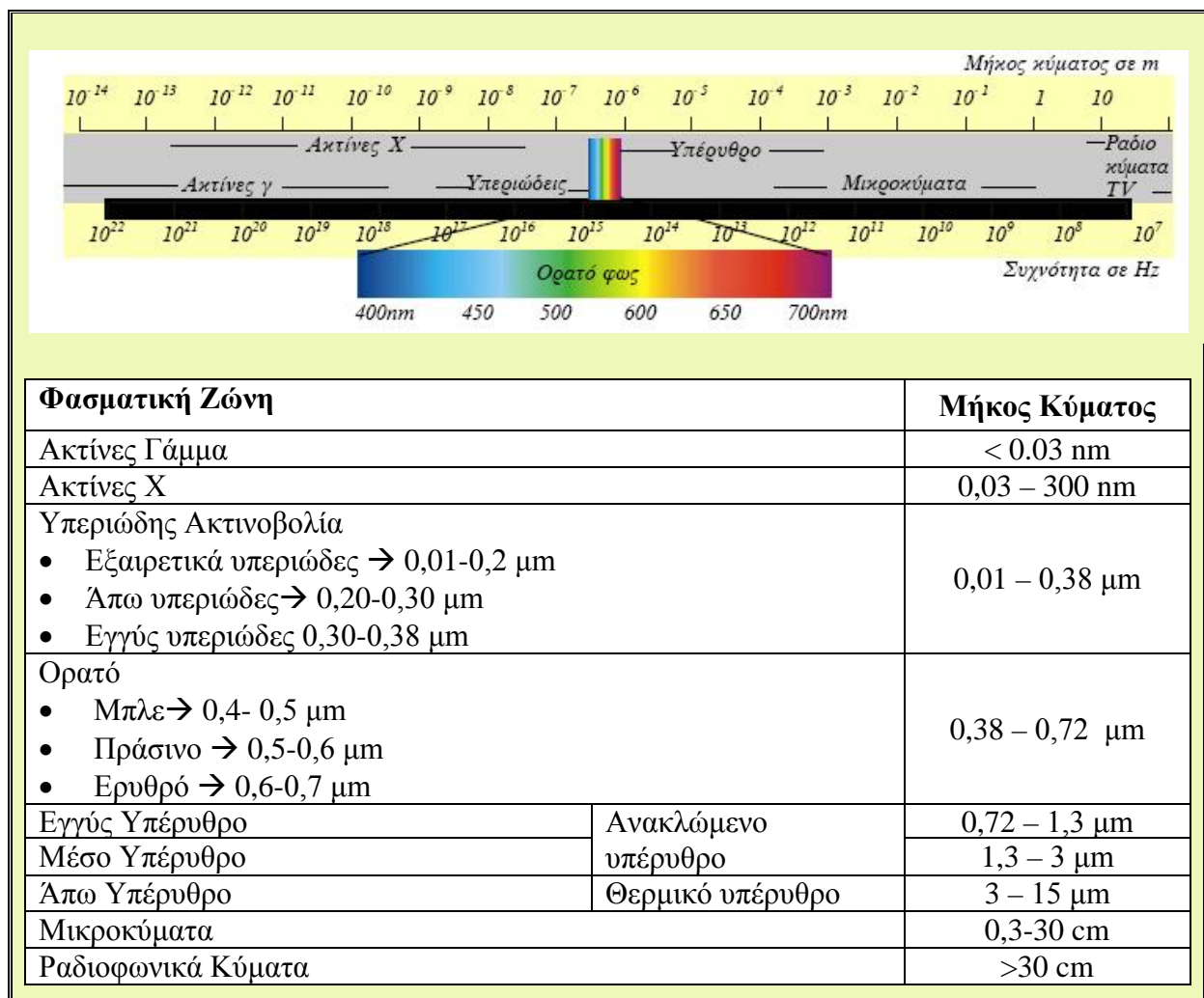
c: ταχύτητα του φωτός στο κενό, $3 \cdot 10^8$ m/sec

f: η συχνότητα σε Hz

2.2.3.2 Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα

Το Ηλεκτρομαγνητικό Φάσμα είναι η ταξινόμηση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σύμφωνα με το μήκος κύματος (Gupta, 2003; Mather, 2004). Ένα τμήμα του φάσματος δημιουργείται από την ηλιακή ακτινοβολία η οποία αφού διέλθει από την ατμόσφαιρα προσπίπτει στην επιφάνεια της γης, ανακλάται και καταγράφεται στο δέκτη, ενώ ένα άλλο τμήμα της ακτινοβολίας (θερμική) απορροφάται από την γη και επανεκπέμπεται σε μεγαλύτερα μήκη κύματος (Gupta, 2003; Rees, 2013).

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα διακρίνεται σε ζώνες που παρουσιάζουν παρόμοια χαρακτηριστικά. Κάθε φασματική ζώνη (πχ ορατό) περιέχει μία σειρά υποδιαιρέσεων (πχ μπλε, πράσινο, κόκκινο) (Gupta, 2003). Οι υποδιαιρέσεις του φάσματος παρουσιάζονται στο Σχήμα. 2.2.3.2.1 και ορίζονται μάλλον αυθαίρετα ενώ στην πραγματικότητα η μετάβαση από ζώνη σε ζώνη είναι βαθμιαία (Gupta, 2003; Mather, 2004).



Σχήμα 2.2.3.2.1: Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος

(http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSGL-C107/144/1031,3722/images/img1_54.jpg)

Το Ορατό Φάσμα σύμφωνα με τους Gupta (2003) και Mather (2004) διαιρείται στα τρία βασικά χρώματα που ονομάζονται πρωτεύοντα αθροιστικά χρώματα, καθώς κανένα από αυτά δεν μπορεί να αναπαραχθεί από την σύνθεση άλλων χρωμάτων. Εκτείνονται προσεγγιστικά από 0,4-0,5 μm (μπλε), 0,5-0,6 μm (πράσινο) και 0,6-0,7 μm (κόκκινο). Όλα τα υπόλοιπα

χρώματα μπορούν να αναπαραχθούν από την σύνθεση των τριών πρωτευόντων χρωμάτων. Το χρώμα ενός αντικειμένου προκύπτει σαν συνάρτηση του μήκους κύματος του φωτός που ανακλά, αφού έχει απορροφήσει άλλα μήκη κύματος (Mather, 2004). Για παράδειγμα, ένα σώμα εμφανίζεται κόκκινο επειδή απορροφά την μπλε και την πράσινη ακτινοβολία.

Η *Υπέρυθρος Ακτινοβολία* περιλαμβάνει την εγγύς και μέση υπέρυθρη ακτινοβολία στα διαστήματα (0,7–1,3 μm) και (1,3–3,0 μm) αντίστοιχα. Οι ζώνες αυτές αντιστοιχούν στην ακτινοβολία που εκπέμπεται από τον ήλιο και ανακλάται στην επιφάνεια της γης (ανακλώμενο υπέρυθρο). Επιπρόσθετα συμπεριλαμβάνει και την άπω υπέρυθρη ζώνη στο διάστημα με μήκος κύματος (3 – 14 μm). Το τμήμα αυτό αντιπροσωπεύει την ακτινοβολία που επανεκπέμπεται από την γη και ουσιαστικά αποτελεί θερμική ενέργεια, γι' αυτό το λόγο ονομάζεται και θερμικό υπέρυθρο (Gupta, 2003; Mather, 2004; Rees 2013).

Στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα επομένως το ορατό, το εγγύς και μέσο υπέρυθρο καταγράφουν ανακλώμενη ακτινοβολία από τον ήλιο, ενώ το άπω υπέρυθρο ή αλλιώς θερμικό υπέρυθρο καταγράφει εκπεμπόμενη ακτινοβολία από την επιφάνεια της γης και τα αντικείμενα (Gupta, 2003; Mather, 2004). Η θερμική δηλαδή ακτινοβολία μεγάλου μήκους κύματος προέρχεται από τη θερμοκρασία ενός αντικειμένου. Η ακτινοβολία που εκπέμπει ο ήλιος σε αυτό το μήκος κύματος απορροφάται στο διάστημα και δεν φτάνει στη Γη. Χρησιμοποιώντας αυτή την ιδιότητα μπορούμε να καταγράψουμε τη θερμοκρασία στην επιφάνεια της Γης (Rees, 2013).

Κατά την αλληλεπίδραση της ακτινοβολίας με την ύλη (στερεή, υγρή ή αέρια) ένα κλάσμα της απορροφάται, ένα κλάσμα της ανακλάται και η υπόλοιπη διαπερνά το σώμα (Mather, 2004, Lillesand et.al., 2008). Όλα τα υλικά με θερμοκρασία μεγαλύτερη του μηδενός (0 - 273⁰ C) εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία λόγω της θερμικής κίνησης των μορίων τους (Gupta, 2003, Mather, 2004). Το φυσικό πλαίσιο με το οποίο γίνεται η καταγραφή της ακτινοβολίας στο θερμικό υπέρυθρο και του τρόπου με τον οποίο αυτή μετατρέπεται σε θερμοκρασία περιγράφεται αναλυτικά με τη θεωρία του μέλανος σώματος και του Νόμου του Max Planck (Rees, 2013).

2.2.3.3 Μέλαν Σώμα

Ως μέλαν σώμα έχει οριστεί ένα υποθετικό σώμα που συμπεριφέρεται ως ιδανική πηγή ενέργειας. Το υποθετικό αυτό σώμα απορροφά όλη την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προσπίπτει πάνω του και χωρίς να ανακλά ή να διαχέει την προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, εκπέμπει ακτινοβολία ακριβώς ίση με αυτή που απορροφά (Mather, 2004; Rees, 2013).

Σύμφωνα με το νόμο του Kirchhoff, ο λόγος της εκπεμπόμενης προς την απορροφούμενη ακτινοβολία για κάθε μέλαν σώμα, στην ίδια θερμοκρασία είναι ίδιος και ισούται με τη μονάδα (Gupta, 2003; Mather, 2004; Rees, 2013).

Ο νόμος αυτός εισάγει την έννοια του συντελεστή εκπομπής (emissivity, ϵ_λ), ο οποίος έχει σχέση με την ακτινοβολία που εκπέμπει ένα σώμα ανάλογα με τη σύσταση του. Ως συντελεστής εκπομπής $\epsilon_\lambda(T)$ ενός πραγματικού σώματος, για συγκεκριμένο μήκος κύματος λ (σε μm) και θερμοκρασία T (σε K), ορίζεται ο λόγος της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας του σώματος $R_\lambda(T)$ προς την εκπεμπόμενη ακτινοβολία του μέλανος σώματος στην ίδια θερμοκρασία $W_\lambda(T)$ και θα είναι πάντοτε μικρότερος της μονάδας (Li et al, 2013).

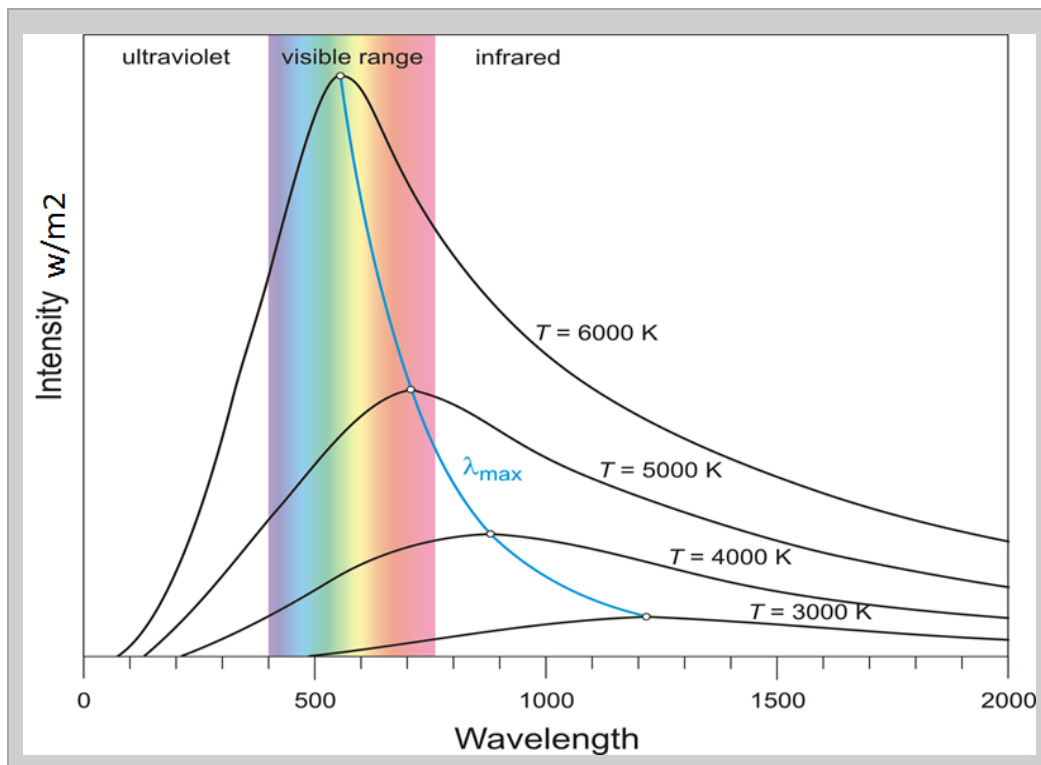
$$\varepsilon_{\lambda}(T) = \frac{R_{\lambda}(T)}{W_{\lambda}(T)}$$

Η εκπεμπόμενη ακτινοβολία μέλανος σώματος W_{λ} , υπολογίζεται από το Νόμο του Planck, ο οποίος καθορίζει τη σχέση μεταξύ της θερμοκρασίας που έχει ένα αντικείμενο και της υπέρυθρης ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος που εκπέμπει, με τον ακόλουθο τύπο (Rees, 2013):

$$W_{\lambda}(T) = \frac{2 * \pi * h * c^2}{\lambda^5 (\varepsilon^{hc / \lambda kT} - 1)} * 10^{-6} \quad \text{όπου}$$

- W_{λ} : ακτινοβολία μέλανος σώματος για μήκος κύματος λ (W/m^2)
- h : σταθερά Planck ($6,626 * 10^{-34} J*s$)
- c : ταχύτητα του φωτός στο κενό ($2,998 * 10^8 m/s$)
- k : σταθερά Boltzmann ($1,381 * 10^{-23} J/K$)
- T : απόλυτη θερμοκρασία σε Kelvin
- λ : μήκος κύματος σε m
- ε : συντελεστής εκπομπής

Η απεικόνιση του μαθηματικού τύπου του Planck σε διάγραμμα για διάφορες θερμοκρασίες παράγει σύμφωνα με τους Gupta (2003) και Rees (2013) είναι μια οικογένεια καμπυλών οι οποίες δεν τέμνονται. Η ένταση της ακτινοβολίας τους αυξάνεται με την αύξηση της θερμοκρασίας και μετατοπίζεται προς μικρότερα μήκη κύματος (Εικόνα 2.2.3.3.1).



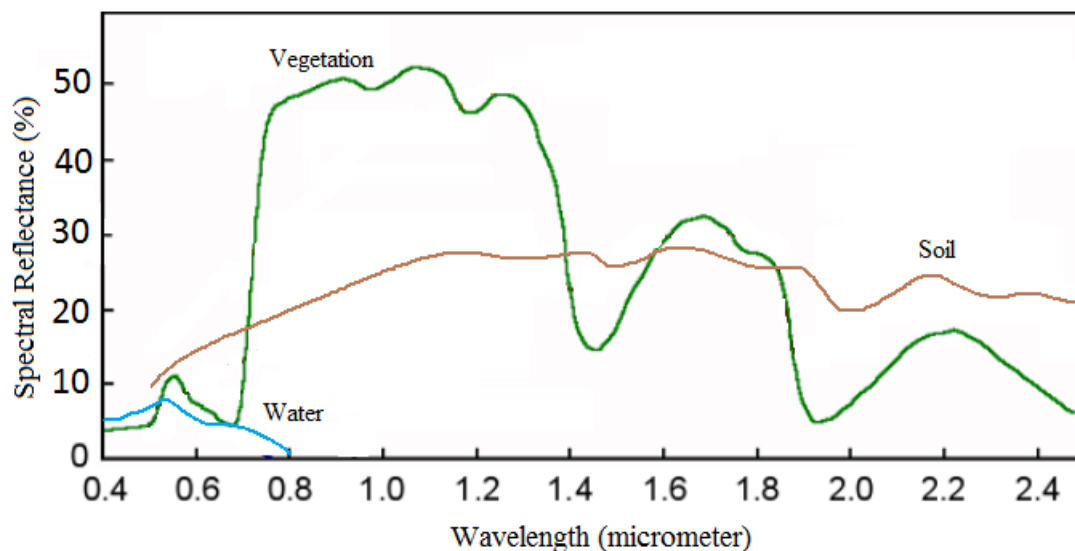
Εικόνα 2.2.3.3.1: Η κατανομή της έντασης φασματικής ακτινοβολίας μέλανος σώματος ως προς το μήκος κύματος, σύμφωνα με το Νόμο του Planck.

http://www.periodni.com/gallery/blackbody_radiation.png

2.2.3.4 Φασματική Υπογραφή

Τα φυσικά χαρακτηριστικά και η σύσταση κάθε αντικειμένου επηρεάζουν το ποσό της ακτινοβολίας που ανακλάται στα διάφορα μήκη κύματος με το δικό τους τρόπο. Κάθε υλικό παρουσιάζει ξεχωριστή κατανομή ανακλώμενης ή εκπεμπόμενης ακτινοβολίας σε σχέση με το μήκος κύματος λ (φασματική απόκριση). Η καμπύλη φασματικής απόκρισης δηλαδή η καταγραφή της εκπεμπόμενης ακτινοβολίας ως προς το μήκος κύματος ονομάζεται *φασματική υπογραφή* του αντικειμένου και είναι μοναδική για κάθε υλικό (Mather, 2004; Lillesand et.al., 2008).

Η μελέτη της φασματικής υπογραφής ενός αντικειμένου μας επιτρέπει να επιλέξουμε τα τμήματα του φάσματος στα οποία είναι ευκολότερη η διάκριση ενός αντικειμένου από το περιβάλλον (Gupta, 2003; Mather, 2004). Για παράδειγμα στο Σχήμα 2.2.3.4.1, η βλάστηση θα φαίνεται φωτεινότερη από το έδαφος στα κανάλια που καταγράφουν σε μήκη κύματος 0,8-0,9 μm , ενώ για κανάλια που καταγράφουν σε μήκη κύματος 2,1-2,3 μm θα συμβαίνει το αντίθετο.



Σχήμα 2.2.3.4.1: Φασματικές υπογραφές νερού (μπλέ), βλάστησης (πράσινο) κι εδάφους (καφέ). (<http://www.pal-sis.com/images/signatures.png>)

2.2.3.5 Φασματικά Παράθυρα

Κατά τη διέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας στη γήινη επιφάνεια και την καταγραφή της από τους τηλεσκοπικούς αισθητήρες η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διέρχεται δύο φορές μέσα από την ατμόσφαιρα της γης. Κατά το πέρασμα αυτό η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υφίσταται μεταβολές από τις επιδράσεις τόσο των αιωρούμενων σωματιδίων όσο και των μορίων διαφόρων αερίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα (Mather, 2004).

Η επίδραση της ατμόσφαιρας ταξινομείται σε δύο κατηγορίες την σκέδαση και την απορρόφηση (Gupta, 2003; Mather, 2004; Lillesand et.al., 2008).

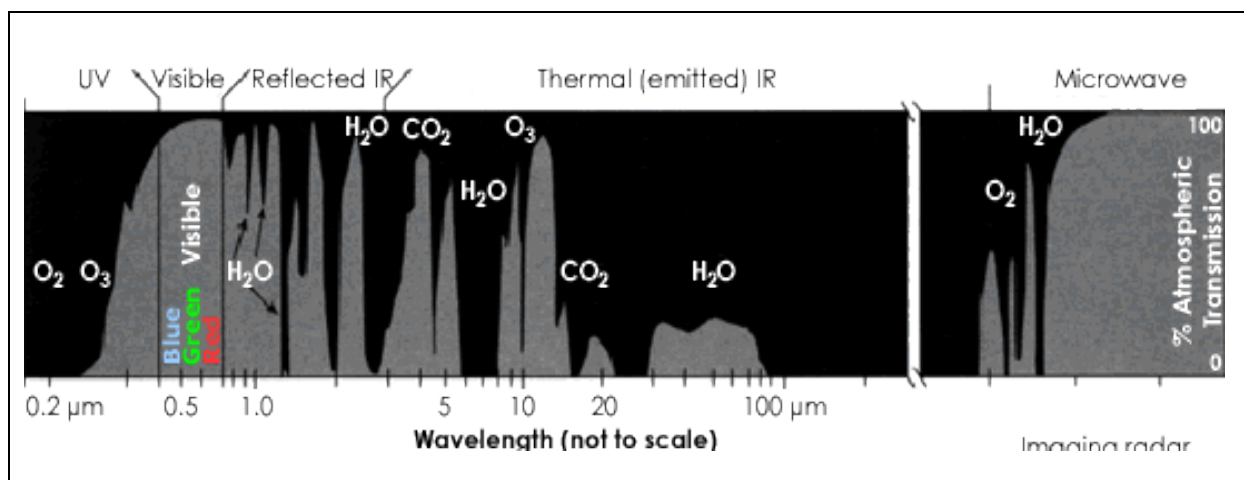
Σκέδαση σύμφωνα πάντα με τις ίδιες πηγές, είναι η αλλαγή κατεύθυνσης διάδοσης της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας από σωματίδια ή μεγάλα μόρια αερίων που αιωρούνται στην ατμόσφαιρα. Το ποσοστό της σκέδασης εξαρτάται από το μέγεθος των σωματιδίων, το

μήκος κύματος της ακτινοβολίας και από το πάχος της ατμόσφαιρας από το οποίο διέρχεται η ακτινοβολία.

Στην απορρόφηση σε αντίθεση με τη σκέδαση, τα διάφορα μόρια αερίων της ατμόσφαιρας προκαλούν μείωση της ενέργειας της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Το όζον O_3 , το οξυγόνο O_2 , το διοξείδιο του άνθρακα CO_2 και η υγρασία του ατμοσφαιρικού αέρα H_2O , αποτελούν τα κύρια ατμοσφαιρικά συστατικά που απορροφούν την ακτινοβολούμενη ενέργεια (Gupta, 2003; Mather, 2004).

Λόγω λοιπόν αυτών των φαινομένων, η ατμόσφαιρα επιτρέπει επιλεκτικά τη διάδοση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας σε συγκεκριμένα μήκη κύματος. Η καταγραφή δηλαδή, της ακτινοβολίας διεξάγεται σε ένα υποσύνολο του φάσματος το οποίο δεν είναι συνεχές αλλά αποτελείται από διακοπτόμενα τμήματα τα οποία ονομάζονται «ατμοσφαιρικά παράθυρα». Στο υποσύνολο αυτό η ατμόσφαιρα επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας (Gupta, 2003; Mather, 2004; Lillesand et.al., 2008).

Στο Σχήμα 2.2.3.5.1 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η διάδοση και απορρόφηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι γκρι ζώνες αποτελούν τα «ατμοσφαιρικά παράθυρα», τις περιοχές δηλαδή όπου η ακτινοβολία δεν επιδρά με τα μόρια της ατμόσφαιρας και επιτρέπει τη διέλευση της ηλιακής ακτινοβολίας χωρίς να εμφανίζονται φαινόμενα απορρόφησης. Με μαύρο αντίστοιχα, απεικονίζονται οι ζώνες που επιτρέπουν την ελάχιστη διέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας.



Σχήμα 2.2.3.5.1: Δίοδοι ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα

(<http://earthobservatory.nasa.gov/Features/RemoteSensingAtmosphere/Images/windows.gif>)

Σύμφωνα με το Σχήμα 2.2.3.5.1, δύο μεγάλα ατμοσφαιρικά παράθυρα αντιστοιχούν στη περιοχή του ορατού και εγγύς υπέρυθρου ($0,4 \mu\text{m} - 1,3 \mu\text{m}$) και στην μικροκυμματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (1cm και πάνω).

Η απορρόφηση από την άλλη κυριαρχεί στο υπέρυθρο τμήμα ($1 \text{έως } 20 \mu\text{m}$). Συγκεκριμένα οι ακτίνες Γ και Χ απορροφούνται από μόρια οξυγόνου O_2 , η υπεριώδη από μόρια οξυγόνου O_2 και όζοντος O_3 και η υπέρυθρη ακτινοβολία από μόρια διοξειδίου του άνθρακα CO_2 και υδρατμούς H_2O .

Τα ατμοσφαιρικά παράθυρα καθορίζουν τα μήκη κύματος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τηλεπισκόπηση. Οι αισθητήρες καταγράφουν σε διάφορα κανάλια ηλεκτρομαγνητικού κύματος, η σύγκριση επομένως της κατανομής των καναλιών τους με τα ατμοσφαιρικά παράθυρα κρίνουν την καταλληλότητα του κάθε αισθητήρα (Gupta, 2003; Mather, 2004).

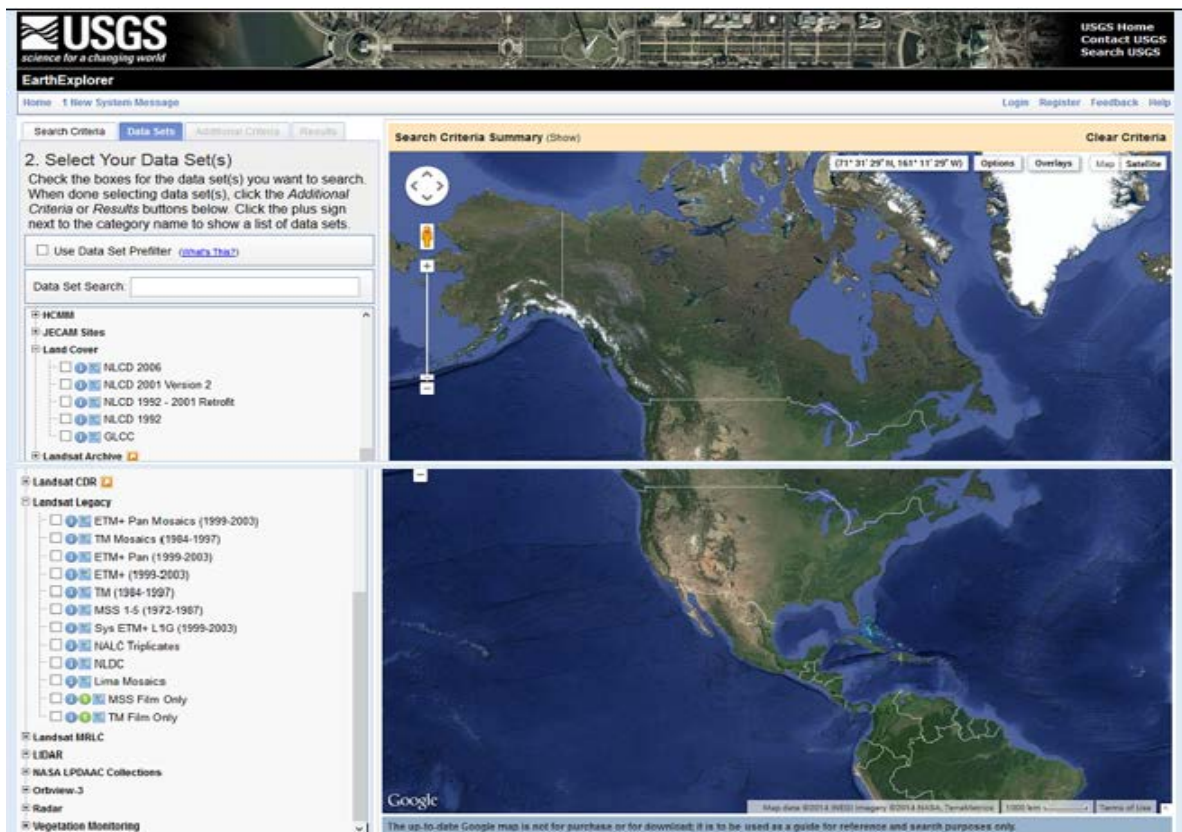
2.2.4 Καταγραφικά Συστήματα- Δορυφόροι

Για να καταγραφούν οι καλύψεις Γης, οι βιοφυσικές παράμετροι, ο δείκτης βλάστησης κ.α. χρησιμοποιούνται δορυφορικά καταγραφικά συστήματα. Το πλέον διαδεδομένο από πλευράς εφαρμογών και διαχρονικής κάλυψης της γήινης επιφάνειας είναι το σύστημα Thematic Mapper που είναι σε τροχιά στη σειρά των δορυφόρων Landsat (Loveland and Dwyer, 2012).

Οι βιοφυσικές καταγραφές τηλεπισκόπησης ξεκίνησαν ταυτόχρονα με την εκτόξευση του πρώτου εμπορικού δορυφόρου στις 23/7/1972 με το όνομα Landsat 1, ο οποίος χαρτογραφούσε σε περιοδική βάση τις καλύψεις γης στην επιφάνεια της γης και προσδιόριζε δείκτες βλάστησης. Η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι ανάγκες θερμικής καταγραφής της επιφάνειας της Γης σε περιοδική βάση οδήγησε στον εξοπλισμό του δορυφόρου Landsat 4 (εκτόξευση στις 16/07/1982) με θερμικό κανάλι (Williams, Goward & Arvidson, 2006).

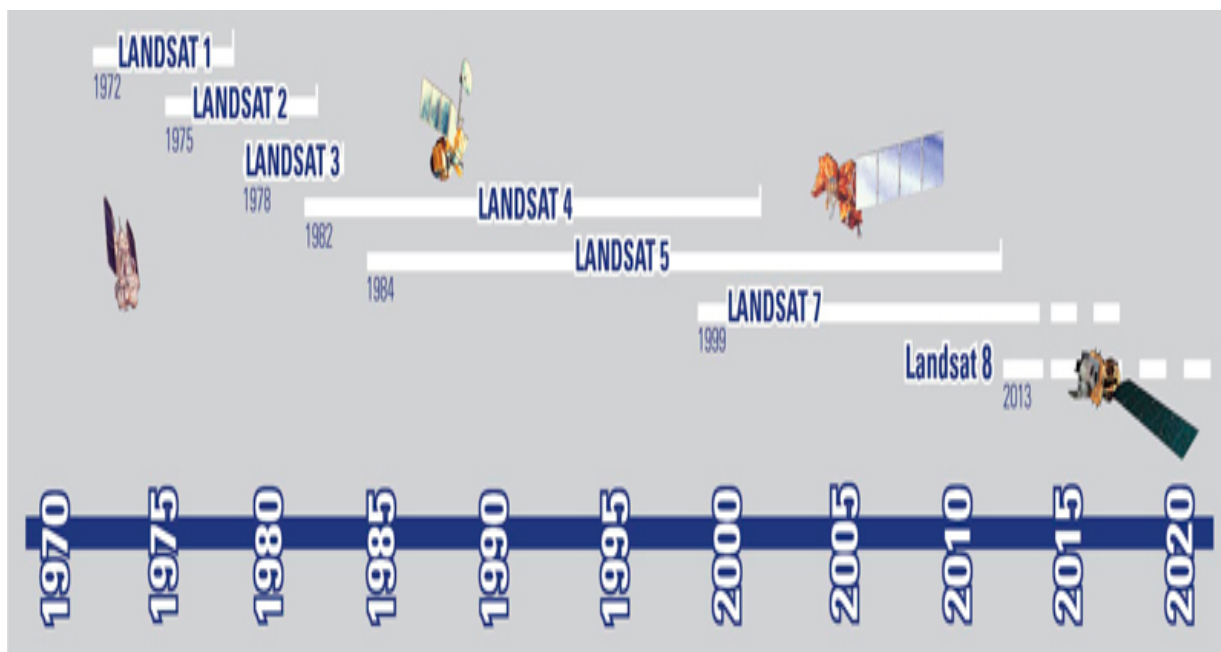
Με αυτό τον τρόπο και για πρώτη φορά είχαμε θερμικές εικόνες της επιφάνειας της Γης οι οποίες μας έδωσαν τη δυνατότητα παρατήρησης εποχικών μεταβολών της θερμοκρασίας στην ξηρά και σε υδάτινες μάζες (Jiang and Tian, 2010; Anderson et al., 2012), εντοπισμού θερμικής ρύπανσης και θερμικών νησίδων σε αστικό χώρο (Li, Zhang and Kainz, 2012), προσδιορισμού γεωθερμικών πεδίων και ηφαιστειακής δραστηριότητας (Quin et. al., 2011; Lagios et al., 2007), παρακολούθησης των παγετώνων (Paul and Andreassen, 2009) κ.λ.π.

Οι δορυφόροι Landsat επέτρεψαν τη σύνθεση των πρώτων ενιαίων φωτομωσαϊκών για όλη την επιφάνεια της Γης (Tucker, Grant & Dykstra, 2004). Τα φωτομωσαϊκά αυτά διατίθεται ελεύθερα από τον ιστότοπο της Αμερικανικής Γεωλογικής Επισκόπησης (USGS) (Εικόνα 2.2.4.1), μέσω της μηχανής αναζήτησης του Earth Explorer, στην ηλεκτρονική διεύθυνση <http://earthexplorer.usgs.gov>.



Εικόνα 2.2.4.1: Μηχανή αναζήτησης Earth Explorer

Μέχρι σήμερα εκτοξεύτηκαν 8 δορυφόροι της σειράς Landsat (Εικόνα 2.2.4.2) εκ των οποίων οι Landsat 1, 2 και 3 έπαψαν να στέλνουν ψηφιακές τηλεσκοπικές απεικονίσεις στη Γη το 1978, 1982 και 1983 αντίστοιχα, ενώ ο Landsat 6 δεν τέθηκε σε τροχιά λόγω αποτυχημένης εκτόξευσης (Loveland and Dwyer, 2012).



Εικόνα 2.2.4.2: Χρονοσειρά εκτόξευσης των δορυφόρων Landsat
<http://landsat.usgs.gov/images/squares/timeline.jpg>

Η χωρική ανάλυση των δορυφόρων αυτών ξεκίνησε στα 80m (Landsat 1 και 2), βελτιώθηκε στα 30m, πλην του θερμικού καναλιού 120m στους Landsat 3, 4, 5. Βελτιώθηκε ακόμα περισσότερο στις σειρές Landsat 6, 7 και 8 με την προσθήκη ενός παγχρωματικού καναλιού χωρικής ανάλυσης 15m και ταυτόχρονη βελτίωση της χωρικής ανάλυσης του θερμικού καναλιού, από 120m σε 60m (Loveland and Dwyer, 2012). Αναλυτικά τα χαρακτηριστικά της σειράς των δορυφόρων αυτών και των αισθητήρων τους δίνονται στον Πίνακα 2.2.4.1.

Όπως φαίνεται στον ίδιο πίνακα, η φασματική διακριτική ικανότητα της σειράς των δορυφόρων Landsat ξεκίνησε με τρία φασματικά κανάλια στο ορατό, και τέσσερα κανάλια (2 στο ορατό και 2 στο εγγύς υπέρυθρο) του πολυφασματικού σαρωτή (MSS). Βελτιώθηκε στους Landsat 4 και 5 με την προσθήκη ακόμα 7 καναλιών (3 στο ορατό, 1 στο εγγύς υπέρυθρο, 2 στο μέσο υπέρυθρο και 1 στο θερμικό) του θεματικού χαρτογράφου (MP) πέραν του πολυφασματικού. Στο Landsat 7 μειώθηκε στα 8 φασματικά κανάλια (7 κανάλια του θεματικού χαρτογράφου και ένα παγχρωματικό) του Ενισχυμένου Θεματικού Χαρτογράφου (ETM+), για να βελτιωθεί στο Landsat 8 με την προσθήκη επιπρόσθετα ενός καναλιού στο ορατό και το θερμικό αντίστοιχα.

Πίνακας 2.2.4.1: Χαρακτηριστικά των δορυφόρων Landsat 1-8 (Loveland and Dwyer, 2012)

Αισθητήρες	Δορυφόροι	Φασματική Διακριτική Ικανότητα (μm)	Χωρική Διακριτική Ικανότητα (m)
Return Beam Vidicon (RVB)	Landsat 1, 2,3	0,46 - 0,58 0,58 - 0,68 0,69 - 0,83	80
Multi Spectral Scanner (MSS) Πολυφασματικός Σαρωτής	Landsat 1, 2,3,4 και 5	0,50 - 0,60 0,60 - 0,70 0,70 - 0,80 0,80 - 1,10 10,40 - 12,60 ¹	57 X 79
Thematic Mapper (TM) Θεματικός Χαρτογράφος	Landsat 4 και 5	0,45 - 0,52 0,52 - 0,60 0,63 - 0,69 0,76 - 0,90 1,55 - 1,75 2,08 - 2,35 10,40 - 12,50	30 Ορατό, Εγγύς Υπέρυθρο, Μέσο Υπέρυθρο 120 Θερμικό
Enhanced Thematic Mapper (ETM+) Ενισχυμένος Θεματικός Χαρτογράφος	Landsat 7	0,45 - 0,52 0,52 - 0,60 0,63 - 0,69 0,77 - 0,90 1,55 - 1,75 2,08 - 2,35 10,40 - 12,50 0,52 - 0,90 PAN	30 Ορατό, Εγγύς Υπέρυθρο, Μέσο Υπέρυθρο 60 Θερμικό 15 Παγχρωματικό (PAN)
Operational Land Imager (OLI)	LDCM (Landsat 8)	0,43 - 0,45 0,45 - 0, 52 0,53 - 0,60 0,63 - 0,68 0,85 - 0,89 1,56 - 1,66 2,10 - 2,30 1,36 - 1,39 0,52 - 0,90 PAN	30 Ορατό, Εγγύς Υπέρυθρο, Μέσο Υπέρυθρο 15 Παγχρωματικό (PAN)
Thermal Infrared Sensor (TIRS)	LDCM (Landsat 8)	10, 30 - 11, 30 11, 50 - 12, 50	100
Κύκλος Τροχιάς: 18 ημέρες για Landsat 1,2,3 και 16 ημέρες για Landsat 4,5,7,8 Ύψος: 900 km για Landsat 1, 2, 3 και 705 km για Landsat 4,5,7,8			
¹ Θερμικό κανάλι του Landsat 3			

Το μεγαλύτερο πρόβλημα σε σχέση με τις βιοφυσικές εφαρμογές των δορυφόρων Landsat είναι η μικρή χρονική διακριτική ικανότητα των 16 ημερών (18 στους Landsat 1, 2, 3), η οποία επιτρέπει τη συστηματική παρακολούθηση συγκεκριμένων περιοχών της επιφάνειας της Γης μόνο 23 φορές κατά τη διάρκεια ενός έτους (Loveland and Dwyer, 2012).

Μία καινούργια γενιά δορυφόρων με πολύ υψηλή χρονική διακριτική ικανότητα, η σειρά των δορυφόρων AQUA και TERRA τέθηκαν σε λειτουργία το 2000 (MODIS Web, 2013).

Ο δορυφόρος Terra (EOS AM-1) είναι ένας ερευνητικός πολυεθνικός δορυφόρος της NASA, προϊόν συνεργασίας των Ηνωμένων Πολιτειών, της Ιαπωνίας και του Καναδά, που εκτοξεύτηκε σε τροχιά γύρω από τη Γη στις 18 Δεκεμβρίου 1999 και άρχισε να συλλέγει δεδομένα στις 24 Φεβρουαρίου 2000 (MODIS Web, 2013). Αποτελεί την ναυαρχίδα του Συστήματος Παρατήρησης της Γης [Earth Observing System (EOS)] και ακολουθήθηκε από τον Aqua (EOS PM-1) που εκτοξεύθηκε το Μάιο του 2002 και φέρει πάνω του τους ακόλουθους αισθητήρες (TERRA, 2013):

- **CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System):** που χαρτογραφεί τα σύννεφα και το ενεργειακό ισοζύγιο της ατμόσφαιρας,
- **MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer):** που κάνει λήψεις από διαφορετικές οπτικές γωνίες χαρτογραφώντας το ποσοστό της ενέργειας και του οξυγόνου μεταξύ της γήινης επιφάνειας και της ατμόσφαιρας, καθώς και την προέλευση και τις μεταβολές στο κλίμα των διαφορετικών τύπων ατμοσφαιρικών στοιχείων όπως π.χ. την παρουσία συννέφων στην ατμόσφαιρα,
- **MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere):** που χαρτογραφεί την μόλυνση της τροπόσφαιρας,
- **ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer):** ραδιόμετρο που αποτελεί το μεγεθυντικό φακό που καταγράφει επιλεγμένα κομμάτια της επιφάνειας της Γης και το
- **MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer):** απεικονιστικό φασματοραδιόμετρο που χαρτογραφεί παραμέτρους της επιφάνειας της Γης, των ωκεανών και της κατώτερης ατμόσφαιρας.

Ο δορυφόρος Aqua με τη σειρά του, πέρα από τους αισθητήρες **MODIS και CERES** φέρει και άλλους 4 αισθητήρες (AQUA, 2013):

- **AMSR-E (Advanced Microwave Scanning Radiometer-EOS):** εξελιγμένο ραδιόμετρο μικροκυμματικής ανίχνευσης που χαρτογραφεί τους ατμοσφαιρικούς υδρατμούς, τη βροχόπτωση, την έκταση των χιονιών και των παγετώνων και τους ανέμους στην επιφάνεια της θάλασσας
- **AIRS (Atmospheric Infrared Sounder):** υπέρυθρης ακτινοβολίας μετρητής που χαρτογραφεί την επιφανειακή θερμοκρασία, τις ιδιότητες των νεφών και τη σύσταση της τροπόσφαιρας
- **AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit):** μικροκυματικό ραδιόμετρο που χαρτογραφεί την ατμοσφαιρική θερμοκρασία και υγρασία,
- **HSB (Humidity Sounder for Brazil):** μετρητής που χαρτογραφεί την ατμοσφαιρική υγρασία.

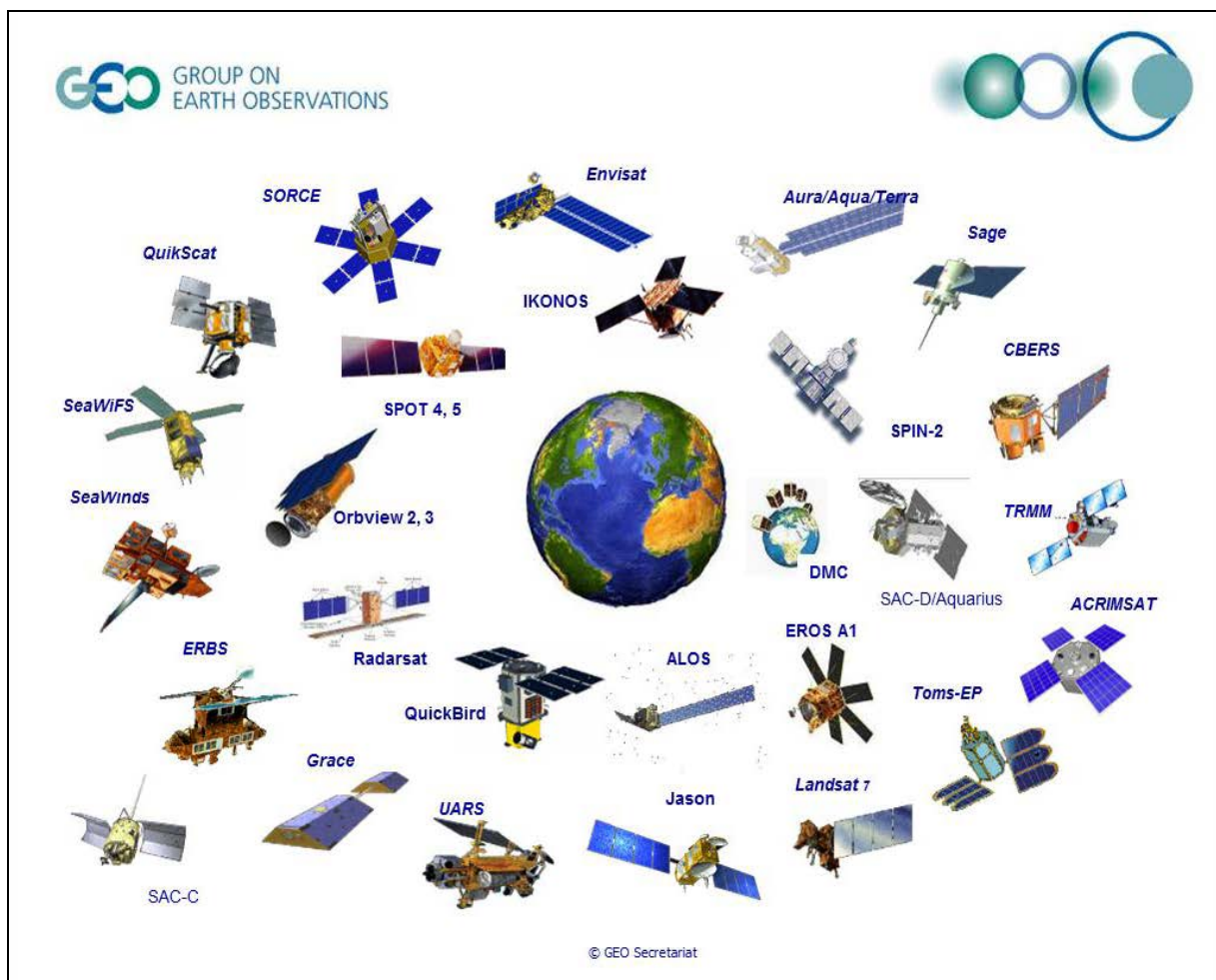
Το ύψος της τροχιάς τους είναι στα 705 km, ενώ η τροχιά του TERRA γύρω από τη Γη συγχρονίζεται έτσι ώστε να περνά από βόρεια προς τα νότια, εγκάρσια του ισημερινού, δύο φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας, στις 10:30 και 22:30 αντίστοιχα. Ο AQUA περνά από νότια προς τα βόρεια, εγκάρσια του ισημερινού, δύο επίσης φορές κατά τη διάρκεια της ημέρας, στις 01:30 και 13:30. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα οι βιοφυσικές παράμετροι να καταγράφονται τέσσερις φορές κατά τη διάρκεια του εικοσιτετράωρου (MODIS Web, 2013).

Μεταξύ των αισθητήρων, το ραδιόμετρο (σφωτής) ASTER δίνει εικόνες με χωρική ανάλυση 15, 30 και 90m στο ορατό, εγγύς και μέσο υπέρυθρο, καθώς και στο θερμικό υπέρυθρο αντίστοιχα. Η

φασματική διακριτική του ικανότητα ανέρχεται στα 14 κανάλια, με την πλειοψηφία αυτών στο υπέρυθρο. Ο σαρωτής MODIS έχει και αυτός σχεδιαστεί για να παρέχει μετρήσεις υψηλής φασματικής διακριτικής ικανότητας σε 36 φασματικά κανάλια (MODIS Web, 2013).

Η νέα αυτή γενιά δορυφόρων υψηλής χρονικής και φασματικής ικανότητας βελτιώνει και συμπληρώνει τη δυνατότητα λήψης δεδομένων που είχαν οι επιστήμονες από τη σειρά των δορυφόρων Landsat. Οι τηλεσκοπικές τους απεικονίσεις δε αποτελούν ισχυρό εργαλείο για την παρακολούθηση της φυσικής γήινης επιφανείας, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας.

Σύμφωνα με το Boyd (2009), μέχρι σήμερα πάνω από 100 δορυφορικές πλατφόρμες που μεταφέρουν αισθητήρες τηλεπισκόπησης έχουν τεθεί σε τροχιά και καταγράφουν δεδομένα (Εικόνα 2.2.4.3).



Εικόνα 2.2.4.3: Παγκόσμιο σύστημα τηλεσκοπικών δορυφόρων
<http://www.earthzine.org/wp-content/uploads/2011/09/Satellites.jpg>

2.3 Θεωρητικό πλαίσιο

Στην ενότητα αυτή θα δοθούν μέσα από την ανασκόπηση της βιβλιογραφίας τα βασικά χαρακτηριστικά του συνόλου των δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Συγκεκριμένα, θα περιγραφούν οι βιοφυσικοί δείκτες που θα χρησιμοποιηθούν για την επίτευξη της βιοφυσικής χαρτογράφησης της Κύπρου. Παράλληλα θα περιγραφούν και τα διανυσματικά (χάρτες καλύψεων γης) και ψηφιακά δεδομένα (υψομετρικά μοντέλα εδάφους) που θα χρησιμοποιηθούν ως εργαλεία για την ερμηνεία των μεταβολών που θα εντοπιστούν, σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

2.3.1 Τηλεσκοπικά Βιοφυσικά Δεδομένα

2.3.1.1 Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης, NDVI

Οι δείκτες βλάστησης είναι αλγεβρικοί συνδυασμοί φασματικών διαύλων που καταγράφουν την παρουσία της χλωροφύλλης (Glenn et al., 2008).

Έχει παρατηρηθεί ότι η βλάστηση παρουσιάζει χαμηλές τιμές ανάκλασης στο ορατό (IR), ενώ το αντίθετο συμβαίνει στο υπέρυθρο (NIR). Τα κύτταρα στα φύλλα των φυτών είναι πολύ αποτελεσματικοί σκεδαστές του φωτός λόγω της υψηλής αντίθεσης στο δείκτη διάθλασης μεταξύ, του πλούσιου σε νερό περιεχόμενου των κυττάρων και των μεσοκυττάρων διαστημάτων αέρα (Xie, Sha & Yu, 2008).

Λόγω της υψηλής απορρόφησης των χρωστικών ουσιών των φύλλων (χλωροφύλλη, ξανθοφύλλη, κ.λπ.) η βλάστηση εμφανίζεται πολύ σκοτεινή (χαμηλή ανάκλαση) στο ορατό (0,40-0,70 μm). Μικρή αύξηση της ανακλαστικότητας περίπου στα 0,550 μm (ορατό πράσινο) οφείλεται στο ότι οι χρωστικές ουσίες είναι λιγότερο απορροφητικές σε αυτό το μήκος κύματος. Στην φασματική περιοχή 0,7-1,3 μm τα φυτά εμφανίζονται πολύ φωτεινά, εξαιτίας των ηλεκτρονικών μεταπτώσεων οι οποίες παρέχουν απορρόφηση στην ορατή περιοχή και των μοριακών δονήσεων που απορροφούν σε μεγαλύτερα μήκη κύματος. Τέλος, στην φασματική περιοχή 1,3-2,5μm η βλάστηση παρουσιάζεται σχετικά σκοτεινή λόγω της απορρόφησης του νερού των φύλλων. Κυτταρίνη, λιγνίνη και άλλα φυτικά υλικά απορροφούν επίσης σε αυτήν την περιοχή του φάσματος (Bannari et al., 1995; Beeri et al., 2007).

Σε αυτή τη συμπεριφορά της βλάστησης καθώς και στο γεγονός ότι όταν καταστρέφεται η χλωροφύλλη στο φύλλωμα παρατηρείται μείωση της ανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο και αύξηση της ανάκλασης στο ερυθρό, δηλαδή μείωση της τιμής του λόγου NIR/Red, βασίζεται η δημιουργία μιας σειράς από δείκτες στην τηλεπισκόπηση που έχουν ως στόχο την παρακολούθηση της βλάστησης (Gong and Xu, 2003). Τα παγκόσμια δεδομένα επομένως των δεικτών βλάστησης παρέχουν τυποποιημένες χωρικές και χρονικές συγκρίσεις των συνθηκών της βλάστησης, που έχουν σαν στόχο την ανίχνευση αλλαγών στη χρήση γης, την αξιολόγηση της πυκνότητας φυτοκάλυψης, τη μελέτη της δασοκομίας, τη διάκριση και πρόβλεψη των καλλιεργειών (Pettorelli et al., 2005; Glenn et al., 2008).

Ο Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) αποτελεί τον πλέον ευρέως χρησιμοποιούμενο δείκτη βλάστησης, που χρησιμοποιείται για την άντληση πληροφοριών σχετικά με την φυτοκάλυψη μιας περιοχής. Ορίζεται ως ο λόγος της διαφοράς της ανάκλασης στο εγγύς υπέρυθρο (NIR) και το κόκκινο (Red) προς το άθροισμα αυτών (Glenn et al., 2008).

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

Οι τιμές του κυμαίνονται από -1 (καθόλου βλάστηση) σε +1 (πλούσια βλάστηση)

$$-1 < NDVI < +1$$

2.3.1.2 Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης, EVI

Ο Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης (Enhanced Vegetation Index EVI), παρέχει συμπληρωματικές πληροφορίες σχετικά με τις χωρικές και χρονικές μεταβολές της βλάστησης, ελαχιστοποιώντας παράλληλα πολλά από τα προβλήματα μόλυνσης που υπάρχουν στον NDVI και σχετίζονται με την ύπαρξη σωματιδίων καπνού και νεφών. Επιπρόσθετα ο EVI δεν χάνει την ευαισθησία με την αύξηση της δασοκάλυψης, σε αντίθεση με τον NDVI που υφίσταται κορεσμό (Glenn et al., 2008). Ο μαθηματικός τύπος του δείκτη αυτού δίνεται παρακάτω (Huete et al., 2002):

$$EVI = 2,5 * \frac{(NIR - Red)}{(NIR + 6 * Red - 7,5 * Blue + 1)} \text{ όπου}$$

NIR, Red, Blue: οι ανακλαστικότητες στο εγγύς υπέρυθρο, το κόκκινο και το μπλε αντίστοιχα.

2.3.1.3 Θερμοκρασίες Ημέρας και Νύχτας, (Θ. ημέρας & νύχτας)

Οι θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας (Land Surface Temperature, LST) αποτελούν βιοφυσικές παραμέτρους μεγάλης σπουδαιότητας. Η θερμοκρασία γενικότερα, αποτελεί βασική παράμετρο στη φυσική της επιφάνειας της γης αφού ελέγχει την ανταλλαγή ακτινοβολίας μεγάλου μήκους κύματος μεταξύ της επιφάνειας της γης και της ατμόσφαιρας, ενώ συμμετέχει στο ενεργειακό ισοζύγιο, στις διαδικασίες της εξατμοδιαπνοής και της απερίημωσης (Skarlatos, Miliareisis & Georgiou, 2013). Οι θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας, αντιπροσωπεύουν τα αποτελέσματα των επιφανειακών ατμοσφαιρικών αλληλεπιδράσεων και των ενεργειακών ροών μεταξύ του εδάφους και της ατμόσφαιρας (Wan, 2008).

Δεδομένης της πολυπλοκότητας της επιφανειακής θερμοκρασίας πάνω από την ξηρά, οι επίγειες μετρήσεις δεν μπορούν να παρέχουν ουσιαστικά τιμές σε μεγάλες εκτάσεις. Με την ανάπτυξη της τηλεπισκόπησης, δορυφορικά δεδομένα προσφέρουν τη μοναδική δυνατότητα για μέτρηση της θερμοκρασίας σε όλη την υδρόγειο με αρκετά υψηλή χρονική ανάλυση. Επί του παρόντος, δορυφορικοί αισθητήρες που καταγράφουν στο θερμικό υπέρυθρο αποτελούν

τα μόνα διαθέσιμα λειτουργικά συστήματα που συλλέγουν δεδομένα θερμοκρασιών (LST) σε τακτικές χωρικές και χρονικές αναλύσεις (Hill, 2013).

Το κύριο πλεονέκτημα αυτών των δεδομένων σε σχέση με επίγειες μετρήσεις των μετεωρολογικών σταθμών είναι ότι παρέχουν μια σταθερή χωρική ανάλυση των θερμοκρασιών ημέρας και νύχτας. Επιτρέπουν έτσι την χωρική ανάλυση και ανάκτηση πληροφοριών σχετικά με το πώς διαφορετικές παράμετροι, όπως το είδος της γης, η χρήση γης, το υψόμετρο, η απόσταση από τη θάλασσα, επιδρούν στη θερμοκρασία. (Skarlatos, Miliareisis & Georgiou, 2013).

2.3.1.4 Ημερήσια Διακύμανση Θερμοκρασίας (Diurnal)

Η επεξεργασία των δορυφορικών βιοφυσικών θερμικών δεδομένων μέρας και νύχτας, μας δίνει επιπρόσθετα τη δυνατότητα για παρακολούθηση μια πολύ σημαντικής βιοφυσικής παραμέτρου, αυτής της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας (Diurnal, ημερήσια διακύμανση Θ.). Η ημερήσια διακύμανση Θ. είναι ένας μετεωρολογικός όρος που σχετίζεται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της ημέρας και της νύχτας και προκύπτει από την αφαίρεση των ελάχιστων τιμών θερμοκρασίας της νύχτας από τις μέγιστες τιμές θερμοκρασίας της μέρας (Hughes, Hall and Fovell, 2007).

Οι διακυμάνσεις αυτές είναι πολύ μεγαλύτερες κοντά στην επιφάνεια της γης και επηρεάζονται από πολλούς παράγοντες όπως, το γεωγραφικό πλάτος και μήκος, τις καλύψεις/χρήσεις γης, το υψόμετρο, την απόσταση από τις ακτογραμμές, την ατμοσφαιρική κυκλοφορία, τον καθαρό ουρανό, την ένταση της ηλιακής ακτινοβολίας (Lu et al., 2006; Μηλιάρης, 2012b). Περιοχές της ερήμου παρουσιάζουν συνήθως τις μεγαλύτερες ημερήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασίας, σε αντίθεση με περιοχές με υγρασία που εμφανίζουν συνήθως τις μικρότερες (Tang et al., 2006).

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, μια από τις βιοφυσικές παραμέτρους που θα χρησιμοποιηθεί, είναι η εκτίμηση της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας που προκύπτει από τη διαφορά των θερμοκρασιών που αντιστοιχούν στις 13.30 την ημέρα μείον τις θερμοκρασίες στις 01.30 τη νύχτα.

2.3.2 Δεδομένα Καλύψεων Γης

Η χαρτογράφηση των καλύψεων γης (landcover) και των χρήσεων γης (landuse) είναι ένα από τα πιο σημαντικά πεδία εφαρμογών της φωτοερμηνείας-τηλεπισκόπησης (Lo 1998, Campbell 1997).

Ο όρος *καλύψεις γης* αντιπροσωπεύει το επιφανειακό στρώμα του εδάφους και της βιομάζας, συμπεριλαμβανομένης της βλάστησης, του νερού, των καλλιεργειών και των ανθρώπινων δομών (κτίσματα, δρόμοι κ.α) που καλύπτουν την επιφάνεια της γης. Οι καλύψεις γης είναι άμεσα παρατηρούμενες τόσο από τις εικόνες της τηλεπισκόπησης όσο και από την έρευνα πεδίου (Verburg et al., 2009).

Ο όρος *χρήσεις γης* από την άλλη αναφέρεται στους σκοπούς για τους οποίους οι άνθρωποι εκμεταλλεύονται τις καλύψεις γης (Fresco, 1994; Lambin, Geist and Rindfuss, 2006) και περιλαμβάνει τις πρακτικές διαχείρισης της γης. Οι χρήσεις γης δεν είναι πάντα εύκολο να παρατηρηθούν, αν και σε πολλές περιπτώσεις μπορεί να προκύψουν από παρατηρήσιμες δραστηριότητες όπως π.χ. βόσκηση ή δομικά στοιχεία τοπίου όπως π.χ. η παρουσία των

δρόμων υλοτομίας (Verburg et al., 2009). Η χρήση γης επομένως, αποτελεί συνδυαστικό κρίκο μεταξύ της κάλυψης γης και των ανθρώπινων δραστηριοτήτων που εκμεταλλεύονται και μεταμορφώνουν το τοπίο (Geist & Lambin 2002; Nagendra, Munroe and Southworth, 2004).

Η μεθοδολογία για τη χαρτογράφηση των καλύψεων γης βασίζεται στη παραγωγή θεματικών χαρτών (thematic maps) από δορυφορικές εικόνες, οι οποίες περιέχουν ποιοτικές πληροφορίες για τους τύπους κάλυψης γης της υπό μελέτη περιοχής (Cihlar, 2000). Οι θεματικοί χάρτες παράγονται με τη μέθοδο της πολυφασματικής ταξινόμησης, σύμφωνα με την οποία τα εικονοστοιχεία της εικόνας ταξινομούνται σε τάξεις με βάση τα φασματικά τους χαρακτηριστικά στα διάφορα κανάλια της εικόνας (King, 2002). Η ψηφιακή τιμή κάθε εικονοστοιχείου σε κάθε κανάλι καθορίζεται από την ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται στην αντίστοιχη φασματική περιοχή, το ποσό της οποίας εξαρτάται από το είδος της κάλυψης του εδάφους. Κατά συνέπεια, οι τάξεις εικονοστοιχείων που προκύπτουν από τη ταξινόμηση της εικόνας αντιστοιχούν σε τύπους κάλυψης γης (Cihlar, 2000; King, 2002).

Τα πιο γνωστά συστήματα κατηγοριοποίησης χρήσεων/καλύψεων γης, με την χρήση δεδομένων τηλεπισκόπησης, είναι το σύστημα της US Geological Survey στις Η.Π.Α και το Corine στην Ευρώπη (Μηλιαρέσης, 2006).

Στα πλαίσια της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, για την ποιοτική ερμηνεία των μεταβολών των βιοφυσικών υπογραφών που εντοπίστηκαν στις ζώνες όπου χαρτογραφήθηκαν το φυσικό περιβάλλον και οι ανθρωπογενείς δράσεις, χρησιμοποιήθηκε ο Ευρωπαϊκός χάρτης εδαφικής κάλυψης χρήσεων γης της Κύπρου, Corine Land.

2.3.2.1 Corine Land Cover (CLC)

Ο θεματικός χάρτης καλύψεων γης Corine (CO-ordination of Information on the Environment) αποτελεί μια προσπάθεια του Κοινού Κέντρου Ερευνών (Joint Research Centre, JRC) της Ευρωπαϊκής Ένωσης και της Ευρωπαϊκής Υπηρεσίας Περιβάλλοντος (European Environmental Agency) που ξεκίνησε τη δεκαετία του 1980. Στα πλαίσια της προσπάθειας αυτής έχουν εκδοθεί θεματικοί χάρτες καλύψεων/χρήσεων γης για το 1990, το 2000 και το 2006, ενώ εντός του 2014 αναμένεται και η έκδοση του 2012 (EPA, 2014).

Η συστηματική παρακολούθηση των στατιστικών στοιχείων εδαφοκάλυψης, με την ύπαρξη βάσης δεδομένων που καλύπτει τέσσερις χρονιές εντός της περιόδου 1990-2012, επιτρέπει τη μελέτη και κατανόηση των μεταβολών του περιβάλλοντος στην Ευρώπη. Επιπρόσθετα, η χαρτογράφηση των δεδομένων γίνεται με ομοιόμορφο τρόπο για όλη την Ευρώπη, επιτρέποντας τον εντοπισμό των τάσεων σε τοπικό, περιφερειακό, εθνικό κι ευρωπαϊκό επίπεδο. Αυτό βοηθά τους φορείς στη λήψη κατάλληλων μέτρων και χάραξης πολιτικής, στηριζόμενοι στην ερμηνεία των δορυφορικών εικόνων και στις αποχρώσεις Red-Green-Blue που συνθέτουν τα χρώματα στη δορυφορική εικόνα από κάθε χρήση γης (EEA, 2007).

Σύμφωνα με τις τεχνικές προδιαγραφές του EEA 2007, η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης MMU (Minimum Mapping Unit) για όλες τις εκδόσεις των θεματικών χαρτών είναι ορισμένη στα 25ha ή 0,25 km², που σημαίνει ότι οποιαδήποτε επιφάνεια που καλύπτεται από την ίδια κατηγορία κάλυψης γης (π.χ. δάσος πλατύφυλλων, θαμνώνας) ή χρήσης γης (π.χ. αθλητικές εγκαταστάσεις) και είναι σε έκταση μικρότερη από 25 εκτάρια δεν χαρτογραφείται. Αντίστοιχα, το ελάχιστο πλάτος είναι ορισμένο στα 100 μέτρα. Το σύστημα ταξινόμησης είναι ιεραρχικό, αποτελείται από τρία επίπεδα και είναι κοινό για όλες τις εκδόσεις Το πρώτο

επίπεδο αποτελείται από τις ακόλουθες πέντε βασικές κατηγορίες: τεχνητές επιφάνειες, γεωργικές περιοχές, δάση και σχεδόν φυσικές περιοχές, υδροβιότοποι και υδατικά συστήματα. Το δεύτερο επίπεδο έχει 15 κλάσεις και το τρίτο 44 υποκατηγορίες. Από πλευράς ψηφιακής αναπαράστασης, τα δεδομένα των καλύψεων γης απαντούν είτε σε διανυσματική μορφή (vector) είτε σε πλεγματοειδή μορφή (raster). Τα πλεγματοειδή δεδομένα είναι διαθέσιμα σε δύο διαφορετικές αναλύσεις: (1) ένα σύνολο στοιχείων με το μέγεθος κελιού πλέγματος 100 m και (2) ένα σύνολο στοιχείων με μέγεθος κελιού πλέγματος 250 m.

Η βάση CLC 1990 είναι μια βάση δεδομένων καλύψεων γης που καλύπτει 26 Ευρωπαϊκές χώρες και η οποία προέρχεται από την ερμηνεία δορυφορικών εικόνων του Θεματικού Χαρτογράφου Landsat -4/5 TM. Δημιουργήθηκε με κλασικές μεθόδους φωτοερμηνείας και λόγω της μη ψηφιακής επεξεργασίας των εικόνων εμπεριέχει μεγάλο ποσοστό σφαλμάτων λόγω εκτύπωσης, ψηφιοποίησης κ.α. (EEA, 2007).

Η έκδοση CLC 2000 βασίζεται εξίσου σε οπτική φωτοερμηνεία δορυφορικών εικόνων του Ενισχυμένου Θεματικού Χαρτογράφου Landsat 7 ETM+ και καλύπτει 32 Ευρωπαϊκές χώρες. Δημιουργήθηκε με βάση τη διορθωμένη βάση CLC 1990, απεικονίζοντας μόνο τις αλλαγές πάνω από 0,25 km² και με πλάτος πάνω από 100m, ενώ τα πολύγωνα ψηφιοποιούνται απευθείας στην οθόνη μέσω του γεωγραφικού πληροφοριακού συστήματος ArcInfo, ελαχιστοποιώντας έτσι τα σχετικά σφάλματα (EEA, 2007).

Στην έκδοση CLC 2006, λόγω της μη διαθεσιμότητας του δορυφόρου Landsat 7 ETM+, χρησιμοποιήθηκαν νέες πηγές δορυφορικών δεδομένων όπως αυτές των αισθητήρων SPOT-4 και IRS P6 LISS III (2 ημερομηνίες λήψης), με παρόμοια χωρική κάλυψη με το Landsat. Η βάση δεδομένων καλύπτει συνολικά 38 Ευρωπαϊκές χώρες και δημιουργήθηκε στη διορθωμένη βάση CLC 2000. Το ελάχιστο εμβαδό εντοπισμού του συνόλου των αλλαγών έχει οριστεί στα 5 εκτάρια (EEA, 2007).

2.3.3 Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα Εδάφους

Τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα εδάφους (Digital Elevation Models, DEM) αποτελούν ψηφιακή αναπαράσταση της μεταβλητότητας του ανάγλυφου στο χώρο και χρησιμοποιούνται για την ανάλυση της τοπογραφίας μιας περιοχής (Moore, Grayson and Ladson, 1991).

Εμπεριέχουν πληροφορίες σχετικές με τα γεωμορφολογικά χαρακτηριστικά της γήινης επιφάνειας όπως υψόμετρο, κλίση, γεωμορφολογικές ανωμαλίες του ανάγλυφου καθώς και πληροφορίες αναφορικά με τα στοιχεία που συνθέτουν το ανάγλυφο, όπως υδρογραφικά χαρακτηριστικά (ποτάμια, λίμνες, ακτογραμμές), δίκτυα μεταφορών (δρόμους, μονοπάτια, σύνορα χωρών). Επιπρόσθετα μπορεί να περιέχουν πληροφορίες αναφορικά με φυσικά χαρακτηριστικά (βλάστηση, χρώμα, γεωλογία), αλλά και κοινωνικοοικονομικές πληροφορίες (κατανομή πληθυσμού, βιομηχανικών και αγροτικών εκτάσεων ανά περιφέρεια, κ.α.) (Li, Zhu and Gold, 2010).

Στην βιβλιογραφία σύμφωνα με τους Li, Zhu and Gold (2010), παρουσιάζεται μεγάλη ποικιλία διαφορετικών ονομασιών για τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους. Στην Αμερική π.χ. χρησιμοποιούνται τα ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα (Digital Elevation Model, DEM), στην Αγγλία τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους (Digital Ground Model, DGM), στην Γερμανία τα ψηφιακά μοντέλα ύψους (Digital Height Model, DHM), ενώ τέλος η Υπηρεσία Γεωλογικής Επισκόπησης της Αμερικής χρησιμοποιεί τα ψηφιακά μοντέλα υψομέτρου εδάφους (Digital

Terrain Elevation Model, DTEM). Οι διαφορετικές αυτές ονομασίες οφείλονται στην χώρα από την οποία προέρχονται και στη χρησιμότητα του μοντέλου.

Τα ψηφιακά μοντέλα εδάφους αποτελούν μαθηματικά μοντέλα που υλοποιούνται με τη βοήθεια των υπολογιστών και υπερτερούν έναντι των παραδοσιακών αναλογικών χαρτών διότι δίνουν τη δυνατότητα διαφορετικών μορφών αναπαράστασης (υψομετρική, τοπογραφική, τρισδιάστατη κ.α), έχουν καλύτερη ακρίβεια δεδομένων, επιτρέπουν τη γρήγορη επεξεργασία και αναβάθμιση των πληροφοριών, δίνουν τη δυνατότητα αλλαγών στην ανάλυση των δεδομένων και τέλος αντέχουν στο χρόνο (Qiming, Lees and Guo-an, 2008).

Επιπρόσθετα, οι Li, Zhu and Gold et al. (2010) αναφέρουν ότι μετά τη δημιουργία των ψηφιακών μοντέλων εδάφους μπορεί να εξαχθεί πληθώρα πληροφοριών μέσα από τον υπολογισμό τιμών υψομέτρου, κλίσεων, προσανατολισμού, όγκων, εμβαδών και αποστάσεων στη περιοχή μελέτης, τον προσδιορισμό ιδιαίτερων μορφών του ανάγλυφου (υδροκρίτες, λεκάνες απορροής, ρέματα κ.α.), τη χάραξη ισούψων καμπυλών, τη δημιουργία σκιασμένου ανάγλυφου, πληροφορίες οι οποίες δεν μπορούν να εξαχθούν από την ανάλυση των παραδοσιακών αναλογικών χαρτών. Τέλος, σημειώνουν ότι υπάρχουν τρεις βασικές πηγές δεδομένων για τη δημιουργία τους, οι απευθείας μετρήσεις με έρευνα πεδίου και η μεταφορά των μετρήσεων σε H/Y, οι τοπογραφικοί χάρτες των οποίων τα δεδομένα ψηφιοποιούνται και η χρήση αεροφωτογραφιών και δορυφορικών εικόνων.

Σύμφωνα με τους Nikolakopoulos, Kamaratakis and Chrysoulakis (2006), το 1986 για πρώτη φορά επιτεύχθηκε η δημιουργία ενός παγκόσμιου υψομετρικού μοντέλου εδάφους μέσα από τη χρήση στερεοσκοπικών εικόνων του αισθητήρα SPOT-1, ο οποίος έδωσε τη δυνατότητα καταγραφής υψομετρικών χαρακτηριστικών απροσπέλαστων γήινων επιφανειών. Έκτοτε, η χρήση διάφορων αισθητήρων (π.χ. του European Remote Sensing Satellite, ERS 1991), συνέβαλε στην παροχή χωρικών δεδομένων για την εξαγωγή και ερμηνεία τρισδιάστατων πληροφοριών σχετικά με την επιφάνεια της γης. Τα δεδομένα προέρχονταν από τη συσχέτιση στερεοσκοπικών εικόνων που λαμβάνονταν σε διαφορετικές ημέρες (SPOT, ERS κ.α.).

Στις μέρες μας, η χρήση αισθητήρων που λειτουργούν στην μικροκυματική περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, τα λεγόμενα Ραντάρ Συνθετικού Ανοίγματος (Synthetic Aperture Radar, SAR), έχουν συμβάλει στη βελτίωση των ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Οι αισθητήρες, SAR, ως ενεργητικοί αισθητήρες, εκπέμπουν μικροκυματική ακτινοβολία και μετρούν την ανακλώμενη ενέργεια από το στόχο. Λειτουργούν σε μήκη κύματος από 1cm έως μερικά μέτρα και κατά συνέπεια δεν επηρεάζονται από την παρουσία νεφών και ομίχλης στην ατμόσφαιρα, ενώ λειτουργούν και τη νύχτα (Li, Zhu and Gold, 2010).

Η τεχνική της συμβολομετρίας (interferometric synthetic aperture radar, INSAR) αποτελεί τη σημαντικότερη τεχνική επεξεργασίας των δεδομένων των SAR. Συγκεκριμένα, αναλύει τη διαφορά φάσης ανάμεσα σε δύο εικόνες που έχουν ληφθεί από ελάχιστα διαφορετικές θέσεις. Αυτή η διαφορά φάσης σχετίζεται με την τοπογραφία του εδάφους και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία ψηφιακών μοντέλων εδάφους (Digital Elevation Models, DEM). Τα απαραίτητα δεδομένα συλλέγονται είτε από την ίδια κεραία μέσω διπλών καταγραφών σε διαφορετικές ημέρες (ERS 1 και 2) ή κατά τη διάρκεια της ίδιας ημέρας (ASTER), είτε από τη χρήση δύο κεραίων μέσω απλής καταγραφής (SRTM) (Nicolakopoulos, Kamaratakis and Chrysoulakis, 2006).

Σύμφωνα πάντα με την ίδια πηγή, η λειτουργία από το έτος 2000 και μετά, των ραδιομετρικών αισθητήρων SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) και ASTER (Advance Spaceborn Thermal Emission and Reflection Radiometer) συνέβαλε στη δημιουργία υψηλής ανάλυσης ψηφιακών μοντέλων εδάφους.

Η σύγχρονη μορφή των ψηφιακών μοντέλων εδάφους περιέχουν την υψομετρική πληροφορία με την μορφή κανονικού τετραγωνικού δικτύου (πλέγμα με πλευρές σταθερής διάστασης) στις κορυφές του οποίου είναι γνωστό το υψόμετρο. Σήμερα υπάρχουν ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα εδάφους με ομοιόμορφες προδιαγραφές ακρίβειας που το καθένα καλύπτει το σύνολο σχεδόν της γήινης επιφάνειας (Globe, GDTED, SRTM, Aster GDEM), τα οποία διατίθενται ελεύθερα σε διάφορους διαδικτυακούς ιστοτόπους. Χαρακτηρίζονται με βάση τη διάσταση του πλέγματος σε ψηφιακά υψομετρικά μοντέλα εδάφους 1km, 100m, 30m, είναι διαθέσιμα σε γεωγραφικές συνταγμένες και η διάσταση τους περιγράφεται με υποδιαιρέσεις της μοίρας (Μηλιαρέσης 2006).

Για σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής θα χρησιμοποιηθούν τα δεδομένα του Ψηφιακού Μοντέλου Εδάφους SRTM.

2.3.4 Τεχνικές Ανάλυσης

Στο σημείο αυτό, μέσα από τη βιβλιογραφία θα παρουσιαστούν οι αρχές των τεχνικών ανάλυσης που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Συγκεκριμένα θα γίνει παρουσίαση των τεχνικών ολοκλήρωσης και σύνθεσης διανυσματικών και πλεγματικών δεδομένων, των τεχνικών ταξινόμησης και των στατιστικών μεθόδων που θα χρησιμοποιηθούν για την επεξεργασία των δεδομένων και τον προσδιορισμό ανωμαλιών των βιοφυσικών δεδομένων.

2.3.4.1 Σύνθεση Διανυσματικών και Πλεγματικών Αναπαραστάσεων

Η σύνθεση των διανυσματικών και πλεγματικών δεδομένων γίνεται σε δύο επίπεδα. Το πρώτο αφορά τη σύνθεση πλεγματικών δεδομένων π.χ. καλύψεις γης Corine με διανύσματα. Τα διανύσματα έχουν τη μορφή αλληλουχίας τιμών π.χ. υψόμετρο, κλίση, θερμοκρασία, NDVI, που ορίζονται είτε σε επίπεδο εικονοστοιχείου είτε σε επίπεδο διανυσματικού πολυγώνου, είτε εκφράζουν μια στατιστική εκτίμηση για μια κάλυψη γης ή για κάποιο άλλο στοιχείο του περιβάλλοντος. Η πράξη σύνθεσης επιτρέπει στα εικονοστοιχεία της πλεγματικής αναπαράστασης Corine να αντιστοιχηθούν με πληροφορίες που συσχετίζουν τις καλύψεις γης με βιοφυσικές και άλλες παραμέτρους (Miliarsis, 2009).

Το δεύτερο επίπεδο προσδιορίζει, πριν τη σύνθεση, τα αντικείμενα του πλεγματικού αρχείου (Corine) που είναι διασυνδεδεμένα εικονοστοιχεία (δηλ γειτονικά/σε επαφή) και με τον τρόπο αυτό ορίζονται αντικείμενα καλύψεων γης. Σε κάθε αντικείμενο μπορούμε να προχωρήσουμε σε πράξεις διασύνδεσης (Miliarsis, 2006).

Στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή θα διασυνδεθούν ομαδοποιήσεις εικονοστοιχείων που αντιστοιχούν σε διαχρονικές ανωμαλίες βλάστησης ή θερμοκρασίας, με διανύσματα.

2.3.4.2 Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση

Η ταξινόμηση των δορυφορικών εικόνων (clustering) είναι μια στατιστική μέθοδος που έχει ως στόχο το διαχωρισμό των αντικειμένων και την επιλογή κατάλληλου αλγόριθμου για την ομαδοποίηση τους σε δύο ή περισσότερες ομοειδείς θεματικές τάξεις (Xie, Sha & Yu, 2008; Lillesand et.al. 2008). Ως ομοειδή θεματική τάξη ορίζεται ένα ομοιογενές (χωρικά) σύνολο από εικονοστοιχεία των οποίων είτε οι τιμές φωτεινότητας που μετρήθηκαν από διάφορες φασματικές ζώνες (κανάλια), είτε η θέση που κατέχουν στο χώρο ή τον χρόνο διαφέρουν ελάχιστα μεταξύ τους (Μέρτικας, 2009).

Προκειμένου επομένως να διακριθεί μια θεματική τάξη με ταξινόμηση πρέπει να πληρούνται οι παρακάτω προϋποθέσεις: α) να διαφέρει φασματικά από τις άλλες τάξεις σε σχέση με την φασματική δειγματοληψία του καταγραφικού συστήματος και β) να έχει μια στοιχειώδη (ελάχιστη) επιφανειακή εμφάνιση σε σχέση με την χωρική διακριτική ικανότητα του καταγραφικού συστήματος και διακρίνεται σε επιβλεπόμενη και μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (Mather, 2004).

Ο εντοπισμός, η χωρική εξάπλωση και η χρονική υπογραφή των φυσικών ανωμαλιών που θα πραγματοποιηθεί σε αυτή τη μεταπτυχιακή διατριβή θα υλοποιηθεί με τεχνικές μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης που θα εφαρμοστούν στη χρονοσειρά των εικόνων NDVI, θερμοκρασίας κ.α. Στην προκειμένη περίπτωση δεν έχουμε μια πολυφασματική δορυφορική εικόνα η οποία καταγράφει σε μια συγκεκριμένη χρονική στιγμή την επιφάνεια της γης σε διαφορετικά κανάλια- μήκη κύματος. Αντίθετα έχουμε πολλές εικόνες που καταγράφουν τον ίδιο βιοφυσικό δείκτη (π.χ. θερμοκρασία) σε τακτά χρονικά διαστήματα κι επομένως σε κάθε εικονοστοιχείο έχουμε την καταγραφή ενός διανύσματος που αποτελείται π.χ. από μέσες μηνιαίες μετρήσεις θερμοκρασίας, βλάστησης κ.α.

Η μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση (unsupervised clustering) γίνεται αυτόματα μέσω αλγορίθμων ομαδοποίησης (k-mean, ISODATA), από λογισμικά πακέτα επεξεργασίας τηλεπισκοπικών δεδομένων και δεν απαιτεί ο χρήστης να είναι γνώστης της ύπαρξης ή του είδους της πληροφορίας που εμπεριέχεται σε κάθε θεματική τάξη, όπως στην περίπτωση της επιβλεπόμενης (Tso and Olsen, 2005).

Στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση, όπως περιγράφουν οι Mather (2004) και Μέρτικας (2009), για την ταξινόμηση σε ομοειδείς θεματικές τάξεις χρησιμοποιείται η απόσταση του κάθε εικονοστοιχείου $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_p)^T$ από το κέντρο συσσώρευσης $\mu_i = (\mu_{i,1} + \mu_{i,2} + \dots + \mu_{i,p})^T$ των τιμών, όπως η Ευκλείδεια απόσταση, de:

$$de(x, \mu_i) = \sqrt{(x_1 - \mu_{i,1})^2 + (x_2 - \mu_{i,2})^2 + \dots + (x_p - \mu_{i,p})^2}$$

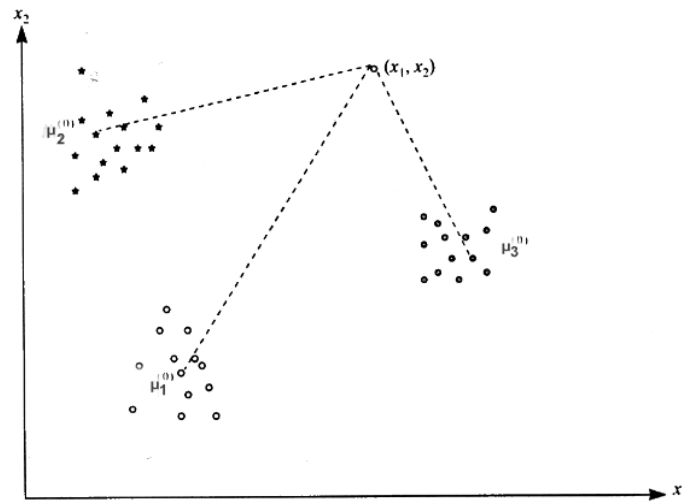
και η απόσταση της διαφοράς των απόλυτων τιμών, da:

$$da(x, \mu_i) = \left[|x_1 - \mu_{i,1}| + |x_2 - \mu_{i,2}| + \dots + |x_p - \mu_{i,p}| \right]$$

Σε γενικές γραμμές ο τρόπος λειτουργίας των αλγορίθμων k-μέσων τιμών και ISODATA, περιλαμβάνει τα ακόλουθα τρία βήματα.

Αρχικά, προσδιορίζεται αυθαίρετα ο αριθμός των θεματικών τάξεων k, δηλαδή τα κέντρα συσσώρευσης των τιμών μ_i που θα εμπεριέχει η εικόνα, όπου $\mu_i^{(0)} = 0, 1, 2, \dots, K$. Στη

συνέχεια υπολογίζονται οι αποστάσεις κάθε εικονοστοιχείου από τα K-κέντρα των θεματικών τάξεων και τέλος, το εικονοστοιχείο εντάσσεται στην θεματική τάξη από την οποία απέχει ελάχιστα (Εικόνα 2.3.4.2.1.1). Το δεύτερο και τρίτο στάδιο επαναλαμβάνονται μέχρι η διαφορά μεταξύ των επαναλήψεων να είναι αρκετά μικρή (Μερτικάς, 2009; Tso and Olsen, 2005).



Εικόνα 2.3.4.2.1: Αυτόματη ταξινόμηση εικόνας. Ομαδοποίηση k-μέσων τιμών (Μέρτικας, 2009)

2.3.4.3 Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών / Principal Component Analysis (PCA)

Η ανάλυση κυρίων συνιστωσών (PCA) αποτελεί μια στατιστική μέθοδο ανάλυσης η οποία μειώνει τον αριθμό των μεταβλητών που πρέπει να εξεταστούν, σε ένα μικρότερο αριθμό «νέων» μεταβλητών που ονομάζονται «*κύριες συνιστώσες, PC*» (Pohl and Genderen, 1998). Οι συνιστώσες αυτές αποτελούν γραμμικό συνδυασμό των αρχικών μεταβλητών και δεν σχετίζονται μεταξύ τους. Στην ουσία δηλαδή, η μέθοδος αυτή μετασχηματίζει γραμμικά ένα σύνολο μεταβλητών σε ένα σύνολο νέων μη συσχετιζόμενων μεταβλητών (Maaten and Hinton, 2008).

Η μελέτη των PC, των μεταβλητών δηλαδή με τις πλέον αντιπροσωπευτικές ιδιότητες, αντί του συνόλου των μεταβλητών, επιτυγχάνει τη μείωση του όγκου των δεδομένων και δίνει τη δυνατότητα εύκολης, γρήγορης και αποτελεσματικής εξαγωγής συμπερασμάτων στους μελετητές (Siljeström et al., 1997).

Σύμφωνα με τους Eklundh and Singh (1993), ο μετασχηματισμός των μεταβλητών ουσιαστικά περιστρέφει τους άξονες έτσι ώστε να αναπαραστούν το νέφος τιμών με βάση τη γεωμετρία τους και περιλαμβάνει τα ακόλουθα βήματα:

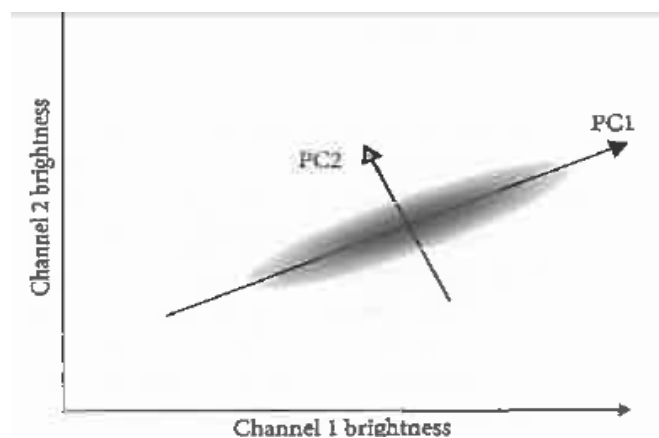
- υπολογισμό της συνδιασποράς (covariance matrix) ή του βαθμού συσχέτισης (correlation matrix) των μεταβλητών των δορυφορικών εικόνων
- υπολογισμό των ιδιοτιμών (eigenvalues) και των ιδιοδιανυσμάτων (eigenvectors)
- υπολογισμό των κυρίων συνιστωσών, PC

Διακρίνεται σε κανονικοποιημένη (standardised PCA, sPCA) όταν υπολογίζεται ο βαθμός συσχέτισης των μεταβλητών και σε μη κανονικοποιημένη (ustandardised PCA, uPCA) όταν γίνεται υπολογισμός της συνδιασποράς αυτών. Σύμφωνα πάντα με την ίδια πηγή, η σύγκριση της αποτελεσματικότητας μεταξύ των δύο PCA, έχει δείξει ότι η sPCA (τυποποίηση των κατανομών σε μέση τιμή 0 και τυπική απόκλιση 1), δίνει πιο αξιόπιστα αποτελέσματα.

Η συγκεκριμένη τεχνική είναι μια δυνατή μεθοδολογία για την ανάλυση συσχετιζόμενων πολυδιάστατων δεδομένων (Αστάρας, 2008). Η εφαρμογή της PCA στην ψηφιακή τηλεπισκόπηση και την επεξεργασία δορυφορικών δεδομένων χρησιμοποιείται από πολλούς ερευνητές (Hillger & Clark, 2002; Astel et al., 2007; Du & Fowler, 2007; Ramachandra & Kumar, 2009; Miliareisis 2013b, 2014a).

Πρακτικά σε ότι αφορά την επεξεργασία των εικόνων των βιοφυσικών δεδομένων της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής η μέθοδος sPCA θα εφαρμοστεί σε όλες τις εικόνες, αφού τα βιοφυσικά δεδομένα διαδοχικών μηνών ίδιας εποχής εμφανίζουν κατά κανόνα μεγάλη συσχέτιση μεταξύ τους. Μέσα λοιπόν από το γραμμικό μετασχηματισμό των μεταβλητών (μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας, NDVI κ.α), η κανονικοποιημένη ανάλυση κύριων συνιστωσών (sPCA) θα οδηγήσει στη δημιουργία νέων εικόνων από τις μη συσχετιζόμενες βιοφυσικές τιμές (μέσες μηνιαίες τιμές θερμοκρασίας, NDVI κ.α.) των συσχετισμένων εικόνων, που θα βοηθήσουν στην αποτελεσματικότερη εξαγωγή συμπερασμάτων.

Σημειώνεται ότι, μετασχηματισμός γίνεται έτσι ώστε οι παραγόμενες συνιστώσες να ταξινομούνται με φθίνουσα σειρά περιεχόμενης πληροφορίας. Έτσι η πρώτη κύρια συνιστώσα (PC 1) εμπεριέχει το μεγαλύτερο ποσοστό της πληροφορίας της εικόνας και εμφανίζει τη μεγαλύτερη διακύμανση, ενώ η κάθε επόμενη περιλαμβάνει ένα μειωμένο ποσοστό/διακύμανση σε σχέση με την προηγούμενη και ταυτόχρονα δεν εμφανίζουν συσχέτιση με τις προηγούμενες τους. Ο αριθμός των κύριων συνιστωσών είναι μικρότερος ή το πολύ ίσος με τον αριθμό των αρχικών μεταβλητών (Mather, 2004). Σχηματική αναπαράσταση των πιο πάνω δίνεται στην Εικόνα 2.3.4.3.1



Εικόνα 2.3.4.3.1: Διαγραμματική αναπαράσταση της εφαρμογής PCA μεθοδολογίας σε συσχετιζόμενες τιμές δύο φασματικών τάξεων (Jonson and Vaughan, 2010).

2.3.5 Εφαρμογές- Διεθνής Πραγματικότητα

Στο σημείο αυτό, μετά από ενδελεχή μελέτη της διεθνούς βιβλιογραφίας θα αναπτυχθούν αναλυτικά κάποιες από τις δυναμικές εφαρμογές της διαχρονικής ανάλυσης των βιοφυσικών

δεικτών MODIS της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής . Ανώτερος στόχος, η ανάδειξη του ρόλου της βιοφυσικής χαρτογράφησης και των βιοφυσικών δεικτών ως σημαντικά εργαλεία λήψης αποφάσεων περιβαλλοντικού και χωροταξικού σχεδιασμού.

Μια από τις κύριες εφαρμογές της χαρτογράφησης των βιοφυσικών δεικτών αποτελεί η δυνατότητα παρακολούθησης του περιβάλλοντος, σε τοπική ή παγκόσμια κλίμακα, για μια δεδομένη χρονική στιγμή ή για ένα συνεχές χρονικό διάστημα.

Μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών αποτελούν, η χαρτογράφηση των σημαντικότερων τύπων καλλιεργειών στις ΗΠΑ (Wardlow and Egber, 2008; Chang et al., 2007), των καλύψεων χρήσης γης στην Κίνα (Zhang et al., 2008) και η μελέτη του κύκλου βλάστησης (Zhang et al., 2003). Σημαντική και η συμβολή τους στην εκτίμηση του μεγέθους καταστροφών π.χ. πυρκαγιές, με τη χαρτογράφηση των περιοχών που επηρεάστηκαν από αυτές (Miliareisis, 2009a). Η παρακολούθηση της ραγδαίας ανάπτυξης καλλιεργειών δέντρων καουτσούκ στην Κίνα, το Λάος, την Ταϊλάνδη, το Βιετνάμ και την Καμπότζη με τη χαρτογράφηση των περιοχών αυτών (Li & Fox, 2012), η χαρτογράφηση των θερμοκρασιών ημέρας και νύχτας των Ευρωπαϊκών Άλπεων για τα έτη 2000-2008 (Neteler, 2010), καθώς και ο εντοπισμός περιοχών στην Ανταρκτική, την Αμερική και την Ιταλία που παρουσιάζουν θερμικές ανωμαλίες σε σχέση με τα υψομετρικά και γεωγραφικά δεδομένα (γεωγραφικό μήκος και πλάτος) (Miliareisis, 2014a, 2013a, 2012a) αποτελούν επιπρόσθετες εφαρμογές.

Εξίσου σημαντική εφαρμογή των βιοφυσικών δεδομένων αποτελεί ο εντοπισμός διαχρονικών μεταβολών (π.χ. εποχικών/ημερήσιων, αλλαγών σε μεγάλη κλίμακα) που σχετίζονται με την κλιματική αλλαγή και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Μελέτη των Alward, Detling and Milchunas (1999), που είχε ως στόχο τον εντοπισμό των επιδράσεων των κλιματικών αλλαγών στις θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας, κατέδειξε αύξηση της νυχτερινής θερμοκρασίας (LST night) με ρυθμούς ταχύτερους από αυτούς της θερμοκρασία ημέρας, λόγω της μείωσης της εκπεμπόμενης θερμικής ακτινοβολίας κατά τη διάρκεια της νύχτας εξαιτίας της ύπαρξης νεφών.

Οι Tian et. al. (2013), για να αξιολογήσουν τις επιπτώσεις των ορυχείων άνθρακα που δραστηριοποιούνται στην περιοχή Loess Plateau στην Κίνα, μελέτησαν τις αλλαγές της βλάστησης μέσω του δείκτη NDVI, μεταξύ περιοχών στις οποίες δραστηριοποιούνται εγκαταστάσεις εξόρυξης άνθρακα και περιοχών που δεν αναπτύσσεται αυτού του είδους η δραστηριότητα. Οι Zhao et al. (2009) και Lee & Yeh (2009), μελετήσαν τις αλλαγές στη βλάστηση στις εκβολές ποταμών που επιφέρει η εναπόθεση ιζημάτων λόγω πλημμυρών και η διεύδυση της θάλασσας στις περιοχές αυτές.

Οι Setiawan, Yoshino & Prasetyo (2014), μελέτησαν τις μεταβολές στη δασική κάλυψη (αποψίλωση, αναδάσωση και δασική αναγέννηση) στην Ινδονησία με τη χρήση των βιοφυσικών δεδομένων EVI, για μια χρονοσειρά επτά χρόνων (2001-2007). Η μελέτη μεγάλων χρονοσειρών π.χ. 3 έως 10 χρόνων μπορεί να οδηγήσει στη μοντελοποίηση των επιδράσεων της κλιματικής αλλαγής και να αποτελέσει εργαλείο για τη διεξαγωγή προβλέψεων συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος και στο σχεδιασμό προγραμμάτων αποκατάστασης (Miliareisis 2014b).

Η μελέτη των βιοφυσικών δεδομένων βρίσκει επιπρόσθετα εφαρμογές στον τομέα της γεωργίας, αφού οι μεταβολές της θερμοκρασίας επηρεάζουν το ποσοστό απορρόφησης τους από τα φυτά και κατ' επέκταση τον κύκλο ανάπτυξης των καλλιεργειών. Συγκεκριμένα

αύξηση της ημερήσιας θερμοκρασίας (LST day) έδειξε ότι επιταχύνει την ανάπτυξη καλλιεργειών και ελαττώνει το διάστημα σποράς και συγκομιδής, γεγονός όμως που οδηγεί στην μείωση της παραγωγικότητας τους (Hertel, Burke and Lobell, 2010). Οι υψηλές θερμοκρασίες νύχτας (LST night) επηρεάζουν τη λειτουργία της φωτοσύνθεσης και συντελούν και αυτές στη μείωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών (Turnbull, Murthy & Griffin, 2002). Ο βιοφυσικός δείκτης ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας βρίσκει και αυτός εφαρμογές στη γεωργία και την περιβαλλοντική ανάλυση και σχεδιασμό (Miliareisis, 2012b; Miliareisis and Tsatsaris, 2011), αφού η μέγιστη φωτοσύνθεση παρατηρείται σε περιοχές μεγάλου εύρους ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας (Mohammed and Tarpley, 2009).

Μελέτη του Miliareisis (2014b), στην οποία έγινε κατάτμηση του Ελλαδικού χώρου σε 8 ζώνες με βάση τις μέσες μηνιαίες θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας και τις ημερήσιες διακυμάνσεις αυτών, αναδεικνύει τη σπουδαιότητα των βιοφυσικών θερμικών δεδομένων στον προγραμματισμό των καλλιεργειών. Επιπρόσθετα η χρήση των βιοφυσικών δεδομένων βλάστησης συμβάλει στη διάκριση μεταξύ καλλιεργήσιμων και μη περιοχών, αλλά και στη διάκριση μεταξύ των ίδιων των καλλιεργειών (καλαμπόκι, σιτάρι, σόγια), ως προς την έκταση και την κατάσταση αυτών (Lobell & Asner, 2004; Lunetta et al., 2010; Shao et al., 2010).

Άλλη εφαρμογή αυτών αποτελεί και ο εντοπισμός περιοχών περισσότερο επιρρεπών στην εξάπλωση ασθενειών που έχουν προκύψει ή επανεμφανίζονται τα τελευταία χρόνια σε πολλές χώρες του κόσμου όπως, η λεισημανίαση (Tsatsaris et al. 2005; Hartemink et al., 2010), η νόσος του Lyme ή βορρελείωση (Neteler, 2005) κ.α. Οι Roiz et al. (2011), για σκοπούς σχεδιασμού στρατηγικών έγκαιρης πρόληψης και ελέγχου εμφάνισης του κουνουπιού-τίγρης (*Aedes albopictus*), που είναι φορέας σημαντικών ασθενειών, εντόπισαν με τη χρήση των θερμικών δεδομένων LST περιοχές επιδεκτικές στην εμφάνιση του.

Η συμβολή τους στον περιβαλλοντικό χωροταξικό σχεδιασμό φαίνεται από τη μελέτη των Miliareisis and Tsatsaris (2010), οι οποίοι μέσα από τη βιοφυσική θερμική αναπαράσταση των μέσων μηνιαίων θερμοκρασιών LST των διοικητικών διαιρέσεων της Ελλάδος και των υψομετρικών δεδομένων, προχώρησαν στην κατάτμηση του Ελλαδικού χώρου, σε ψυχρές και θερμές ζώνες σύμφωνα με τον κλιματικό δείκτη $LCI=(cold-warm)/(cold+warm)$.

Σημαντική εξίσου εφαρμογή αποτελεί η συσχέτιση των βιοφυσικών θερμικών δεδομένων με την ερμηνεία του φαινομένου της αστικής θερμνησίδας (urban heat island) (Aguilar, Oliveira and Goncalves, 2002), στην αξιολόγηση της αστικής ατμόσφαιρας και την μοντελοποίηση του αστικού κλίματος (Voogt and Oke, 1997; Jacob et al, 2002; Voogt and Oke, 2003). Μπορούν να καταγράψουν παραμέτρους των αστικών θερμνησίδων όπως μέγεθος, χωρική έκταση, κεντρικές θέσεις και κατευθύνσεις κινήσεων θερμότητας (Streutker 2002, 2003).

Αστική θερμνησίδα ονομάζεται το φαινόμενο κατά το οποίο η θερμοκρασία στην πόλη μετά τη δύση του ηλίου είναι μεγαλύτερη από αυτή των προαστίων και της αγροτικής περιοχής που την περιβάλλει (Oke, 1995; Cheval & Dumitrescu 2009; Tomlinson et al., 2012;). Για πόλεις μικρού μεγέθους η διαφορά αυτή της θερμοκρασίας κατά τις απογευματινές ώρες μπορεί να ανέλθει στους 2-3⁰C, ενώ για μεγάλες πόλεις πέραν του ενός εκατομμυρίου μπορεί να φτάσει και τους 12⁰C (USEPA, 2014; Imhoff et al., 2010).

Αιτίες πρόκλησης του φαινομένου αποτελούν τα οχήματα, η υψηλή απορρόφηση της ακτινοβολίας από τους δρόμους (λόγω της χαμηλής ανακλαστικότητας του υλικού), η θερμότητα που απελευθερώνουν τα κτίρια κατά τη διάρκεια της νύχτας, η μειωμένη εξάτμιση

λόγου έλλειψης πρασίνου και η επανεκπομπή από τους ρύπους της ατμόσφαιρα προς το έδαφος μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολίας (Gartland, 2010).

Η αύξηση της ενεργειακής ζήτησης, του κόστους κλιματισμού, της μόλυνσης της ατμόσφαιρας και των εκπομπών του αερίου του θερμοκηπίου, των ασθενειών που σχετίζονται με τη θερμοκρασία και κατ' επέκταση της θνησιμότητας, αλλά και ο επηρεασμός της ποιότητας των νερών αποτελούν συνέπειες του φαινομένου (Rizwan, Dennis & Liu, 2008; Guhathakurta, 2007).

Επιπρόσθετα, στις περιοχές τις οποίες εμφανίζεται το φαινόμενο αστικής θερμονησίδας παρατηρείται επηρεασμός του βιοφυσικού δείκτη *Diurnal*, αφού συμβάλει στην εμφάνιση μεγάλων διαφορών θερμοκρασίας σε σχέση με τα προάστια και τις γειτονικές περιοχές κατά τη διάρκεια της νύχτας και μικρές κατά τη διάρκεια της ημέρας. Αυτό κατά συνέπεια οδηγεί σε επηρεασμό των γεωργικών καλλιεργειών.

Σημαντικός τέλος αναδεικνύεται και ο ρόλος τους στην πρόβλεψη των σεισμών, αφού μελέτες έχουν δείξει αύξηση των ημερήσιων και νυχτερινών θερμοκρασιών μέχρι και 10^0 C δύο εβδομάδες πριν από την εκδήλωση του σεισμού (Zoran, 2012; Blackett, Wooster and Malamud, 2011; Panda et al., 2007), στην ηφαιστειολογία (Zouzias, Miliareisis & Seymour, 2011) και τη γεωθερμία (Miliareisis, 2013b, 2012c, 2009b).

2.3.6 Κυπριακή Πραγματικότητα

Στη Κύπρο, η χρήση της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης και των δορυφορικών δεδομένων για την παρακολούθηση του περιβάλλοντος έχει αρχίσει να αναπτύσσεται την τελευταία δεκαετία, όπως προέκυψε από τη βιβλιογραφική ανασκόπηση των μελετών που υλοποιήθηκαν.

Επίσημο κρατικό φορέα που χειρίζεται τη τηλεπισκόπηση αποτελεί το Κέντρο Πληροφορικής, Φυσικών Πόρων και Τηλεπισκόπησης του Υπουργείου Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος και το οποίο συμβάλει στην ενίσχυση της χρήσης της δορυφορικής Τηλεπισκόπησης προς όφελος της Δημόσιας Υπηρεσίας. Σημαντικός όμως είναι και ο ρόλος της Κυπριακής Κοινότητας Τηλεπισκόπησης που με τη διοργάνωση διεθνών συνεδρίων για την Τηλεπισκόπηση και τη Γεωπληροφορική του Περιβάλλοντος (RSCY, 2014) συμβάλλει στη διάχυση της συγκεκριμένης επιστήμης.

Ένα από τα θέματα που πραγματεύονται οι μελέτες που πραγματοποιήθηκαν στη Κύπρο, όσον αφορά τη χρήση τηλεπισκοπικών δεδομένων MODIS, είναι η μελέτη της ατμοσφαιρικής ρύπανσης του περιβάλλοντος της Κύπρου από τα αιωρούμενα σωματίδια, ένα ρύπο ιδιαίτερα σημαντικό λόγω των επεισοδίων διασυνοριακής ρύπανσης (επεισόδια σαχάρας) που πλήττουν το νησί (Nisantzi et al., 2013; Retalis et al., 2010; Retalis and Michaelides, 2009). Η παρακολούθηση των επιπτώσεων τη ατμοσφαιρικής ρύπανσης σε μνημεία πολιτιστικής κληρονομιάς (Themistocleous et al., 2012; 2010) και στην υγεία (Hadjimitsis et al., 2010a) αποτελούν επιπρόσθετες μελέτες για την εκτίμηση των επιδράσεων των αιωρούμενων σωματιδίων.

Οι Hadjimitsis et al. (2011), με τη χρήση δορυφορικών εικόνων MODIS και AVHRR, προχώρησαν στην κατάτμηση της Κύπρου σε ζώνες σύμφωνα με το βαθμό υετού

(πρόσληψης βρόχινου νερού). Επιπρόσθετα μελετήθηκε η εξατμοδιαπνοή των αρδεύσιμων καλλιεργειών συνδυάζοντας δορυφορικά δεδομένα MODIS, Landsat και μετεωρολογικά δεδομένα (Papadavid et al., 2013; Papadavid and Hadjimitsis, 2012; Papadavid et al. 2011). Εντοπίστηκαν περιοχές στις οποίες μπορούν να αναπτυχθούν παράσιτα επικίνδυνα για τα εσπεριδοειδή (Hadjimitsis, Agariou and Papachristodoulou, 2013), ενώ με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων Landsat εντοπίστηκαν περιοχές στο υπεραστικό οδικό δίκτυο της Κύπρου επιρρεπείς σε κατολισθήσεις (Alexakis et al., 2014) κι εκτιμήθηκε η ποιότητα των υδάτων στα φράγματα (Papoutsas and Hadjimitsis, 2012; Hadjimitsis, Clayton and Toullos, 2010b).

Επίσης, εκτιμήθηκε και ο βαθμός επικινδυνότητας σε φαινόμενα πλημμύρας σε επίπεδο λεκάνης απορροής ποταμού. Συγκεκριμένα μελετήθηκε η λεκάνη απορροής του ποταμού Γιαλιά στην επαρχία Λευκωσίας στην οποία διαχρονικά παρουσιάστηκαν έντονα φαινόμενα πλημμυρών. Στόχος ήταν η συμβολή στη διαχείριση και μείωση του κινδύνου για τους ανθρώπους, τις ιδιοκτησίες και το περιβάλλον, μετά από ένα τέτοιο φαινόμενο (Alexakis, Hadjimitsis and Agariou, 2013).

Όσον αφορά την ανάπτυξη ερευνητικών προγραμμάτων από φορείς του Δημοσίου, σε εξέλιξη βρίσκεται το πρόγραμμα του Ινστιτούτου Γεωργικών Ερευνών (ΙΓΕ) του Υπουργείου Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, για την εκτίμηση των αρδευτικών αναγκών καλλιεργειών. Ως στόχο έχει την ανάπτυξη και εφαρμογή ενός μοντέλου που θα μετρά την εξατμοδιαπνοή των καλλιεργειών με τη βοήθεια Τεχνικών Δορυφορικής Τηλεπισκόπησης από τους δορυφόρους Landsat, TM και ETM+ σε συνδυασμό με καθημερινές μετρήσεις εδάφους των διαφόρων παραμέτρων (θερμοκρασία και υγρασία εδάφους, ατμοσφαιρική πίεση, θερμοκρασία φυτών, θερμοκρασία, βροχόπτωση και ταχύτητα αέρα, δείκτη φυλλικής επιφάνειας, ύψος φυτών). Απώτερος σκοπός είναι η δημιουργία χαρτών εξατμοδιαπνοής για την έγκαιρη και έγκυρη εξαγωγή πληροφοριών που σχετίζονται με τις ανάγκες των καλλιεργειών σε νερό (ΙΓΕ, 2011).

2.3.7 Συμπεράσματα

Η τηλεπισκόπηση σε συνδυασμό με τη χρήση γεωγραφικών συστημάτων πληροφοριών αποτελούν σημαντικά εργαλεία για την παρακολούθηση των αλλαγών του περιβάλλοντος.

Όπως καταδεικνύουν και οι εφαρμογές που παρουσιάστηκαν στη βιβλιογραφική ανασκόπηση η χαρτογράφηση δορυφορικών βιοφυσικών δεικτών συμβάλει στην παρακολούθηση των επιπτώσεων των κλιματικών αλλαγών και στον εντοπισμό διαχρονικών αλλαγών. Βοηθάει επίσης στον προγραμματισμό και στην αύξηση της παραγωγικότητας των αγροτικών εκμεταλλεύσεων, αξιολογεί ζώνες και προσδιορίζει την επιδεκτικότητα τους σε σχέση με πιθανότητα εμφάνισης φυσικών καταστροφών όπως πλημμύρες, πυρκαγιές, σεισμούς φαινομένων θερμικής ρύπανση, και κατανομής ασθeneιών.

Αναμφίβολα η επεξεργασία και χαρτογράφηση των δορυφορικών σημαντικό εργαλείο για τη διεξαγωγή προβλέψεων συμβάλλοντας στην προστασία του περιβάλλοντος και στην υποστήριξη και στο σχεδιασμό προγραμμάτων αποκατάστασης αυτού. Επιπρόσθετα σημαντική είναι και η χρησιμότητά τους στον περιβαλλοντικό και χωροταξικό σχεδιασμό.

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

Η μεθοδολογία προσέγγισης του θέματος της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής αποτελείται από μια σειρά αλληλένδετων σταδίων τα οποία αποδίδονται σχηματικά στο Πίνακα 3.1. Αρχικά καθορίζεται το εννοιολογικό πλαίσιο του θέματος, με στόχο να εντοπιστούν τα δεδομένα που θα χρησιμοποιηθούν για την εξαγωγή της πληροφορίας καθώς και τα ερωτήματα που θα κληθεί να απαντήσει η παρούσα βιοφυσική χαρτογράφηση των δορυφορικών δεδομένων.

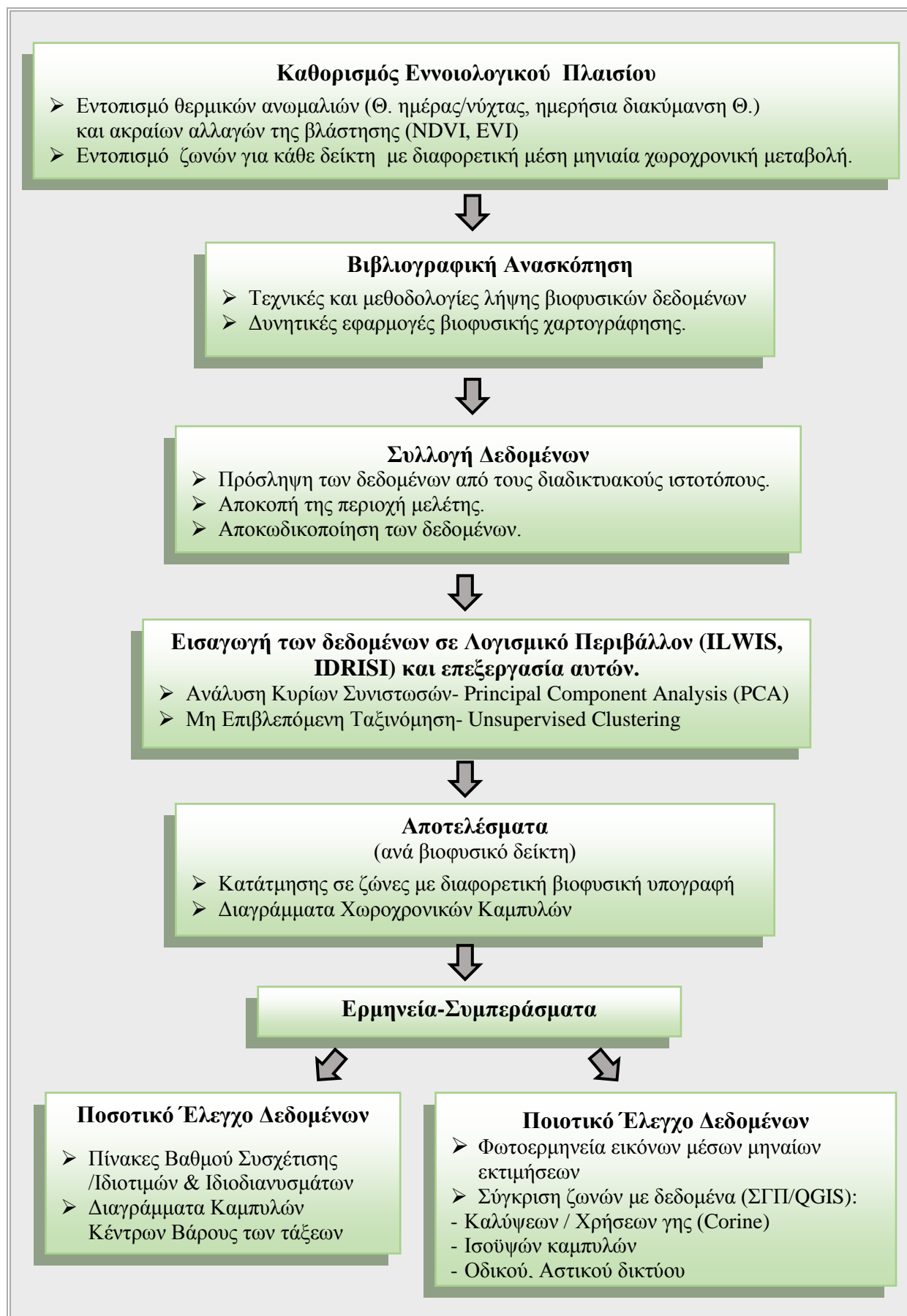
Ακολουθεί το στάδιο της βιβλιογραφικής ανασκόπησης, μέσα από το οποίο παρουσιάζονται οι τεχνικές και μεθοδολογίες λήψης των βιοφυσικών δεδομένων που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Παρουσιάζονται επίσης τα βασικά χαρακτηριστικά αυτών και οι δυνητικές εφαρμογές της βιοφυσικής χαρτογράφησης στη διεθνή και κυπριακή πραγματικότητα. Στόχος αποτελεί η ανάδειξη της σπουδαιότητας τους ως εργαλείο λήψεως αποφάσεων στον περιβαλλοντικό και χωροταξικό σχεδιασμό.

Η συλλογή και προ-επεξεργασία των δεδομένων αποτελεί το επόμενο στάδιο, το οποίο περιλαμβάνει την επιλογή των βιοφυσικών χωρικών δεδομένων, τον εντοπισμό των διαδικτυακών ιστοτόπων από τους οποίους θα γίνει η πρόσληψη τους, την αποκοπή της περιοχή μελέτης και την αποκωδικοποίηση αυτών. Τέλος, στο στάδιο αυτό επιτελείται και η τυποποίηση της πληροφορίας σε σχέση με τα διαθέσιμα δεδομένα. Εντοπίζεται π.χ. πως θα ορισθεί μια θερμική ανωμαλία, αν θα ληφθεί υπόψη η εποχική μεταβολή κ.α.

Μετά την συλλογή, επεξεργασία και τυποποίηση των δεδομένων ακολουθεί: i) ο προσδιορισμός των τεχνικών ανάλυσης (Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών, Μη Επιβλεπόμενη Ταξινόμηση) που θα χρησιμοποιηθούν για την ποσοτικοποίηση και την εξαγωγή παράγωγων – συνθετικών προϊόντων πληροφορίας και ii) η εφαρμογή αυτών, με την εισαγωγή των δεδομένων σε λογισμικό περιβάλλον επεξεργασίας..

Ακολουθεί το στάδιο των αποτελεσμάτων, το οποίο περιλαμβάνει για κάθε βιοφυσικό δείκτη, την απεικόνιση των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων, τη δημιουργία χαρτών κατάτμησης της Κύπρου σε χωρικά υποσύνολα με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή καθώς και την παρουσίαση των χωροχρονικών καμπύλων των κέντρων βάρους (μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις για κάθε μήνα) των εικονοστοιχείων της κάθε ζώνης.

Η όλη διαδικασία ολοκληρώνεται με το στάδιο της ερμηνείας των αποτελεσμάτων και εξαγωγής των συμπερασμάτων. Το στάδιο αυτό περιλαμβάνει για κάθε βιοφυσικό δείκτη τη φωτοερμηνεία των εικόνων μέσω μηνιαίων εκτιμήσεων και την αξιολόγηση της χωρικής κατανομής των χωρικών υποσυνόλων και των κέντρων βάρους των εικονοστοιχείων που ανήκουν σε κάθε ζώνη. Επιπρόσθετα, περιλαμβάνει και την σύγκριση των χωρικών κατανομών με πληροφορίες που αφορούν τις καλύψεις γης, το υψόμετρο, το οδικό δίκτυο, την κατανομή των πόλεων κ.α. με τη χρήση των Συστημάτων Γεωγραφικών Πληροφοριών (ΣΓΠ).



Πίνακας 3.1: Διάγραμμα μεθοδολογίας προσέγγισης του θέματος.

3.1 Σκοπός και Στόχοι

Σκοπό της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής αποτελεί η κατάτμηση της Κύπρου σε ζώνες με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή, με τη δημιουργία θεματικών χαρτών που εμπεριέχουν μέσες μηνιαίες βιοφυσικές εκτιμήσεις. Στόχος είναι ο εντοπισμός βιοφυσικών διαχρονικών ανωμαλιών και η ερμηνεία τους σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον.

Η επίτευξη του στόχου αυτού θα επιτευχθεί με τη συλλογή και αξιοποίηση βιοφυσικών πλεγματοειδών τηλεσκοπικών δεδομένων θερμοκρασίας (ημέρας και νύχτας -LST day and night, ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας-Diurnal) και βλάστησης (NDVI και EVI) του αισθητήρα MODIS και με το συνδυασμό αυτών με υψομετρικά δεδομένα και δεδομένα καλύψεων/χρήσεων γης.

Απώτερος στόχος είναι η χαρτογράφηση αυτή να αποτελέσει εργαλείο για τους κρατικούς φορείς της Κύπρου, στο περιβαλλοντικό χωροταξικό σχεδιασμό και στην υποστήριξη δραστηριοτήτων.

3.2 Ερευνητικά Ερωτήματα

Τα βασικά ερωτήματα που καλείται να απαντήσει η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή είναι τα εξής:

1. Σε ποιες χωρικές ζώνες μπορεί να κατατμηθεί η Κύπρος ως προς την ετήσια χωροχρονική μεταβολή του NDVI, του EVI, της θερμοκρασίας ημέρας και νύχτας και της ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας;

Το ερευνητικό ερώτημα αυτό αξιολογεί το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο των δεδομένων (Μηλιαρέσης 2003), δηλαδή ελέγχουμε κατά πόσο η ψηφιακή αναπαράσταση του φυσικού χώρου στο πλαίσιο της ψηφιακής διαμέρισης και της παραμετροποίησης των δεδομένων εμπεριέχει διαφοροποίηση χωρικής πληροφορίας που συσχετίζεται με φυσικά και άλλα μεγέθη. Δηλαδή το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο μια ψηφιακής αναπαράστασης δεδομένων προσδιορίζει τις δυναμικές εφαρμογές του.

2. Ποια η διαφοροποίηση των βιοφυσικών αυτών υπογραφών μεταξύ των ζωνών;
3. Πώς ερμηνεύονται οι μεταβολές αυτές με βάση το φυσικό περιβάλλον και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες;

3.3 Σχεδιασμός

Οι τεχνικές που θα ακολουθηθούν για την επίτευξη του στόχου της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής περιλαμβάνουν την ανάλυση της κάθε κατηγορίας δεδομένων (θερμοκρασίας, δεικτών βλάστησης) και τον προσδιορισμό χωρικών ζωνών με διαφορετική μέση μηνιαία χωροχρονική μεταβολή. Αυτό θα επιτευχθεί με την:

- Ερμηνεία των βιοφυσικών εικόνων (απεικονίσεις με διαβαθμίσεις του γκριζου) της χωρικής κατανομής των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων των βιοφυσικών υπογραφών.

- Χρήση της τεχνικής της κανονικοποιημένης ανάλυσης κυρίων συνιστωσών, για σκοπούς φιλτραρίσματος των δεδομένων (αφαίρεση θορύβου, νεφών κ.α.) και τη χαρτογράφηση των τάξεων των κύριων συνιστωσών που θα προκύψουν με την τεχνική της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Τα ILWIS v 3.8 και το IDRISI Selva v17.0 αποτελούν τα κύρια λογισμικά επεξεργασίας της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής (ILWIS 2014; IDRISI, 2012)

Επιπρόσθετα, θα εξετασθεί η χωροχρονική υπογραφή κάθε ζώνης και η κατανομή της στο χώρο. Αυτό θα επιτευχθεί με τον εντοπισμό των διαφοροποιήσεων μεταξύ των ζωνών από την ερμηνεία του πίνακα συσχέτισης των μέσων μηνιαίων βιοφυσικών υπογραφών, την ερμηνεία των ιδιοδιανυσμάτων και ιδιοτιμών των κυρίων συνιστωσών, καθώς και την ερμηνεία των τιμών κέντρου βάρους (μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων για κάθε μήνα) των εικονοστοιχείων της κάθε ζώνης (cluster) της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης.

Τέλος, οι ζώνες αυτές θα συγκριθούν σε περιβάλλον ΣΓΠ με τη χρήση του λογισμικού προγράμματος QGIS v 2.2 (QGIS, 2014), με δεδομένα καλύψεων γης (Corine), με υψομετρικές πληροφορίες (SRTM 3) και με άλλα διανυσματικά δεδομένα (π.χ. οδικό δίκτυο, πόλεις), προκειμένου να ερμηνευτούν οι μεταβολές με βάση το φυσικό περιβάλλον και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες.

3.4 Μέθοδος Συλλογής Δεδομένων

Τα δεδομένα που απαιτούνται για την επίτευξη του στόχου της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής προέρχονται από συλλογή πρωτογενών δεδομένων, μέσα από ενδεδειγμένη έρευνα των ακόλουθων διαδικτυακών ιστοτόπων:

- Αμερικανική Γεωλογική Επισκόπηση (USGS), https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table, για τη λήψη των βιοφυσικών δεδομένων:
 - Βλάστησης, MOD13C2 «Global MODIS vegetation indices» (NDVI, EVI) και
 - Θερμοκρασίας, MYD11C3 «MODIS AQUA LST» (LST day and night).



- Ευρωπαϊκός Οργανισμός Περιβάλλοντος (EEA), <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster>, για τη λήψη των δεδομένων καλύψεων γης Corine Land Cover 2006.
- Διεθνές Ερευνητικό Κέντρο CGIAR-CSI (Consultative Group on International Agricultural Research Consortium for Spatial Information), <http://srtm.csi.cgiar.org/>, για τη λήψη των δεδομένων υψομετρικού μοντέλου εδάφους SRTM-3.
- Εθνική Υπηρεσία Γεωδιαστημικών Πληροφοριών NGA (National Geospatial Intelligent Agency), <http://earth-info.nga.mil/gns/html/index.html>, για τη λήψη των διανυσματικών δεδομένων των τοπωνυμιών.

Τέλος, τα διανυσματικά δεδομένα του οδικού δικτύου και των διοικητικών ορίων προέρχονται αντίστοιχα από τις ιστοσελίδες <http://www.openstreetmap.org/> και <http://www.gadm.org/>, ενώ η εικόνα που θα χρησιμοποιηθεί επιπρόσθετα για την ερμηνεία των μεταβολών σε σχέση με το φυσικό περιβάλλον προέρχεται από την ιστοσελίδα Global Land Cover Facility, <http://glcf.umd.edu/index.shtml>.

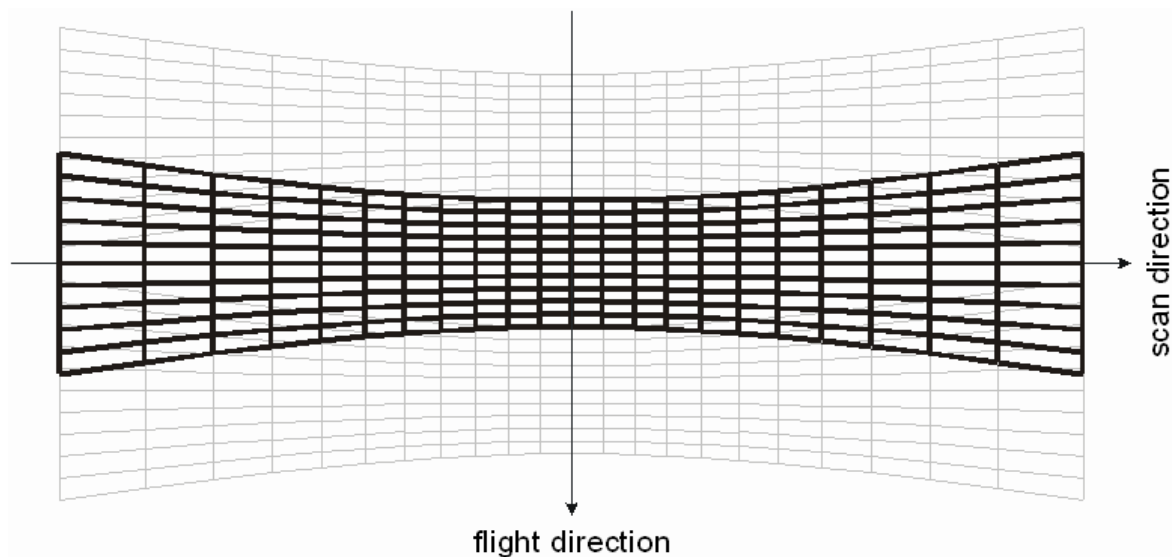
3.5 Δεδομένα

Στο σημείο αυτό θα παρουσιαστεί ο τρόπος λειτουργίας και τα χαρακτηριστικά φασματικής ανάλυσης του σαρωτή MODIS (Modis Web, 2013) καθώς και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των βιοφυσικών προϊόντων του αισθητήρα αυτού που θα χρησιμοποιηθούν στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή. Επιπρόσθετα θα δωθούν και τα τεχνικά χαρακτηριστικά των δεδομένων καλύψεων γης CORINE και των υψομετρικών πληροφοριών SRTM-3 και θα παρουσιαστεί αναλυτικά η περιοχή μελέτης.

3.5.1 Πολυφασματικός σαρωτής MODIS

3.5.1.1 Λειτουργία του σαρωτή MODIS

Η συλλογή των οπτικών και επιμέρους στοιχείων του ανιχνευτή MODIS επιτυγχάνεται μέσω ενός εγκάρσιου καθρέφτη σάρωσης. Το πλάτος της σάρωσης του MODIS είναι 2330 km (σε τροχιά) ανά 10 km (κατά μήκος της τροχιάς στο ναδίρ). Η κατά μήκος διάσταση τροχιάς σάρωσης οφείλεται στο οπτικό στήσιμο καθώς και στο μηχανισμό σαρώσεως του MODIS. Σε αντίθεση με άλλους αισθητήρες, ο MODIS παρατηρεί μέσα σε μία γραμμή σάρωσης δέκα γραμμές χωρικής ανάλυσης 1 km (40 γραμμές με 250 m ανάλυση και 20 γραμμές με ανάλυση 500 m, αντίστοιχα). Αυτός ο χαρακτηριστικός τρόπος σάρωσης του MODIS, γνωστός ως «*bow-tie*» συμβαίνει στα σύνορα της κάθε σκηνής. Στο σχήμα 3.5.1.1 απεικονίζονται τρεις συνεχόμενες σαρώσεις του MODIS αποτελούμενες από δέκα γραμμές του ενός χιλιομέτρου. Εξαιτίας του τρόπου σάρωσης, «*bow-tie*», οι σαρώσεις είναι μερικώς αλληλεπικαλυπτόμενες στις κατωφερέστερες γωνίες ναδίρ. Η πρώτη και η τρίτη σάρωση απεικονίζονται ελαφρώς γκρι, ενώ η δεύτερη σάρωση με έντονο μαύρο.



Εικόνα 3.5.1.1.1 Σχηματική αναπαράσταση της «bow-tie» σάρωσης του MODIS
http://eoweb.dlr.de:8080/short_guide/MODIS/Image1.gif

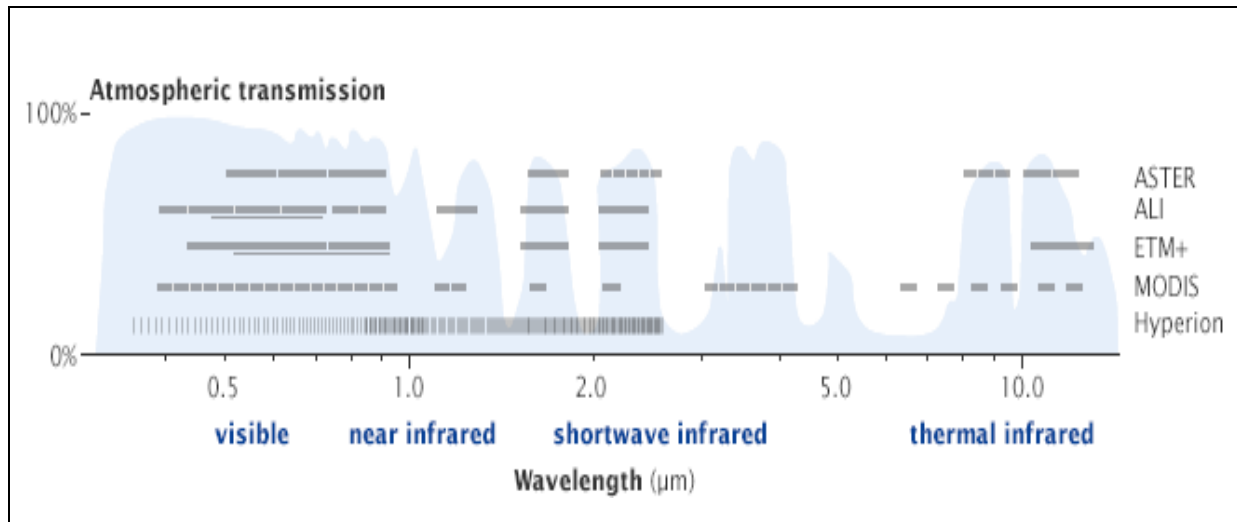
3.5.1.2 Φασματική Διακριτική Ικανότητα

Ο αισθητήρας MODIS είναι ένα υψηλής φασματικής ικανότητας ραδιόμετρο που καταγράφει δεδομένα σε 36 φασματικά κανάλια (Πίνακα 3.5.1.2.1). Ο μεγάλος αριθμός των καναλιών επιτρέπει τον προσδιορισμό των φασματικών υπογραφών και τον εντοπισμό αντικειμένων με ακρίβεια.

Πίνακας 3.5.1.2.1: Φασματικές περιοχές μέτρησης του MODIS (<http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>)

Κανάλι	Μήκος Κύματος (μm)	Κανάλι	Μήκος Κύματος (μm)	Κανάλι	Μήκος Κύματος (μm)
1	0,620 -0, 670	13	0,662 -0, 672	25	4,482 – 4,549
2	0,841 -0, 876	14	0,673 -0, 683	26	1,360 – 1,390
3	0,459 – 0,479	15	0,743 – 0,753	27	6,535 – 6,895
4	0,545 – 0,565	16	0,862 – 0,877	28	7,175 – 7,475
5	1,230 – 1,250	17	0,890 – 0,920	29	8,400 – 8,700
6	1,628 – 1,652	18	0,931 – 0,941	30	9,580 – 9,880
7	2,105 – 2,155	19	0,915 -0,965	31	10,780 – 11,280
8	0,405 – 0,420	20	3,660 – 3,840	32	11,770 – 12,270
9	0,438 -0, 448	21	3,929 – 3,989	33	13,185 – 13,485
10	0,483 -0, 493	22	3,929 – 3,989	34	13,485 – 13,785
11	0,526 – 0,536	23	4,020 – 4,080	35	13,785 – 14,085
12	0,546 -0, 556	24	4,433 – 4,498	36	14,085 – 14,385

Στην Εικόνα 3.5.1.2.1, παρουσιάζονται οι δίοδοι της ακτινοβολίας της ατμόσφαιρας και η κατανομή των καναλιών του MODIS σε σύγκριση με τα ατμοσφαιρικά αυτά παράθυρα. Οι δίοδοι καθορίζουν τα μήκη κύματος που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τηλεπισκόπηση.



Εικόνα 3.5.1.2.1: Δίοδοι ακτινοβολίας στην ατμόσφαιρα και η κατανομή των καναλιών του MODIS. (http://earthobservatory.nasa.gov/Features/PaintedGlaciers/images/atmospheric_transmission_bands.png)

Από τα 36 φασματικά κανάλια του MODIS, 10 καταγράφουν στο ορατό, 6 στο εγγύς υπέρυθρο, 4 στο μέσο υπέρυθρο και 16 στο άπω (θερμικό) υπέρυθρο. Αναλυτικά, η καταγραφή του κάθε φασματικού καναλιού στο ηλεκτρομαγνητικό φάσμα παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.5.1.2.2.

Πίνακας 3.5.1.2.2: Φασματικές Ζώνες του MODIS.

Κανάλι	Φασματική Ζώνη Η/Μ Φάσματος	Κανάλι	Φασματική Ζώνη Η/Μ Φάσματος	Κανάλι	Φασματική Ζώνη Η/Μ Φάσματος
1	Ορατό-Κόκκινο	13	Ορατό-Κόκκινο	25	Άπω Υπέρυθρο
2	Εγγύς Υπέρυθρο	14	Ορατό-Κόκκινο	26	Μέσο Υπέρυθρο
3	Ορατό-Μπλε	15	Εγγύς Υπέρυθρο	27	Άπω Υπέρυθρο
4	Ορατό-Πράσινο	16	Εγγύς Υπέρυθρο	28	Άπω Υπέρυθρο
5	Μέσο Υπέρυθρο	17	Εγγύς Υπέρυθρο	29	Άπω Υπέρυθρο
6	Μέσο Υπέρυθρο	18	Εγγύς Υπέρυθρο	30	Άπω Υπέρυθρο
7	Μέσο Υπέρυθρο	19	Εγγύς Υπέρυθρο	31	Άπω Υπέρυθρο
8	Ορατό-Μπλε	20	Άπω Υπέρυθρο	32	Άπω Υπέρυθρο
9	Ορατό-Μπλε	21	Άπω Υπέρυθρο	33	Άπω Υπέρυθρο
10	Ορατό-Μπλε	22	Άπω Υπέρυθρο	34	Άπω Υπέρυθρο
11	Ορατό-Πράσινο	23	Άπω Υπέρυθρο	35	Άπω Υπέρυθρο
12	Ορατό-Πράσινο	24	Άπω Υπέρυθρο	36	Άπω Υπέρυθρο

3.5.1.3 Χωρική Διακριτική Ικανότητα

Ο MODIS είναι ένας μέσης χωρικής διακριτικής ανάλυσης αισθητήρας, με χωρική ανάλυση 250 m στα κανάλια 1 και 2, 500 m στα κανάλια 3 έως 7 και 1000 m στα κανάλια 8 έως 36.

3.5.1.4 Ραδιομετρική Διακριτική Ικανότητα (αριθμό διαβαθμίσεων του γκριζου)

Το καταγραφικό σύστημα MODIS παρέχει υψηλή ραδιομετρική ευαισθησία 12 (bit). Δηλαδή, τα δεδομένα που καταγράφονται εκφράζονται σε 2^{12} (=4096) επίπεδα διαβάθμισης του γκρι. Η διάκριση αντικειμένων έχει σχέση με την ραδιομετρική ικανότητα του καταγραφικού συστήματος για δεδομένη φασματική απόκριση. Είναι σαφές ότι όσο μεγαλύτερη η ραδιομετρική ικανότητα τόσο μεγαλύτερη είναι η θεματική διακριτική ικανότητα, αφού στο ίδιο εύρος διακύμανσης της ενέργειας η καταγραφή-διαφοροποίηση της προσλαμβανόμενης ενέργειας γίνεται με πιο λεπτομερή τρόπο.

3.5.1.5 Χρονική Διακριτική Ικανότητα (Temporal resolution)

Ο σαρωτής MODIS κινούμενος στον αστερισμό των δύο δορυφορικών συστημάτων του Terra και του Aqua παρατηρεί όλη την επιφάνεια της Γης κάθε μία με δύο μέρες, σαρώνοντας συνολικά περιοχή πλάτους 2330 km.

Μετρήσεις στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο και μέσο υπέρυθρο πραγματοποιούνται μόνο κατά τη διάρκεια της μέρας ενώ οι ακτινοβολίες για το θερμικό υπέρυθρο (κανάλια 20-25, 27-36) μετρούνται αδιάκοπα.

3.5.1.6 Εφαρμογές

Η υψηλή φασματική και ραδιομετρική διακριτική ικανότητα καθώς και η καλή επαναληπτικότητα σάρωσης τον καθιστά χρήσιμο εργαλείο καταγραφής παραμέτρων της επιφάνειας της γης, των ωκεανών και της ατμόσφαιρας (Πίνακα 3.5.1.6.1). Είναι σε θέση να εκτιμά τη θερμοκρασία επιφάνειας, να μελετά το χρώμα των ωκεανών, να προσδιορίζει τη χλωροφύλλη στην επιφάνεια του νερού και να μετρά την ποσότητα αυτής. Έχει τη δυνατότητα να παρέχει πληροφορίες για την βλάστηση, τη παγοκάλυψη, την ανακλαστικότητα εδαφών, να προσδιορίζει το είδος των νεφών και των αέριων σωματιδίων (aerosols), την καύση βιομάζας, την παγκόσμια κατανομή της ατμοσφαιρικής αστάθειας καθώς και το υετίσιμο ύδωρ.

Πίνακας 3.5.1.6.1: Προτεινόμενες εφαρμογές κάθε φασματικού καναλιού του MODIS.

Κανάλια	Χρήση
1-2	Ξηρά, θάλασσα, νέφη, όρια αιωρούμενων σωματιδίων
3-7	Ξηρά, θάλασσα, νέφη, ιδιότητες αιωρούμενων σωματιδίων
8-16	Χρώμα ωκεανών, φυτοπλαγκτόν, βιοχημεία
17-19	Περιεχόμενοι στην ατμόσφαιρα υδρατμοί
20-23	Επιφάνεια, θερμοκρασία νεφών
24-25	Θερμοκρασία ατμόσφαιρας
26-28	Χαρτογράφηση νεφών (Cirrus Clouds) υδρατμοί
29	Ιδιότητες νεφών
30	Όζον
31-32	θερμοκρασία επιφάνειας και νεφών
33-36	Ύψος κορυφών νεφών

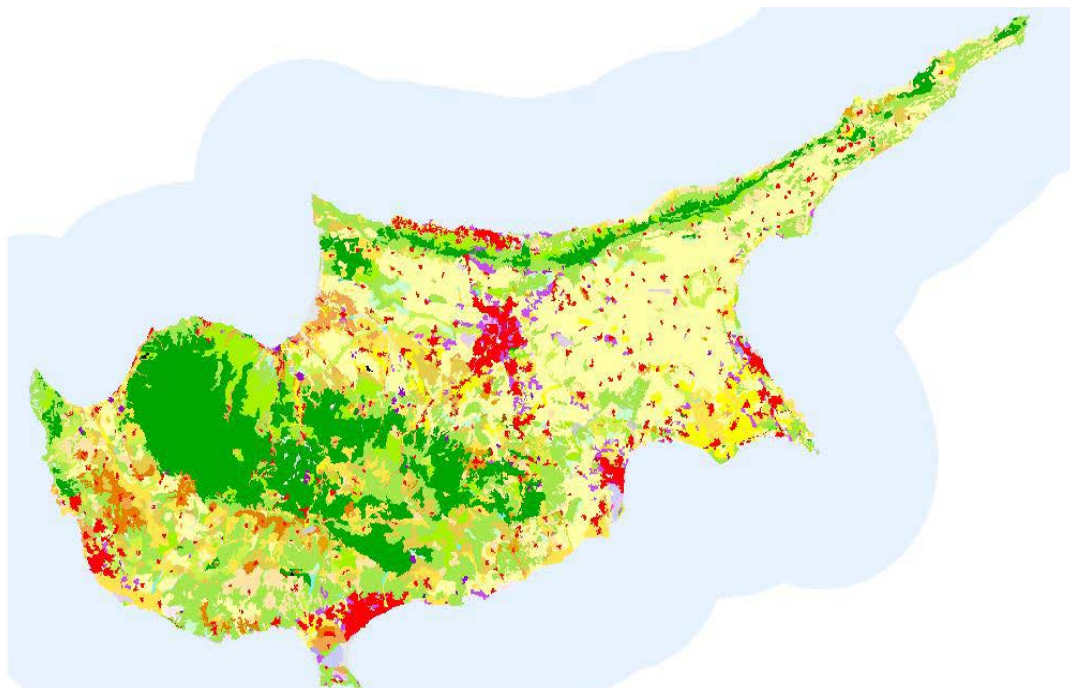
3.5.2 Corine Land Cover 2006

Για τους σκοπούς της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής θα χρησιμοποιηθεί η έκδοση του χάρτη καλύψεων χρήσης γης Corine Land Cover 2006 (CLC 2006) και συγκεκριμένα τα πλεγματικά δεδομένα με μέγεθος κελιού πλέγματος 100 m. Η χρήση του CLC 2006 παρέχει ποσοτικά στοιχεία σχετικά με χρήσεις/κάλυψεις γης, συγκρίσιμα σε ολόκληρη την Ευρώπη σε κλίμακα 1:100.000 και περιλαμβάνει 44 (υποδιαιρέσεις) κατηγοριοποιήσεις κάλυψης γης. Παρέχει θεματική ακρίβεια μεγαλύτερη από 85% και η ελάχιστη μονάδα χαρτογράφησης MMU (Minimum Mapping Unit) έχει ορισθεί τα 25ha ή 0,25 km² (EEA, 2007).

Ο ψηφιακός χάρτης έχει 100 m χαρτογραφική ακρίβεια και προβάλλεται σε Ελλειψοειδές Σύστημα Γεωγραφικής Αναφοράς (ETRS89), που είναι και το πρότυπο της Ευρωπαϊκής Επιτροπής για δεδομένα με πανευρωπαϊκή κάλυψη. Η χωρική διακριτική ικανότητα είναι 100m και τα δεδομένα έχουν προβληθεί στο Lambert Azimuthal - Equal Area με το ελλειψοειδές αναφοράς GRS 80 και κατακόρυφο σύστημα αναφοράς το European Terrestrial Reference System 1989 (Miliareisis 2009a).

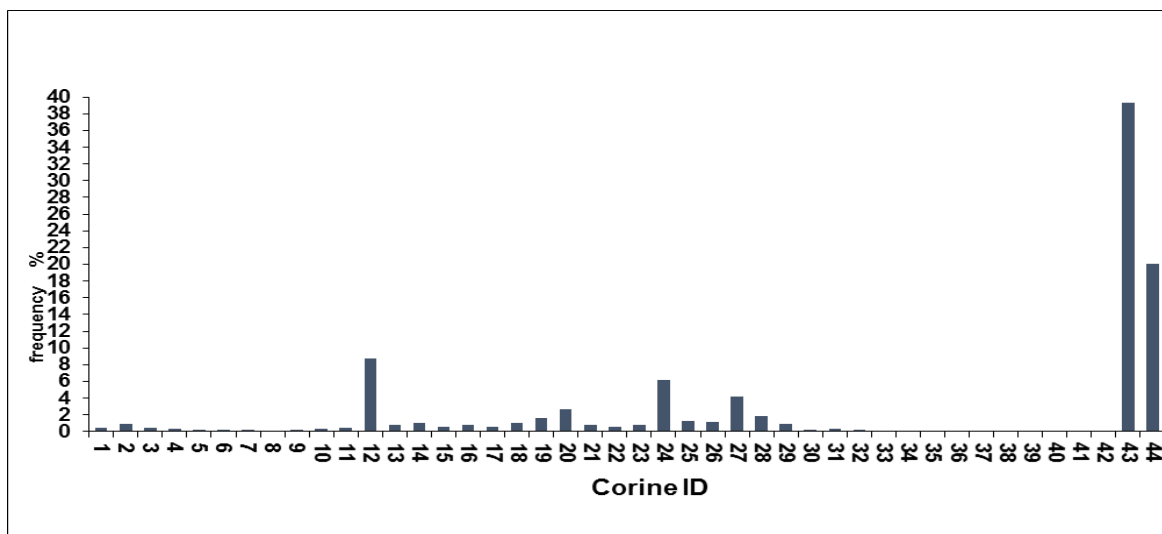
Σημειώνεται ότι τα δεδομένα επαναπροβλήθηκαν από το Ελλειψοειδές Σύστημα Γεωγραφικής Αναφοράς (ETRS89) σε γεωγραφικές συντεταγμένες (φ, λ, WGS84), προκειμένου να μπορούν να συγκριθούν με τα βιοφυσικά δεδομένα MODIS που είναι στο ίδιο γεωγραφικό σύστημα αναφοράς.

Ο χάρτης καλύψεων γης CLC 2006 της Κύπρου με τις 44 υποδιαιρέσεις δίνεται στην Εικόνα 3.5.2.1. Επιπρόσθετα δίνεται και το ιστόγραμμα συχνοτήτων του ποσοστού κάλυψης των εικονοστοιχείων ανά κατηγορία κάλυψης γης (Εικόνα 3.5.2.2)



- | | |
|--|---|
| 1 Συνεχής αστικός ιστός | 23 Δάση πλατύφυλλων |
| 2 Ασυνεχής αστικός ιστός | 24 Δάση κωνοφόρων |
| 3 Βιομηχανικές ή εμπορικές μονάδες | 25 Μικτά Δάση |
| 4 Οδικό, σιδηροδρομικό δίκτυο | 26 Ποολίβαδα |
| 5 Λιμάνια | 27 Τυρφοέλη και χαμηλή ξυλώδης βλάστηση |
| 6 Αεροδρόμια | 28 Σκληρόφυλλη βλάστηση |
| 7 Μεταλλευτικές περιοχές | 29 Ζώνες μεταβατικής δασικής βλάστησης |
| 8 Χώροι απόθεσης απορριμμάτων | 30 Παραλίες, αμμοβίνες και αμμώδεις εκτάσεις |
| 9 Εργοστάσια | 31 Βράχια |
| 10 Περιοχές αστικού πρασίνου | 32 Περιοχές με σποραδική βλάστηση |
| 11 Εγκαταστάσεις αναψυχής και αθλητισμού | 33 Καμένες περιοχές |
| 12 Μη αρδευόμενες αρόσιμες εκτάσεις | 34 Παγετώνες και αιώνιο χιόνι |
| 13 Μόνιμα αρδευόμενες εκτάσεις | 35 Χερσαία έλη |
| 14 Ορυζώνες | 36 Τυρφώνες |
| 15 Αμπελώνες | 37 Αλατούχα έλη |
| 16 Οπωρώνες και καλλιέργειες κερασιών | 38 Αλυκές |
| 17 Ελακώνες | 39 Παλιρροϊκοί σχηματισμοί |
| 18 Βοσκοτόπια | 40 Υδάτινα ρεύματα |
| 19 Ετήσιες μόνιμες καλλιέργειες | 41 Λίμνες, αποταμιευτήρες και αντιπλημμυρικές ζώνες |
| 20 Συμπλέγματα καλλιεργειών | 42 Λιμνοθάλασσες |
| 21 Αγροτικές εκτάσεις με σημαντικό ποσοστό φυσικής βλάστησης | 43 Εκβολές ποταμών |
| 22 Περιοχές αγροδασοπονίας | 44 Θάλασσα και ωκεανοί |

Εικόνα 3.5.2.1: Το σύστημα γεωταξινόμησης καλύψεων γης Κύπρου CLC 2006.



Εικόνα 3.5.2.2: Ιστόγραμμα συχνοτήτων εικονοστοιχείων CLC 2006 Κύπρου.

3.5.3 Ψηφιακό Υψομετρικό Μοντέλο Εδάφους (SRTM-3)

Σήμερα, το ΨΥΜΕ SRTM-3 DEM είναι διαθέσιμο παρέχοντας μια αναπαράσταση του συνόλου της επιφάνειας της γης, με διακριτική ικανότητα 3 δευτέρα της μοίρας (USGS, 2014). Ας σημειωθεί ότι η απόσταση 3 δευτέρων της μοίρας κατά μήκος ενός μεσημβρινού είναι πάντα 92 μέτρα, ενώ η ίδια απόσταση κατά μήκος ενός παράλληλου είναι συνάρτηση του γεωγραφικού πλάτους (ϕ) και αντιστοιχεί σε $92 \cdot \sin(\phi)$ μέτρα. Η σύνθεση του SRTM-3 DEM διεξήχθη το Φεβρουάριο του 2000, μέσω ενός ενεργητικού συστήματος τηλεπισκόπησης (SAR) που ήταν τοποθετημένο στο διαστημικό λεωφορείο (space shuttle). Κάλυψε πάνω από το 80% της γήινης επιφάνειας μεταξύ των γεωγραφικών πλατών 60° Βόρεια και 56° Νότια, συλλέγοντας δεδομένα κάθετα ως προς τη διεύθυνση πτήσης του, με απόσταση πλευρικής σάρωσης 225 χλμ. (Farr and Kobrick, 2000; Nikolakopoulos, Kamaratakis and Chrysoulakis, 2006). Η αποστολή χρηματοδοτήθηκε από την Εθνική Υπηρεσία Αεροναυτικής και Διαστήματος (National Aeronautics & Space Administration, NASA) και την Εθνική Υπηρεσία Γεωδιαστημικών Πληροφοριών (National Geospatial-Intelligence Agency, NGA NGA).

Κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας, σύμφωνα με τους Miliareisis & Paraschou (2005):

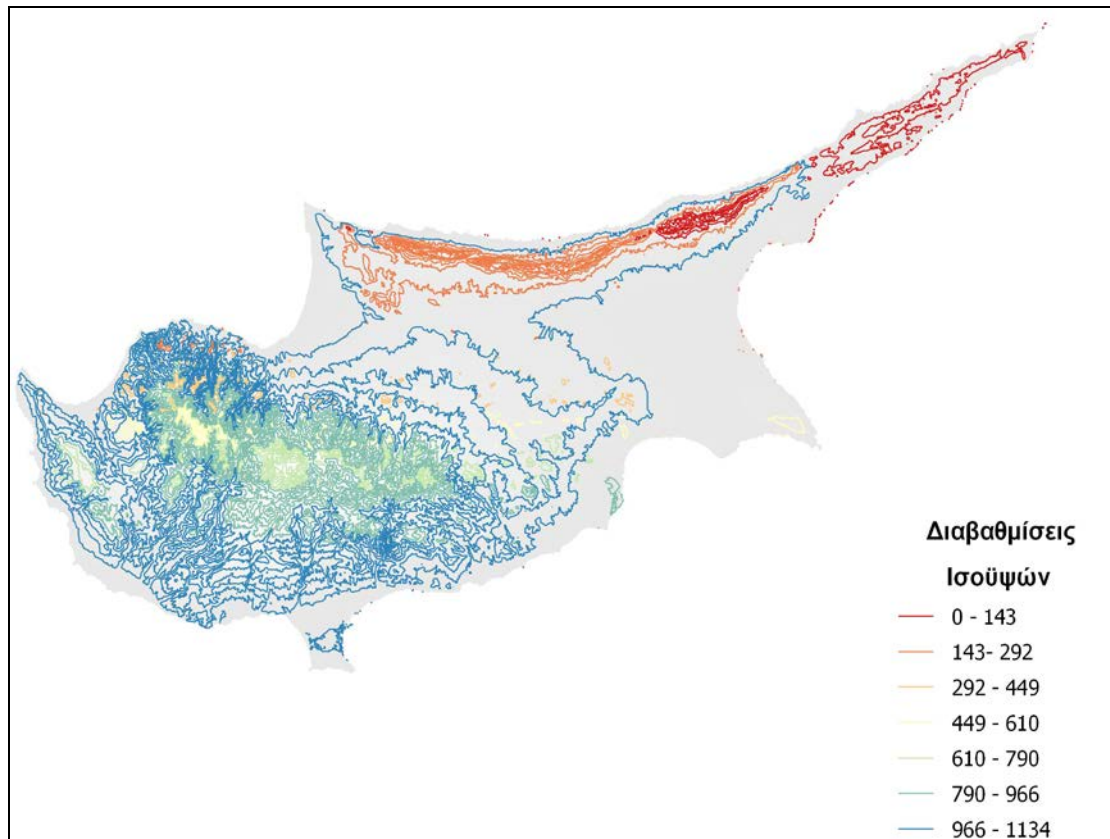
1. κάποια κενά (Voids) στα δεδομένα, που οφείλονται σε σκιάσεις και σε σφάλματα κατά τη λήψη- καταγραφή, διορθώθηκαν από δεδομένα υψηλότερης ακρίβειας
2. σημειακός θόρυβος (salt and pepper) εντοπίστηκε (θεωρήθηκε ότι σημεία με υψόμετρο μεγαλύτερο των 100 μέτρων από τα γειτονικά του είναι θόρυβος) και διορθώθηκε
3. οι ωκεανοί, οι λίμνες και τα ποτάμια αντιστοιχήθηκαν σε μια τιμή (no data value) που υποδηλώνει την υδρογραφία .

Η ακρίβεια ορίζεται σε σχέση με ΨΥΜΕ που έχουν μεγαλύτερη ακρίβεια από αυτό που θέλουμε να εξετάσουμε. Τα σημεία ελέγχου μπορεί να προέρχονται και από σημεία πεδίου με GPS (Miliareisis and Paraschou, 2005). Αφαιρούμε το ΨΥΜΕ που θέλουμε να συγκρίνουμε από το ΨΥΜΕ σύγκρισης, υψώνουμε τις διαφορές στο τετράγωνο και αθροίζουμε, διαιρώντας με τον αριθμό των σημείων. Η τετραγωνική ρίζα του αθροίσματος προσδιορίζει το μέσο τετραγωνικό σφάλμα (RMSE) που καθορίζει πόσο καλά ταυτίζονται οι δύο ομάδες δεδομένων (Maune, Maitra and McKay, 2007).

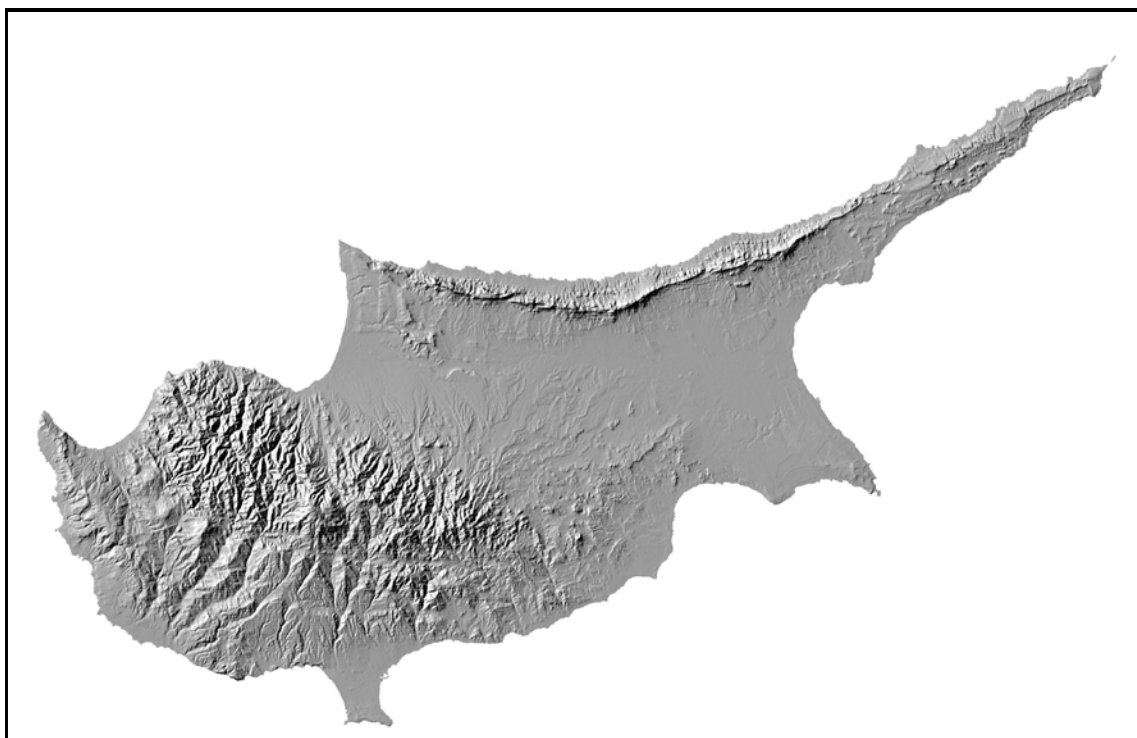
Στο SRTM το RMSE ισούται με 11 μέτρα και σύμφωνα με μελέτες που έχουν γίνει, η υψομετρική του ακρίβεια είναι κατάλληλη για κλίμακα μικρότερη από 1:50000 (Miliareisis and Paraschou, 2005, Miliareisis, 2007).

Στη συγκεκριμένη μεταπτυχιακή διατριβή θα χρησιμοποιηθεί το SRTM-3 DEM της Κύπρου με ελλειψοειδές αναφοράς το WGS84.

Οι χάρτες των ισουψών καμπυλών και του σκιασμένου αναγλύφου της Κύπρου, όπως προέκυψαν από την επεξεργασία του ψηφιακού υψομετρικού μοντέλου, δίνονται στις Εικόνες 3.5.3.1 και 3.5.3.2 αντίστοιχα που ακολουθούν.



Εικόνα 3.5.3.1: Χάρτης διαβαθμίσεων Ισοϋψών καμπυλών σε (m).



Εικόνα 3.5.3.2: Χάρτης σκιασμένου αναγλύφου.

Σημειώνεται ότι ο χάρτης σκιασμένου αναγλύφου (Εικόνα 3.5.3.2) δημιουργήθηκε από την τοποθέτηση του ηλίου σε αζιμούθιο 300 μοίρες και ύψος ηλίου 40 μοίρες.

3.5.4 Βιοφυσικές παράμετροι – Προϊόντα MODIS

Τα τεχνικά χαρακτηριστικά των βιοφυσικών παραμέτρων του αισθητήρα MODIS προέρχονται από την ιστοσελίδα της Αμερικανικής Γεωλογικής Επισκόπησης.
https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table.

3.5.4.1 Προϊόν MOD13C2 - NDVI

Τα προϊόντα NDVI του MODIS περιέχουν ατμοσφαιρικά διορθωμένες ανακλαστικότητες στις οποίες έχουν ληφθεί υπόψη οι υδάτινες επιφάνειες, τα σύννεφα και οι σκιές των νεφών. Ανακλαστικότητες στο ορατό μπλε, ορατό κόκκινο και το εγγύς υπέρυθρο στα 0,470 μm, 0,648 μm και 0,848 μm αντίστοιχα, χρησιμοποιούνται για να προσδιορίσουν τους ημερήσιους δείκτες βλάστησης.

Ο NDVI στο MODIS συμπεριλαμβάνεται σε ένα προϊόν που λέγεται MOD13C2, το οποίο είναι διαθέσιμο σε τυποποίηση CMG 0.05 Dec monthly (Climate Modeling Grid), με χωρική διακριτική ικανότητα 0.05⁰ μοίρες και χρονική διακριτική ικανότητα 1 μήνα. Για να προσδιοριστεί η μέση μηνιαία εκτίμηση του δείκτη NDVI για κάθε εικονοστοιχείο χρησιμοποιούνται οι μέρες κάθε μήνα οι οποίες είναι ελεύθερες από νέφωση και για τις οποίες έγινε λήψη δεδομένων. Αυτό σημαίνει ότι οι εκτιμήσεις του Modis βασίζονται στις μέρες χωρίς νέφωση. Η τυποποίηση των τιμών NDVI είναι σε ακέραιες τιμές ανά εικονοστοιχείο και έχουν εύρος τιμών 2 byte προσημασμένα, δηλ. το δυνητικό εύρος τιμών ανά εικονοστοιχείο είναι -32767 έως +32767. Για τις ανάγκες τυποποίησης του NDVI χρησιμοποιείται το εύρος -2000 έως 10000 και ο συντελεστής μετατροπής των κωδικοποιημένων τιμών σε τιμές NDVI είναι ο 0,0001.

Όταν δεν υπάρχουν δεδομένα (no data) λόγω νέφωσης ή από στιγμιαία μη λειτουργία του σαρωτή, τότε εμφανίζεται μια σήμανση (flag) με το νούμερο -3000. Ο κωδικός της σήμανσης είναι έξω από το εύρος τιμών που χρησιμοποιούμε και χρησιμοποιείται για να υποδηλώσει νέφωση ή μη λειτουργία του σαρωτή για ένα συγκεκριμένα εικονοστοιχείο.

Τα προϊόντα MOD13C2 είναι ελεύθερα από σύννεφα και έχουν χωρική διακριτική ικανότητα 1 km και χρονική διακριτική ικανότητα 16 μέρες. Παράγωγα προϊόντα βρίσκονται στο επίπεδο 3, τα οποία ολοκληρώνονται σε χωρική διακριτική ικανότητα 5600 m ή 0,05⁰ σε ένα μήνα.

Τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα από 18/2/2000. Η κάθε εικόνα έχει μέγεθος 19 MB, είναι σε γεωγραφικές συντεταγμένες (Lon/Lat) και η τυποποίηση του αρχείου είναι HDF EOS.

3.5.4.2 Προϊόν MOD13C2 - EVI

Ο EVI στο MODIS συμπεριλαμβάνεται και αυτός στο προϊόν MOD13C2 το οποίο είναι διαθέσιμο σε τυποποίηση CMG 0.05 Dec monthly (Climate Modeling Grid) με χωρική διακριτική ικανότητα 0.05⁰ μοίρες και χρονική διακριτική ικανότητα 1 μήνα. Το προϊόν EVI του MODIS χρησιμοποιεί το μπλε κανάλι για να απομακρύνει υπολειπόμενες ατμοσφαιρικές επιδράσεις που προκαλούνται από καπνό και μικρά λεπτά σύννεφα που έχουν μέγεθος μικρότερο του εικονοστοιχείου. Επιπλέον το EVI ελαχιστοποιεί την επίδραση του

φυλλώματος και επιτρέπει να διακρίνουμε ζώνες που εμπεριέχουν πολύ αραιή έως πολύ πυκνή βλάστηση. Το δυναμικό εύρος τιμών ανά εικονοστοιχείο είναι -32767 έως +32767. Για τις ανάγκες τυποποίησης του EVI χρησιμοποιείται το εύρος -2000 έως +10000 και ο συντελεστής μετατροπής των κωδικοποιημένων τιμών σε τιμές EVI είναι ο 0.0001.

3.5.4.3 Προϊόν MYD11C3 - LST

Οι θερμοκρασίες ημέρας και νύχτας (LST) στο MODIS συμπεριλαμβάνονται σε ένα προϊόν που λέγεται MYD11C3 V5 το οποίο είναι διαθέσιμο σε τυποποίηση CMG 0.05 Dec monthly (Climate Modeling Grid) με χωρική διακριτική ικανότητα 0.05° μοίρες και χρονική διακριτική ικανότητα 1 μήνα. Για να προσδιοριστούν οι μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις των δεικτών LST για κάθε εικονοστοιχείο χρησιμοποιούνται οι μέρες κάθε μήνα οι οποίες είναι ελεύθερες από νέφωση και για τις οποίες έγινε λήψη δεδομένων.

Η τυποποίηση των τιμών LST είναι σε ακέραιες τιμές ανά εικονοστοιχείο και έχουν εύρος τιμών 2 byte μη προσημασμένα. Το δυναμικό εύρος δηλ. των τιμών ανά εικονοστοιχείο είναι από 0 έως +32767. Για τις ανάγκες τυποποίησης του LST χρησιμοποιείται εύρος ακέραιων αριθμών στο διάστημα 7500-65535 και η σχέση μετατροπής των κωδικοποιημένων τιμών από Kelvin σε τιμές Celsius είναι η ακόλουθη:

$$(X*0,02)-273$$

Το προϊόν MYD11C3 V5 περιλαμβάνει στρώματα δεδομένων ημερήσιας και νυχτερινής παρατήρησης LST, δεδομένων ποιοτικού ελέγχου, χρόνων κάλυψης, γωνιών ζενίθ, ημερών χωρίς νέφωση και ειδικών εκπομπών για τα φασματικά κανάλια 20, 22, 23, 29, 31 και 32. Τα δεδομένα αυτά έχουν επικυρωθεί στο επίπεδο 2 μέσω εργασιών πεδίου και μελετών επικύρωσης της λάμψης.

Τα δεδομένα αυτά είναι διαθέσιμα από 01/08/2002. Η κάθε εικόνα έχει συμπίεσμένο μέγεθος 80 MB, είναι σε γεωγραφικές συντεταγμένες (Lon/Lat) και η τυποποίηση του αρχείου είναι HDF EOS.

3.5.4.4 Ημερήσια Διακύμανση Θ.

Η ημερήσια διακύμανση Θ. (Diurnal), δεν συμπεριλαμβάνεται στα προϊόντα του MODIS, αλλά αποτελεί δευτερογενές δεδομένο το οποίο προκύπτει από την αφαίρεση των θερμοκρασιών νύχτας που καταγράφονται στις 01:30 το βράδυ, από τις τιμές θερμοκρασίας ημέρας, που καταγράφονται στις 13:30 το μεσημέρι.

3.6 Περιοχή Μελέτης

3.6.1 Γενικά

Η Κύπρος είναι το τρίτο σε μέγεθος νησί της Μεσογείου μετά τη Σαρδηνία και τη Σικελία, με έκταση 9.251 τετραγωνικά χιλιόμετρα. Έχει μέγιστο μήκος 240 χιλιόμετρα από το ανατολικότερο στο δυτικότερο της άκρο και μέγιστο πλάτος 100 χιλιόμετρα από το

βορειότερο μέχρι το νοτιότερο της άκρο. Το γεωγραφικό της πλάτος εκτείνεται από 34° 33' έως 35° 34' βόρεια του ισημερινού και γεωγραφικό μήκος από 32° 16' έως 34° 37' ανατολικά του μεσημβρινού του Γκρήνουιτς. Το 59,4% του εμβαδού των εδαφών της νήσου ανήκουν στις ελεύθερες περιοχές που ελέγχονται από τη Κυπριακή Δημοκρατία, το 35,2% αποτελεί έδαφος κατεχόμενο από τα τουρκικά στρατεύματα, το 2,6% αντιστοιχεί σε περιοχές Νεκρής Ζώνης και το 2,7 % στις Βρετανικές Βάσεις (Περί Κύπρου, 2009).

Διοικητικά όλο το νησί (εικόνα 3.6.1.1) χωρίζεται σε έξι επαρχίες, της Λευκωσίας, Λεμεσού, Λάρνακας, Πάφου, Αμμοχώστου και Κερύνειας, με τις δύο τελευταίες να βρίσκονται στο κατεχόμενο από τους Τούρκους μέρος του νησιού.



Εικόνα 3.6.1.1: Χάρτης Κύπρου

http://ebooks.edu.gr/modules/ebook/show.php/DSDIM-E100/533/3526.14488/images/imgD_4.jpg

3.6.2 Μορφολογία

Το έδαφος της, σύμφωνα με τον Iacovidis (2011), είναι κυρίως ορεινό ενώ από μορφολογικής άποψης μπορεί να υποδιαιρεθεί στις πιο κάτω τέσσερις μορφολογικές περιφέρειες:

1. το ορεινό σύμπλεγμα του Τρόδους, που βρίσκεται στο κεντρικό-δυτικό μέρος του νησιού, καλύπτει 3500 τετραγωνικά χιλιόμετρα συμπεριλαμβανομένης της λοφώδους περιοχής γύρω από το ορεινό σύμπλεγμα. Η υψηλότερη βουνοκορφή του, ο Όλυμπος έχει ύψος 1951 μέτρα πάνω από την επιφάνεια της θάλασσας

2. τη βόρεια οροσειρά του Πενταδακτύλου, που εκτείνεται κατά μήκος των βόρειων ακτών του νησιού, έχει σχετικά μικρό πλάτος και καλύπτει 400 τετραγωνικά χιλιόμετρα και κορυφές μέχρι 950 μέτρα ύψος
3. την κεντρική πεδιάδα της Μεσαορίας, που βρίσκεται μεταξύ των οροσειρών Τροόδους και Πενταδακτύλου, καλύπτει 2500 τετραγωνικά χιλιόμετρα και έχει γενικά χαμηλό υψόμετρο και
4. τις παράκτιες πεδιάδες και κοιλάδες.

3.6.3 Πληθυσμός - Αστική Ανάπτυξη

Ο πληθυσμός της Κύπρου στις ελεύθερες περιοχές σύμφωνα με την Απογραφή Πληθυσμού (2011), ανέρχεται στους 840,407. Το 67,4% αυτού είναι συγκεντρωμένο στις πόλεις και μόλις το 32,6% κατοικεί σε αγροτικές περιοχές. Πρωτεύουσα του νησιού είναι η Λευκωσία στην οποία είναι συγκεντρωμένο και το μεγαλύτερο μέρος του πληθυσμού 326980 (38,9%). Όσον αφορά την αστική ανάπτυξη, η Επαρχία με το πιο υψηλό ποσοστό σε αστικό πληθυσμό είναι η Λεμεσός με ποσοστό 77% και ακολουθεί η Λευκωσία με 73% και η Πάφος με 70% (Πίνακας 3.6.2).

Πίνακας 3.6.2: Κατανομή αστικού/ αγροτικού πληθυσμού ανά Επαρχία (Απογραφή Πληθυσμού 2011)

ΕΠΑΡΧΙΑ	ΣΥΝΟΛΟ ΠΛΗΘΥΣΜΟΥ	ΑΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ	ΑΓΡΟΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΧΗ
Λευκωσία	326,980	239,277 (73%)	87,703
Λεμεσός	235,330	180,201 (77%)	55,129
Λάρνακα	143,192	84,591 (59%)	58,601
Πάφος	88,276	62,122 (70%)	26,154
Αμμόχωστος	46,629	0	46,629
Σύνολο	840,407	566,191	274,216

3.6.4 Κλίμα- Κλιματολογικά χαρακτηριστικά

Ως μεσογειακό νησί, η Κύπρος χαρακτηρίζεται από ζεστά και ξηρά καλοκαίρια (Μάιο - Σεπτέμβριο) και ήπιους χειμώνες (Νοέμβριο – Μάρτιο). Σύμφωνα με τη Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου (2013), οι υψηλές θερμοκρασίες που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού οφείλονται στην επίδραση εποχιακού βαρομετρικού χαμηλού που επηρεάζει τη χώρα, με κέντρο τη νοτιοδυτική Ασία. Κατά τη διάρκεια του χειμώνα επηρεάζεται από το πέρασμα μικρών υφέσεων και μετώπων που κινούνται με κατεύθυνση από τα δυτικά προς τα ανατολικά στη Μεσόγειο, μικρής διάρκειας (1-3 ημέρες) που δίνουν τις μεγαλύτερες ποσότητες βροχής. Η ηλιοφάνεια στο νησί κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού είναι κατά μέσο όρο 11.5 ώρες την ημέρα, ενώ κατά τους χειμερινούς μήνες (Δεκέμβριο-Ιανουάριο) η διάρκεια της ηλιοφάνειας ελαττώνεται στις 5.5 ώρες την ημέρα, λόγω της αυξημένης παρουσίας νεφώσεων στην ατμόσφαιρα. Η σχετική υγρασία κατά τη διάρκεια της μέρας τους χειμερινούς μήνες κυμαίνεται μεταξύ 65% και 95%. Κατά τους καλοκαιρινούς μήνες ελαττώνεται στο 30% στην κεντρική πεδιάδα και κάποτε φτάνει μέχρι και το 15%, ιδιαίτερα στη διάρκεια του μεσημεριού.

Όσον αφορά τους ανέμους που πνέουν στο νησί, είναι δυτικοί ή νοτιοδυτικοί το χειμώνα και βόρειοι ή βορειοδυτικοί το καλοκαίρι και χαρακτηρίζονται ως προς την έντασή τους σε

ασθενείς ως μέτριοι. Ισχυροί άνεμοι με ταχύτητα 24 κόμβων συμβαίνουν σε περιπτώσεις μεγάλης κακοκαιρίας και είναι μικρής διάρκειας, ενώ πολύ ισχυροί άνεμοι (ταχύτητα ανέμου > 34 κόμβων) είναι σπάνιοι και συμβαίνουν κυρίως όταν συστήματα με πολύ χαμηλές πιέσεις επηρεάζουν την Κύπρο (Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, 2013).

Τοπικοί άνεμοι που εμφανίζονται στις παράλιες (θαλάσσιες/απόγειες αύρες) και ορεινές περιοχές (αναβατικοί/καταβατικοί άνεμοι) τροποποιούν την κατεύθυνση των ανέμων. Συγκεκριμένα, στις παράλιες περιοχές λόγω της διαφοράς θερμοκρασίας μεταξύ της ξηράς από τη μια και του νερού της θάλασσας από την άλλη, εμφανίζονται θαλάσσιες (καλοκαιρινούς μήνες) και απόγειες (χειμερινούς μήνες) αύρες, οι οποίες γίνονται αισθητές σε απόσταση μέχρι και 35 περίπου χιλιόμετρα από την παραλία. Αντίστοιχα, στις ορεινές περιοχές λόγω του διαφορετικού βαθμού θέρμανσης ή ψύξης γειτονικών περιοχών εμφανίζονται κατά την διάρκεια της ημέρας τους καλοκαιρινούς μήνες αναβατικοί άνεμοι (αύρες των κοιλάδων) και κατά τη διάρκεια της νύχτας τους χειμερινούς μήνες αντίστοιχα καταβατικοί άνεμοι (αύρες των ορεινών όγκων) (Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, 2013).

3.6.4.1 Θερμοκρασία

Η παγκόσμια αύξηση της θερμοκρασίας λόγω των κλιματικών αλλαγών έχει επιφέρει αύξηση της μέσης ετήσιας θερμοκρασίας και στην Κύπρο, τόσο στις πόλεις λόγω της αστικοποίησης όσο και στην ύπαιθρο. Ενδεικτικά, η μέση ετήσια θερμοκρασία στη Λευκωσία αυξήθηκε κατά $0,8^{\circ}\text{C}$ την τελευταία (1971-2000) τριακονταετία σε σύγκριση με την πρώτη (1901-1930) τριακονταετία (Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, 2013).

Οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες αέρα τους καλοκαιρινούς μήνες Ιούλιο και Αύγουστο κυμαίνονται μεταξύ 29°C στην κεντρική πεδιάδα και 22°C στις ψηλότερες κορυφές του Τροόδου, ενώ οι μέσες μέγιστες θερμοκρασίες αέρα στους μήνες αυτούς κυμαίνονται στους 36°C και 27°C αντίστοιχα. Επιπρόσθετα, η μέση διακύμανση της ημερήσιας θερμοκρασίας αέρα την περίοδο του καλοκαιριού κυμαίνεται στους 16°C στην κεντρική πεδιάδα και στους 9°C στις άλλες περιοχές. Τον Ιανουάριο, αντίστοιχα οι μέσες ημερήσιες θερμοκρασίες αέρα είναι 10°C στην κεντρική πεδιάδα και 3°C στις ψηλότερες κορυφές του Τροόδου, με μέσες ελάχιστες θερμοκρασίες αέρα 5°C και 0°C αντίστοιχα και ημερήσια διακύμανση θερμοκρασίας αέρα να κυμαίνεται στους $8-10^{\circ}\text{C}$ στις πεδινές περιοχές και $5-6^{\circ}\text{C}$ στις ορεινές (Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, 2013).

Όσον αφορά τη θερμοκρασία στην επιφάνεια του εδάφους, σύμφωνα με στοιχεία της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας Κύπρου (2013), τον Ιούλιο στις πεδινές περιοχές είναι 15°C την αυγή και φτάνει και τους 60°C 2-3 ώρες μετά το μεσημέρι, ενώ σε βάθος 5cm οι αντίστοιχες τιμές είναι 24 και 42°C .

3.6.4.2 Βροχόπτωση

Συνέπεια των κλιματικών αλλαγών που επηρεάζουν την Κύπρο αποτελεί και η ελάττωση των βροχοπτώσεων. Συγκεκριμένα η μέση ετήσια βροχόπτωση, σύμφωνα πάντα με τα στοιχεία της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας Κύπρου (2013), για την εικοσαετία 1991-2011 για όλο το νησί ανέρχεται στα 465 χιλιοστόμετρα, με χαμηλότερη τιμή τα 272 χιλιοστόμετρα το 2007-2008 και υψηλότερη τιμή τα 637 χιλιοστόμετρα το 1991-1992 (Πίνακας 3.6.4.2.1).

Πίνακας 3.6.4.2.1 : Ετήσια Βροχόπτωση εικοσαετίας (1991-2011)

http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLcyclimate_gr/DMLcyclimate_gr?opendocument

Υδρομετεωρολογικό Έτος	Ετήσια Βροχόπτωση (mm)
1991-1992	637
1992-1993	509
1993-1994	417
1994-1995	493
1995-1996	383
1996-1997	399
1997-1998	388
1998-1999	473
1999-2000	363
2000-2001	468
2001 -2002	604
2002-2003	561
2003-2004	545
2004-2005	412
2005-2006	360
2006-2007	479
2007-2008	272
2008-2009	527
2009-2010	546
2010-2011	465
Μέση τιμή για την εικοσαετία	465

Από την σύγκριση δε των μέσων τιμών βροχόπτωσης ανά τριακονταετία για τα έτη 1901-2000, η τελευταία τριακονταετία είναι κατά 17% χαμηλότερη από τη βροχόπτωση στην τριακονταετία 1901-1930 (1901-1930: 559 χιλιοστόμετρα, 1931-1960: 524 χιλιοστόμετρα, 1961-1990: 503 χιλιοστόμετρα, 1971-2000: 462 χιλιοστόμετρα). Σύμφωνα με στοιχεία της ίδιας πηγής κατά τη διάρκεια του 20ού αιώνα και στις αρχές του 21ου εμφανίζεται πτωτική τάση με μέσο ρυθμό ένα χιλιοστόμετρο το χρόνο.

Η συνολική μέση βροχόπτωση κατά τους χειμερινούς μήνες αντιστοιχεί περίπου με το 60% της ετήσιας βροχόπτωσης και επηρεάζεται από το ανάγλυφο της περιοχής. Συγκεκριμένα, η κατανομή της βροχόπτωσης στους πρόποδες του Τροόδου ανέρχεται στα 450 περίπου χιλιοστόμετρα, ενώ στην κορυφή του Ολύμπου φτάνει μέχρι και τα 1,100 χιλιοστόμετρα. Στις κορυφογραμμές του Πενταδακτύλου αντίστοιχα φτάνει τα 550 χιλιοστόμετρα, ενώ στην κεντρική πεδιάδα της Μεσαορίας οι τιμές κυμαίνονται μεταξύ 300 και 350 χιλιοστόμετρα. Τέλος στις παράλιες περιοχές παρουσιάζεται μέτρια βροχόπτωση, η οποία ανέρχεται στα 350 με 400 χιλιοστόμετρα στις νοτιοανατολικές και νότιες παράλιες περιοχές και στα 450 με 500 χιλιοστόμετρα στις δυτικές και βόρειες παράλιες περιοχές (Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου, 2013).

3.6.4.3 Ακραία Καιρικά φαινόμενα

Πέρα από τη μείωση των βροχοπτώσεων και την αύξηση της θερμοκρασίας, απόρροια των κλιματολογικών αλλαγών που επηρεάζουν την Κύπρο, είναι η εμφάνιση ακραίων ή

ασυνήθιστων καιρικών φαινομένων με σοβαρές επιπτώσεις στον τόπο. Σύμφωνα με την ετήσια έκθεση της Μετεωρολογικής Υπηρεσίας του 2011, κατά τη διάρκεια του έτους σημειώθηκαν τον Ιανουάριο ραγδαίες βροχές, πλημμύρες και ισχυρές καταιγίδες. Επιπρόσθετα, ισχυρές χαλαζοπτώσεις σημειώθηκαν κατά τους μήνες Μάρτιο, Ιούνιο, Σεπτέμβριο και Νοέμβριο ενώ τέλος, σημειώθηκαν ισχυροί άνεμοι κατά τον Ιούνιο και ανεμοστρόβιλοι τον Φεβρουάριο, τον Μάρτιο και το Νοέμβριο (ΠΕΕ, 2011).

3.6.5 Γεωργία

Η έκταση της γεωργικής γης σε γεωργικές εκμεταλλεύσεις το 2010 ανέρχονταν σε 118398,1 εκτάρια. Από την έκταση αυτή οι ετήσιες και δενδρώδεις (μόνιμες) γεωργικές εκμεταλλεύσεις καταλαμβάνουν 75412 και 23667 εκτάρια αντίστοιχα. Η καλλιέργεια των αμπελιών καταλαμβάνει έκταση 7620 εκταρίων ενώ τα μόνιμα λιβάδια και βοσκότοποι καταλαμβάνουν έκταση 2139 εκταρίων. Τέλος οι αγροναπαύσεις καταλαμβάνουν 9462 εκτάρια και 0,97 εκτάρια καταλαμβάνουν άλλες εκτάσεις (δηλ. οικιακοί λαχανόκηποι και φυτώρια) (Απογραφή Γεωργίας 2010).

Σύμφωνα πάντα με την ίδια πηγή, στο μεγαλύτερο μέρος της συνολικής έκτασης των ετήσιων καλλιεργειών καλλιεργούνται σιτηρά και κτηνοτροφικά προϊόντα σε ποσοστό 44,1% και 43,6% αντίστοιχα. Η καλλιέργεια πατατών καλύπτει μόνο το 0,1% της συνολικής έκτασης, ενώ αντίστοιχο είναι και το ποσοστό των νωπών λαχανικών, πεπονοειδών και φραουλών. Αντίστοιχα στις δενδρώδεις (μόνιμες) καλλιέργειες, οι ελαιώνες καλύπτουν το 49,2% της συνολικής έκτασης και ακολουθούν τα εσπεριδοειδή (μανταρινιές, λεμονιές, πορτοκαλιές, γκρέιπφρουτ κ.α.) με ποσοστό 15,9%, τα δέντρα με καρπούς με κέλυφος με ποσοστό 14,7% και τα οπωροφόρα δέντρα (μηλιές, ροδακινιές, κερασιές, δαμασκηνιές, αχλαδιές κ.α.) με ποσοστό 13,1%.

Οι πίνακες του κεφαλαίου 2 της Απογραφής Γεωργίας 2010, που δείχνουν τις εκμεταλλεύσεις και εκτάσεις κατά κατηγορία και κατά τάξεις μεγέθους των εκτάσεων ανά επαρχία, καταδεικνύουν ότι ως επί το πλείστο τα εσπεριδοειδή, τα οπωροφόρα δέντρα και τα καρποφόρα δέντρα ευδοκιμούν κυρίως στις επαρχίες Λευκωσίας και Λεμεσού και ακολουθεί η επαρχία Πάφου, τα αμπέλια κυριαρχούν στις επαρχίες Λεμεσού και Πάφου, ενώ η καλλιέργεια μπανανών απαντά μόνο στην επαρχία Πάφου. Τέλος, η ελιά ευδοκίμει σ' ολόκληρο το νησί.

3.6.6 Δάση

Το μεγαλύτερο μέρος των δασών της Κύπρου ανήκει στο κράτος και οι περισσότερες εκτάσεις αυτών βρίσκονται στις δύο οροσειρές του Πενταδακτύλου και του Τροόδους. Τα ιδιωτικά δάση είναι μικρά τεμάχια διασκορπισμένα σε όλη την Κύπρο, προερχόμενα ως επί το πλείστο από εγκαταλελειμμένη γεωργική έκταση κυρίως στα ορεινά. Αντιπροσωπεύουν το 31,25% της συνολικής έκτασης των δασών ή το 5,84% της έκτασης της Κύπρου (Τμήμα Δασών, 2010).

Η συνολική έκταση των κρατικών δασών σύμφωνα πάντα με την ίδια πηγή, ανέρχεται στα 172853 εκτάρια, από τα οποία τα 139053 ανήκουν στις ελεύθερες περιοχές (ποσοστό 80,46%) ενώ τα υπόλοιπα 33800 εκτάρια βρίσκονται στο κατεχόμενο μέρος του νησιού. Από την έκταση αυτή τα ψηλά δάση καταλαμβάνουν έκταση 107043 εκταρίων, ποσοστό 11,57% της συνολικής έκτασης της Κύπρου.

Σύμφωνα με τη χλωριδική σύνθεση των δασών του Τμήματος Δασών (2010), περίπου το 50% της ολικής έκτασης της Κύπρου καλύπτεται από φυσική βλάστηση. Από την έκταση αυτή το 18,65% καλύπτεται από ψηλά δάση, τα οποία αποτελούνται κυρίως από κωνοφόρα δέντρα όπως τραχεία πεύκη, μαύρη πεύκη, κέδρα και κυπαρίσσια. Το 13,63% καλύπτεται από θαμνώδη βλάστηση και το 9,49% καλύπτεται από φρύγανα.

3.7 Προδιαγραφές και ακρίβεια των δεδομένων

Για την επίτευξη του στόχου της βιοφυσικής χαρτογράφησης και κατάτμησης της Κύπρου σε ζώνες με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή, που πραγματεύεται η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή, χρησιμοποιήθηκαν τα ακόλουθα βιοφυσικά προϊόντα:

- MODIS/Terra - MOD13C2: Vegetation Indices Monthly L3 Global 0.05 Deg CMG που περιλαμβάνουν ποσοστιαίες εκτιμήσεις βλάστησης
- MODIS/Aqua - MYD11C3: LST/E Monthly L3 Global 0.05 Deg CMG που περιλαμβάνουν εκτιμήσεις θερμοκρασίας με ακρίβεια 0.5 kelvin.

Η χωρική διακριτική ικανότητα τους είναι 0.05 degrees και είναι διαθέσιμα σε γεωγραφικές συντεταγμένες στο ελλειψοειδές αναφοράς WGS84.

4 ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης, EVI

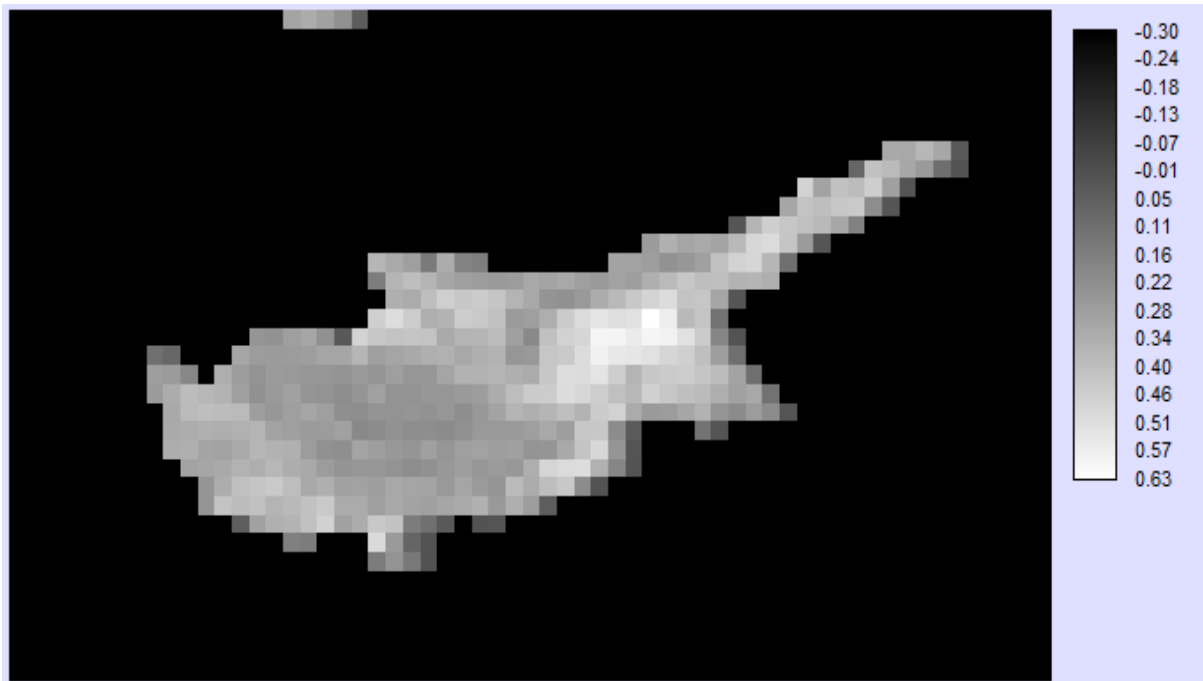
Ο EVI είναι ένας από τους δείκτες βλάστησης που εμπεριέχεται στο προϊόν MOD13C2, που περιλαμβάνει μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις με χωρική διακριτική ικανότητα 0.05^0 (Vegetation Indices Monthly L3 Global 0.05Deg CMG) (https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table).

Ο EVI έχει προέλθει από την ακόλουθη σχέση :

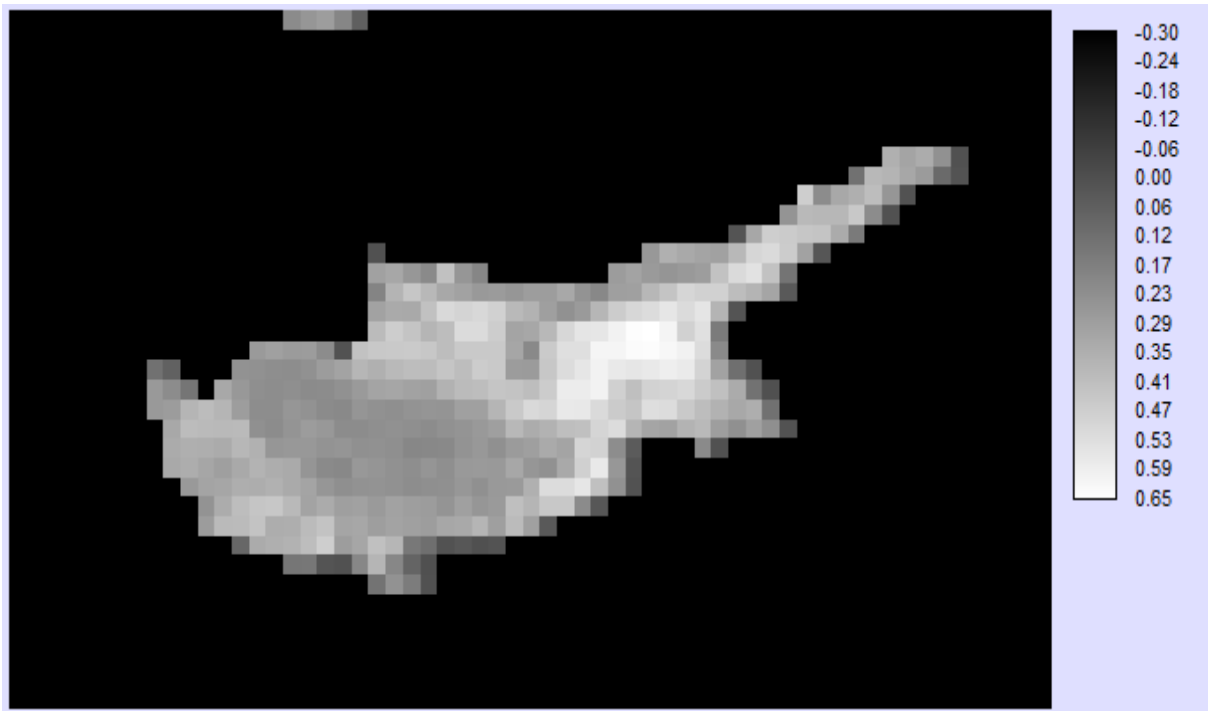
$$EVI = 2.5 * (nir - red) / (nir + 6.0 * red - 7.5 * blue + 1)$$

Τα δεδομένα είναι κωδικοποιημένα σε ακέραιους αριθμούς, εύρους 16bit, με πεδίο ορισμού -2000 έως 10000, no data= -3000 και η αποκωδικοποίηση γίνεται με πολλαπλασιασμό με το 0.0001. Η έκδοση των δεδομένων είναι η 5.1 και τα δεδομένα αφορούν το έτος 2010 με ώρα λήψης 13.30 μ.μ.

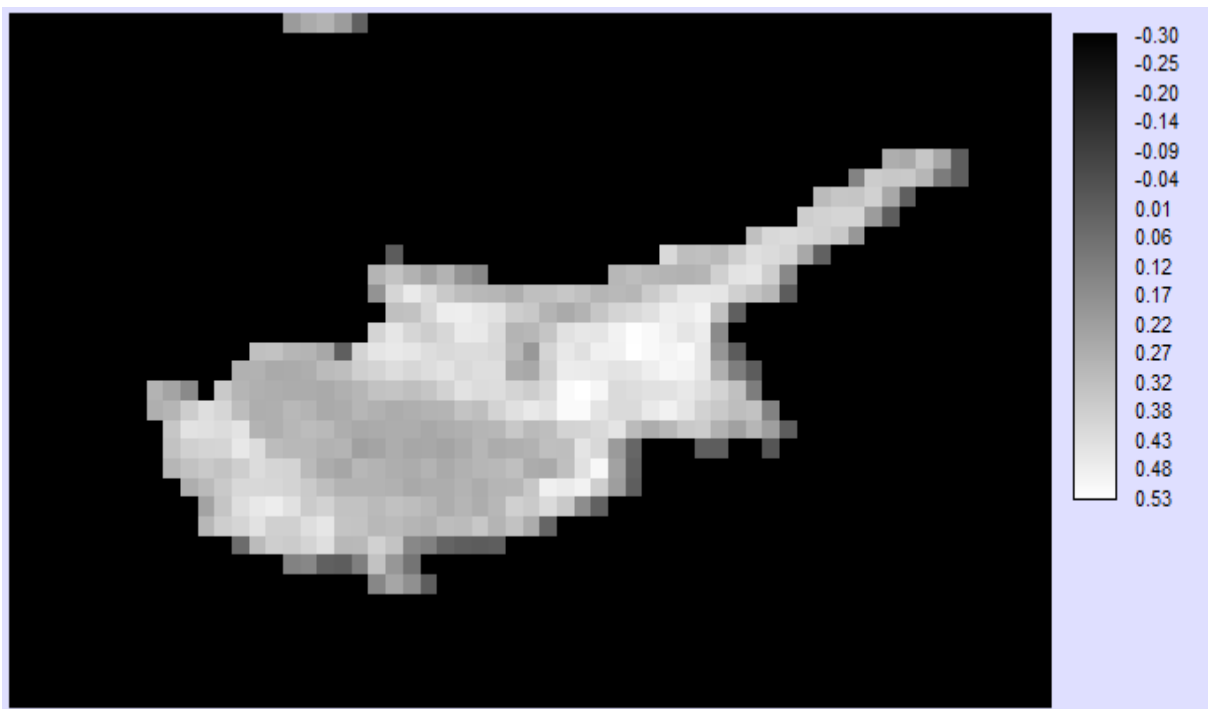
Ακολουθούν οι μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις του EVI στην περιοχή μελέτης, σε απεικόνιση διαβαθμίσεων του γκρι.



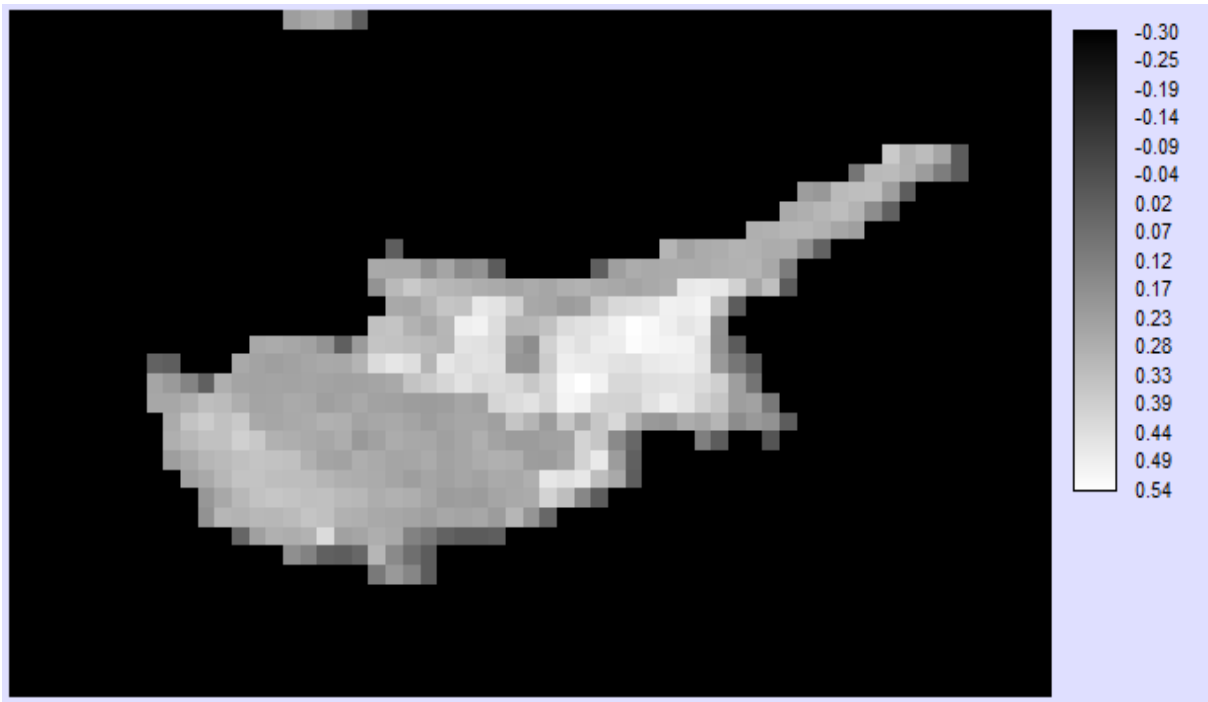
Εικόνα 4.1.1: EVI Ιανουαρίου



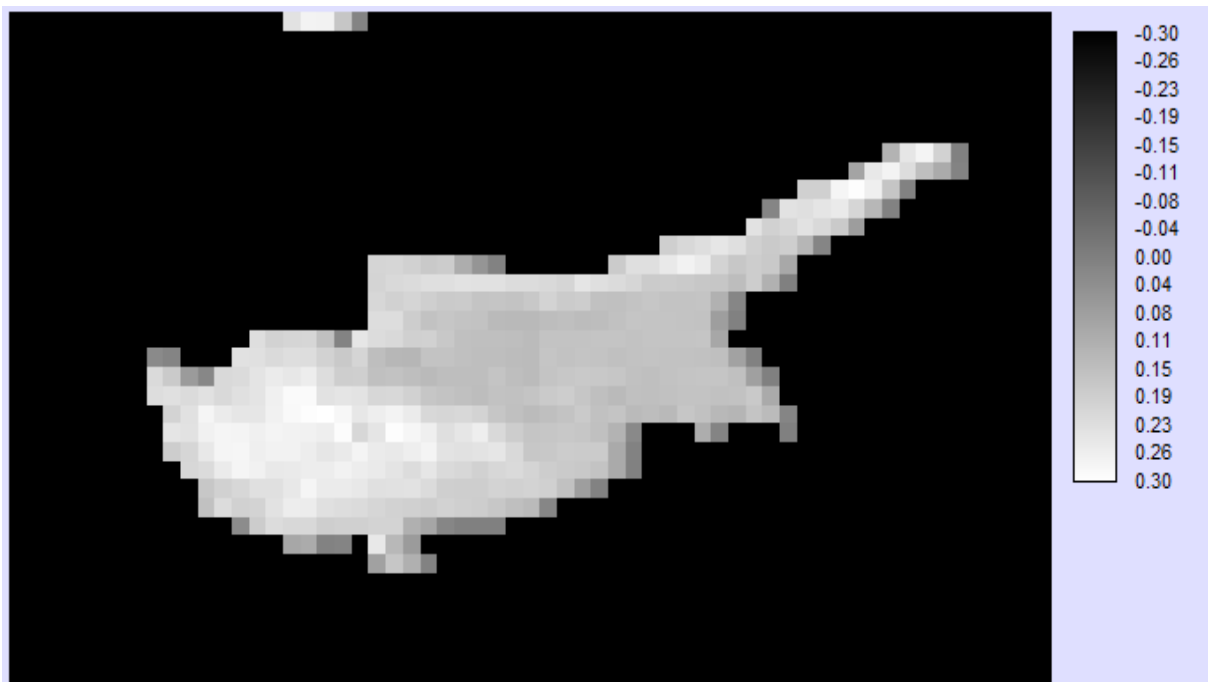
Εικόνα 4.1.2: EVI Φεβρουαρίου



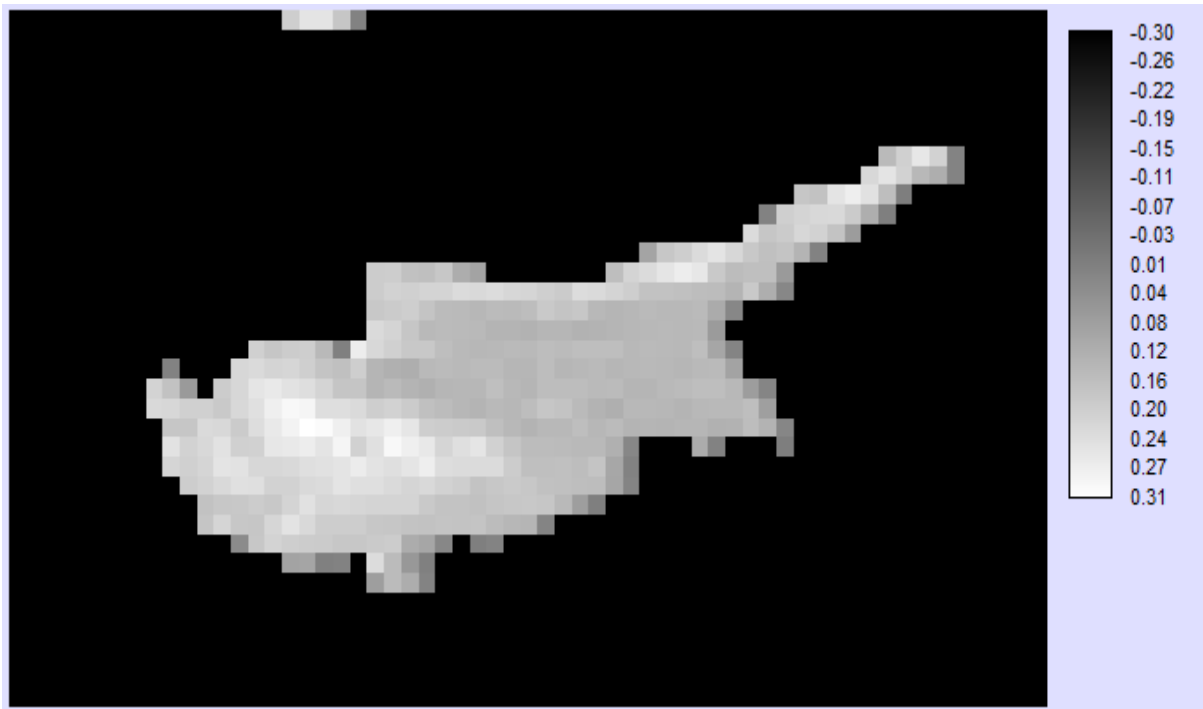
Εικόνα 4.1.3: EVI Μαρτίου



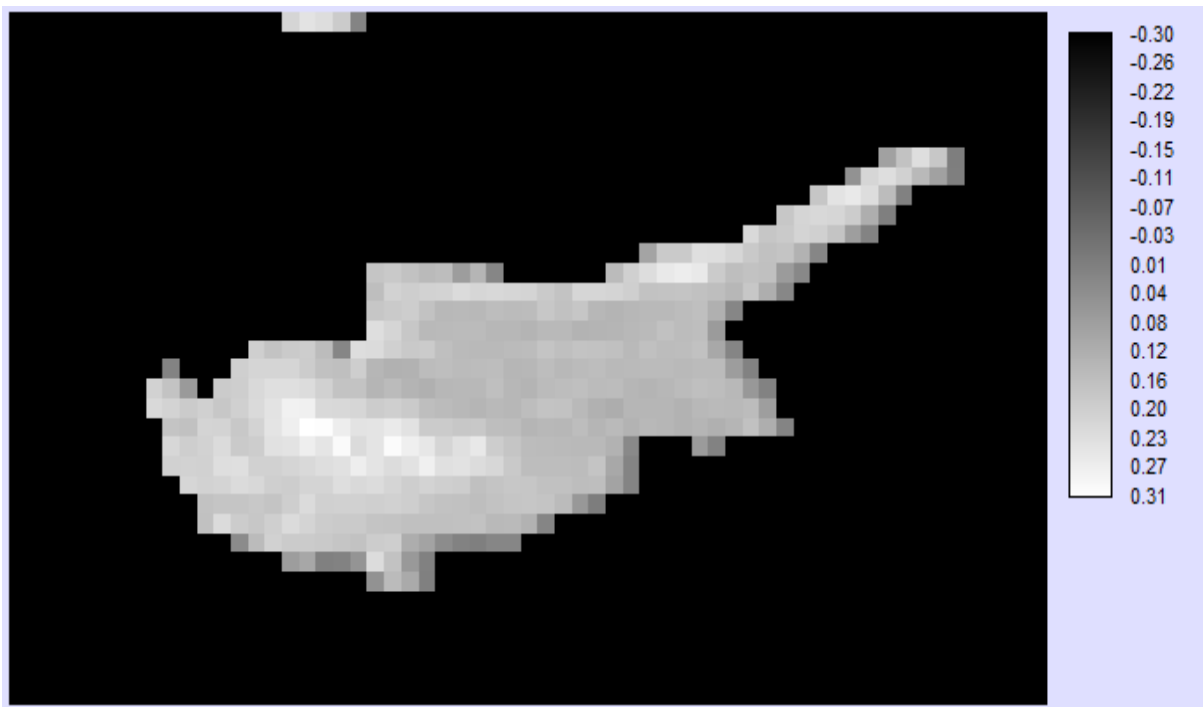
Εικόνα 4.1.4: EVI Απριλίου



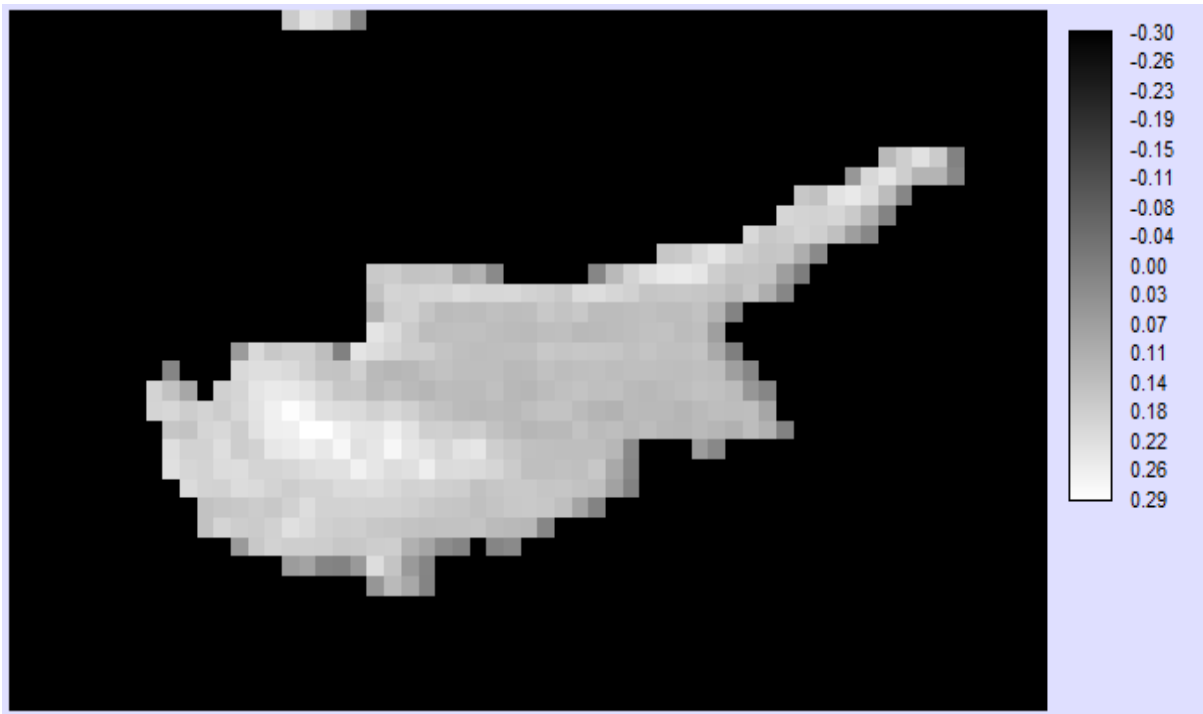
Εικόνα 4.1.5: EVI Μαΐου



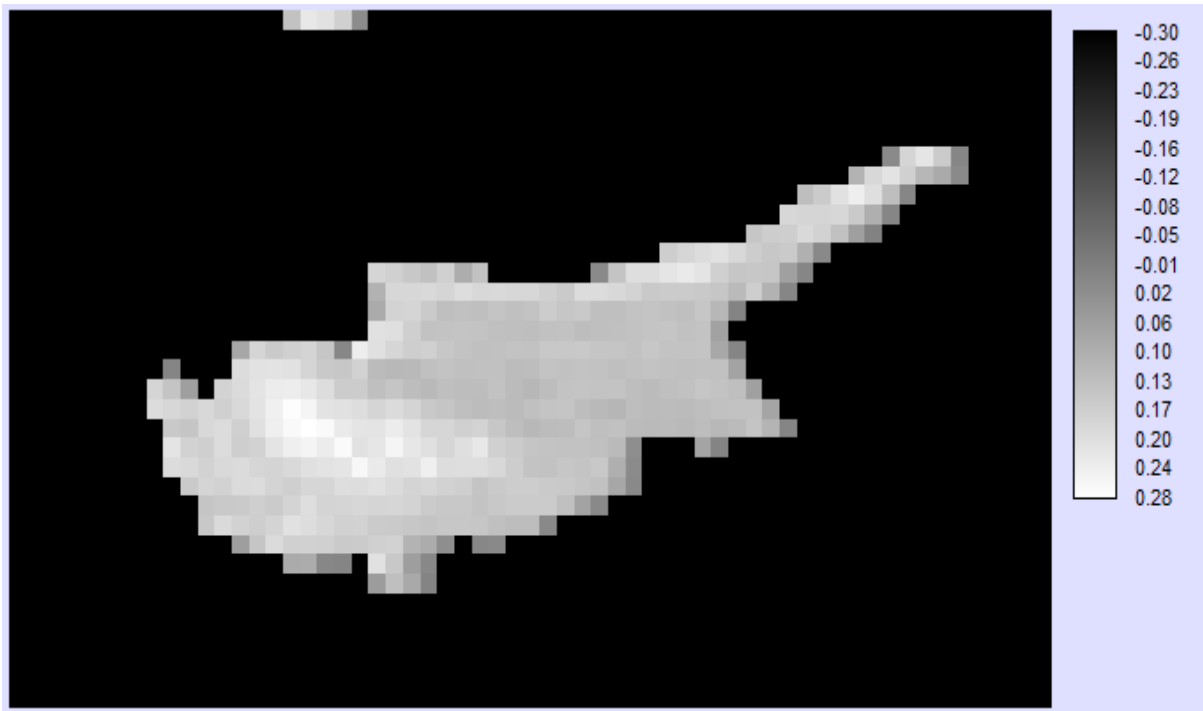
Εικόνα 4.1.6: EVI Ιουνίου



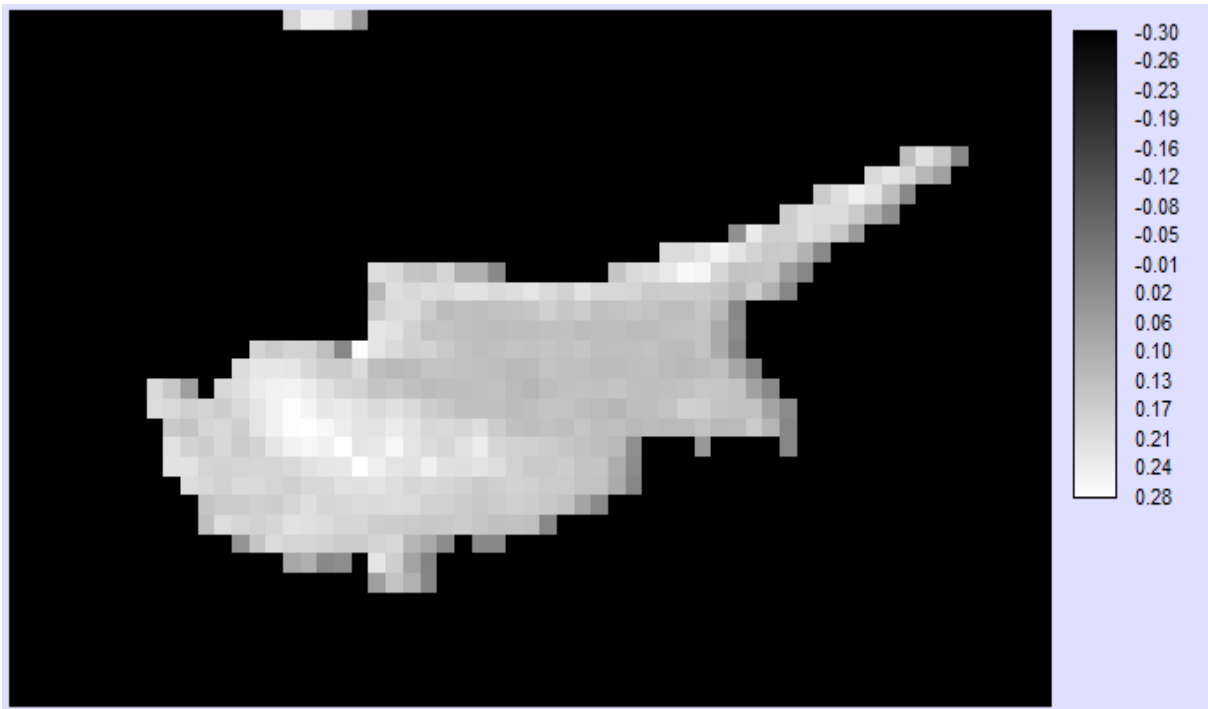
Εικόνα 4.1.7: EVI Ιουλίου



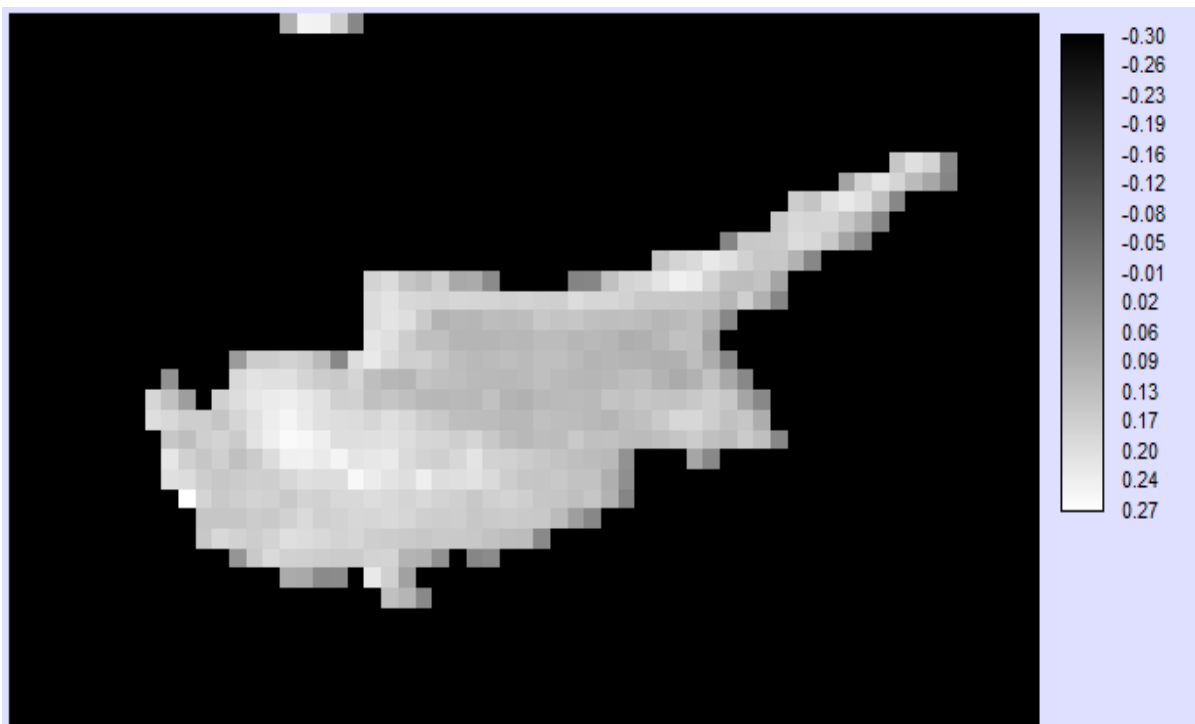
Εικόνα 4.1.8: EVI Αυγούστου



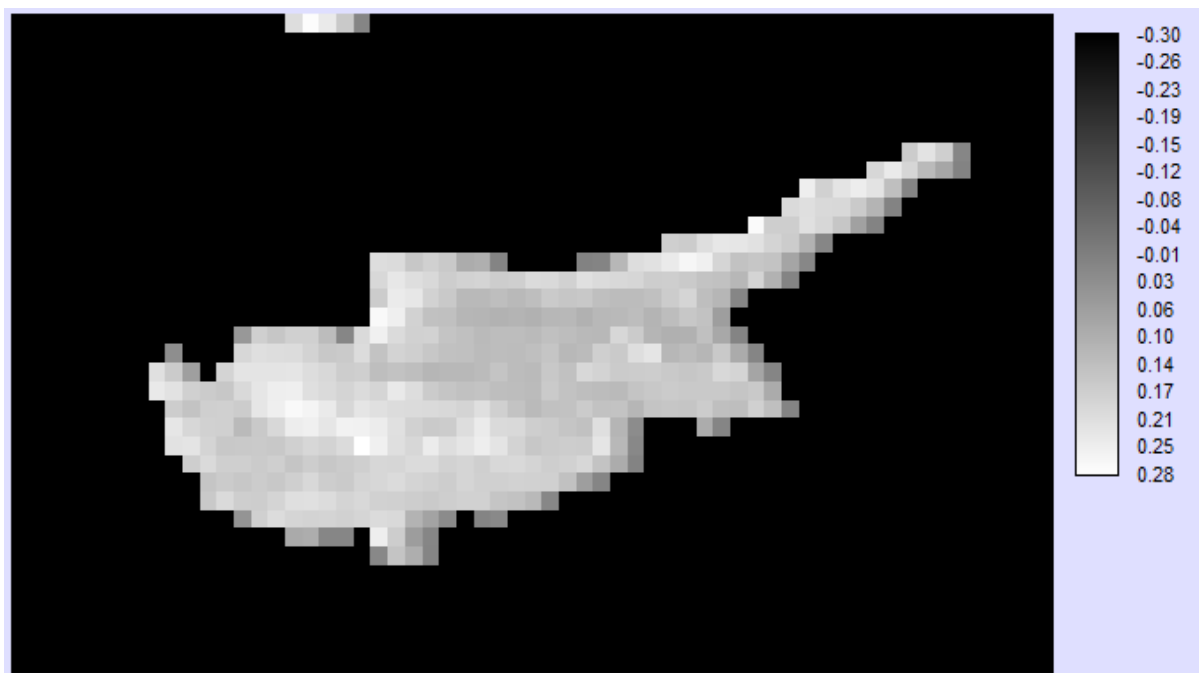
Εικόνα 4.1.9: EVI Σεπτεμβρίου



Εικόνα 4.1.10: EVI Οκτωβρίου



Εικόνα 4.1.11: EVI Νοεμβρίου



Εικόνα 4.1.12: EVI Δεκεμβρίου

Στον Πίνακα 4.1.1 που ακολουθεί δίνεται ο βαθμός συσχέτισης ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό ομοιότητας των μηνιαίων εκτιμήσεων του EVI και δυνητικά θα αποκαλύψει πιθανές εποχικές μεταβολές.

Πίνακας 4.1.1: Βαθμός συσχέτισης των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων EVI

EVI	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1											
Feb	0,96	1										
Mar	0,94	0,95	1									
Apr	0,87	0,91	0,92	1								
May	0,32	0,17	0,38	0,27	1							
Jun	0,25	0,10	0,29	0,20	0,98	1						
Jul	0,29	0,15	0,33	0,24	0,96	0,99	1					
Aug	0,31	0,17	0,35	0,26	0,95	0,98	0,99	1				
Sep	0,32	0,18	0,36	0,26	0,95	0,97	0,98	0,99	1			
Oct	0,27	0,12	0,30	0,20	0,93	0,96	0,97	0,97	0,98	1		
Nov	0,22	0,07	0,25	0,14	0,90	0,93	0,93	0,94	0,94	0,96	1	
Dec	0,35	0,21	0,36	0,24	0,86	0,89	0,89	0,90	0,90	0,92	0,93	1

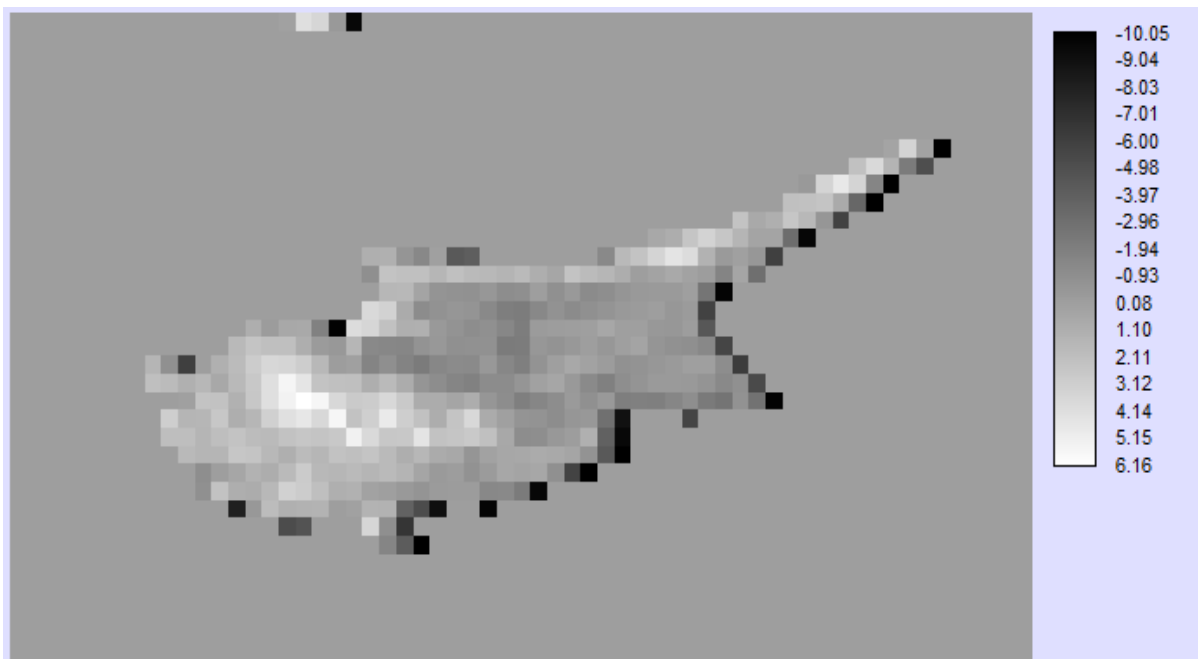
Ακολουθεί ο Πίνακας 4.1.2 με τις ιδιοτιμές (eigenvalues) και τα ιδιοδιανύσματα (eigenvectors) που προκύπτουν από την εφαρμογή της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA analysis). Τα ιδιοδιανύσματα υποδηλώνουν το ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύει η κάθε κύρια συνιστώσα και καταδεικνύουν τους συντελεστές που πολλαπλασιάζονται με τον αντίστοιχο μήνα για να προέλθει η κάθε κύρια συνιστώσα.

Οι έξι πρώτες συνιστώσες, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.1.2, ερμηνεύουν το 99,1% της πληροφορίας που υπάρχει και στις δώδεκα εικόνες.

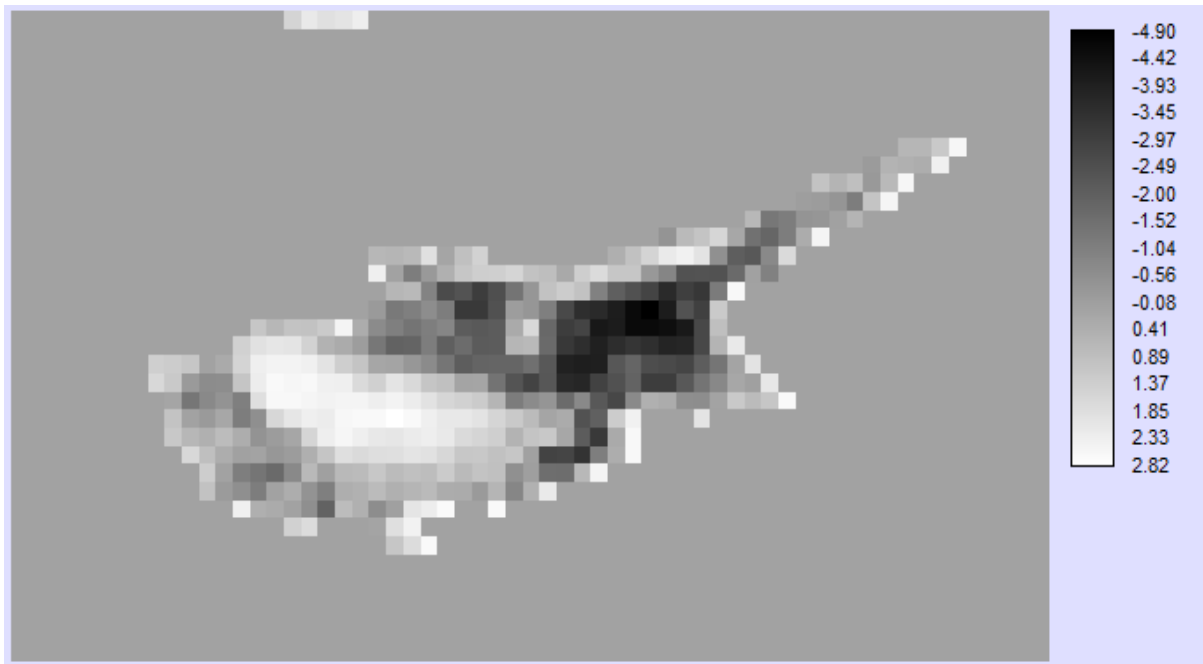
Πίνακας 4.1.2: Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών EVI (PCA)

Eigen-vectors	Συνιστώσες / Components (PCs)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	0,17	-0,46	0,25	-0,50	-0,14	-0,19	-0,43	0,28	-0,01	0,34	0,02	0,08
Feb	0,12	-0,51	0,15	-0,18	-0,15	0,00	0,11	-0,40	0,02	-0,66	-0,02	-0,19
Mar	0,18	-0,46	-0,04	0,00	0,30	0,47	0,54	0,01	-0,08	0,34	0,03	0,17
Apr	0,15	-0,47	-0,36	0,70	-0,04	-0,20	-0,28	0,13	0,01	0,00	-0,02	0,01
May	0,34	0,09	-0,35	-0,24	0,63	0,08	-0,23	0,12	0,20	-0,15	-0,07	-0,40
Jun	0,34	0,13	-0,23	-0,15	0,13	-0,13	-0,10	-0,18	-0,09	-0,23	0,15	0,80
Jul	0,34	0,11	-0,19	-0,08	-0,15	-0,24	0,14	-0,16	-0,70	0,17	-0,37	-0,23
Aug	0,34	0,10	-0,16	-0,02	-0,26	-0,15	0,14	-0,27	0,21	0,27	0,69	-0,27
Sep	0,34	0,09	-0,10	-0,03	-0,37	0,00	0,19	0,03	0,61	0,09	-0,55	0,10
Oct	0,34	0,13	0,09	0,05	-0,28	0,23	0,14	0,70	-0,18	-0,37	0,21	-0,05
Nov	0,33	0,15	0,33	0,23	-0,08	0,59	-0,48	-0,33	-0,09	0,10	-0,06	-0,02
Dec	0,33	0,07	0,65	0,28	0,38	-0,44	0,19	0,02	0,08	0,01	-0,02	0,00
Eigenvalue	8,08	3,34	0,22	0,12	0,07	0,06	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
variance %	67,34	27,81	1,84	0,99	0,61	0,52	0,30	0,20	0,14	0,12	0,07	0,06
% Ποσοστό των 6 PCs						99,11						

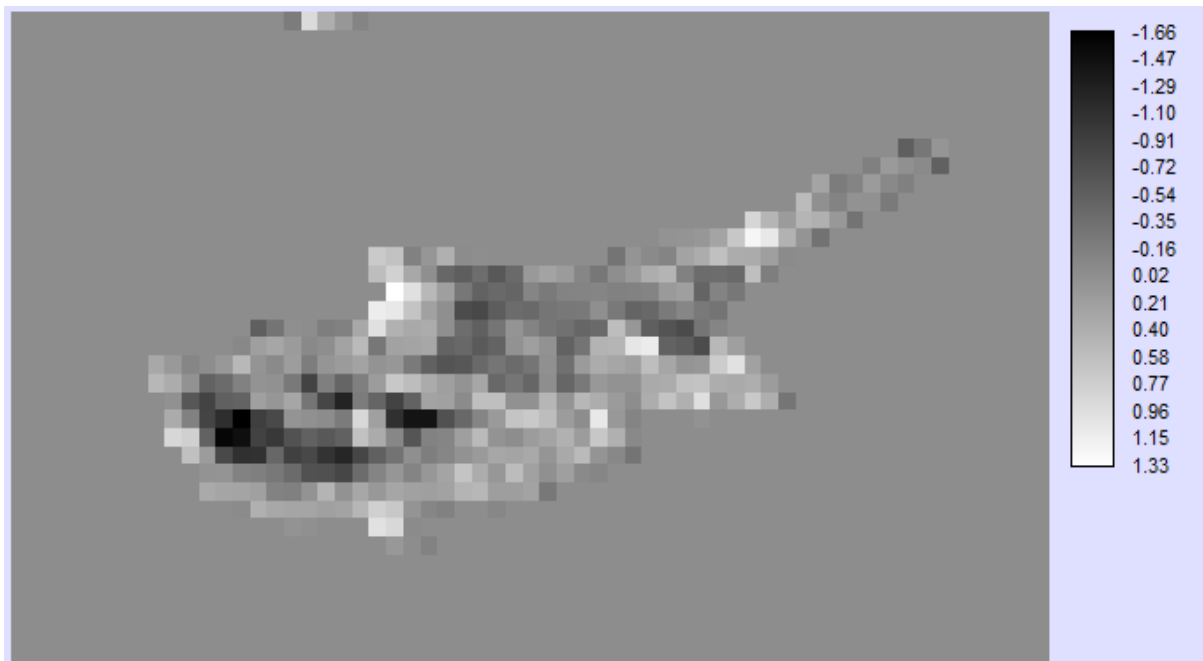
Ακολουθούν οι απεικονίσεις των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών σε διαβαθμίσεις του γκρι:



Εικόνα 4.1.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα EVI (67,3% της πληροφορίας).



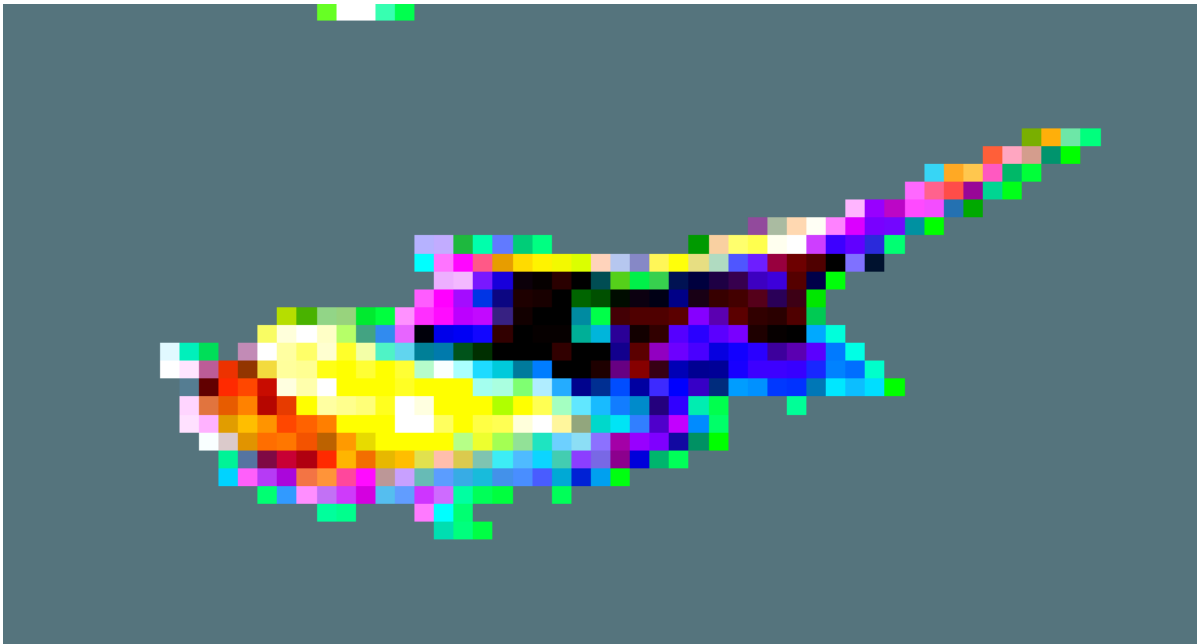
Εικόνα 4.1.14 : Δεύτερη κύρια συνιστώσα EVI (27,8% της πληροφορίας).



Εικόνα 4.1.15: Τρίτη κύρια συνιστώσα EVI (1,84% της πληροφορίας).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα έγχρωμο σύνθετο RGB 321 (εικόνα 4.1.16) όπου 3, 2 και 1 τα αντίστοιχα κανάλια των κυρίων συνιστωσών, το οποίο εμπεριέχει το 97% της πληροφορίας των δώδεκα μηνιαίων εικόνων EVI. Χωροχρονικά στο Τρόδος ισοεπικρατούν η δεύτερη (πράσινο) και τρίτη (κόκκινο) κύρια συνιστώσα γι' αυτό και η περιοχή φαίνεται κίτρινη (ίση ποσότητα πράσινου και κόκκινου). Σε περιοχές περιμετρικά της Λευκωσίας επικρατεί η πρώτη κύρια συνιστώσα (μπλε). Επομένως το έγχρωμο σύνθετο μας δείχνει το

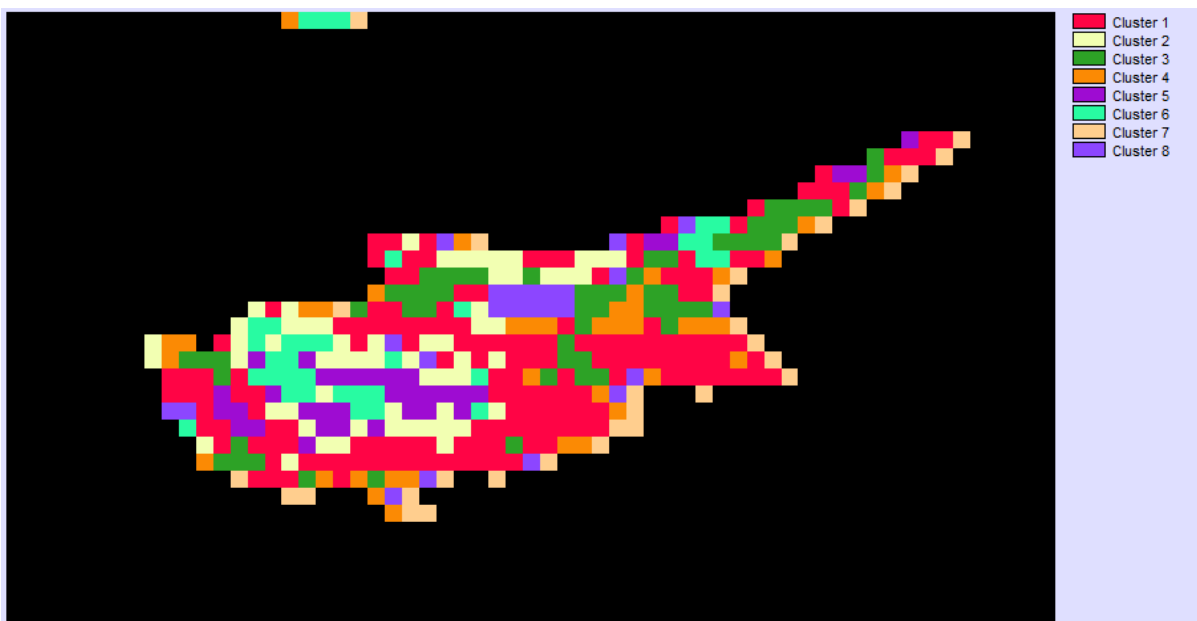
είδος της χωροχρονικής μεταβολής στις τρεις πρώτες κύριες συνιστώσες. Βέβαια, πιο ακριβή χωροχρονική υπογραφή καταγράφει η μεθοδολογία της ταξινόμησης.



Εικόνα 4.1.16: RGB 321 των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών EVI .

Ακολουθεί η εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στις 6 κύριες συνιστώσες (δηλ. πραγματοποιείται ταξινόμηση χρησιμοποιώντας το 99.1% της πληροφορίας. Το νέφος των σημείων δεν μεταβάλλεται ως προς τη γεωμετρία στις κύριες συνιστώσες, αλλά αλλάζουν οι άξονες ως προς τις οποίες υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων του νέφους).

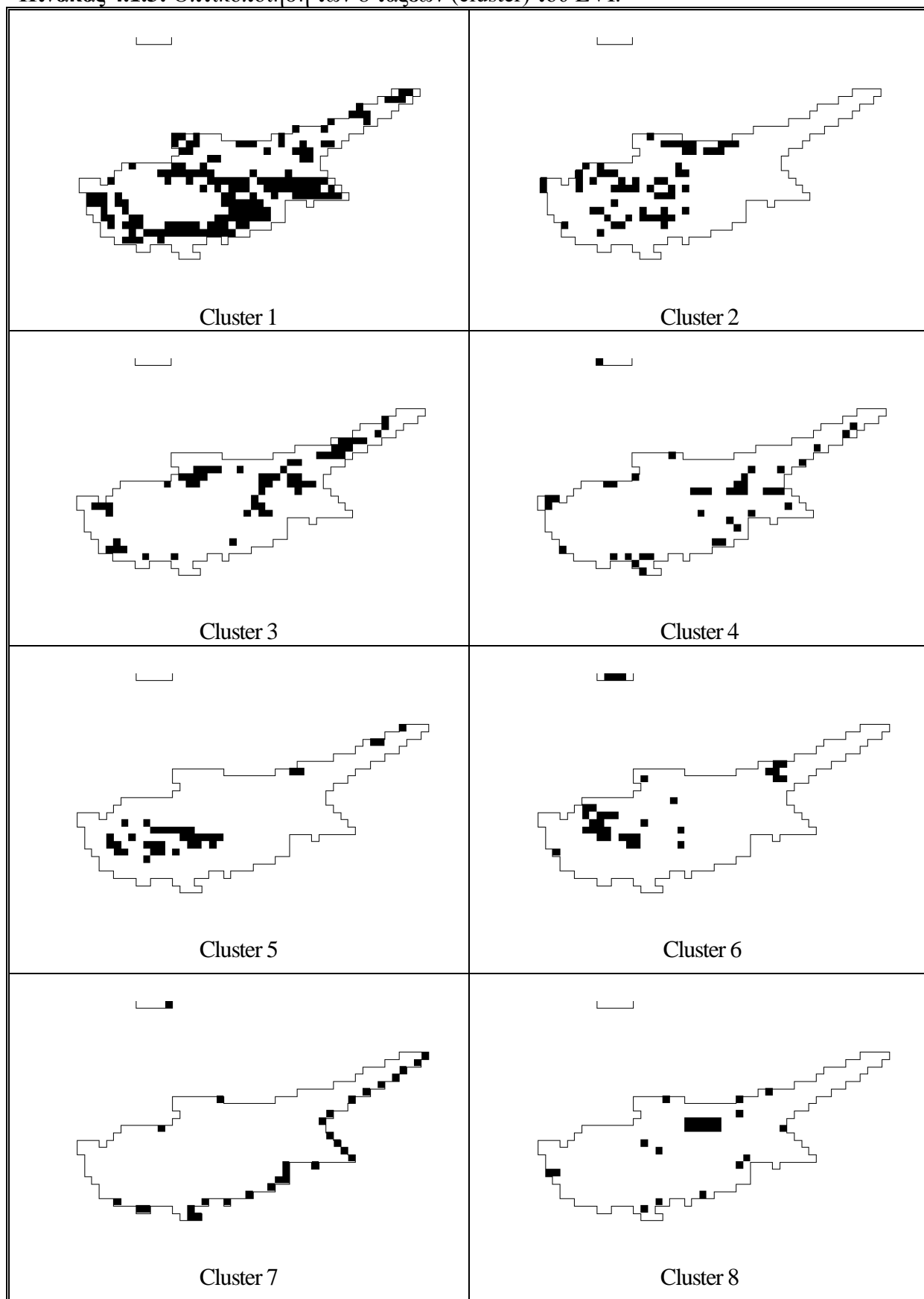
Η χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) δίνεται στην εικόνα 4.1.17 που ακολουθεί.



Εικόνα 4.1.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) των 6 κύριων συνιστωσών EVI.

Η οπτικοποίηση της κάθε τάξης ξεχωριστά παρουσιάζεται στον Πίνακα 4.1.3.

Πίνακας 4.1.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) του EVI.

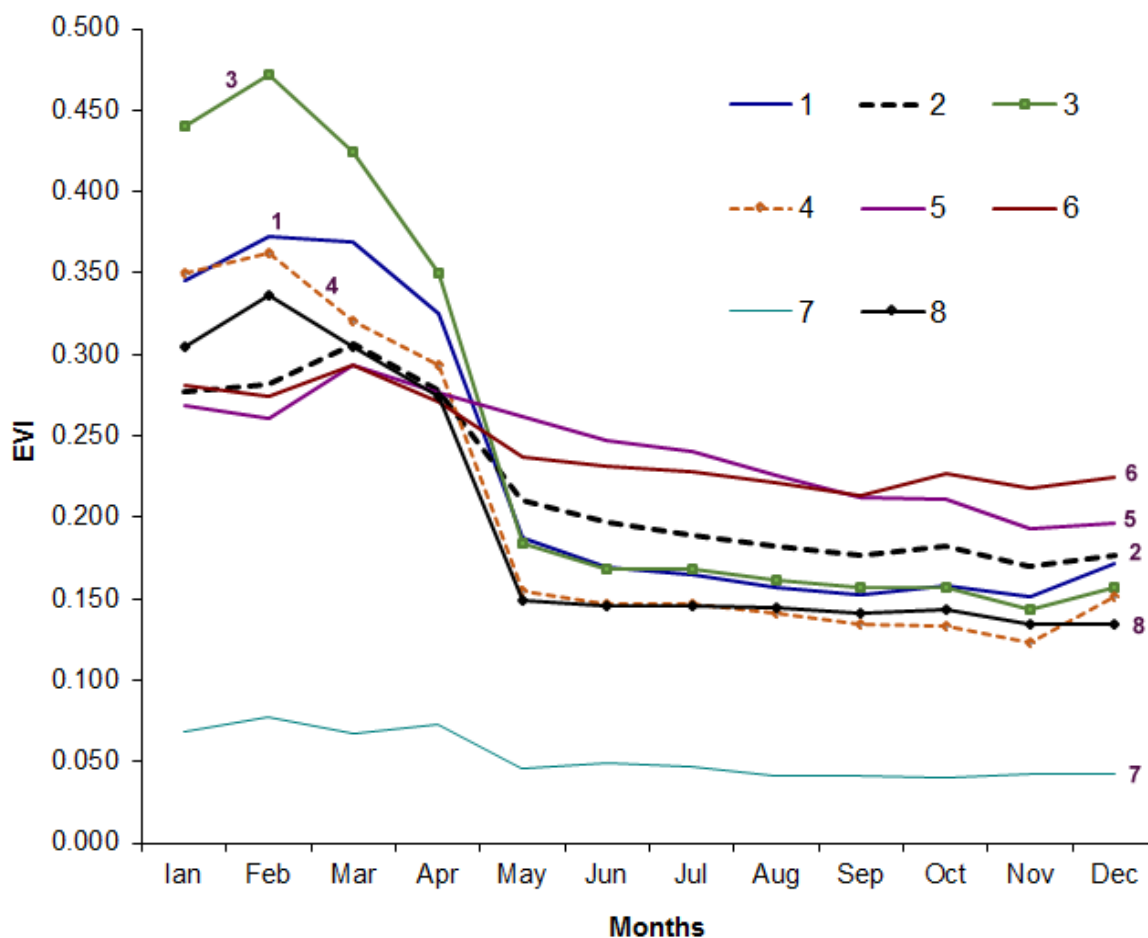


Τα κέντρα βάρους των τάξεων που υποδηλώνουν τη μέση τιμή του EVI για κάθε μήνα, για όλα τα τετραγωνάκια που ανήκουν στο συγκεκριμένο cluster δίνονται στον Πίνακα 4.1.4.

Πίνακας 4.1.4: Κέντρα βάρους των 8 τάξεων (cluster) του EVI.

EVI												
cluster	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0,35	0,37	0,37	0,32	0,19	0,17	0,16	0,16	0,15	0,16	0,15	0,17
2	0,28	0,28	0,31	0,28	0,21	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	0,18
3	0,44	0,47	0,42	0,35	0,18	0,17	0,17	0,16	0,16	0,16	0,14	0,16
4	0,35	0,36	0,32	0,29	0,15	0,15	0,15	0,14	0,13	0,13	0,12	0,15
5	0,27	0,26	0,29	0,28	0,26	0,25	0,24	0,23	0,21	0,21	0,19	0,20
6	0,28	0,27	0,29	0,27	0,24	0,23	0,23	0,22	0,21	0,23	0,22	0,22
7	0,07	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
8	0,31	0,34	0,30	0,27	0,15	0,15	0,15	0,14	0,14	0,14	0,13	0,13

Ακολουθεί η γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους.



Σχήμα 4.1.1: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) του EVI.

4.2 Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης, NDVI

Ο δείκτης NDVI είναι και αυτός ένας από τους δείκτες βλάστησης που εμπεριέχεται στο προϊόν MOD13C2 και περιλαμβάνει μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις με χωρική διακριτική ικανότητα 0.05⁰ (Vegetation Indices Monthly L3 Global 0.05Deg CMG).

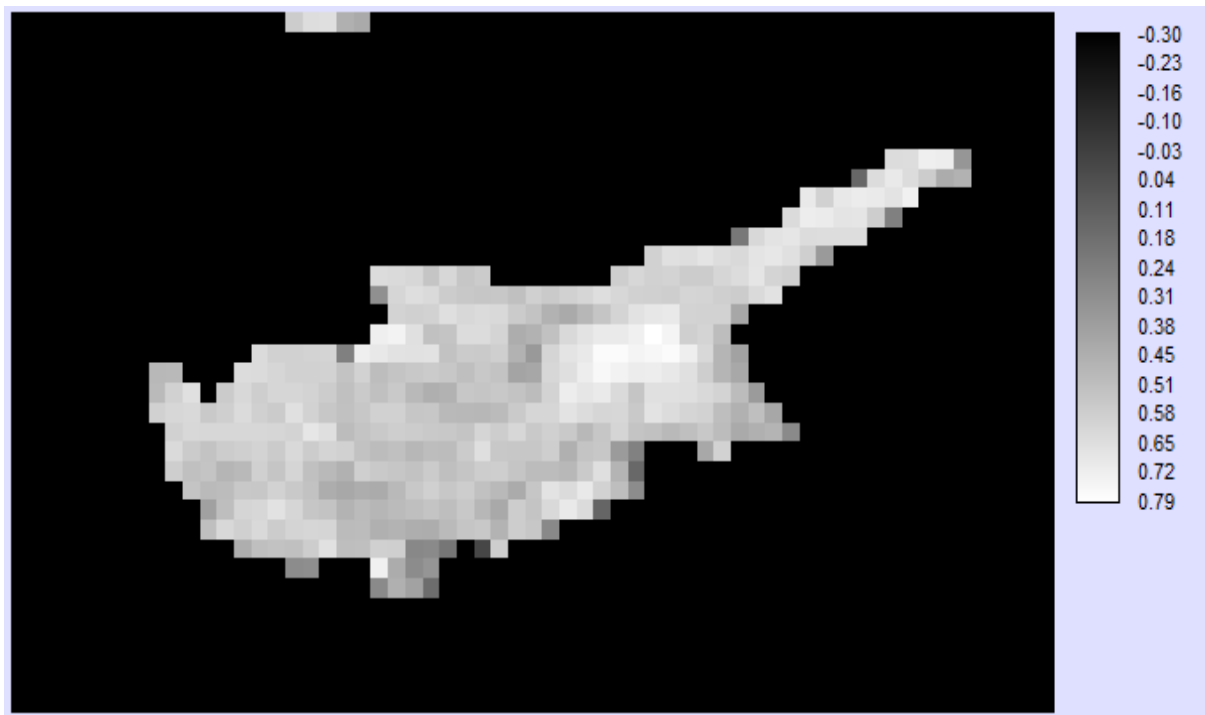
(https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table)

Ο NDVI έχει προέλθει από την ακόλουθη σχέση:

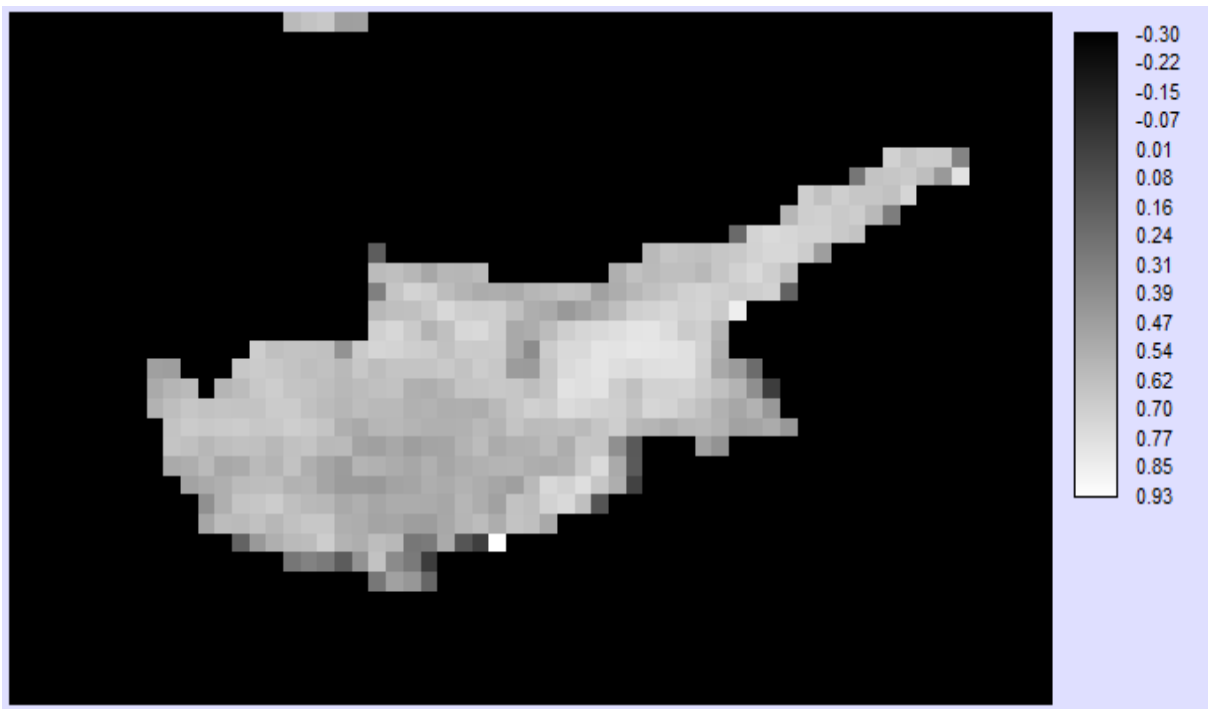
$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED)$$

Τα δεδομένα είναι κωδικοποιημένα σε ακέριους αριθμούς εύρους 16bit, με πεδίο ορισμού -2000 έως 10000, no data= -3000 και η αποκωδικοποίηση γίνεται με πολλαπλασιασμό με το 0,0001. Η έκδοση των δεδομένων είναι η 5.1 και τα δεδομένα αφορούν το έτος 2010 με ώρα λήψης 13.30 μ.μ.

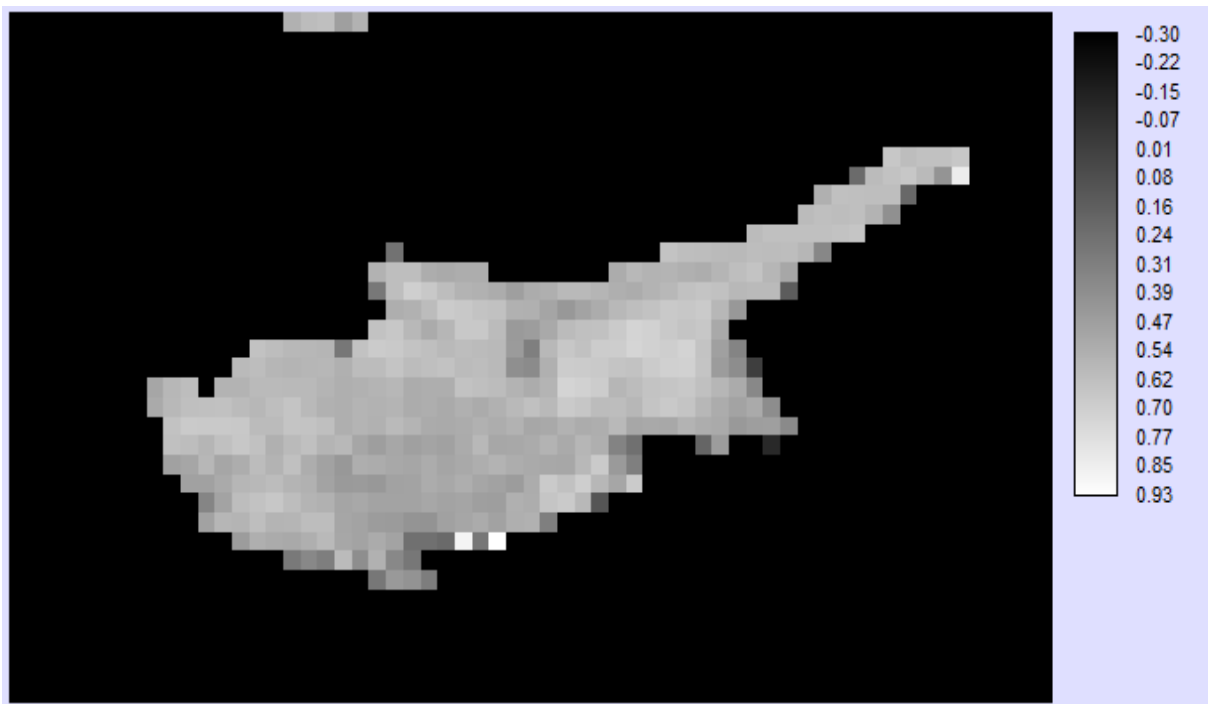
Ακολουθούν οι μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις του NDVI στην περιοχή μελέτης σε απεικόνιση διαβαθμίσεων του γκρι.



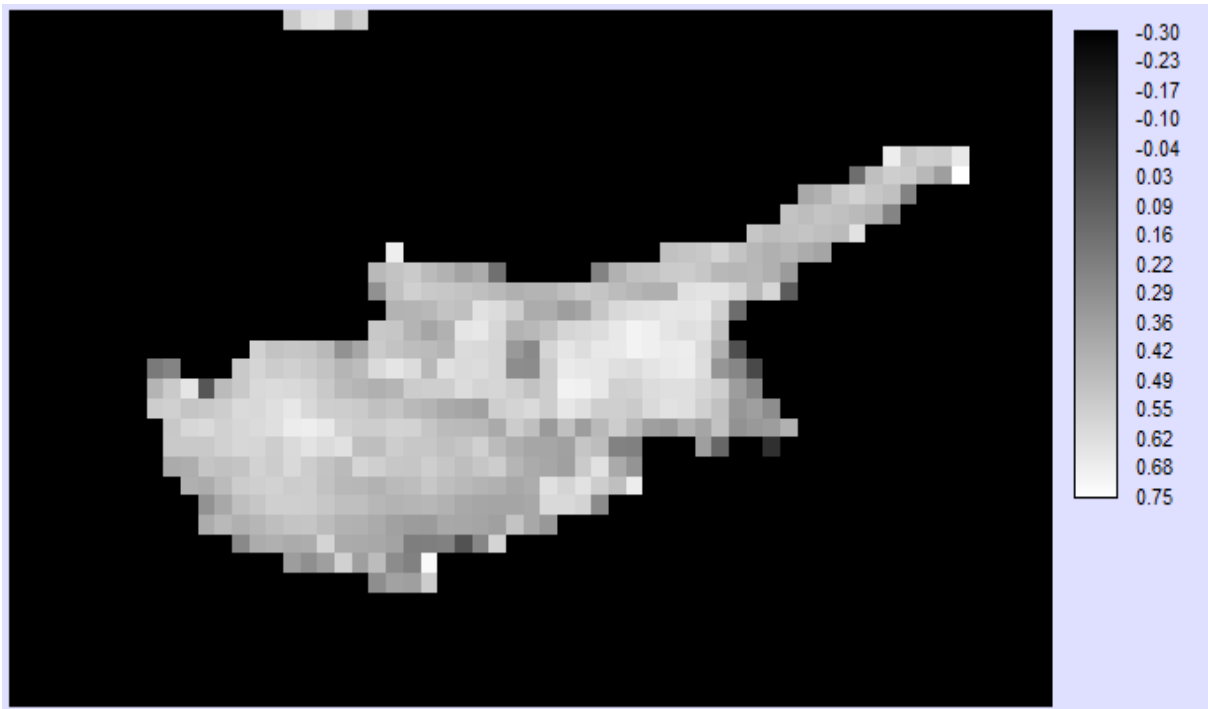
Εικόνα 4.2.1: NDVI Ιανουαρίου



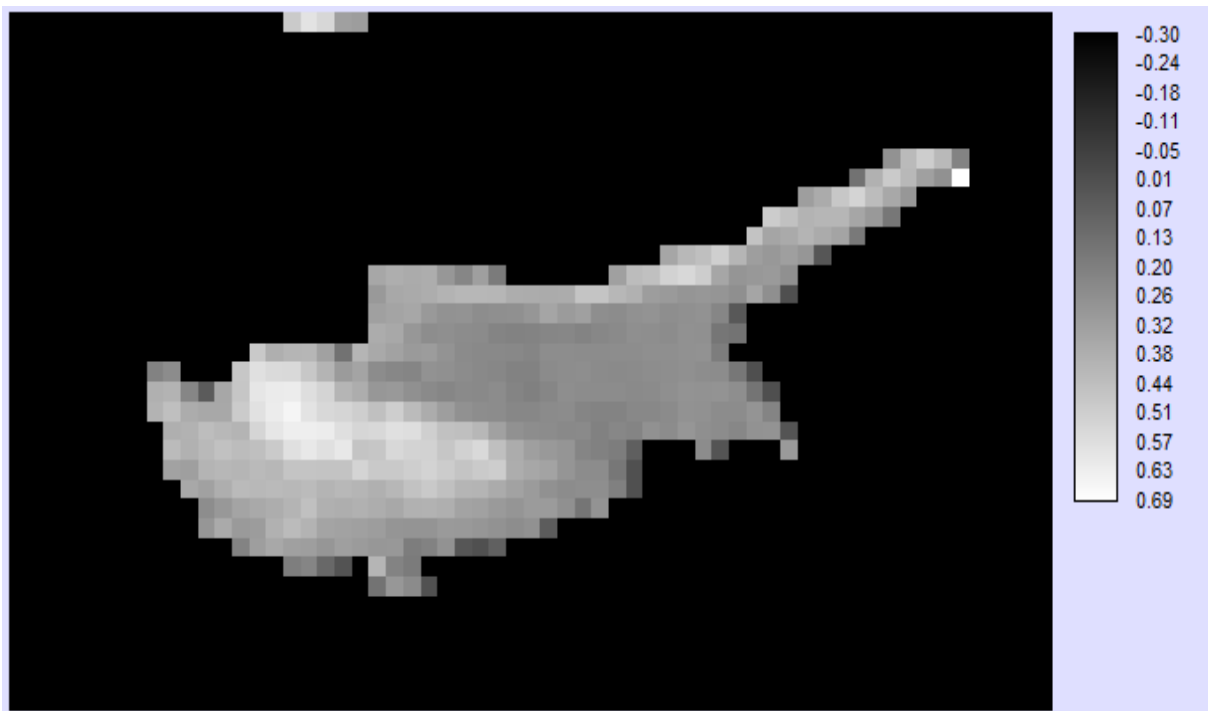
Εικόνα 4.2.2: NDVI Φεβρουαρίου



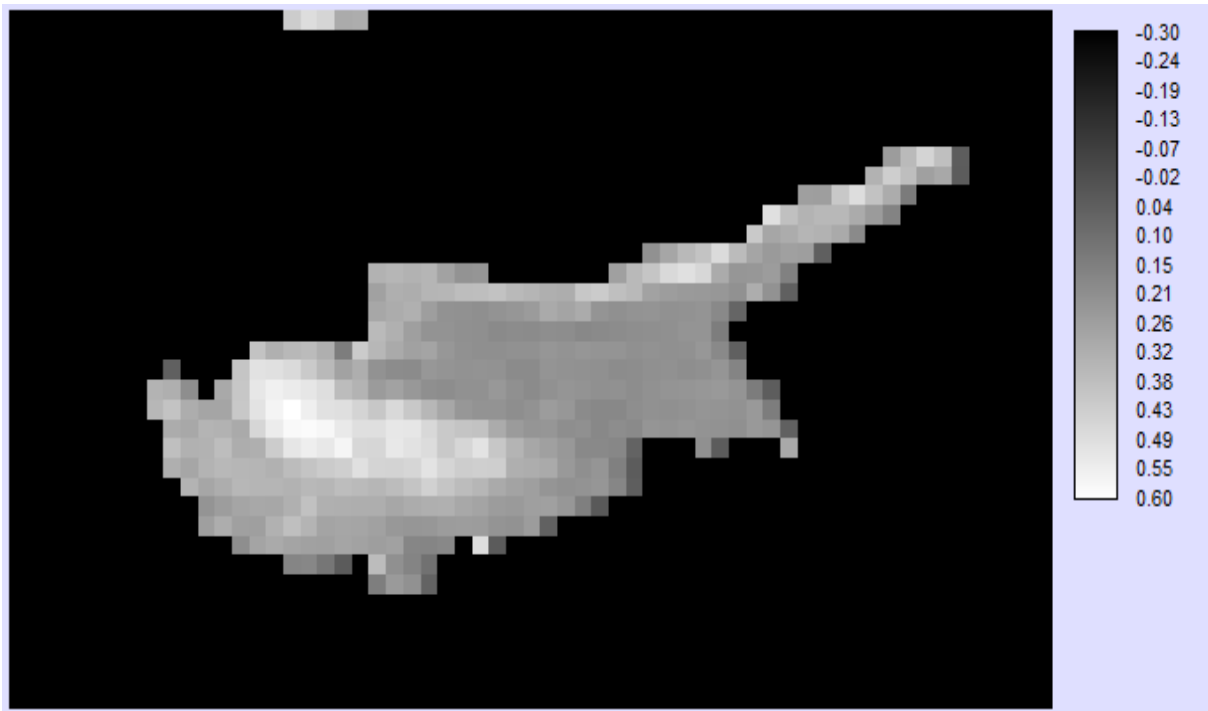
Εικόνα 4.2.3: NDVI Μαρτίου



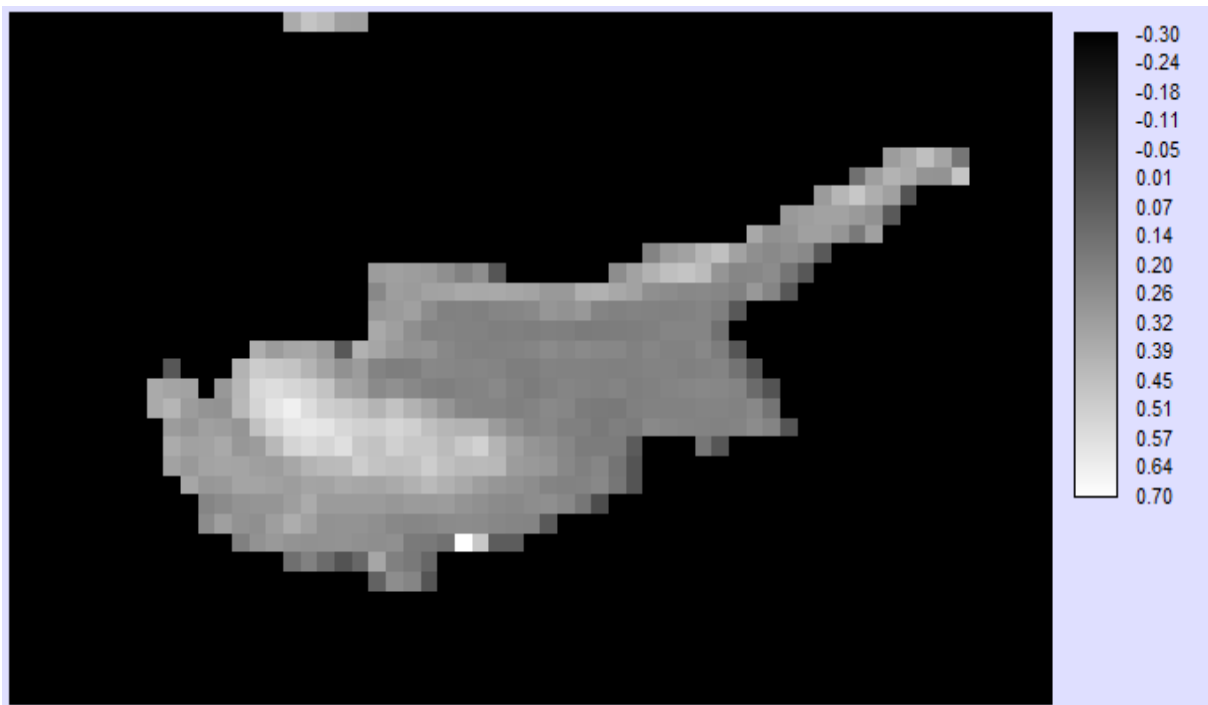
Εικόνα 4.2.4: NDVI Απριλίου



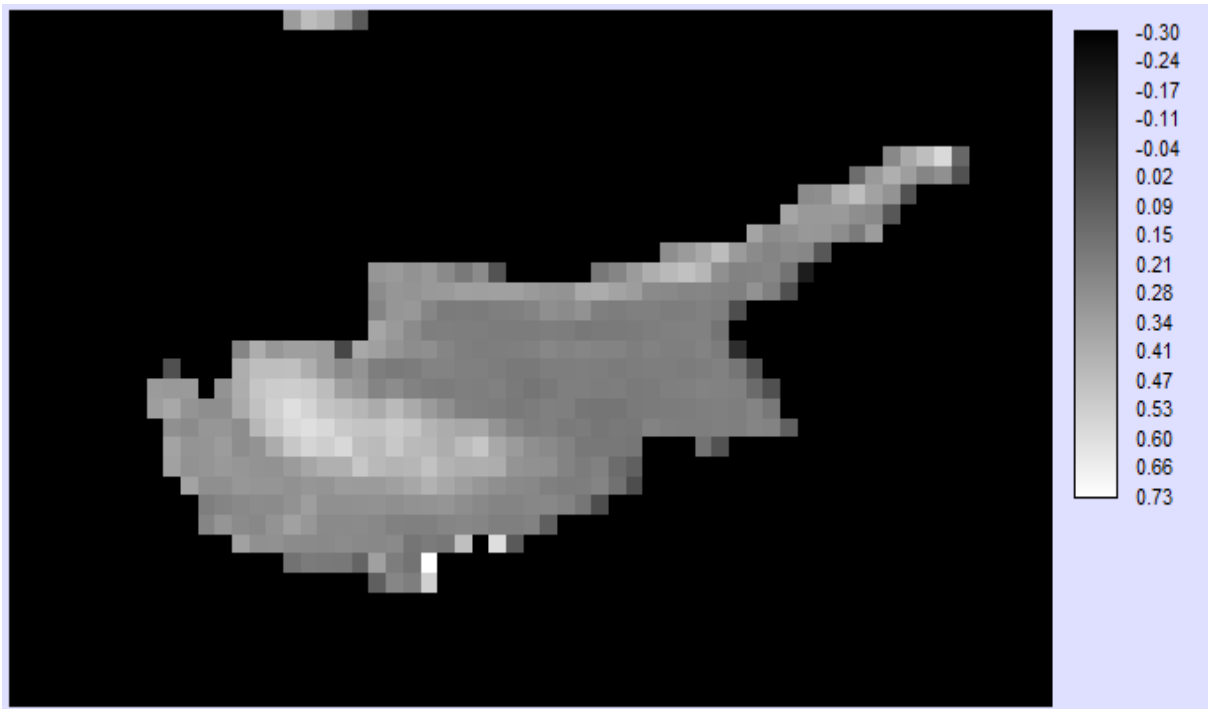
Εικόνα 4.2.5: NDVI Μαΐου



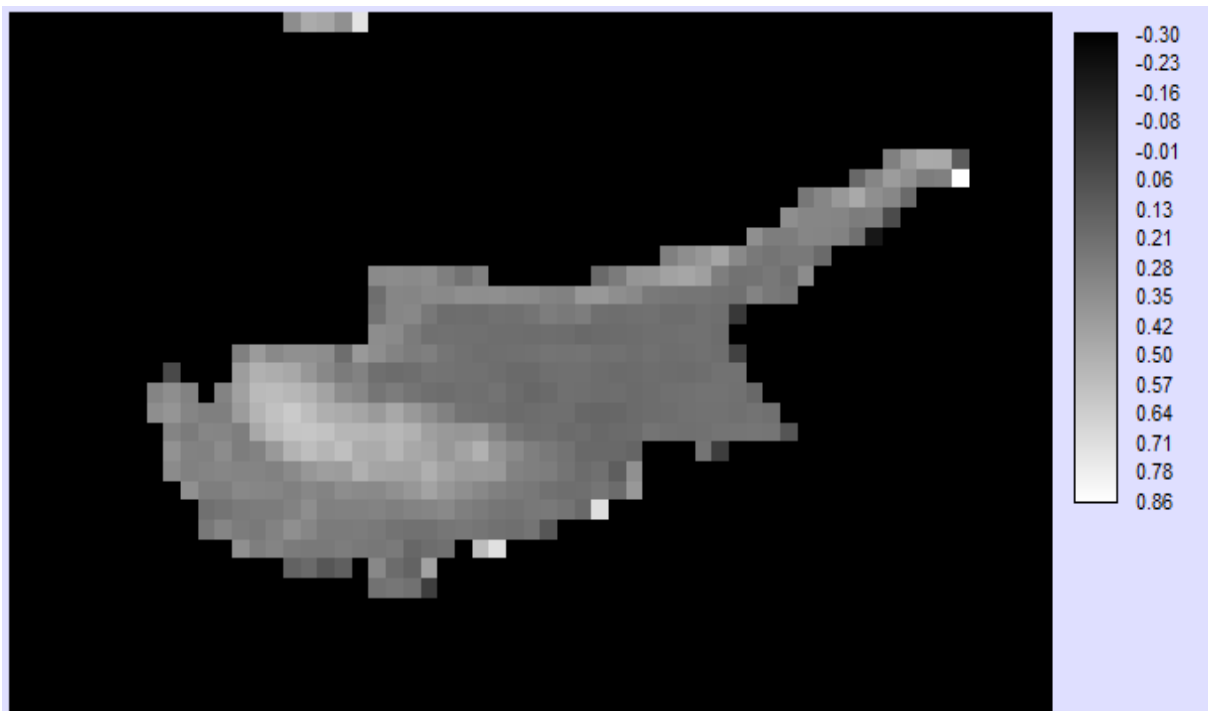
Εικόνα 4.2.6: NDVI Ιουνίου



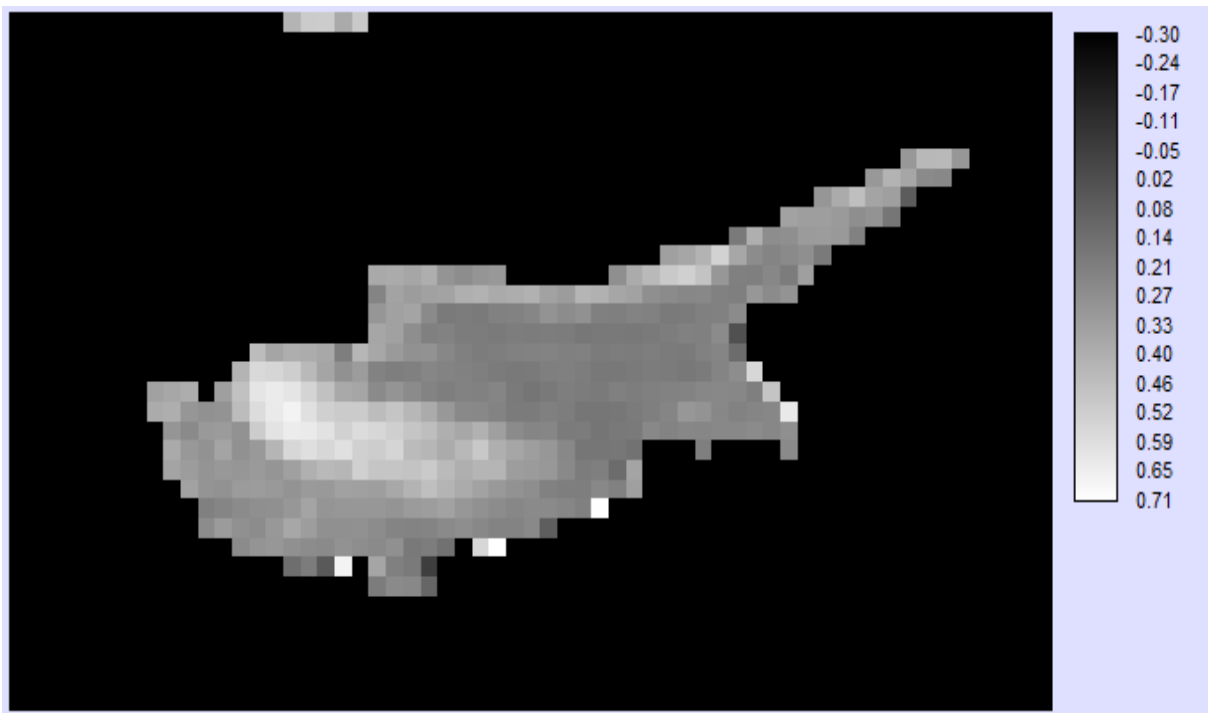
Εικόνα 4.2.7: NDVI Ιουλίου



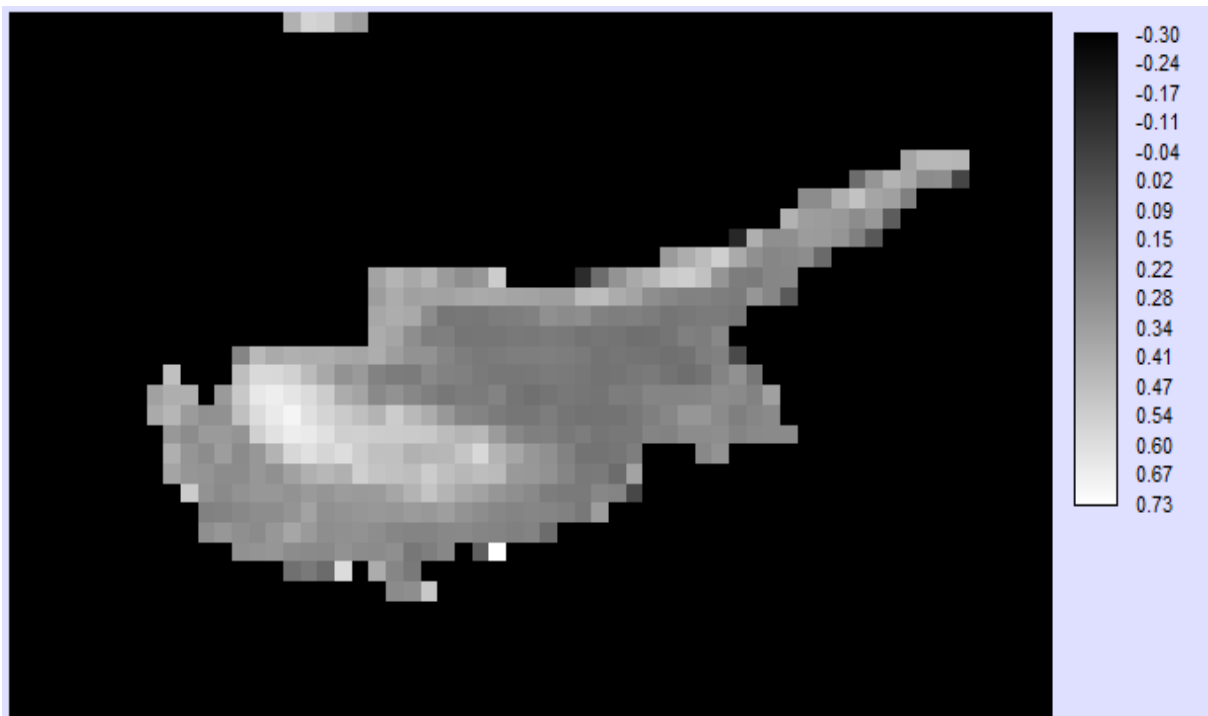
Εικόνα 4.2.8: NDVI Αυγούστου



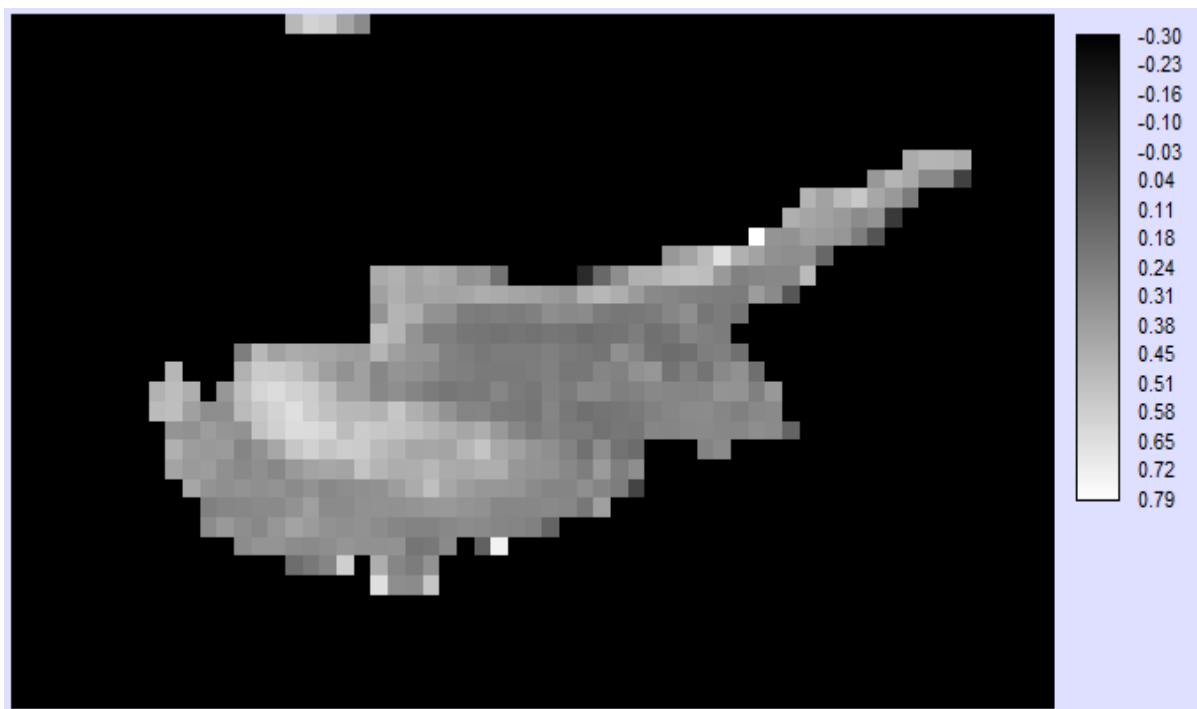
Εικόνα 4.2.9: NDVI Σεπτεμβρίου



Εικόνα 4.2.10: NDVI Οκτωβρίου



Εικόνα 4.2.11: NDVI Νοεμβρίου



Εικόνα 4.2.12: NDVI Δεκεμβρίου

Στον Πίνακα 4.2.1 που ακολουθεί δίνεται ο βαθμός συσχέτισης ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό ομοιότητας των μηνιαίων εκτιμήσεων του NDVI και δυνητικά θα αποκαλύψει πιθανές εποχικές μεταβολές.

Πίνακας 4.2.1: Βαθμό συσχέτισης των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων NDVI.

NDVI	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1											
Feb	0,84	1										
Mar	0,61	0,65	1									
Apr	0,60	0,60	0,70	1								
May	0,34	0,28	0,35	0,40	1							
Jun	0,33	0,17	0,30	0,34	0,87	1						
Jul	0,28	0,16	0,38	0,37	0,87	0,93	1					
Aug	0,31	0,16	0,30	0,44	0,78	0,82	0,81	1				
Sep	0,13	0,04	0,29	0,38	0,79	0,78	0,82	0,77	1			
Oct	0,11	0,01	0,31	0,26	0,70	0,80	0,78	0,73	0,79	1		
Nov	0,18	0,08	0,23	0,23	0,80	0,79	0,77	0,81	0,76	0,84	1	
Dec	0,24	0,10	0,22	0,29	0,72	0,78	0,71	0,82	0,74	0,79	0,87	1

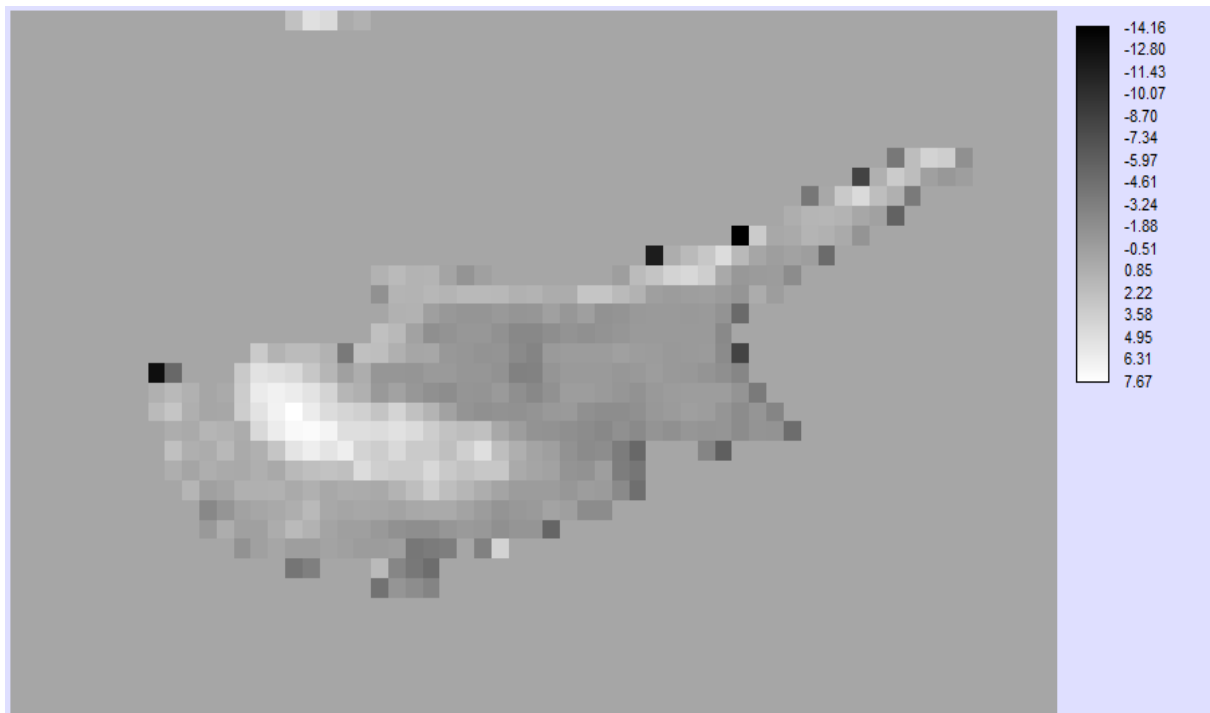
Ακολουθεί ο Πίνακας 4.2.2 με τις ιδιοτιμές (eigenvalues) και τα ιδιοδιανύσματα (eigenvectors) που προκύπτουν από την εφαρμογή της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA analysis). Τα ιδιοδιανύσματα υποδηλώνουν το ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύει η κάθε κύρια συνιστώσα και καταδεικνύουν τους συντελεστές που πολλαπλασιάζονται με τον αντίστοιχο μήνα για να προέλθει η κάθε κύρια συνιστώσα.

Οι έξι πρώτες συνιστώσες, όπως φαίνονται από τον Πίνακα 4.2.2, ερμηνεύουν το 94.2% της πληροφορίας που υπάρχει και στις δώδεκα εικόνες.

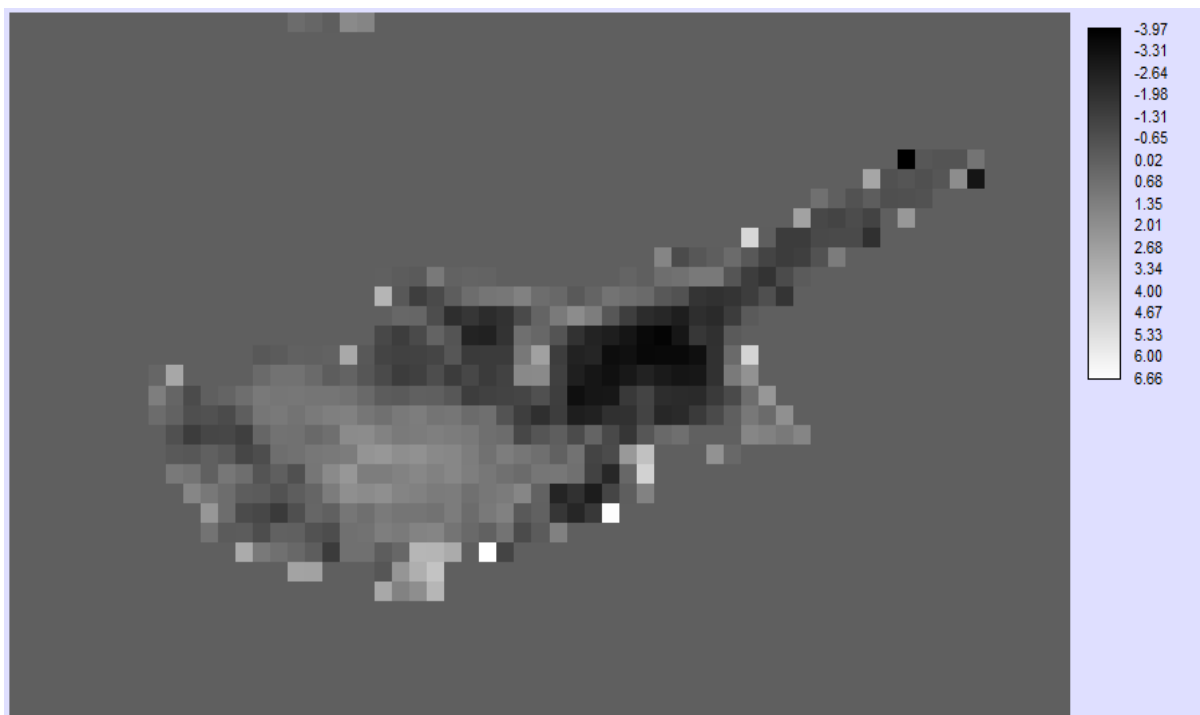
Πίνακας 4.2.2: Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών NDVI (PCA)

Eigenvectors	Συνιστώσες / Components PCs											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	0,16	-0,49	-0,45	0,02	-0,04	-0,29	0,32	-0,24	0,14	-0,51	-0,07	-0,07
Feb	0,12	-0,54	-0,33	0,01	0,11	0,39	0,06	0,11	-0,39	0,49	0,13	-0,01
Mar	0,18	-0,43	0,47	0,12	0,53	-0,11	-0,36	-0,27	0,15	0,02	-0,08	0,14
Apr	0,20	-0,40	0,49	0,07	-0,57	0,00	0,08	0,44	0,13	-0,07	0,11	-0,03
May	0,34	0,03	-0,14	-0,38	-0,01	0,47	-0,26	0,15	0,26	-0,15	-0,56	-0,09
Jun	0,35	0,09	-0,15	-0,33	0,07	-0,36	0,10	0,24	0,14	0,23	0,08	0,67
Jul	0,34	0,08	0,04	-0,46	0,14	-0,23	-0,08	0,00	0,00	0,08	0,45	-0,61
Aug	0,34	0,07	-0,05	0,11	-0,41	-0,31	-0,42	-0,27	-0,55	0,03	-0,24	0,02
Sep	0,32	0,15	0,29	-0,14	-0,14	0,38	0,47	-0,58	-0,07	0,00	0,12	0,17
Oct	0,32	0,18	0,17	0,27	0,38	-0,12	0,45	0,36	-0,34	-0,07	-0,35	-0,18
Nov	0,33	0,17	-0,16	0,35	0,12	0,31	-0,27	0,18	-0,06	-0,46	0,50	0,19
Dec	0,32	0,14	-0,20	0,54	-0,12	-0,05	0,02	-0,12	0,53	0,45	-0,03	-0,20
Eigenvalue	7,08	2,57	0,60	0,43	0,39	0,23	0,19	0,16	0,13	0,11	0,08	0,04
variance %	58,96	21,40	5,04	3,57	3,29	1,89	1,62	1,30	1,09	0,88	0,64	0,31
% Ποσοστό των 6 PCs						94,16						

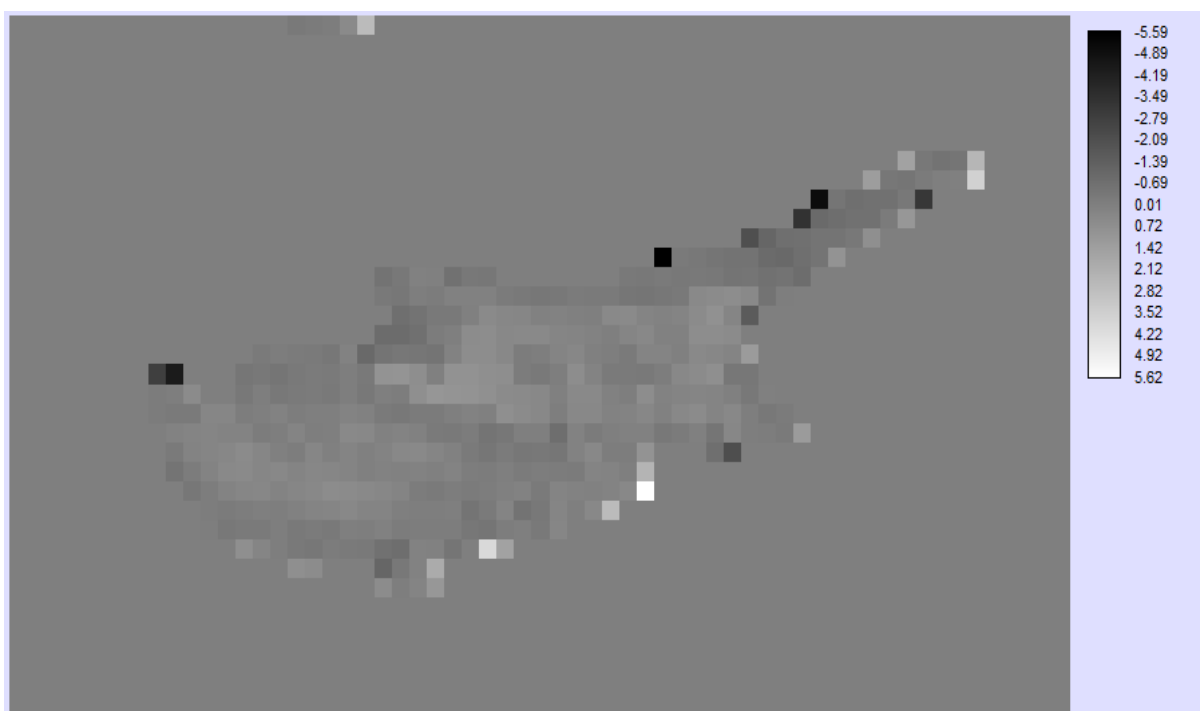
Ακολουθούν οι απεικονίσεις των τριών πρώτων κυρίων συνιστωσών στην κλίμακα των γκρι:



Εικόνα 4.2.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα NDVI (58.96% της πληροφορίας).

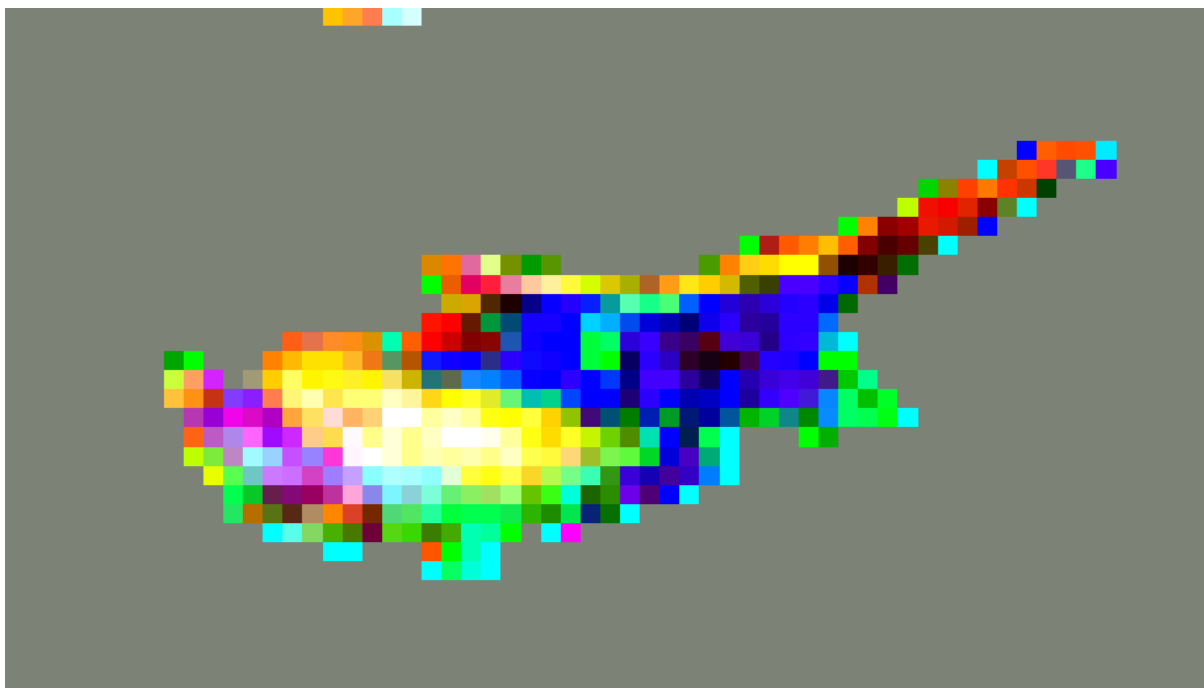


Εικόνα 4.2.14: Δεύτερη κύρια συνιστώσα NDVI (21.4% της πληροφορίας).



Εικόνα 4.2.15: Τρίτη κύρια συνιστώσα NDVI PC3 (5 % της πληροφορίας).

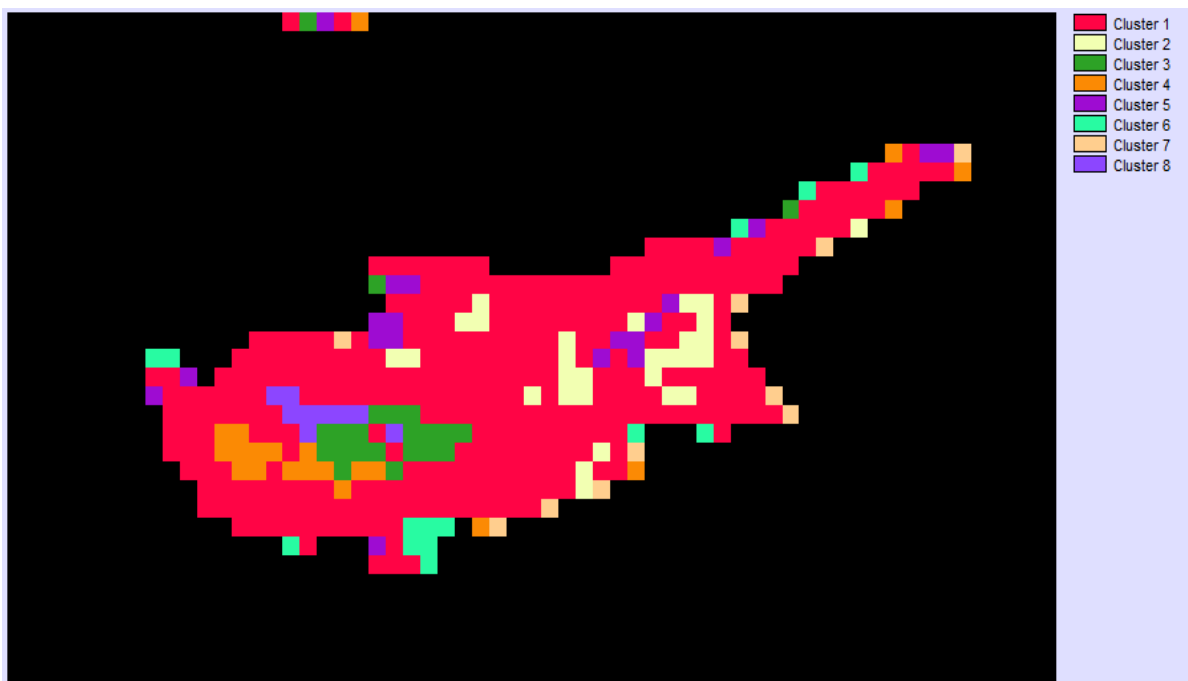
Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα έγχρωμο σύνθετο RGB 321 (εικόνα 4.2.16), όπου 3, 2, 1 τα αντίστοιχα κανάλια των κυρίων συνιστωσών. Εμπεριέχει το 85,4 % της πληροφορίας των δώδεκα μηνιαίων εικόνων NDVI. Πιο ακριβή χωροχρονική υπογραφή καταγράφει η μεθοδολογία της ταξινόμησης.



Εικόνα 4.2.16: RGB 321 των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών NDVI.

Ακολουθεί η εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμηση στις 6 κύριες συνιστώσες (δηλ. ταξινόμηση χρησιμοποιώντας το 94.2% της πληροφορίας. Το νέφος των σημείων δεν μεταβάλλεται ως προς τη γεωμετρία στις κύριες συνιστώσες, αλλά αλλάζουν οι άξονες ως προς τις οποίες υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων του νέφους).

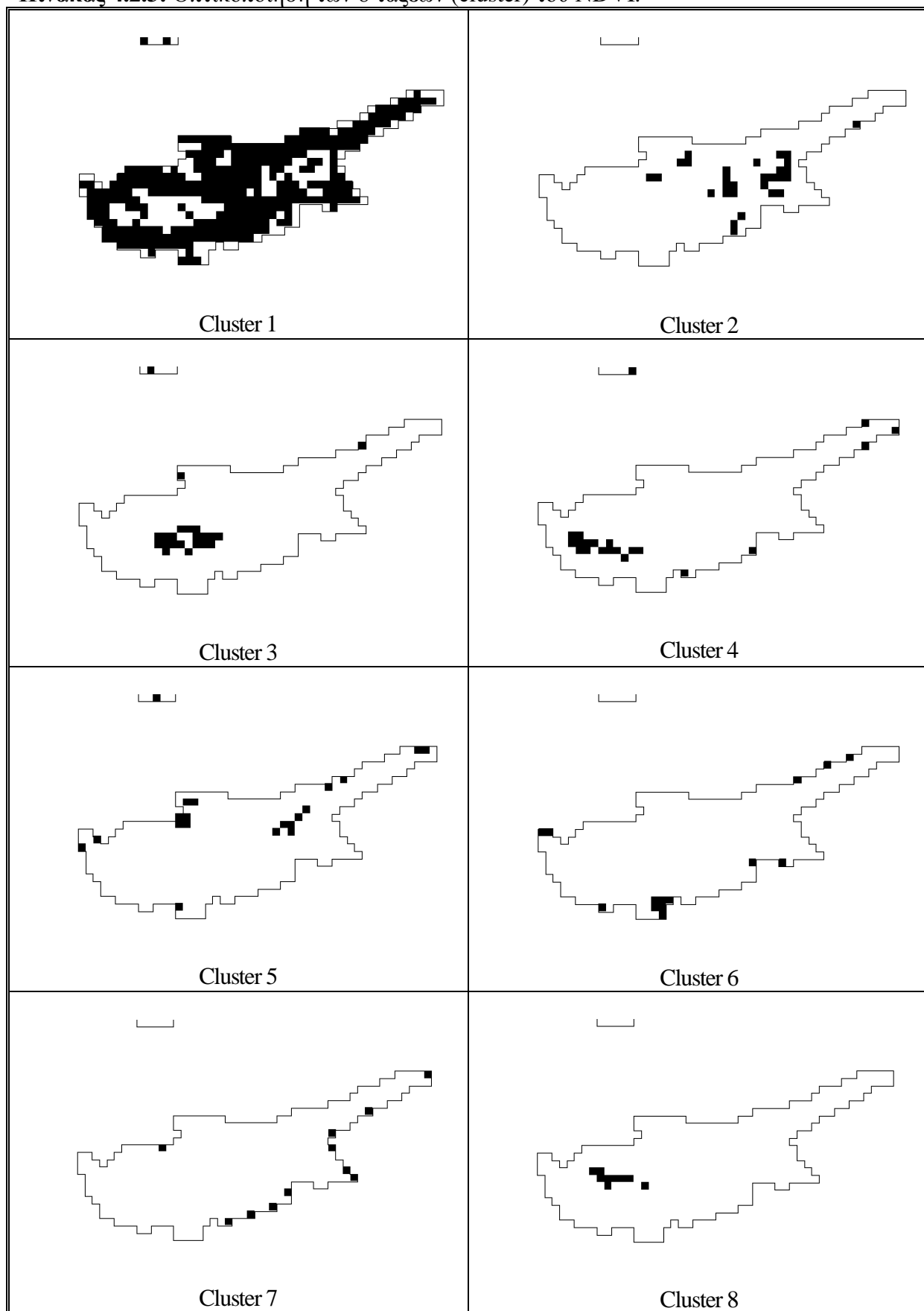
Η χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) δίνεται στην εικόνα 4.2.17 που ακολουθεί.



Εικόνα 4.2.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) των 6 κύριων συνιστωσών NDVI.

Η οπτικοποίηση της κάθε τάξης ξεχωριστά παρουσιάζεται στον πίνακα 4.2.3.

Πίνακας 4.2.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) του NDVI.

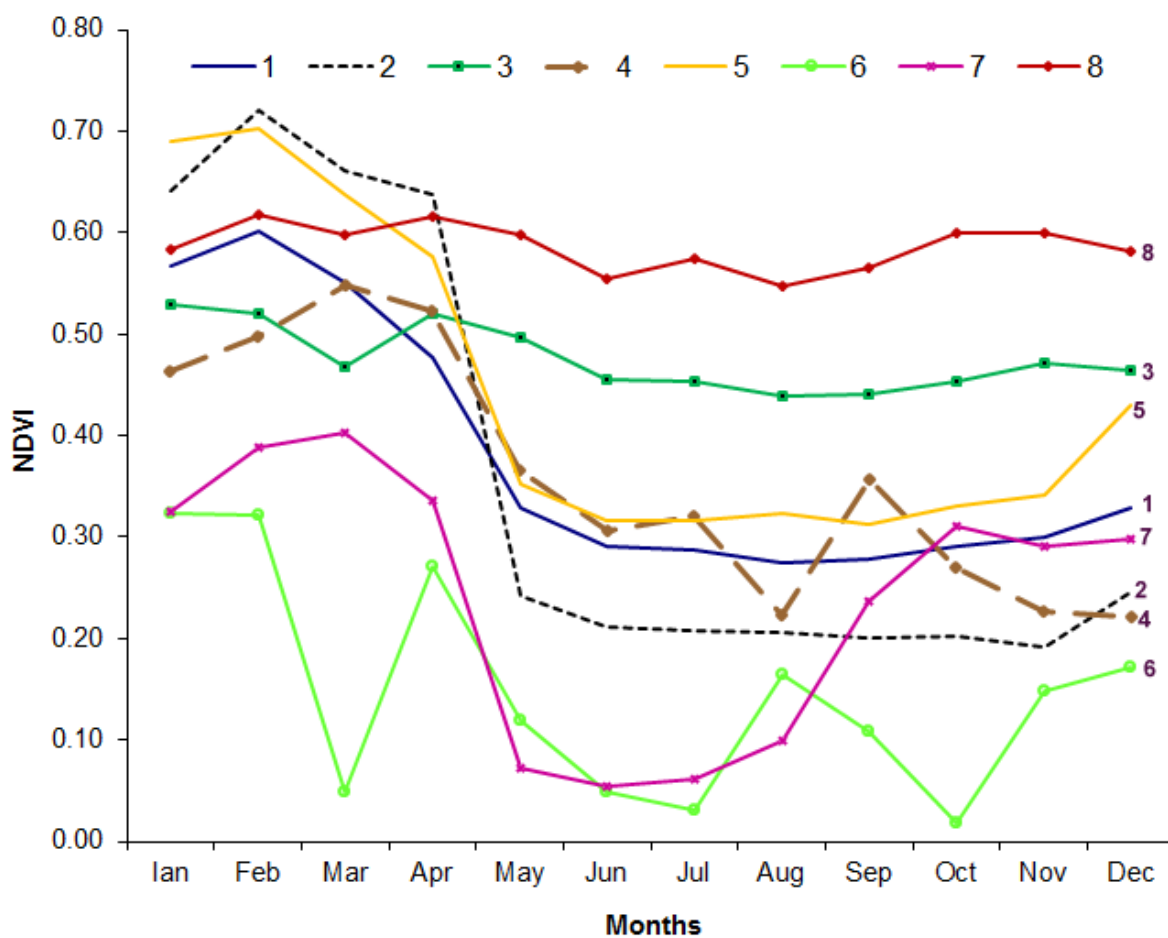


Τα κέντρα βάρους των τάξεων που υποδηλώνουν τη μέση τιμή NDVI για κάθε μήνα, για όλα τα τετραγωνάκια που ανήκουν στο συγκεκριμένο cluster, δίνονται στον Πίνακα 4.2.4.

Πίνακας 4.2.4: Κέντρα βάρους των 8 τάξεων (cluster) του NDVI.

cluster	NDVI											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0,57	0,60	0,55	0,48	0,33	0,29	0,29	0,27	0,28	0,29	0,30	0,33
2	0,64	0,72	0,66	0,64	0,24	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,19	0,25
3	0,53	0,52	0,47	0,52	0,50	0,45	0,45	0,44	0,44	0,45	0,47	0,46
4	0,46	0,50	0,55	0,52	0,37	0,31	0,32	0,22	0,36	0,27	0,23	0,22
5	0,69	0,70	0,64	0,58	0,35	0,32	0,32	0,32	0,31	0,33	0,34	0,43
6	0,32	0,32	0,05	0,27	0,12	0,05	0,03	0,16	0,11	0,02	0,15	0,17
7	0,32	0,39	0,40	0,34	0,07	0,05	0,06	0,10	0,24	0,31	0,29	0,30
8	0,58	0,62	0,60	0,62	0,60	0,55	0,57	0,55	0,57	0,60	0,60	0,58

Ακολουθεί η γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους.



Σχήμα 4.2.1: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) του NDVI.

4.3 Θερμοκρασία Ημέρας, (Θ. ημέρας)

Η θερμοκρασία ημέρας περιλαμβάνει μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις θερμοκρασίας με χωρική διακριτική ικανότητα 0.05° (LST/E Monthly L3 Global 0.05Deg CMG).

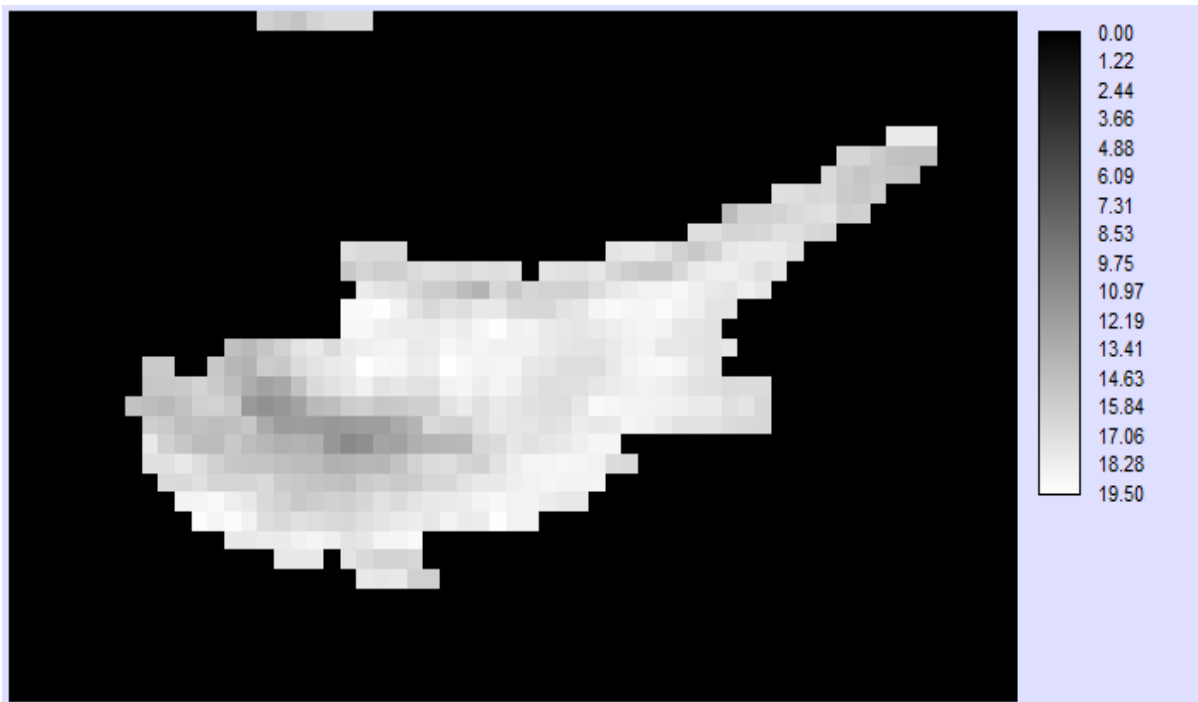
(https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table)

Τα δεδομένα είναι κωδικοποιημένα σε ακέραιους αριθμούς, εύρους 16bit, με πεδίο ορισμού 7500 έως 65535, no data= 0 και η σχέση μετατροπής των κωδικοποιημένων τιμών από Kelvin σε τιμές Celsius είναι η ακόλουθη:

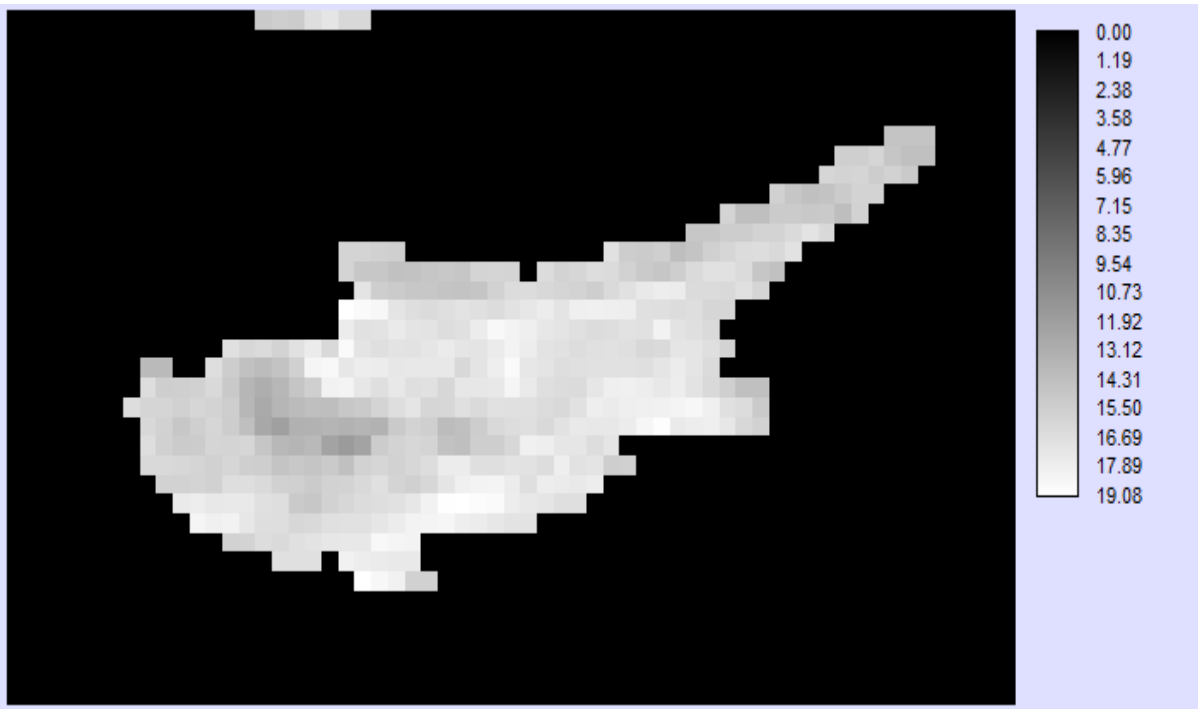
$$(X*0,02)-273$$

Η έκδοση των δεδομένων είναι η 5.1, ο κωδικός του προϊόντος είναι MYD11C3 V5 και τα δεδομένα αφορούν το έτος 2010 με ώρα λήψης 13:30 μ.μ.

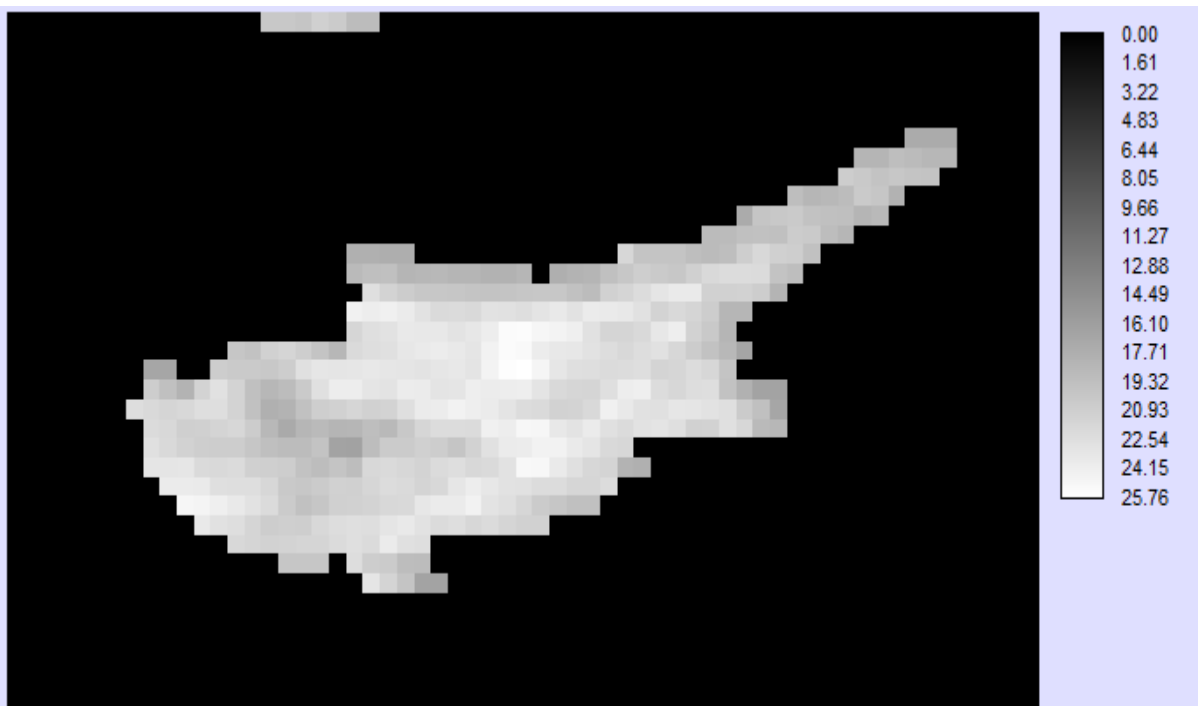
Ακολουθούν οι μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις των θερμοκρασιών ημέρας στην περιοχή μελέτης σε απεικόνιση διαβαθμίσεων του γκρι.



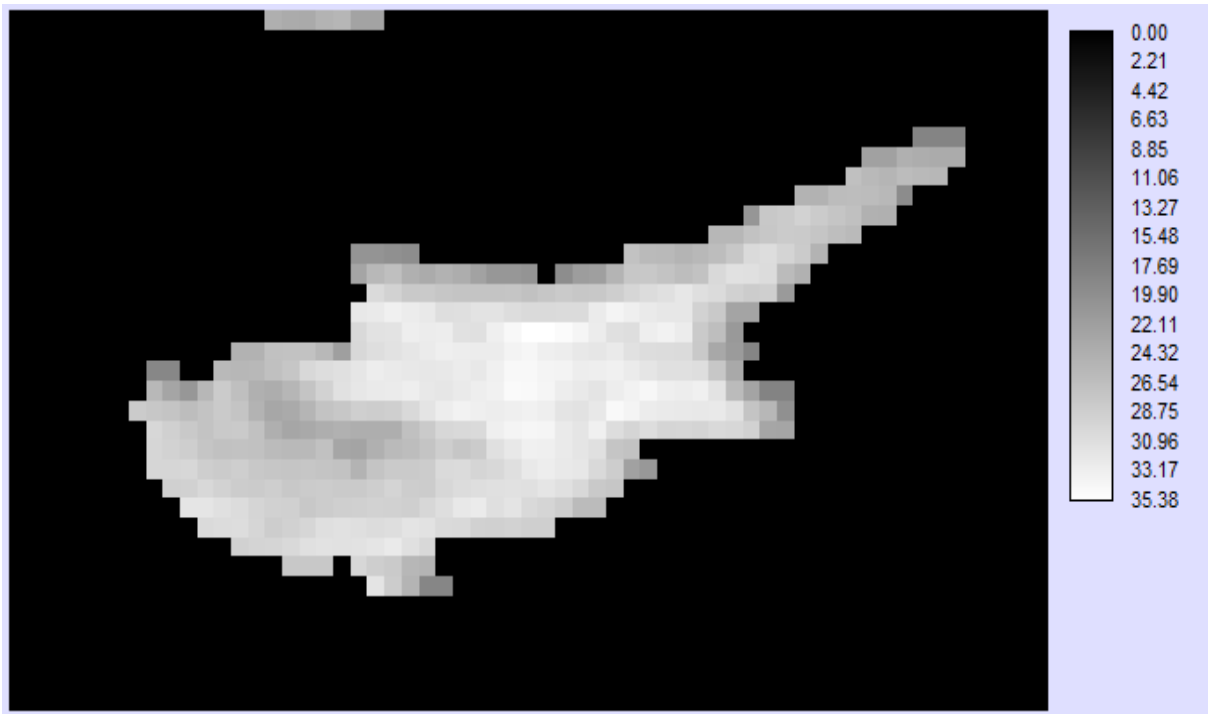
Εικόνα 4.3.1: Θ. ημέρας Ιανουαρίου



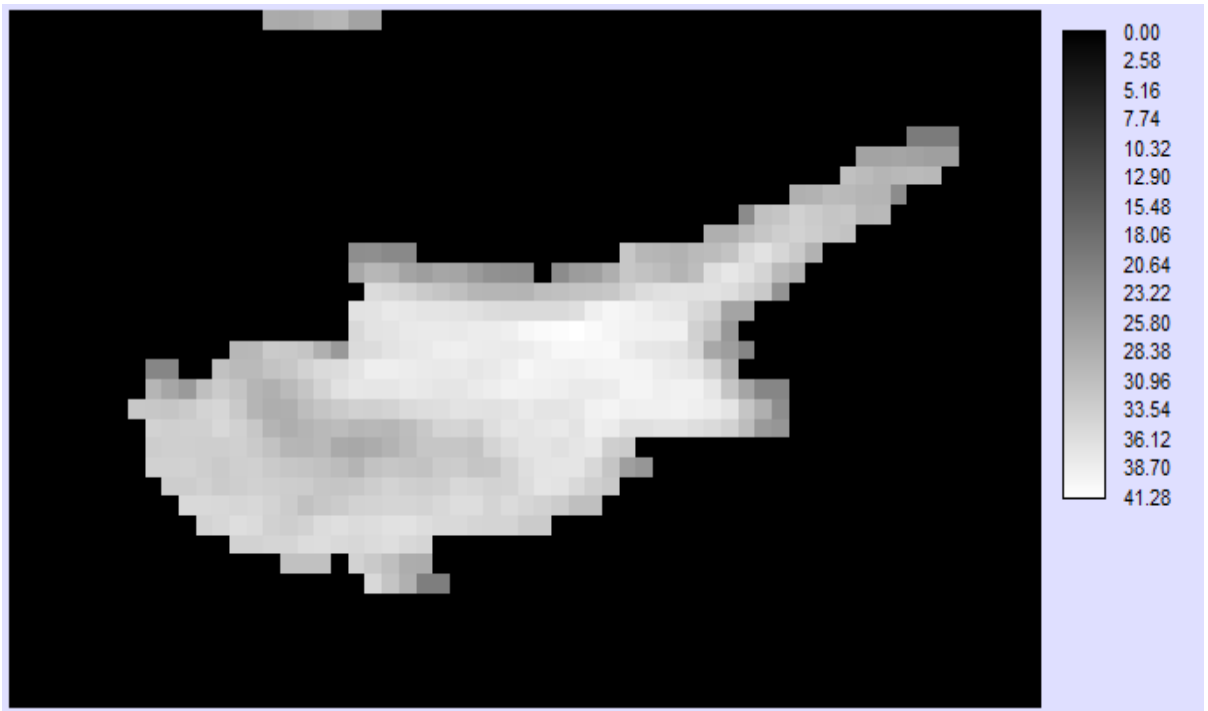
Εικόνα 4.3.2: Θ. ημέρας Φεβρουαρίου



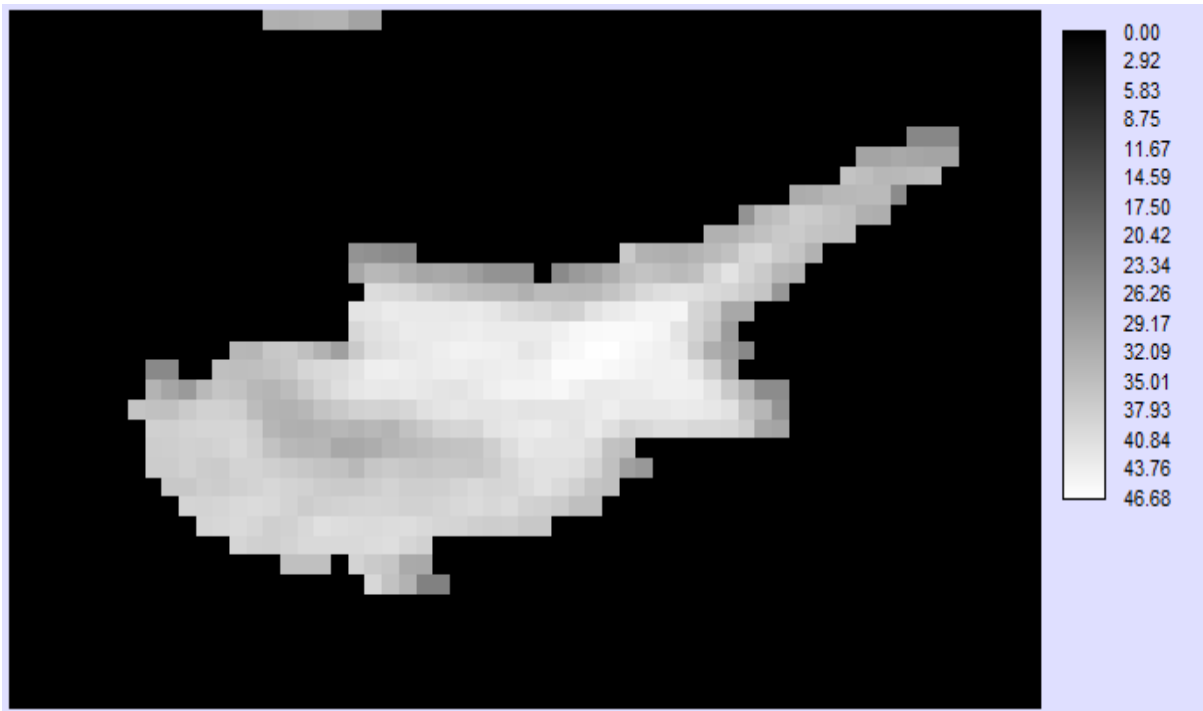
Εικόνα 4.3.3: Θ. ημέρας Μαρτίου



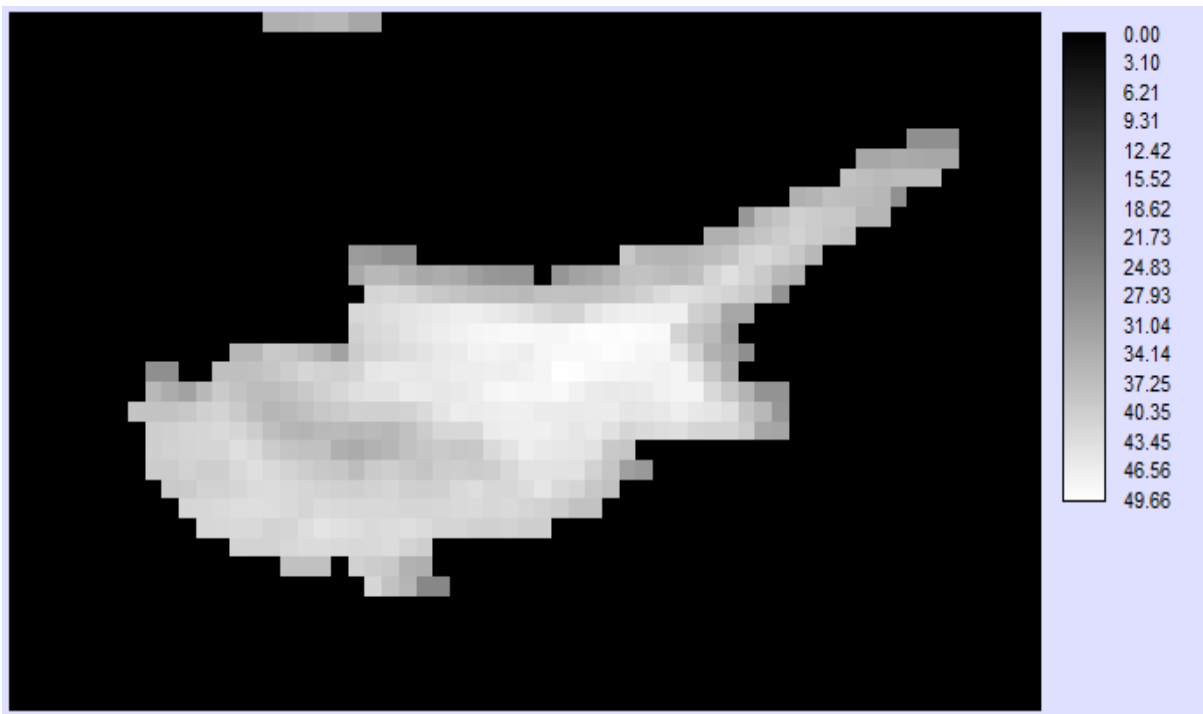
Εικόνα 4.3.4: Θ. ημέρας Απριλίου



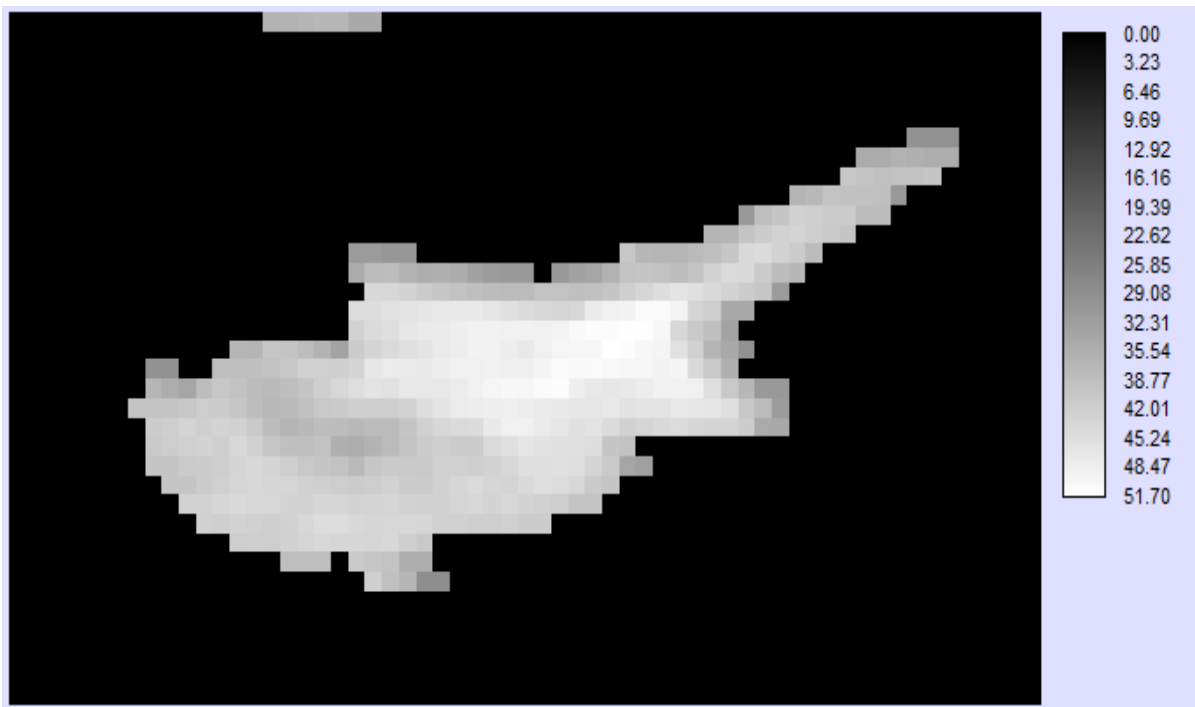
Εικόνα 4.3.5: Θ. ημέρας Μαΐου



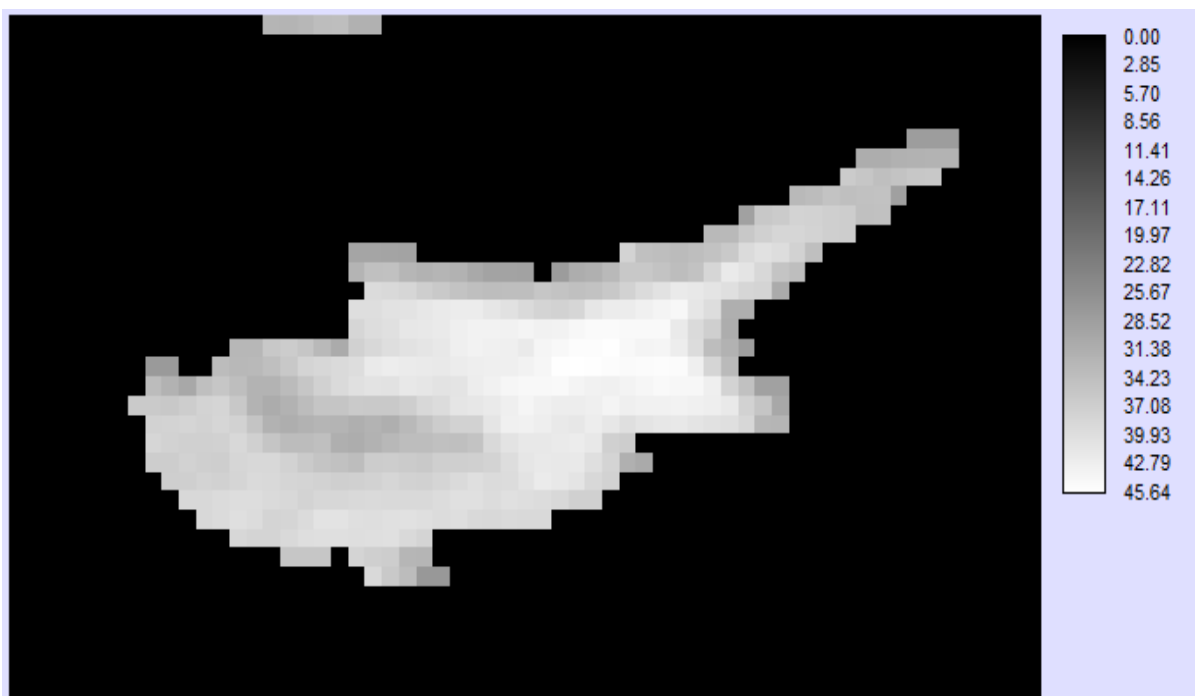
Εικόνα 4.3.6: Θ. ημέρας Ιουνίου



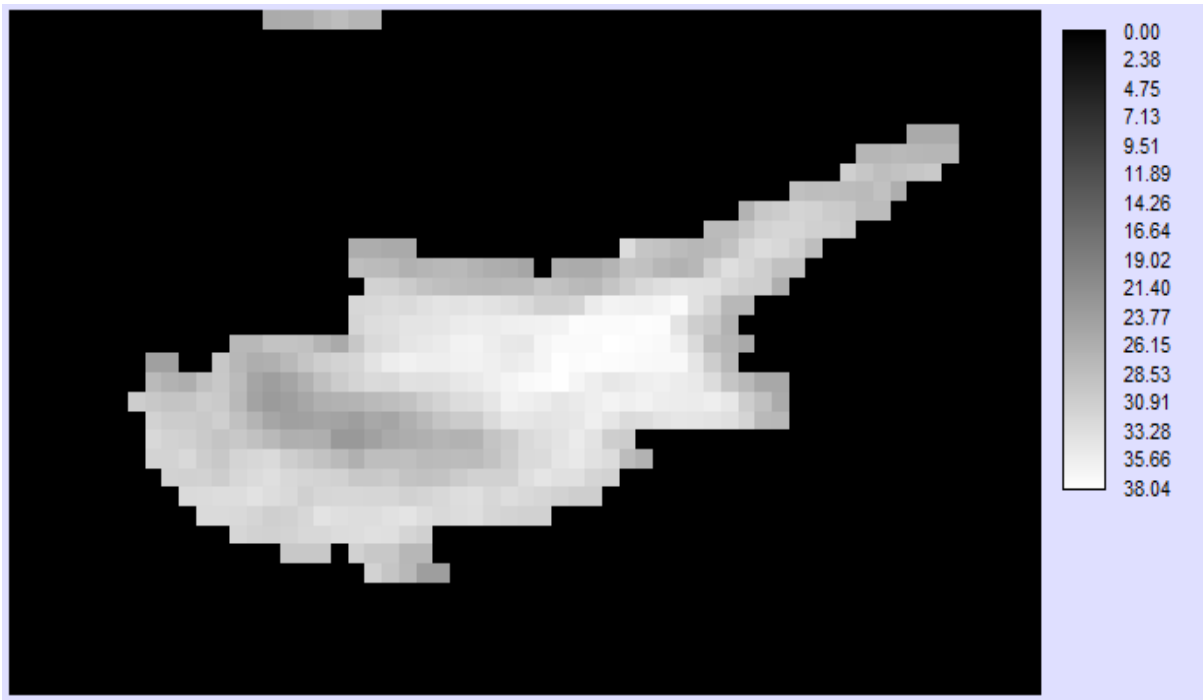
Εικόνα 4.3.7: Θ. ημέρας Ιουλίου



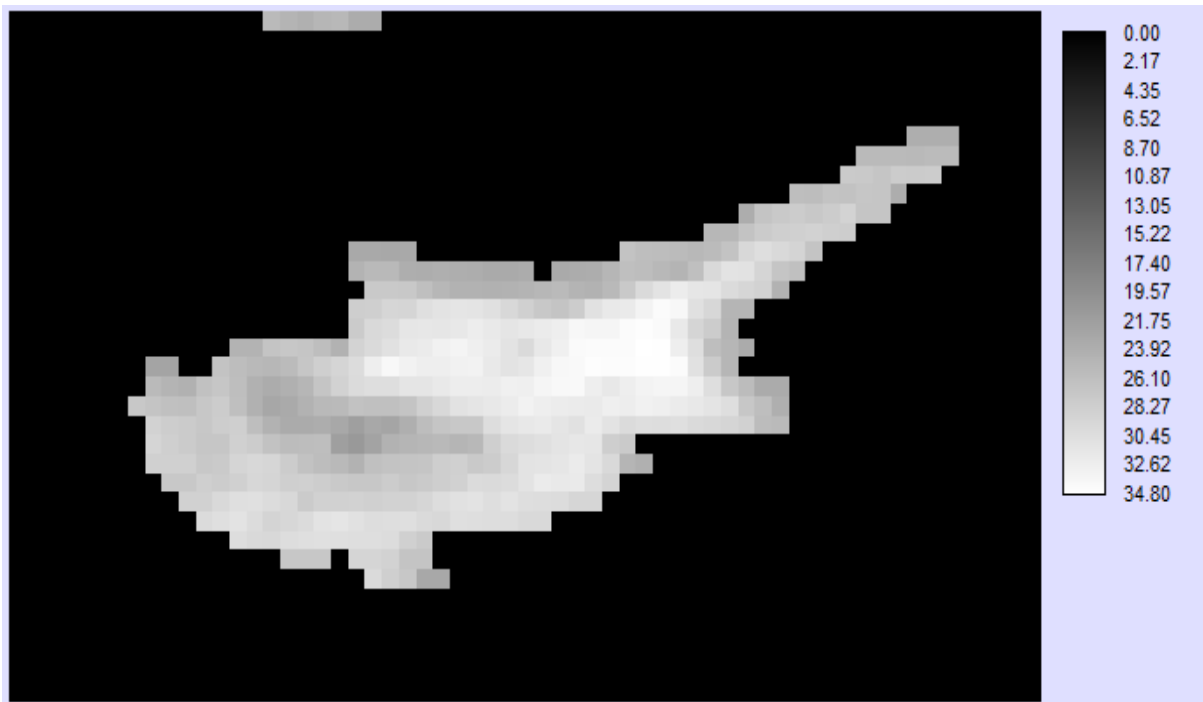
Εικόνα 4.3.8: Θ. ημέρας Αυγούστου



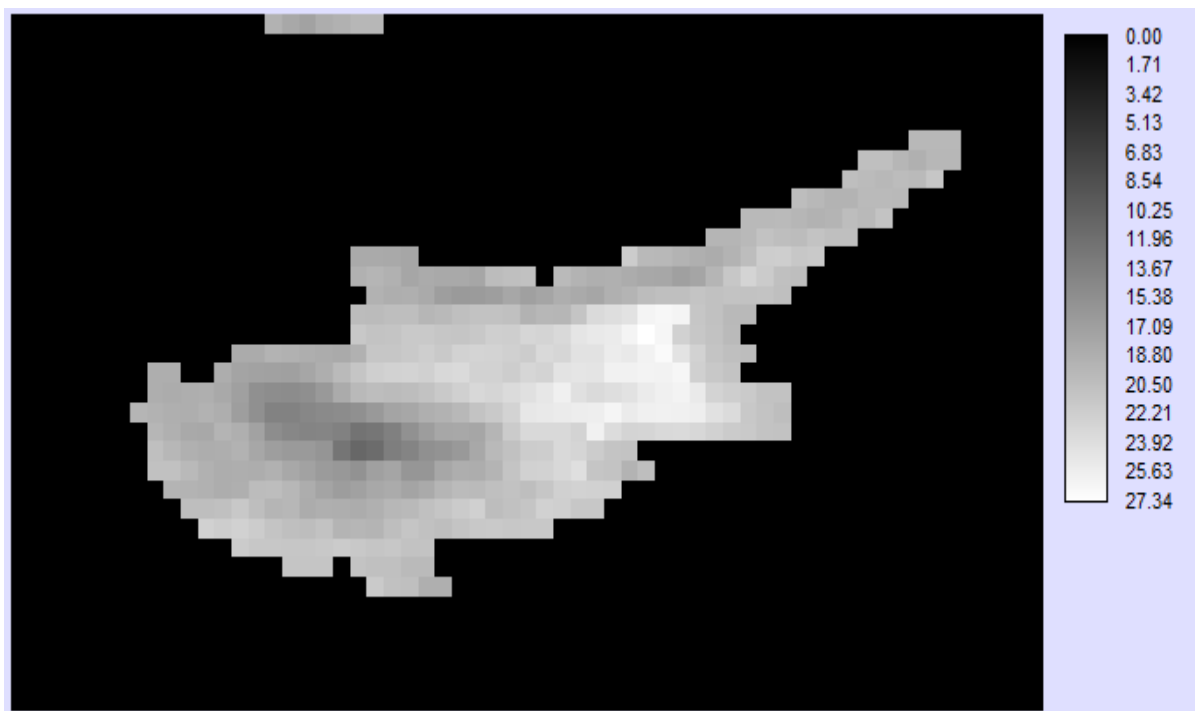
Εικόνα 4.3.9: Θ. ημέρας Σεπτεμβρίου



Εικόνα 4.3.10: Θ. ημέρας Οκτωβρίου



Εικόνα 4.3.11: Θ. ημέρας Νοεμβρίου



Εικόνα 4.3.12: Θ. ημέρας Δεκεμβρίου

Στον Πίνακα 4.3.1 που ακολουθεί δίνεται ο βαθμός συσχέτισης ο οποίος θα ποσοτικοποιήσει το βαθμό ομοιότητας των μηνιαίων εκτιμήσεων των θερμοκρασιών ημέρας και δυνητικά θα αποκαλύψει πιθανές εποχικές μεταβολές.

Πίνακας 4.3.1: Βαθμός συσχέτισης των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων Θ. ημέρας.

Θ. ημέρας	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1											
Feb	0,77	1										
Mar	0,54	0,69	1									
Apr	0,53	0,63	0,92	1								
May	0,50	0,60	0,88	0,97	1							
Jun	0,47	0,56	0,86	0,96	0,98	1						
Jul	0,44	0,53	0,85	0,95	0,97	0,99	1					
Aug	0,45	0,52	0,83	0,94	0,97	0,98	0,99	1				
Sep	0,59	0,63	0,84	0,94	0,96	0,97	0,97	0,97	1			
Oct	0,69	0,68	0,78	0,87	0,89	0,90	0,89	0,90	0,95	1		
Nov	0,68	0,67	0,78	0,87	0,89	0,90	0,90	0,91	0,96	0,96	1	
Dec	0,80	0,68	0,50	0,57	0,59	0,59	0,58	0,61	0,72	0,83	0,82	1

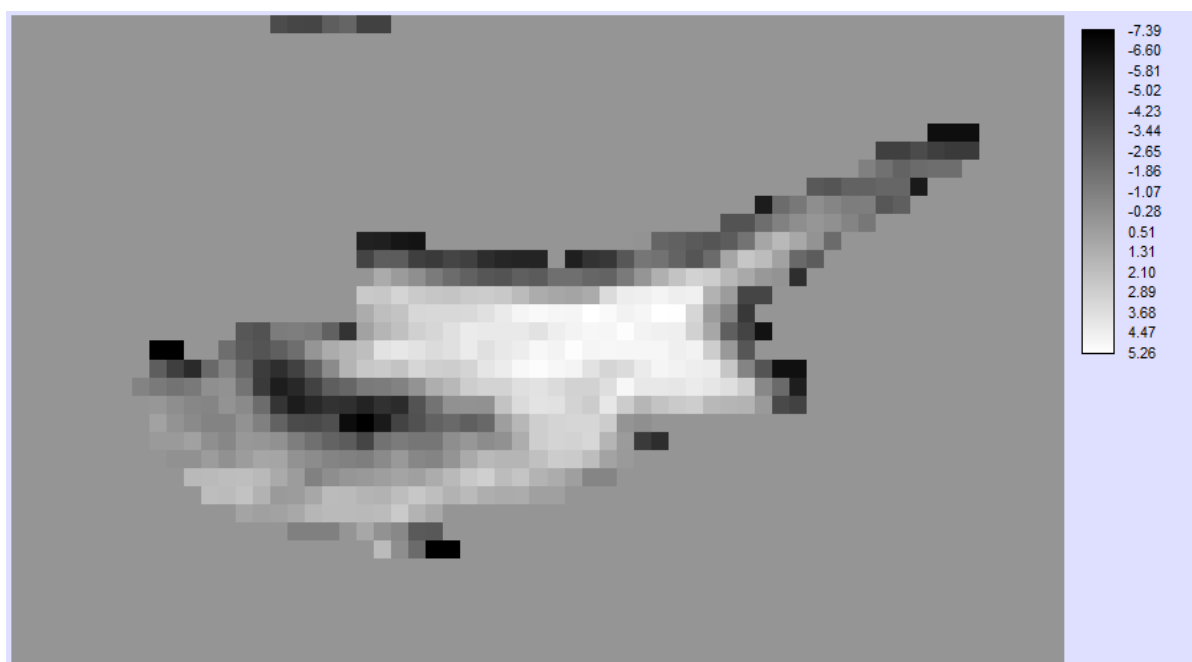
Ακολουθεί ο Πίνακας 4.3.2 με τις ιδιοτιμές (eigenvalues) και τα ιδιοδιανύσματα (eigenvectors) που προκύπτουν από την εφαρμογή της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA analysis). Τα ιδιοδιανύσματα υποδηλώνουν το ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύει η κάθε κύρια συνιστώσα και καταδεικνύουν τους συντελεστές που πολλαπλασιάζονται με τον αντίστοιχο μήνα για να προέλθει η κάθε κύρια συνιστώσα.

Οι έξι πρώτες κύριες συνιστώσες, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.3.2, ερμηνεύουν το 98.9% της πληροφορίας που υπάρχει και στις δώδεκα εικόνες.

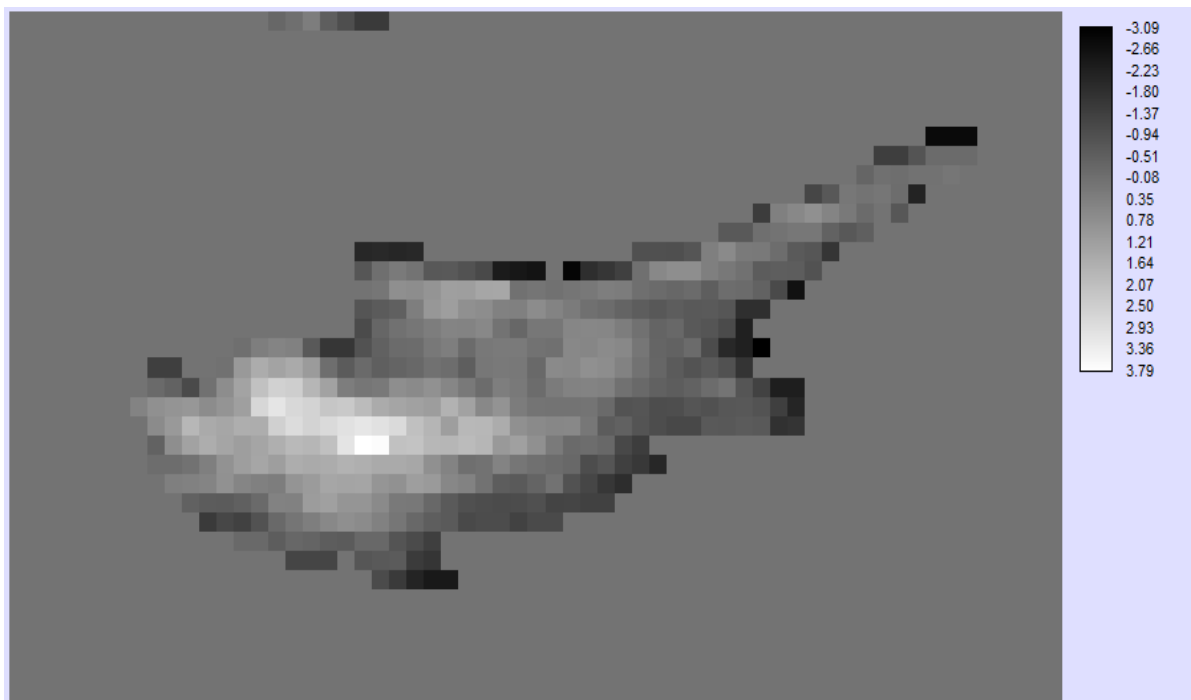
Πίνακας 4.3.2: Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών Θ. ημέρας (PCA)

Eigen-vectors	Συνιστώσες / Components PCs											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	0,21	-0,59	-0,08	-0,70	-0,31	-0,02	-0,03	0,14	0,02	-0,01	-0,02	-0,02
Feb	0,23	-0,43	-0,55	0,62	-0,24	0,00	-0,02	0,07	0,07	-0,02	-0,02	0,01
Mar	0,28	0,10	-0,52	-0,23	0,70	0,23	-0,01	0,15	-0,13	0,06	-0,04	0,05
Apr	0,31	0,17	-0,20	-0,15	0,02	-0,39	0,22	-0,60	0,48	-0,05	0,15	-0,04
May	0,31	0,20	-0,06	-0,01	-0,17	-0,35	-0,07	-0,19	-0,67	-0,19	-0,41	-0,12
Jun	0,31	0,22	0,02	0,01	-0,16	-0,10	-0,10	0,26	-0,22	-0,23	0,78	0,21
Jul	0,30	0,25	0,07	0,03	-0,09	0,03	-0,10	0,38	0,27	0,08	-0,05	-0,77
Aug	0,31	0,23	0,13	0,01	-0,10	-0,05	-0,06	0,36	0,39	-0,22	-0,45	0,54
Sep	0,32	0,08	0,12	0,04	-0,14	0,03	0,00	-0,05	-0,10	0,89	0,01	0,21
Oct	0,31	-0,09	0,23	0,06	0,02	0,52	-0,58	-0,45	0,05	-0,17	0,01	-0,01
Nov	0,31	-0,07	0,25	0,09	-0,04	0,45	0,76	-0,06	-0,12	-0,16	-0,02	-0,04
Dec	0,24	-0,45	0,47	0,20	0,52	-0,44	-0,03	0,09	0,00	-0,01	0,04	-0,04
Eigenvalue	9,70	1,32	0,52	0,18	0,10	0,05	0,04	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01
variance %	80,86	11,00	4,32	1,46	0,82	0,45	0,30	0,27	0,22	0,11	0,10	0,08
% Ποσοστό των 6 PCs						98,9						

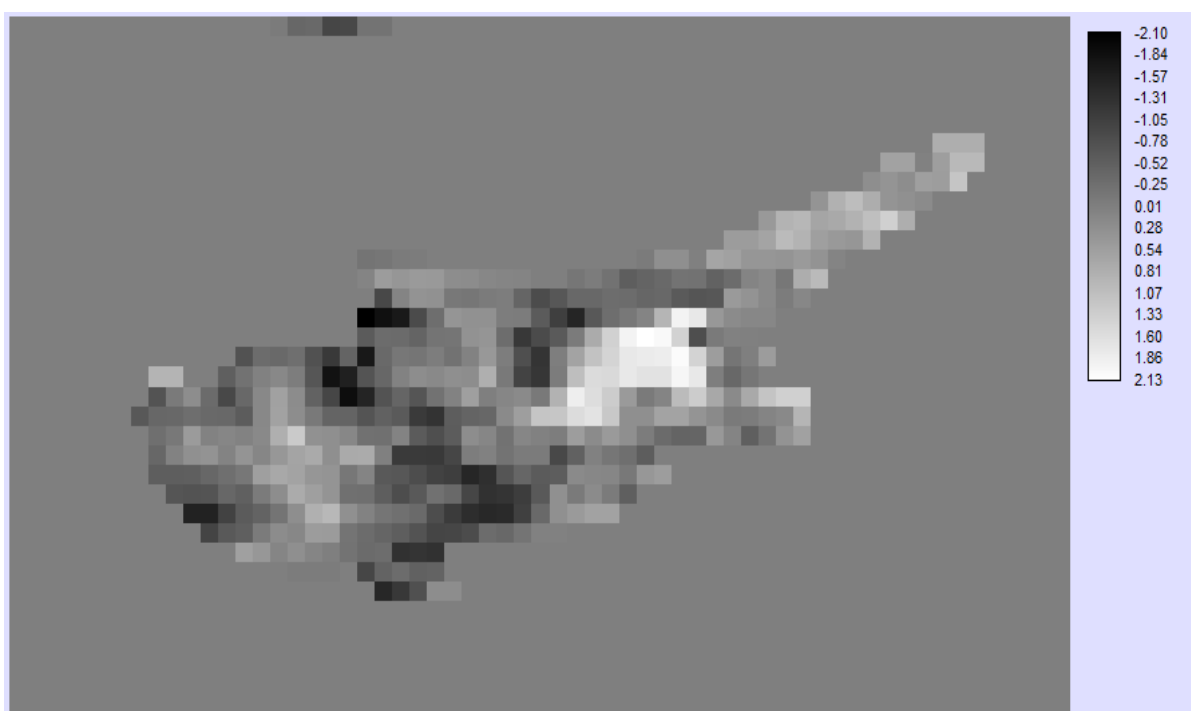
Ακολουθούν οι απεικονίσεις των τριών πρώτων κυρίων συνιστωσών σε διαβαθμίσεις του γκρι:



Εικόνα 4.3.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα Θ. ημέρας (80.9 % της πληροφορίας).

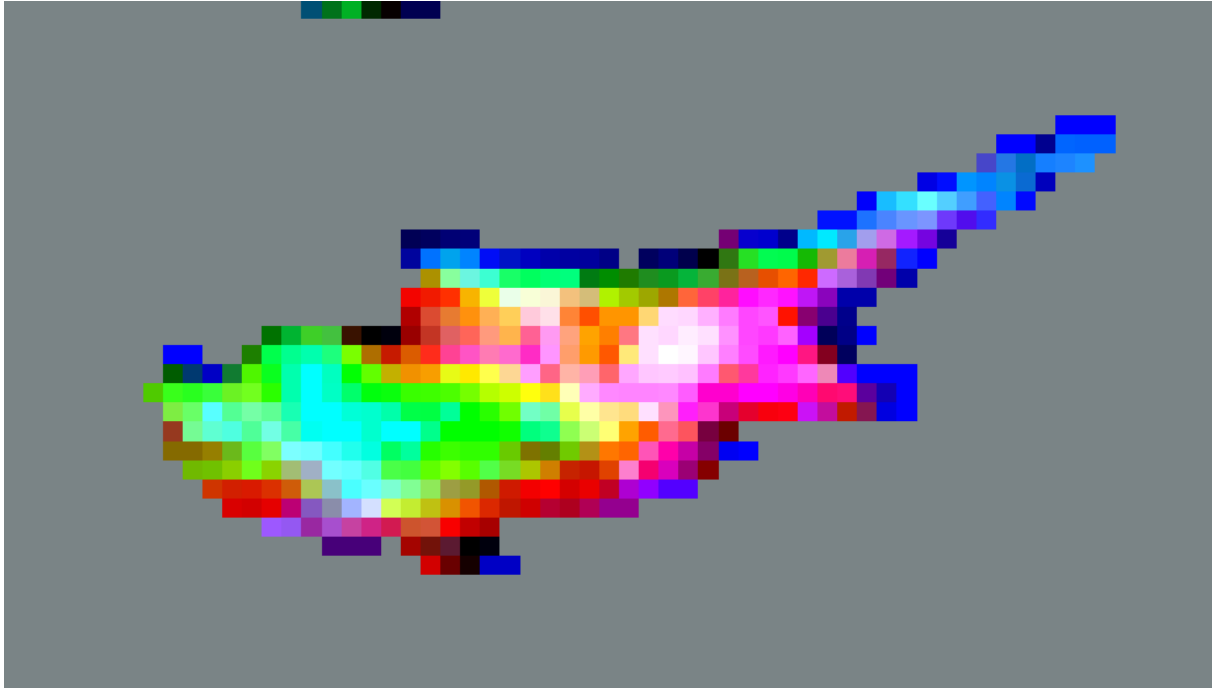


Εικόνα 4.3.14: Δεύτερη κύρια συνιστώσα Θ. ημέρας (11 % της πληροφορίας).



Εικόνα 4.3.15: Τρίτη κύρια συνιστώσα Θ. ημέρας (4.32 % της πληροφορίας).

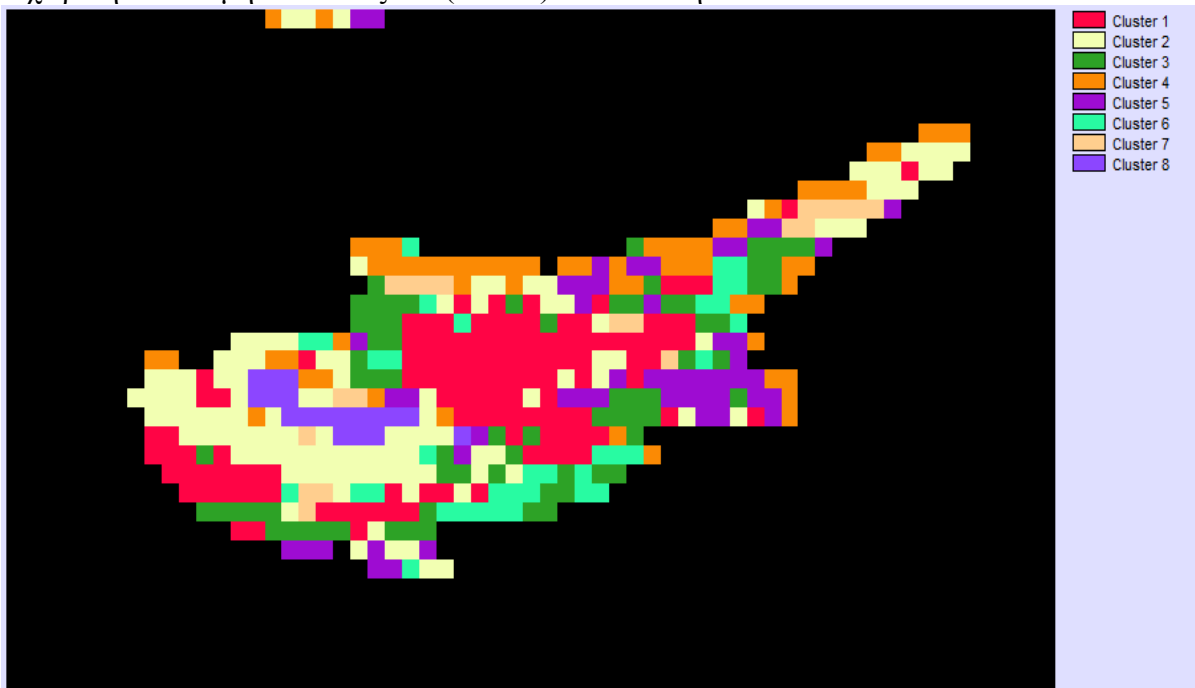
Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα έγχρωμο σύνθετο RGB 321 (εικόνα 4.3.16) όπου 3, 2 και 1 τα αντίστοιχα κανάλια των κυρίων συνιστωσών. Εμπεριέχει το 96.2 % της πληροφορίας των δώδεκα μηνιαίων εικόνων Θ. ημέρας. Πιο ακριβή χωροχρονική υπογραφή καταγράφει η μεθοδολογία της ταξινόμησης.



Εικόνα 4.3.16: RGB 321 των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών Θ ημέρας.

Στη συνέχεια ακολουθεί η εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στις 6 κύριες συνιστώσες (δηλ. ταξινόμηση χρησιμοποιώντας το 98.9% της πληροφορίας. Το νέφος των σημείων δεν μεταβάλλεται ως προς τη γεωμετρία στις κύριες συνιστώσες, αλλά αλλάζουν οι άξονες ως προς τις οποίες υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων του νέφους).

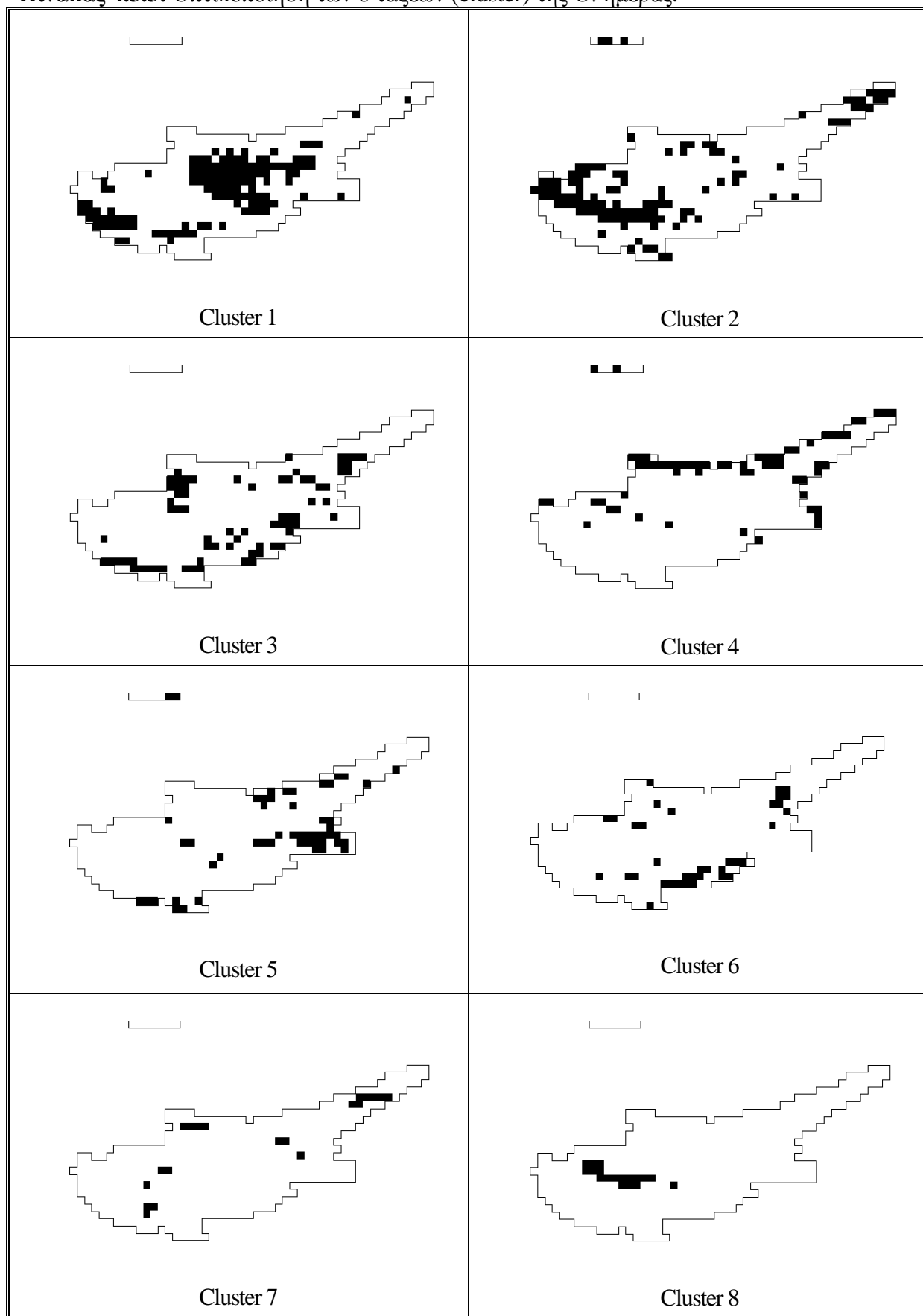
Η χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) δίνεται στην εικόνα 4.3.17 που ακολουθεί.



Εικόνα 4.3.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) των 6 κύριων συνιστωσών Θ ημέρας.

Η οπτικοποίηση της κάθε τάξης ξεχωριστά παρουσιάζεται στον πίνακα 4.3.3.

Πίνακας 4.3.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) της Θ. ημέρας.

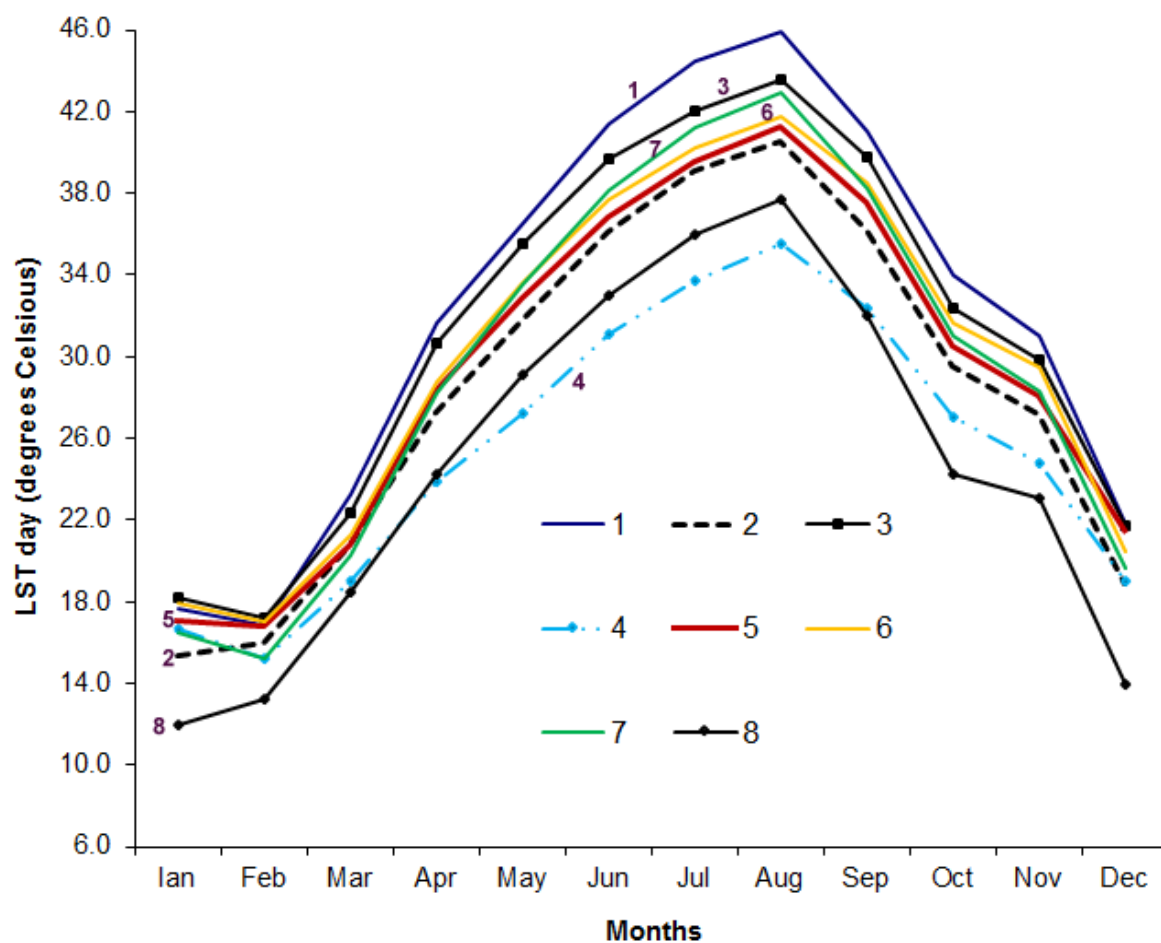


Τα κέντρα βάρους των τάξεων που υποδηλώνουν τη μέση τιμή της Θ. ημέρας για κάθε μήνα για όλα τα τετραγωνάκια που ανήκουν στο συγκεκριμένο cluster δίνονται στον Πίνακα 4.3.4.

Πίνακας 4.3.4: Κέντρα βάρους των 8 τάξεων (cluster) της Θ. ημέρας

cluster	Θ. ημέρας (LST day)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	17,7	16,8	23,2	31,6	36,5	41,4	44,5	45,9	41,1	34,0	31,0	21,8
2	15,4	16,0	20,8	27,3	31,8	36,2	39,1	40,5	36,2	29,5	27,2	18,9
3	18,2	17,2	22,3	30,6	35,5	39,6	42,0	43,5	39,7	32,4	29,8	21,7
4	16,7	15,2	19,0	23,8	27,2	31,1	33,7	35,6	32,4	27,0	24,8	19,0
5	17,0	16,8	20,7	28,3	32,9	36,8	39,5	41,2	37,5	30,6	28,1	21,4
6	17,9	17,0	21,3	28,7	33,6	37,7	40,3	41,7	38,5	31,6	29,5	20,4
7	16,5	15,2	20,3	28,2	33,6	38,1	41,2	43,0	38,2	31,0	28,3	19,6
8	12,0	13,2	18,5	24,3	29,1	33,0	35,9	37,7	32,0	24,2	23,1	13,9

Ακολουθεί η γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους.



Σχήμα 4.3.1: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) Θ. ημέρας.

4.4 Θερμοκρασία Νύχτας, (Θ. νύχτας)

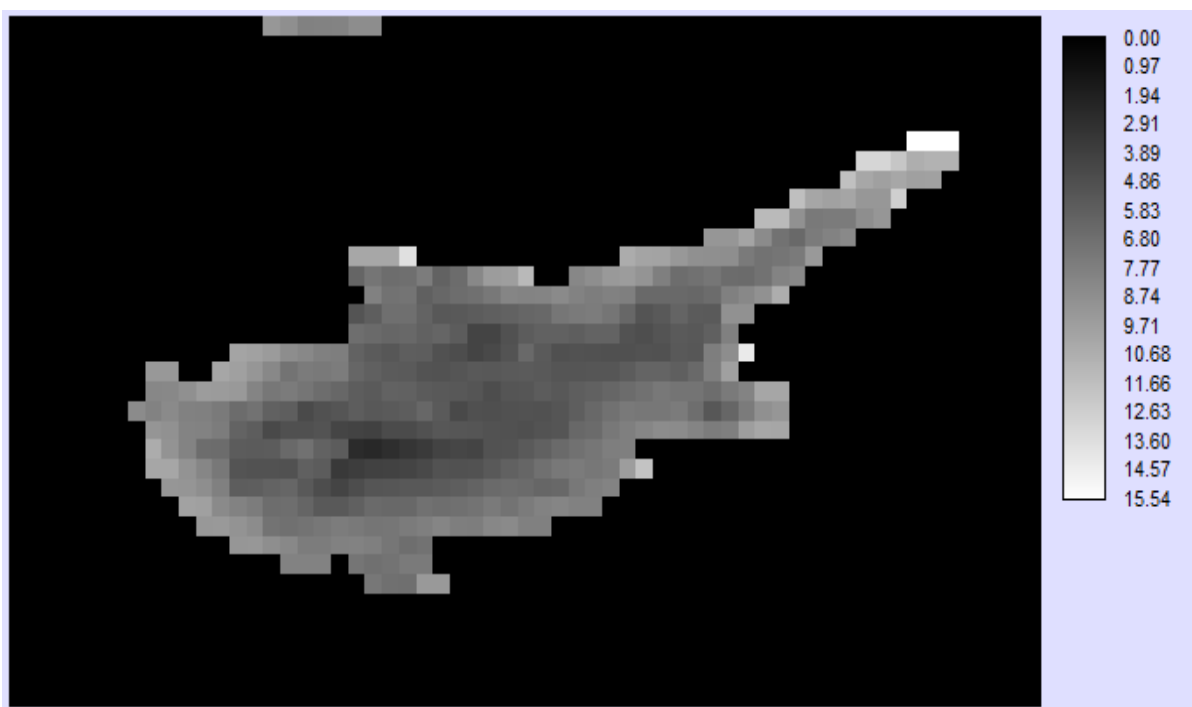
Η θερμοκρασία νύχτας περιλαμβάνει μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις θερμοκρασίας με χωρική διακριτική ικανότητα 0.05° (LST/E Monthly L3 Global 0.05° CMG).
(https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table).

Τα δεδομένα είναι κωδικοποιημένα σε ακέραιους αριθμούς εύρους 16bit, με πεδίο ορισμού 7500 έως 65535, no data= 0 και η σχέση μετατροπής των κωδικοποιημένων τιμών από Kelvin σε τιμές Celsius είναι η ακόλουθη:

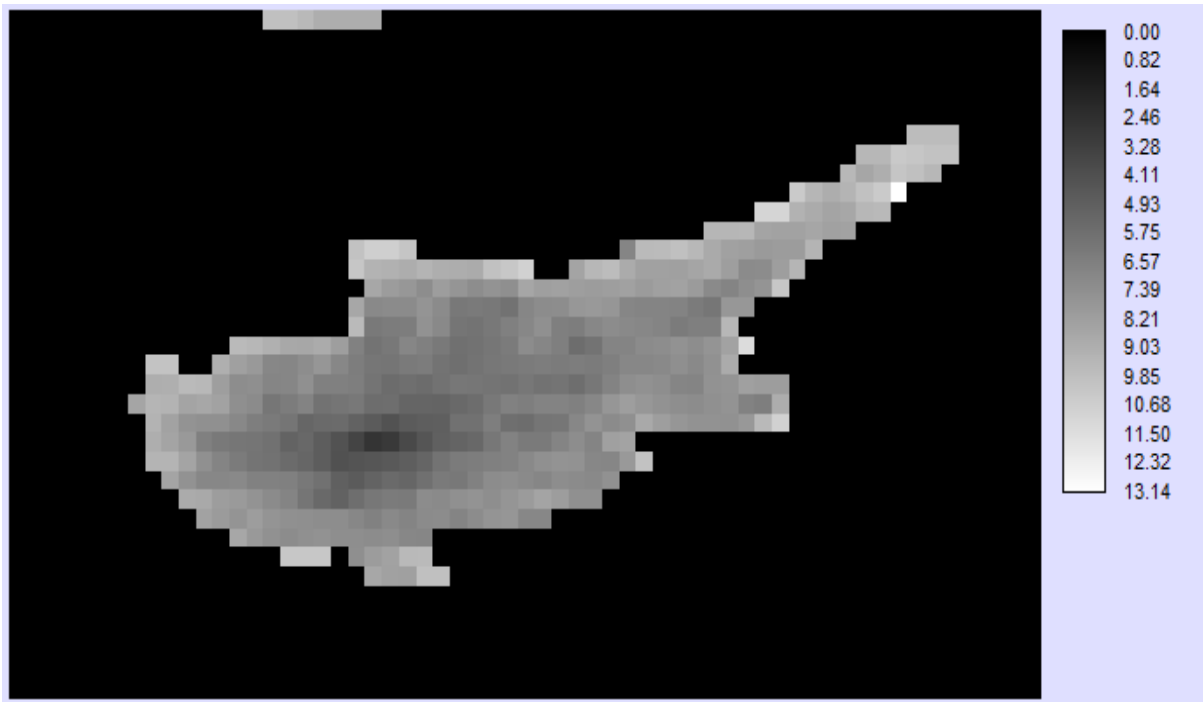
$$(X*0,02)-273$$

Η έκδοση των δεδομένων είναι η 5.1, ο κωδικός του προϊόντος είναι MYD11C3 V5 και τα δεδομένα αφορούν το έτος 2010 με ώρα λήψης 01:30 π.μ.

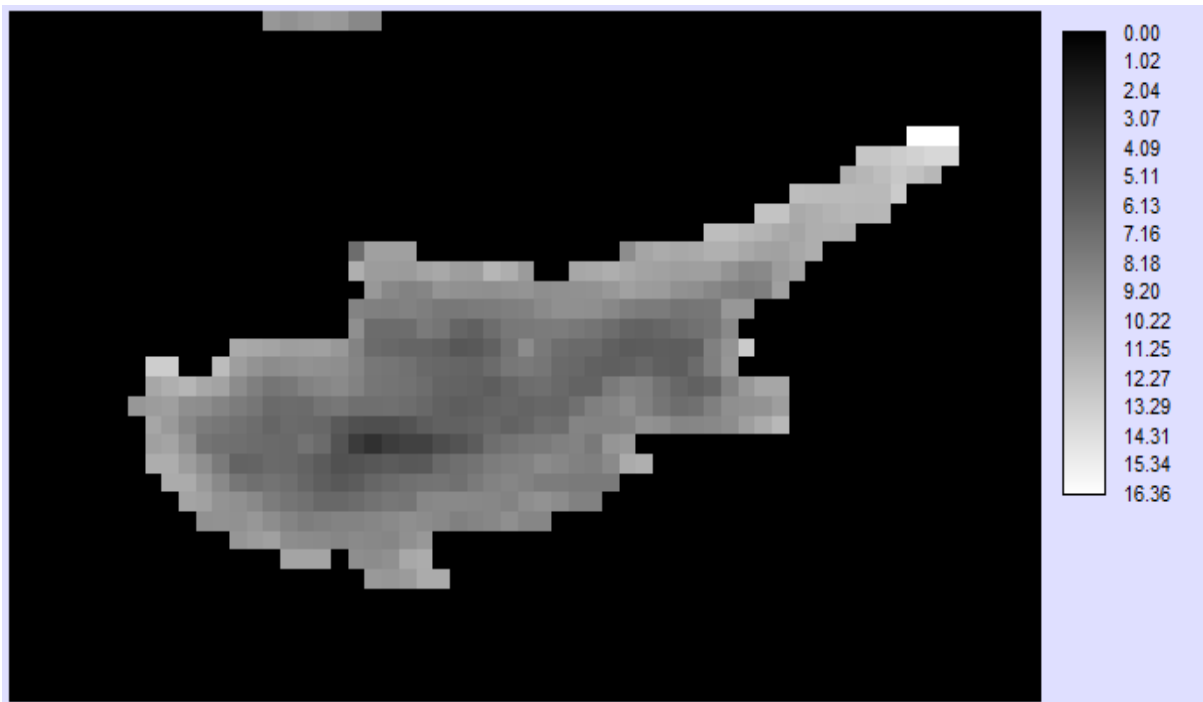
Ακολουθούν οι μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις των θερμοκρασιών νύχτας στην περιοχή μελέτης, σε απεικόνιση διαβαθμίσεων του γκρι.



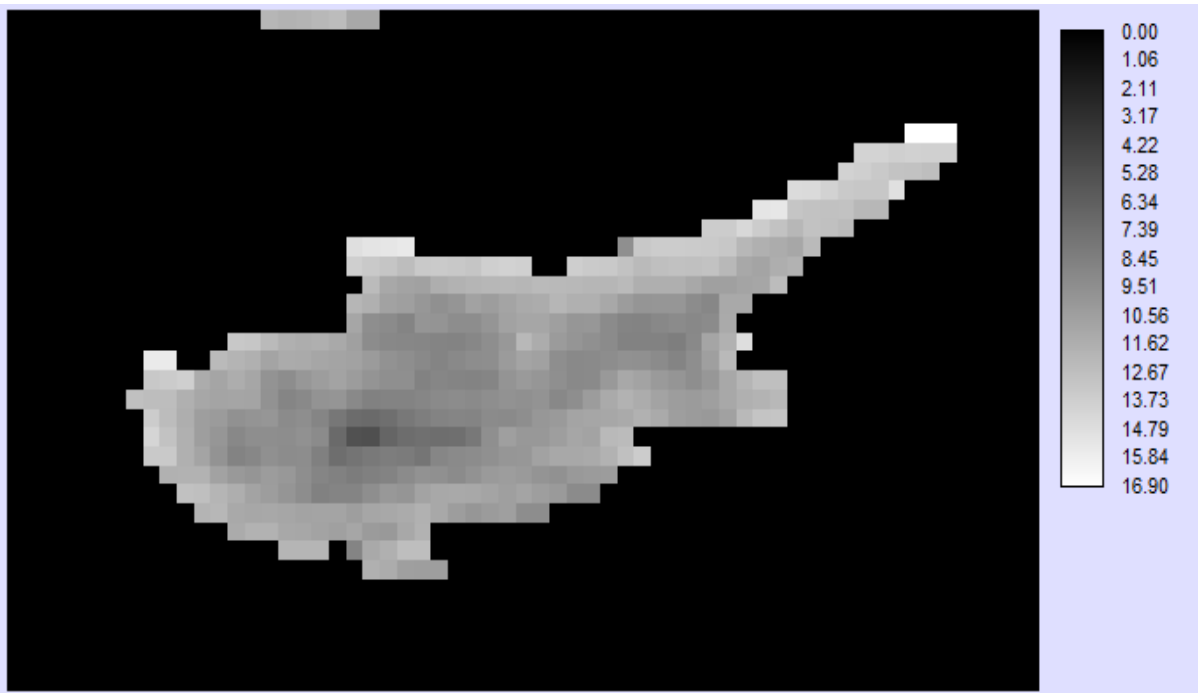
Εικόνα 4.4.1: Θ. νύχτας Ιανουαρίου



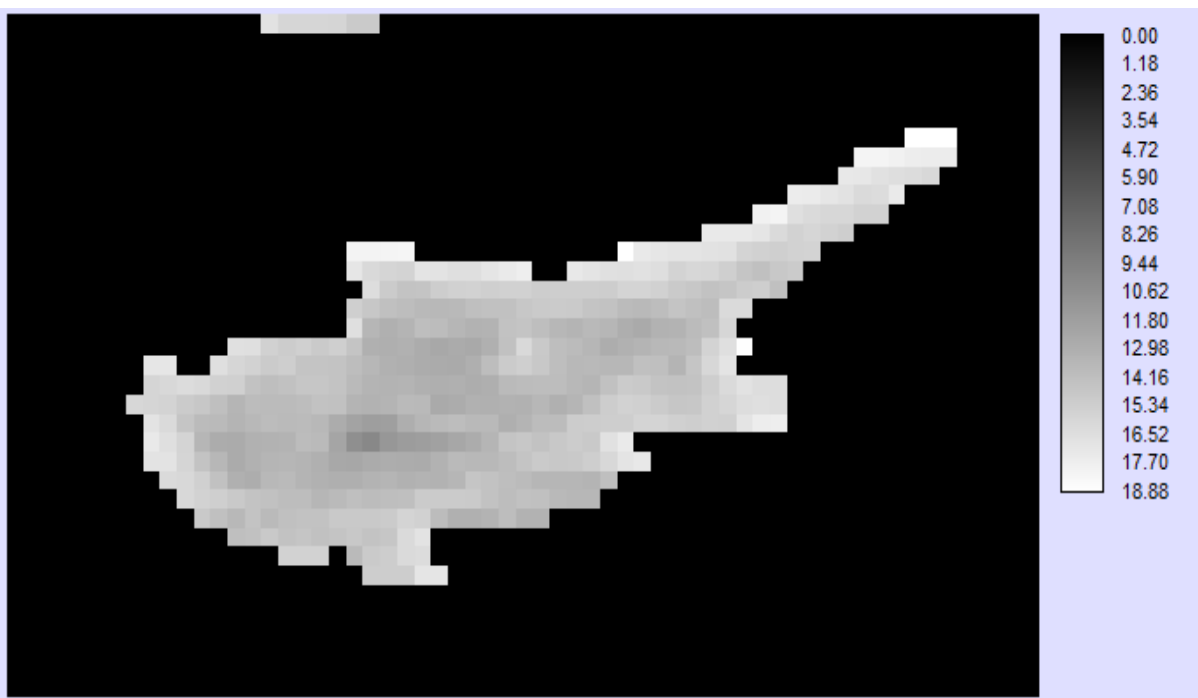
Εικόνα 4.4.2: Θ. νύχτας Φεβρουαρίου



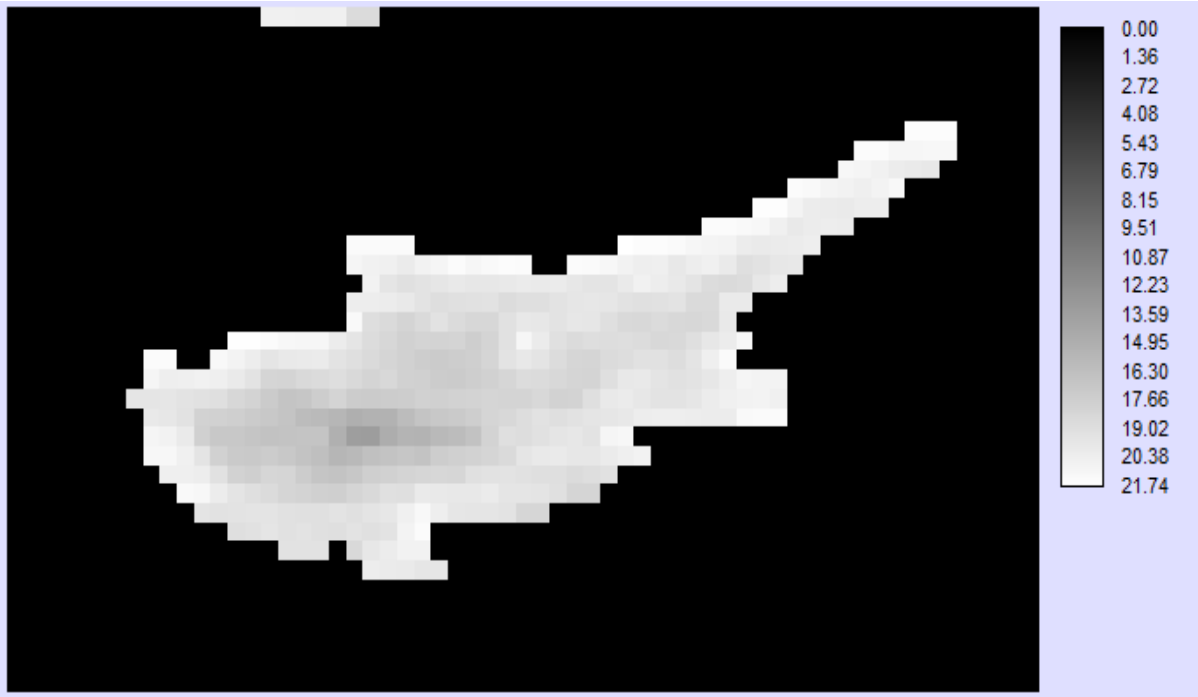
Εικόνα 4.4.3: Θ. νύχτας Μαρτίου



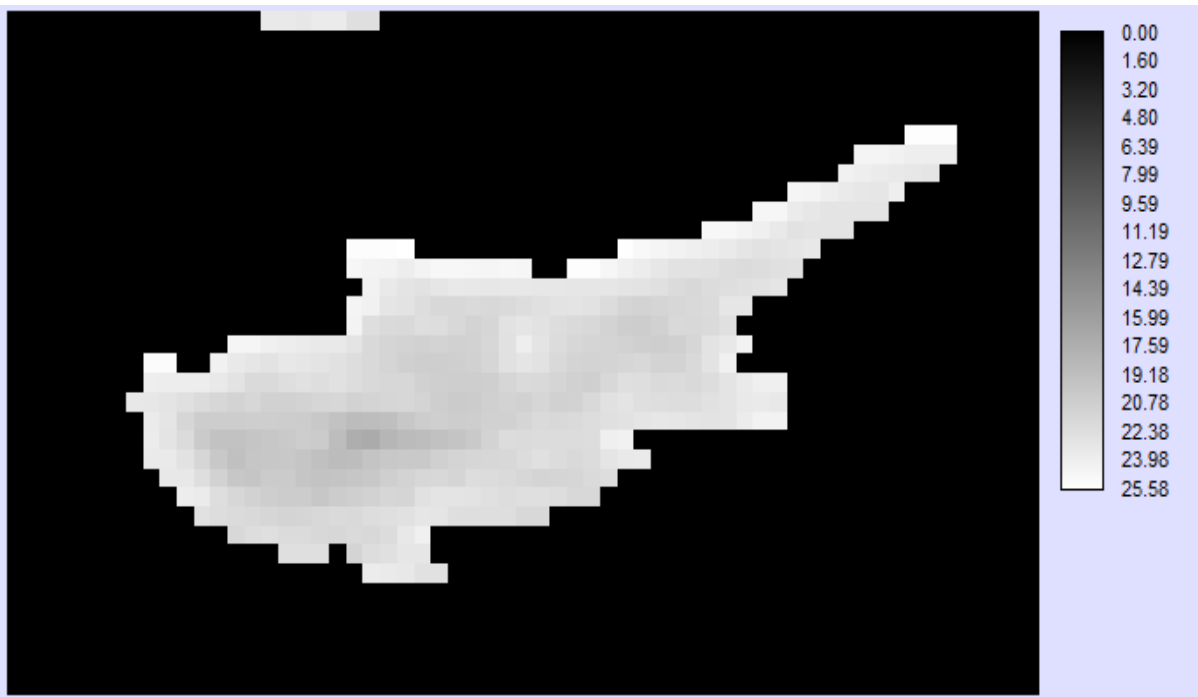
Εικόνα 4.4.4: Θ. νύχτας Απριλίου



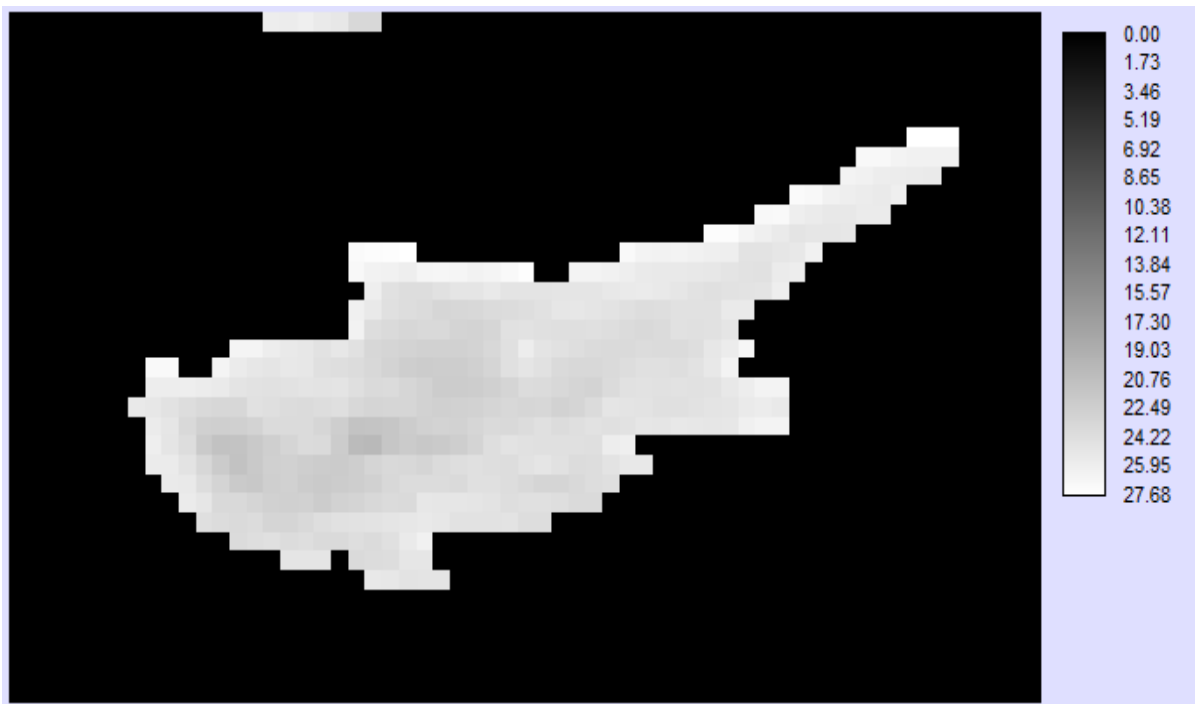
Εικόνα 4.4.5: Θ. νύχτας Μαΐου



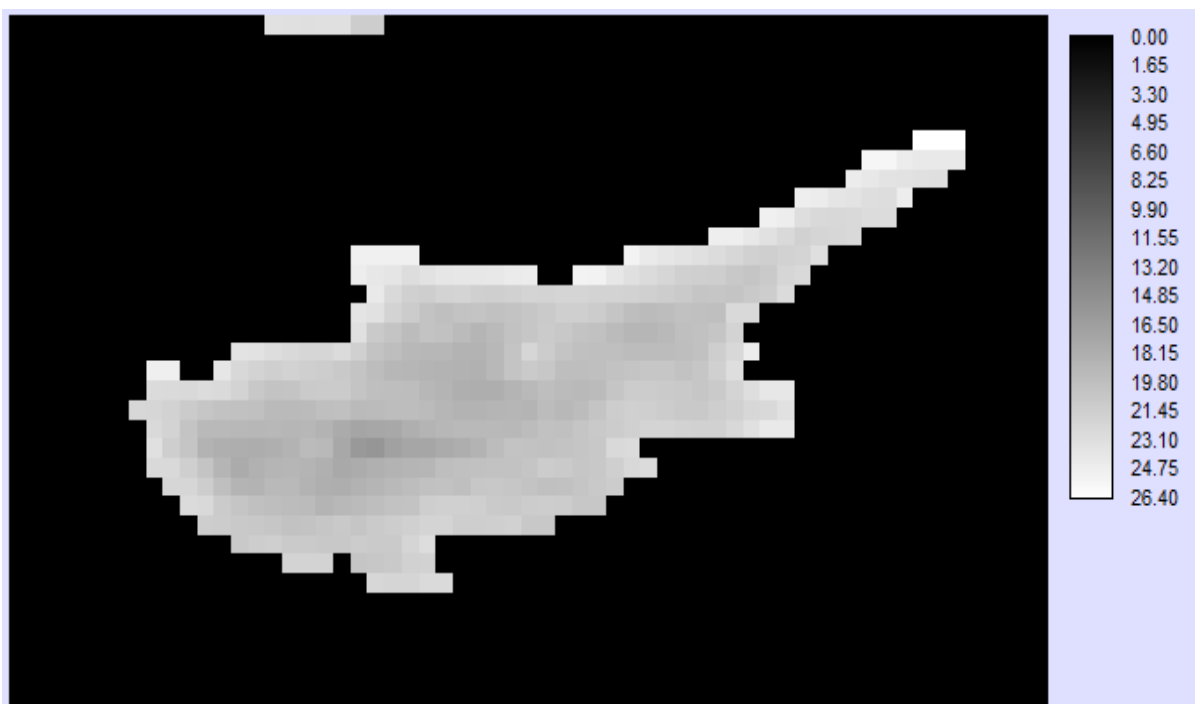
Εικόνα 4.4.6: Θ. νύχτας Ιουνίου



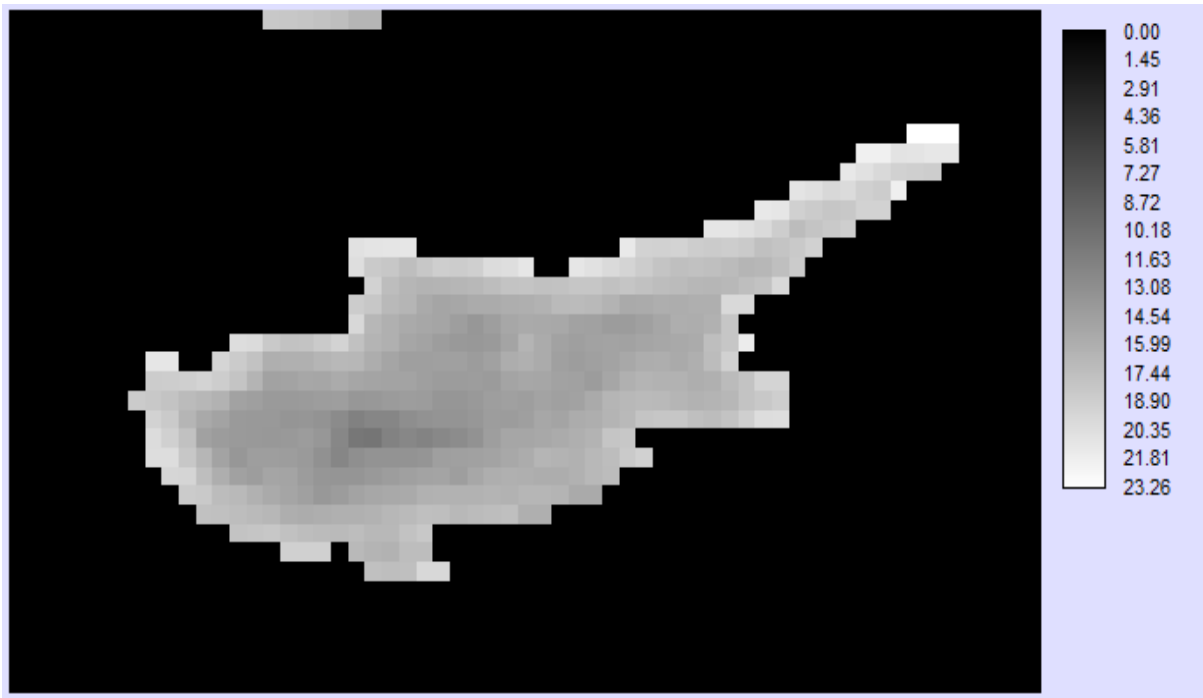
Εικόνα 4.4.7: Θ. νύχτας Ιουλίου



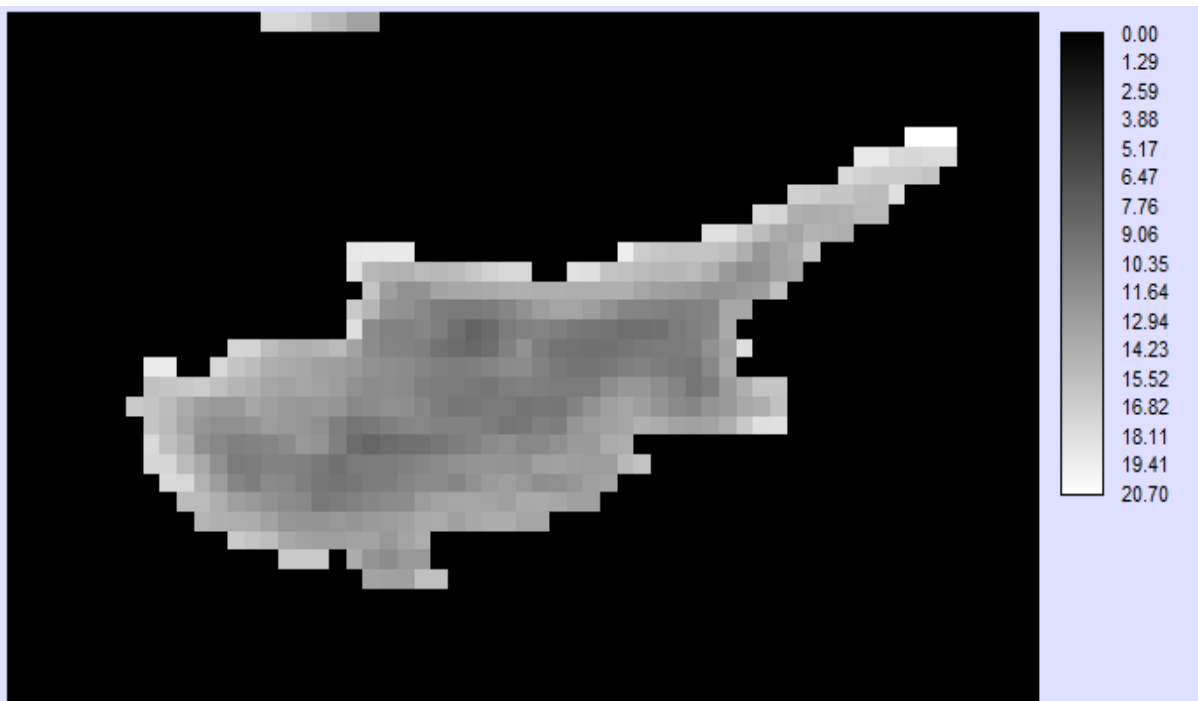
Εικόνα 4.4.8: Θ. νύχτας Αυγούστου



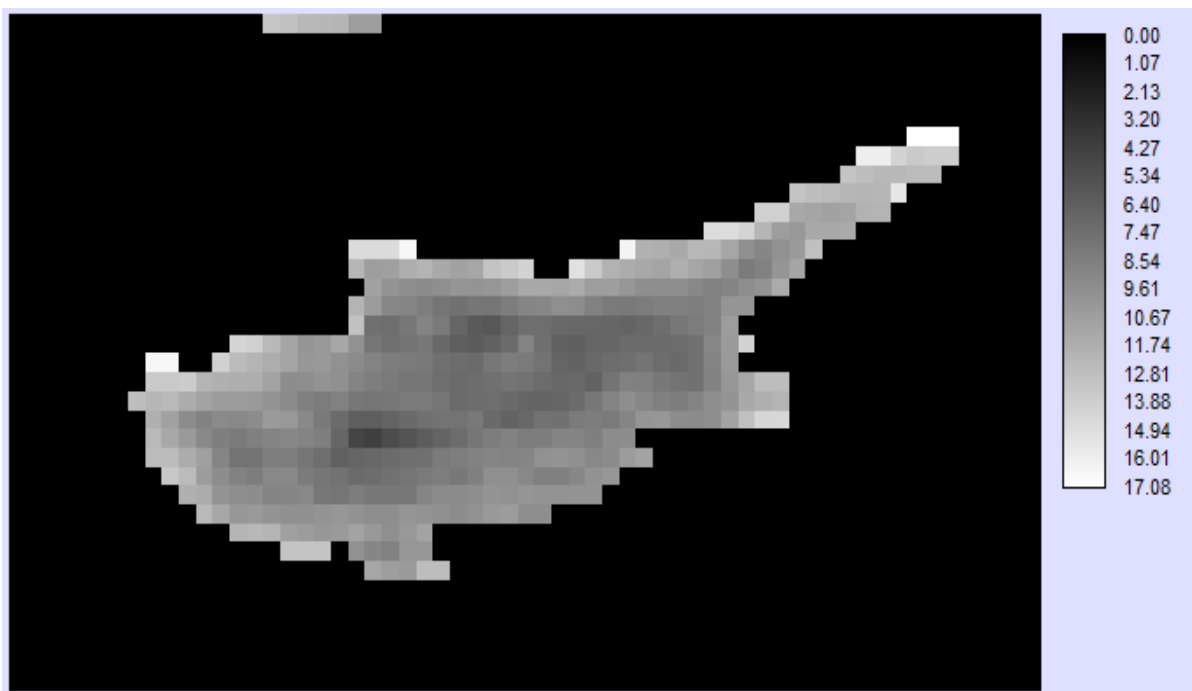
Εικόνα 4.4.9: Θ. νύχτας Σεπτεμβρίου



Εικόνα 4.4.10: Θ. νύχτας Οκτωβρίου



Εικόνα 4.4.11: Θ. νύχτας Νοεμβρίου



Εικόνα 4.4.12: Θ. νύχτας Δεκεμβρίου

Στον Πίνακα 4.4.1 που ακολουθεί δίνεται ο βαθμός συσχέτισης ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό ομοιότητας των μηνιαίων εκτιμήσεων των θερμοκρασιών νύχτας και δυνητικά θα αποκαλύψει πιθανές εποχικές μεταβολές.

Πίνακας 4.4.1 : Βαθμός συσχέτισης των μέσων μηνιαίων τιμών Θ. νύχτας.

Θ. νύχτας	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1											
Feb	0,82	1										
Mar	0,87	0,88	1									
Apr	0,85	0,88	0,92	1								
May	0,84	0,85	0,88	0,91	1							
Jun	0,76	0,84	0,83	0,87	0,88	1						
Jul	0,77	0,83	0,84	0,89	0,91	0,94	1					
Aug	0,76	0,81	0,83	0,87	0,91	0,89	0,95	1				
Sep	0,85	0,88	0,90	0,91	0,94	0,91	0,96	0,95	1			
Oct	0,90	0,90	0,92	0,92	0,92	0,90	0,91	0,89	0,96	1		
Nov	0,88	0,84	0,89	0,87	0,87	0,76	0,83	0,83	0,90	0,91	1	
Dec	0,88	0,84	0,88	0,87	0,86	0,74	0,81	0,81	0,88	0,90	0,97	1

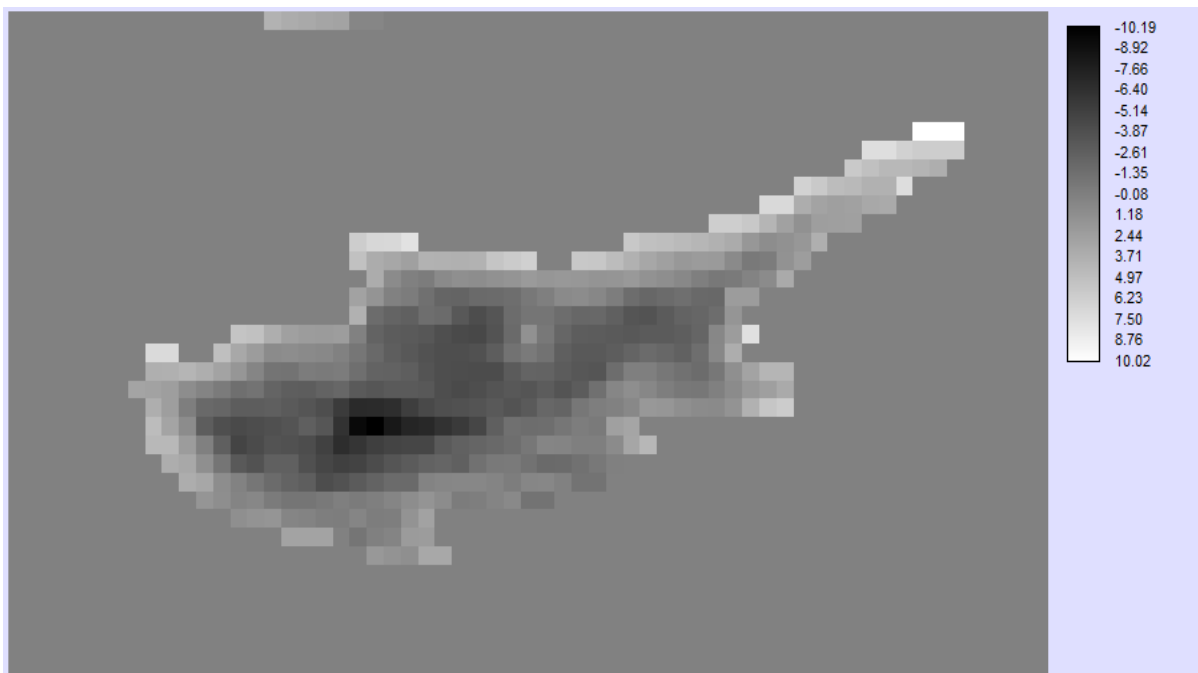
Ακολουθεί ο πίνακας 4.4.2, με τις ιδιοτιμές (eigenvalues) και τα ιδιοδιανύσματα (eigenvectors). Τα ιδιοδιανύσματα υποδηλώνουν το ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύει η κάθε κύρια συνιστώσα και καταδεικνύουν τους συντελεστές που πολλαπλασιάζονται με τον αντίστοιχο μήνα για να προέλθει η κάθε κύρια συνιστώσα.

Οι έξι πρώτες συνιστώσες, όπως φαίνεται από τον πίνακα 4.4.2, ερμηνεύουν το 97.78% της πληροφορίας που υπάρχει και στις δώδεκα εικόνες.

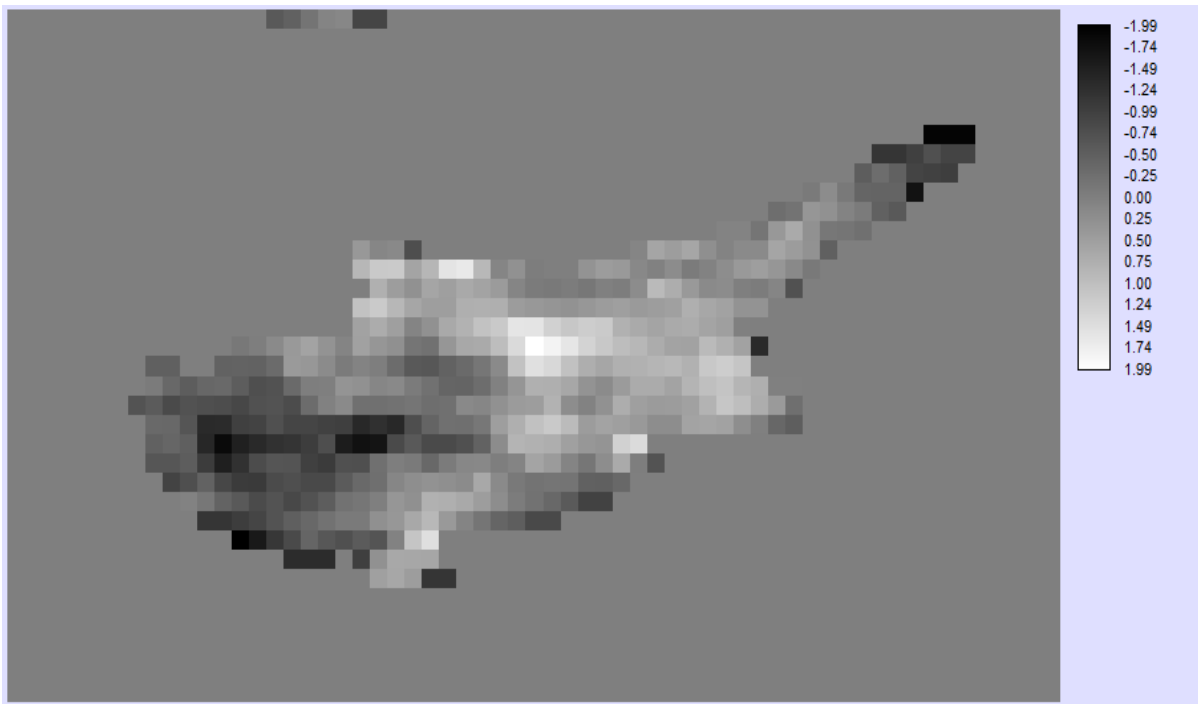
Πίνακας 4.4.2: Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών Θ. νύχτας (PCA)

Eigenvectors	Συνιστώσες / Components PCs											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	0,28	-0,40	-0,15	0,73	0,23	0,12	0,08	0,31	0,12	-0,13	-0,02	-0,05
Feb	0,28	-0,07	-0,58	-0,52	0,44	0,27	0,15	0,06	0,03	-0,11	-0,01	-0,04
Mar	0,29	-0,18	-0,25	-0,03	-0,53	-0,42	0,49	-0,25	0,17	-0,18	0,03	-0,06
Apr	0,29	0,01	-0,22	-0,12	-0,55	0,10	-0,37	0,55	-0,17	0,24	-0,03	0,08
May	0,29	0,11	0,13	0,12	-0,29	0,74	-0,04	-0,46	-0,03	-0,17	0,03	-0,02
Jun	0,28	0,44	-0,28	0,21	0,13	-0,26	-0,42	-0,30	0,39	0,13	-0,24	0,16
Jul	0,29	0,38	0,18	-0,02	0,08	-0,21	-0,15	0,20	-0,18	-0,56	0,21	-0,47
Aug	0,29	0,35	0,37	-0,06	0,06	0,12	0,49	0,30	0,35	0,39	-0,14	-0,13
Sep	0,30	0,14	0,18	0,01	0,14	-0,10	0,17	0,05	-0,28	-0,15	0,23	0,80
Oct	0,30	-0,04	-0,05	0,13	0,16	-0,15	0,06	-0,29	-0,61	0,54	0,11	-0,28
Nov	0,29	-0,37	0,36	-0,22	0,08	-0,12	-0,14	-0,06	-0,12	-0,15	-0,72	0,02
Dec	0,28	-0,42	0,31	-0,23	0,08	-0,08	-0,32	-0,10	0,40	0,16	0,54	-0,03
Eigenvalue	10,62	0,51	0,23	0,15	0,13	0,09	0,07	0,07	0,04	0,04	0,03	0,02
variance %	88,47	4,27	1,90	1,28	1,09	0,77	0,61	0,54	0,36	0,31	0,25	0,15
% Ποσοστό των 6 PCs						97,78						

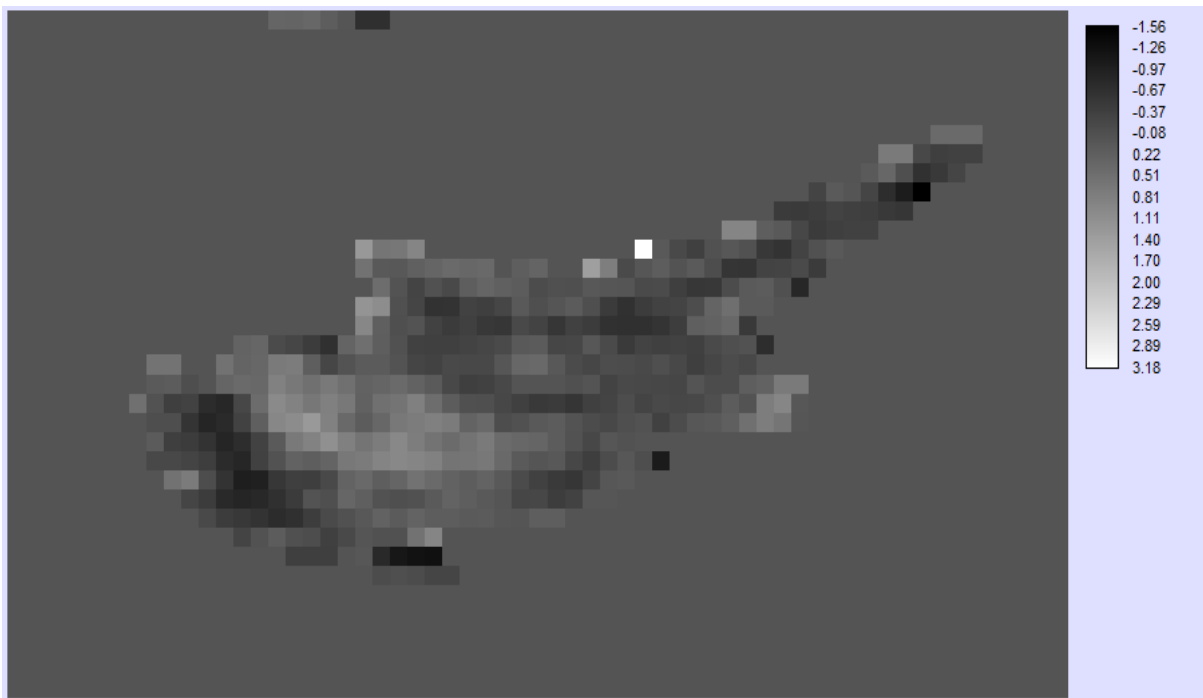
Ακολουθούν οι απεικονίσεις των τριών πρώτων κυρίων συνιστωσών σε διαβαθμίσεις του γκρι:



Εικόνα 4.4.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα Θ. νύχτας (88,5% της πληροφορίας).

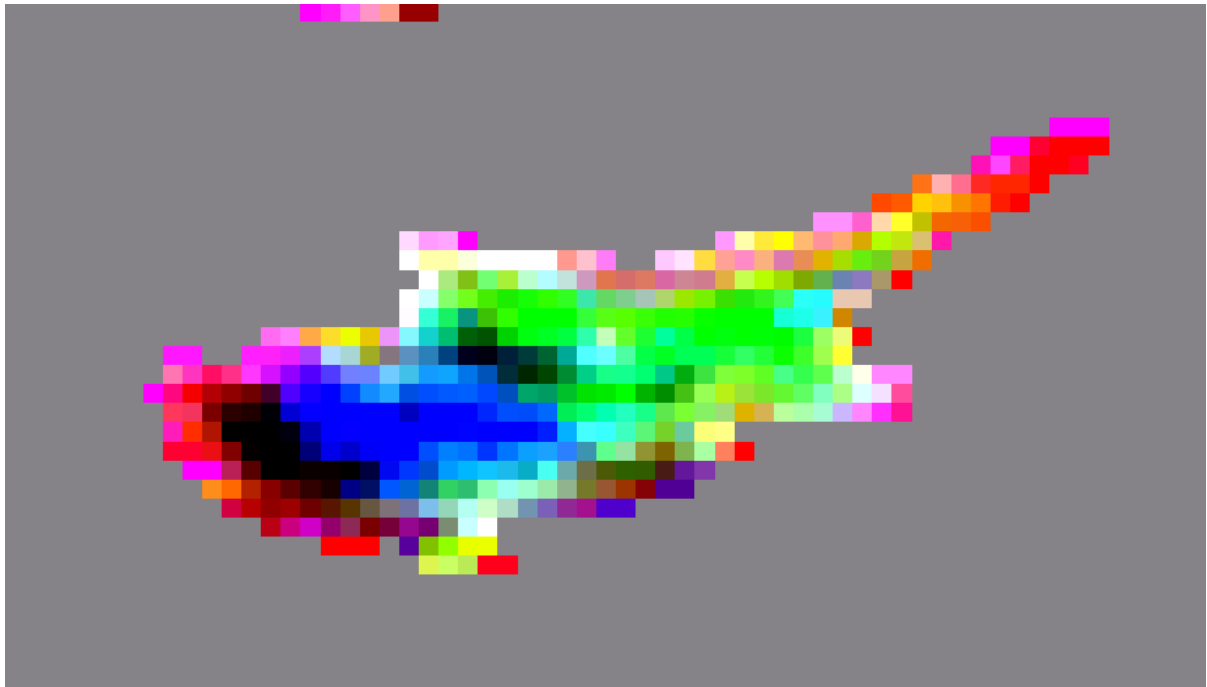


Εικόνα 4.4.14: Δεύτερη κύρια συνιστώσα Θ. νύχτας (4,3% της πληροφορίας).



Εικόνα 4.4.15: Τρίτη κύρια συνιστώσα Θ. νύχτας (1,9% της πληροφορίας).

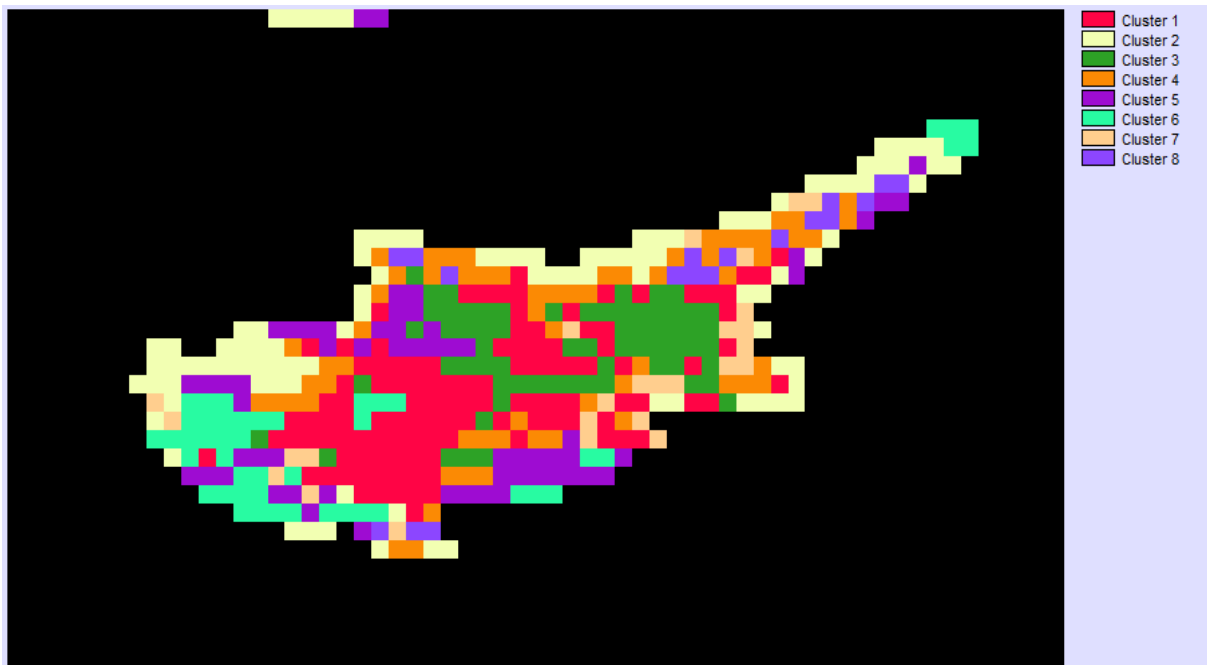
Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα έγχρωμο σύνθετο RGB 321 (εικόνα 4.4.16) όπου 3, 2 και 1 τα αντίστοιχα κανάλια των κυρίων συνιστωσών. Εμπεριέχει το 94.6 % της πληροφορίας των δώδεκα μηνιαίων εικόνων Θ. νύχτας. Πιο ακριβή χωροχρονική υπογραφή καταγράφει η μεθοδολογία της ταξινόμησης.



Εικόνα 4.4.16: Έγχρωμο σύνθετο των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών Θ. νύχτας

Ακολουθεί η εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στις 6 κύριες συνιστώσες (δηλ. ταξινόμηση χρησιμοποιώντας το 97.78% της πληροφορίας. Το νέφος των σημείων δεν μεταβάλλεται ως προς τη γεωμετρία στις κύριες συνιστώσες, αλλά αλλάζουν οι άξονες ως προς τις οποίες υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων του νέφους).

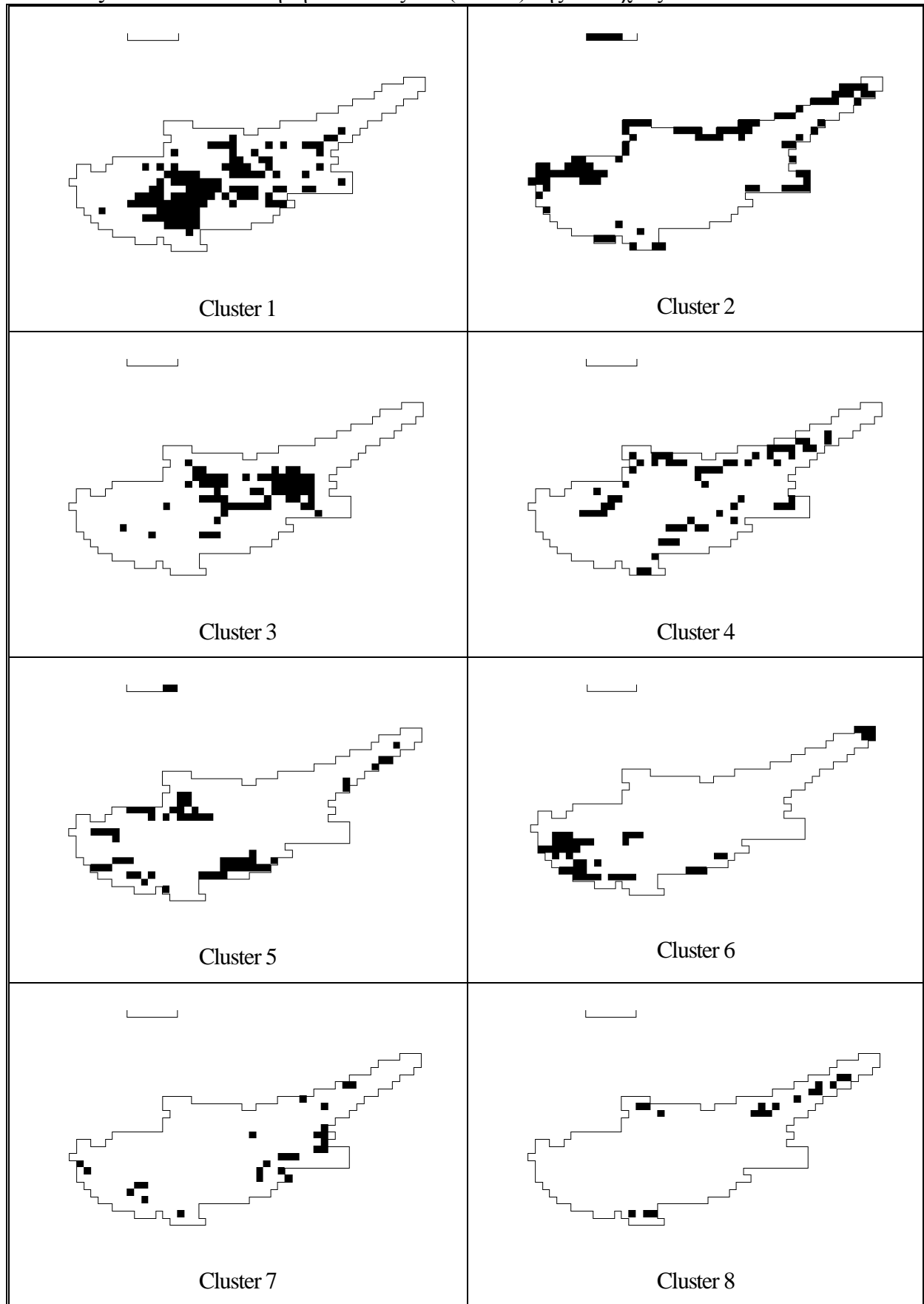
Η χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) δίνεται στην εικόνα 4.3.17 που ακολουθεί.



Εικόνα 4.4.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) των 6 κύριων συνιστωσών Θ. νύχτας.

Η οπτικοποίηση της κάθε τάξης ξεχωριστά παρουσιάζεται στον πίνακα 4.4.3.

Πίνακας 4.4.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) της Θ . νύχτας.

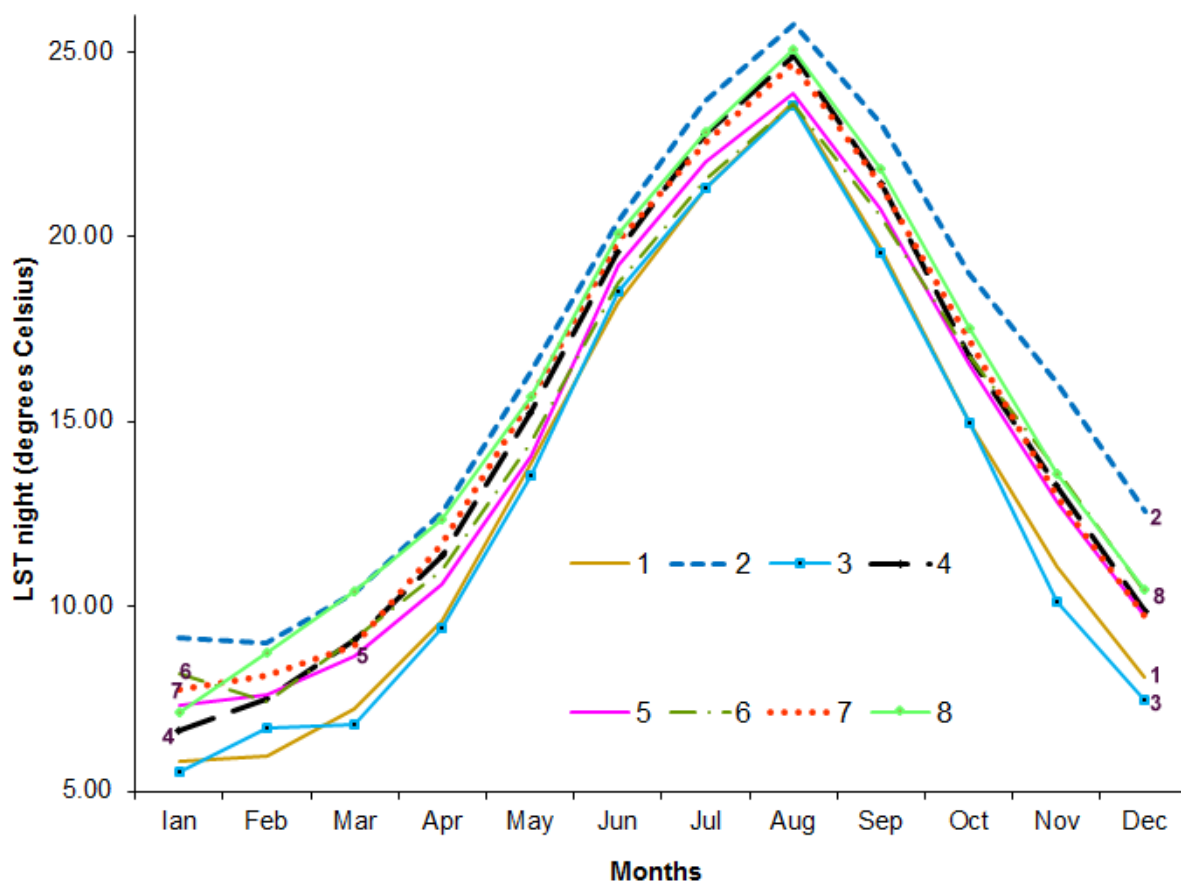


Τα κέντρα βάρους των τάξεων που υποδηλώνουν τη μέση τιμή Θ . νύχτας για κάθε μήνα, για όλα τα τετραγώνια που ανήκουν στο συγκεκριμένο cluster, δίνονται στον Πίνακα 4.4.4.

Πίνακας 4.4.4: Κέντρα βάρους των 8 τάξεων (cluster) της Θ . νύχτας.

cluster	Θ . νύχτας (LST night)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	5,81	5,96	7,21	9,62	13,88	18,23	21,29	23,61	19,69	14,97	11,06	8,08
2	9,13	8,99	10,40	12,55	16,30	20,38	23,63	25,74	23,03	19,00	16,08	12,56
3	5,54	6,69	6,81	9,40	13,55	18,52	21,33	23,54	19,57	14,96	10,12	7,49
4	6,63	7,51	9,11	11,39	15,23	19,55	22,75	24,88	21,45	16,76	13,25	9,88
5	7,31	7,60	8,66	10,61	14,06	19,20	22,01	23,86	20,74	16,51	12,82	9,74
6	8,16	7,40	9,11	10,96	14,43	18,73	21,54	23,59	20,53	16,77	13,68	10,40
7	7,75	8,13	8,95	11,66	15,63	19,86	22,53	24,69	21,38	17,18	12,98	9,74
8	7,13	8,74	10,42	12,33	15,64	20,06	22,82	25,04	21,84	17,50	13,59	10,45

Ακολουθεί η γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους.



Σχήμα 4.3.1: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) Θ . νύχτας.

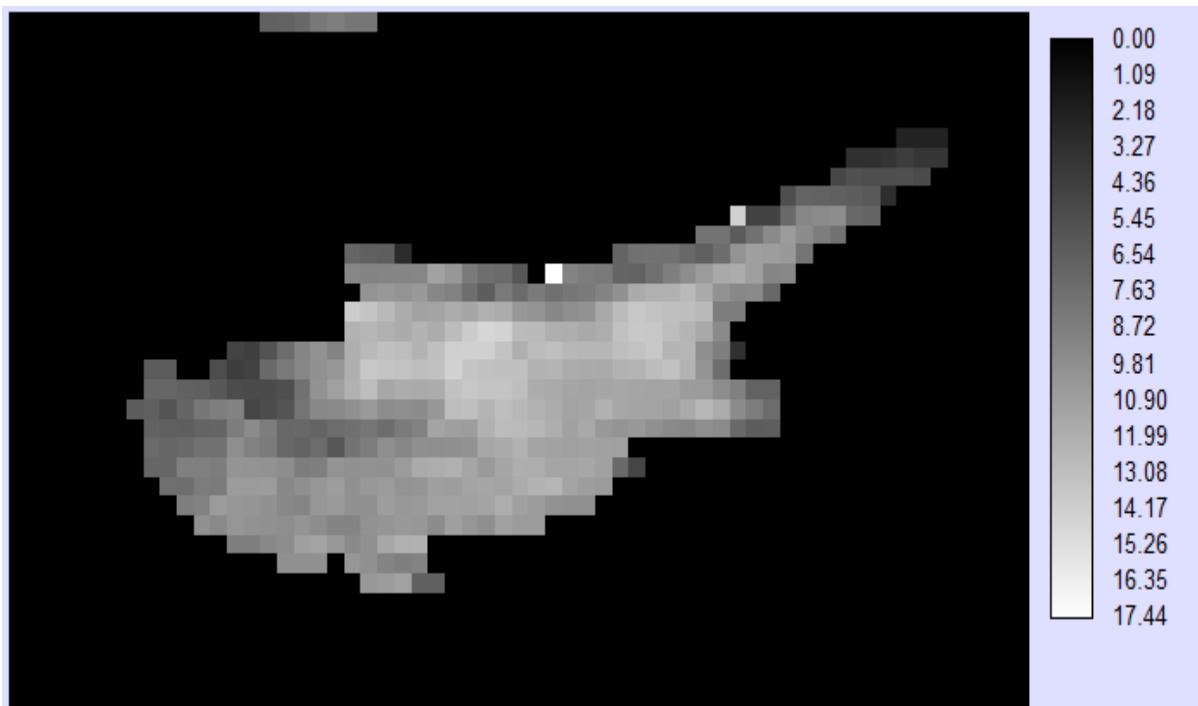
4.5 Ημερήσια Διακύμανση Θερμοκρασίας

Οι μέσες μηνιαίες τιμές ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας δεν αποτελούν προϊόντα που καταγράφονται από το καταγραφικό σύστημα MODIS, αλλά αποτελούν δευτερογενή προϊόντα που προκύπτουν με την εφαρμογή της ακόλουθης εξίσωσης για τα δεδομένα κάθε μήνα:

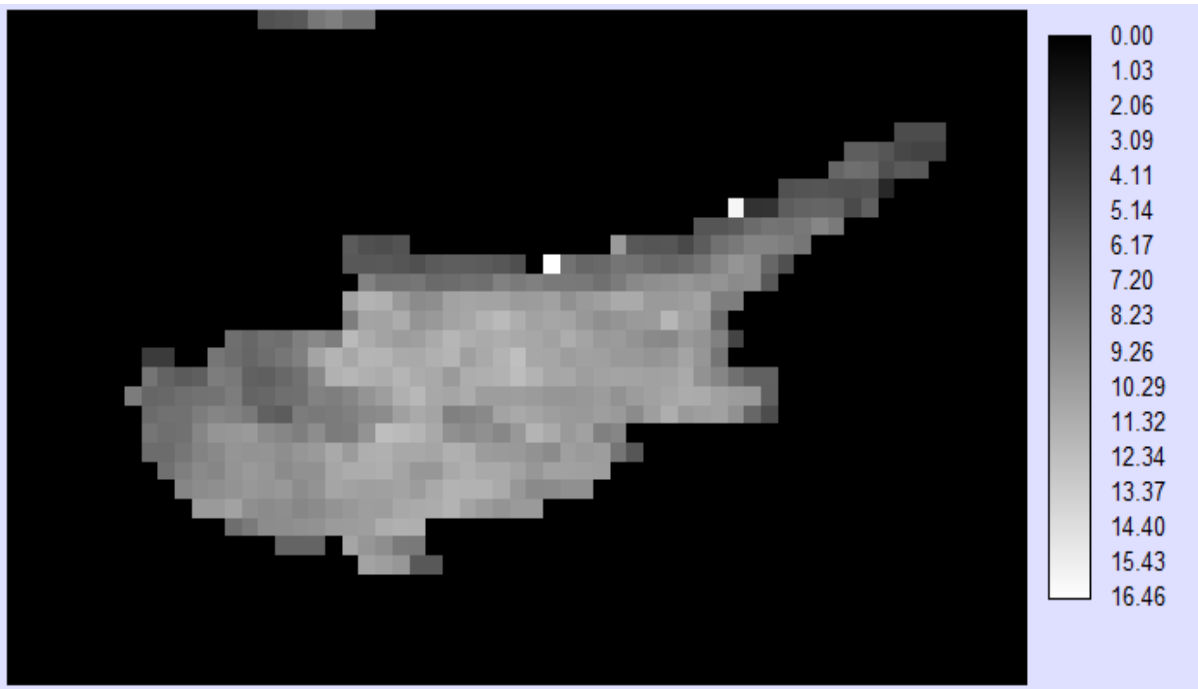
$$\text{Ημερήσια διακύμανση } \Theta. = \Theta. \text{ ημέρας} - \Theta. \text{ νύχτας}$$

Ουσιαστικά γίνεται εκτίμηση της ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας, αφού η καταγραφή των δεδομένων $\Theta.$ ημέρας από το δορυφόρο γίνεται στις 13:30 το μεσημέρι και της $\Theta.$ νύχτας στις 01:30 το πρωί, ώρες στις οποίες δεν αντιστοιχούν τα μέγιστα των θερμοκρασιών. Τα δεδομένα αφορούν το έτος 2010.

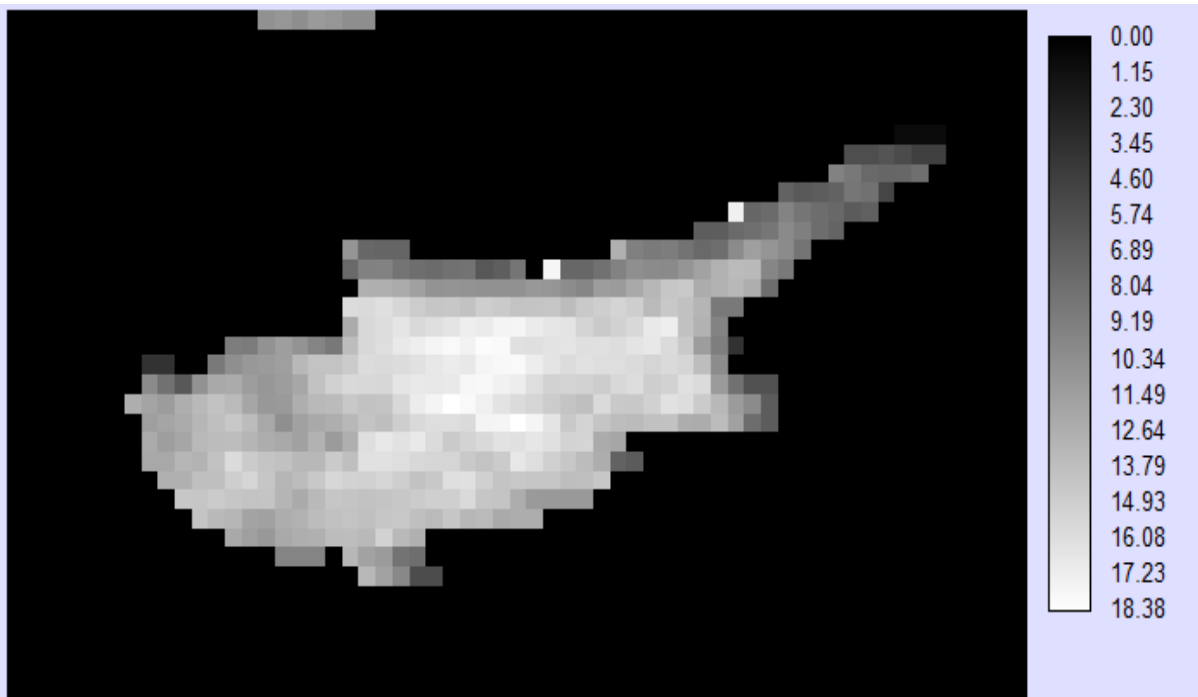
Ακολουθούν οι μέσες μηνιαίες εκτιμήσεις της ημερήσιας διακύμανσης $\Theta.$ στην περιοχή μελέτης σε απεικόνιση διαβαθμίσεων του γκρι.



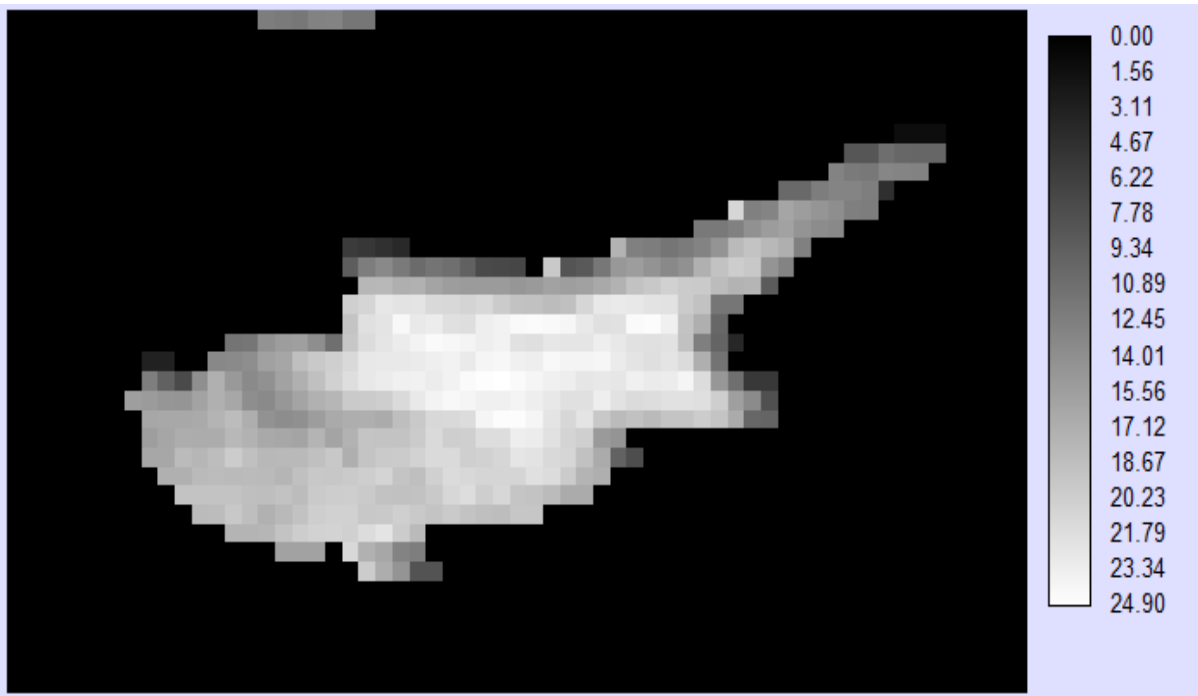
Εικόνα 4.5.1: Ημερήσια διακύμανση $\Theta.$ Ιανουαρίου



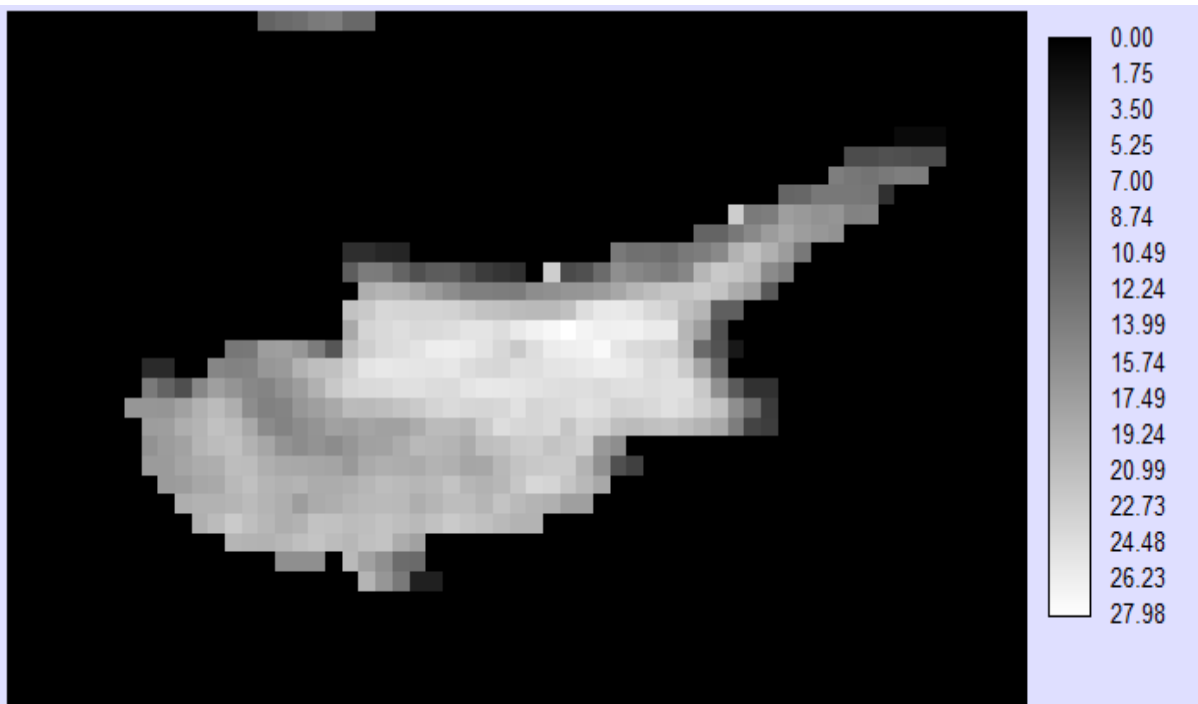
Εικόνα 4.5.2: Ημερήσια διακύμανση Θ . Φεβρουαρίου



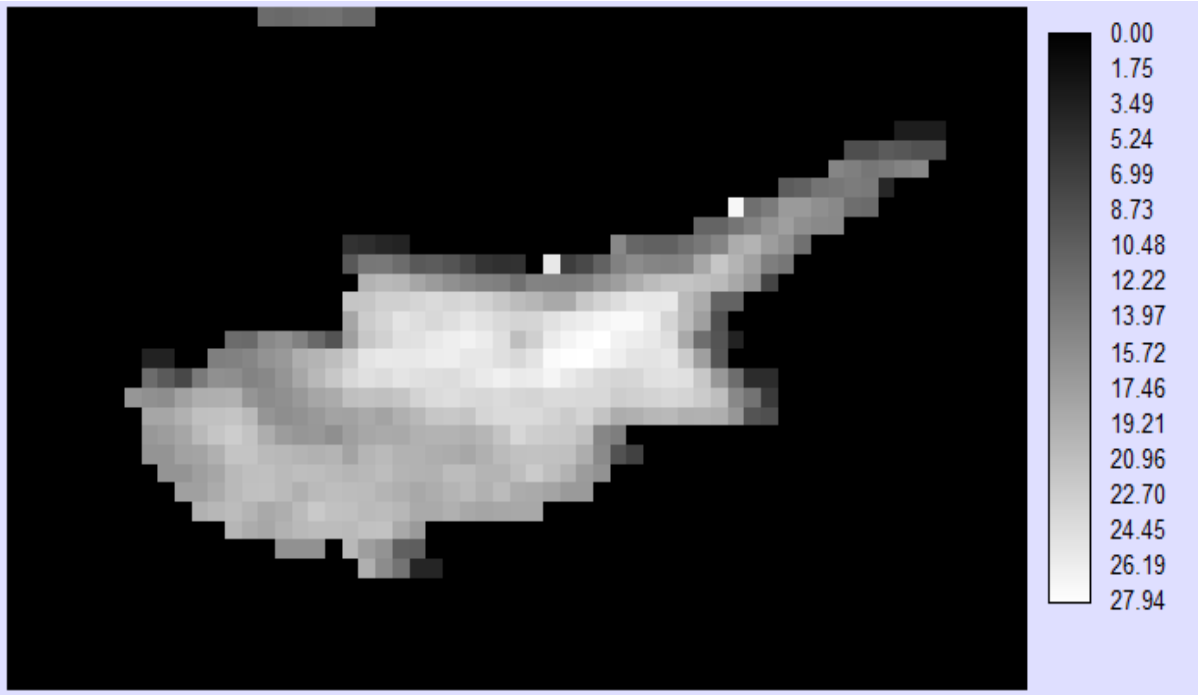
Εικόνα 4.5.3: Ημερήσια διακύμανση Θ . Μαρτίου



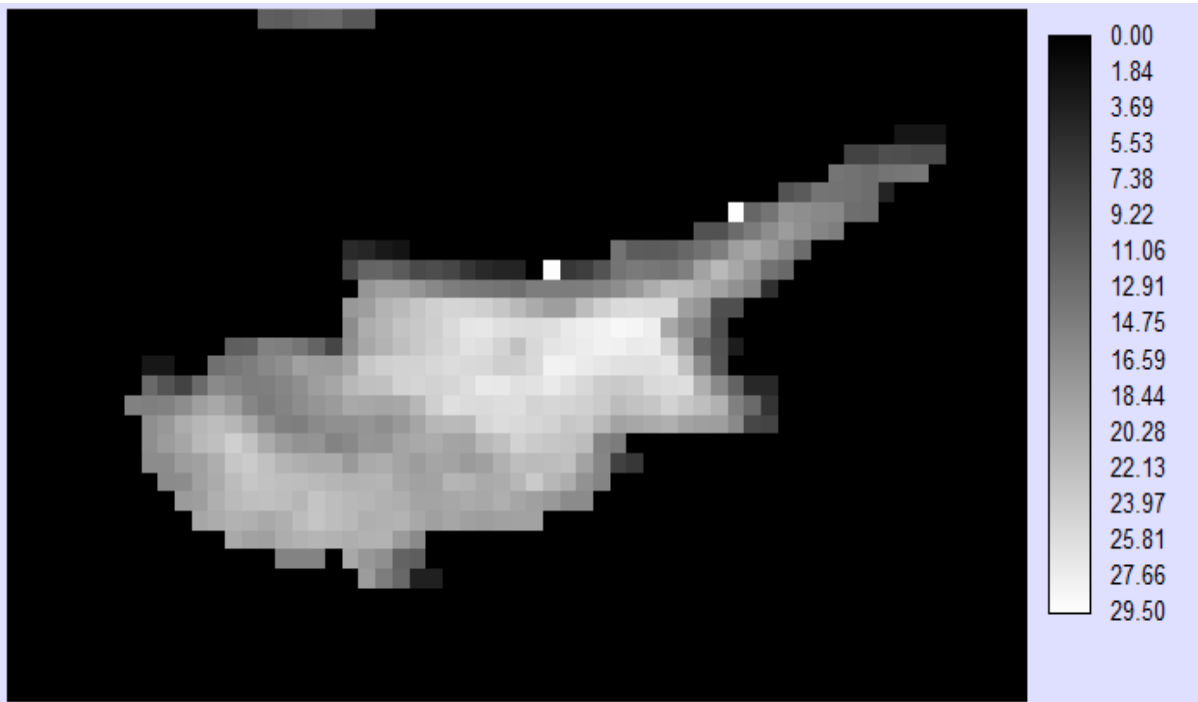
Εικόνα 4.5.4: Ημερήσια διακύμανση Θ. Απριλίου



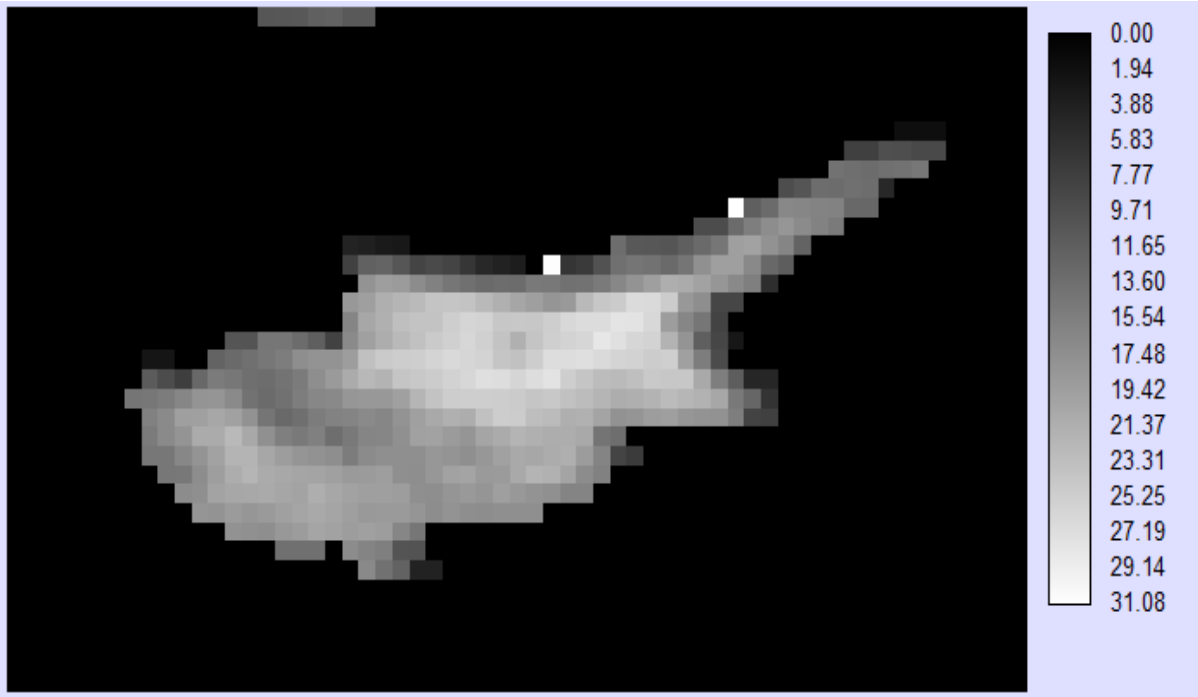
Εικόνα 4.5.5: Ημερήσια διακύμανση Θ. Μαΐου



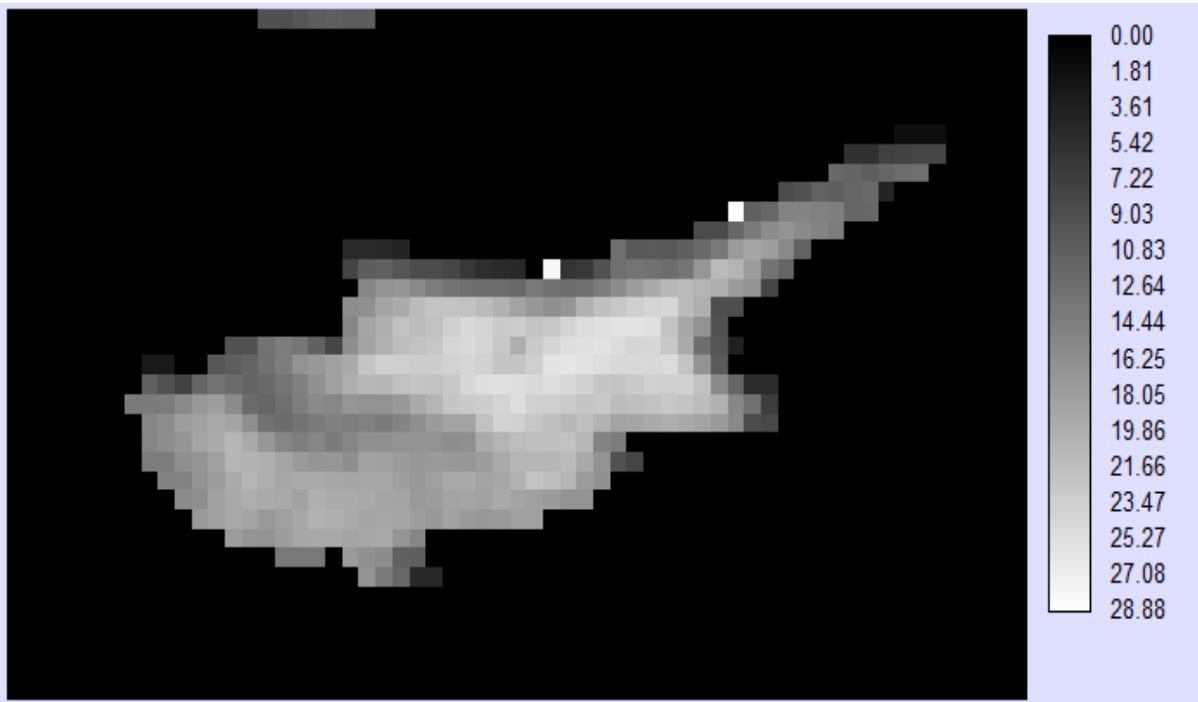
Εικόνα 4.5.6: Ημερήσια διακύμανση Θ. Ιουνίου



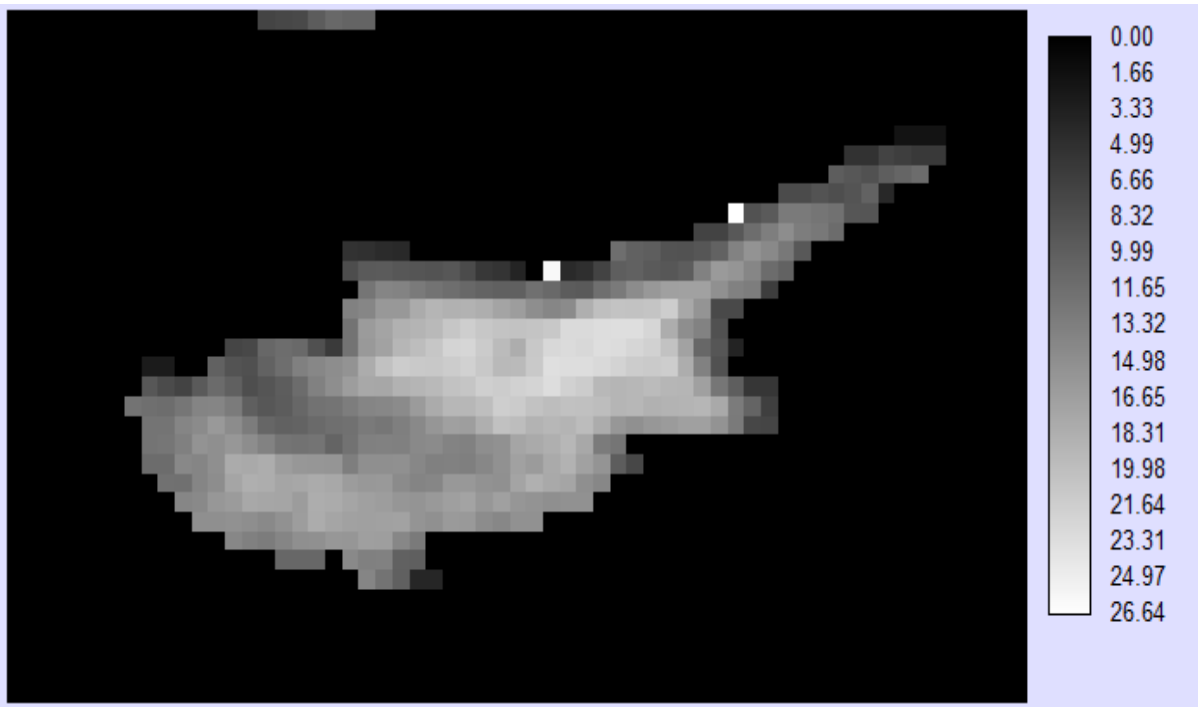
Εικόνα 4.5.7: Ημερήσια διακύμανση Θ. Ιουλίου



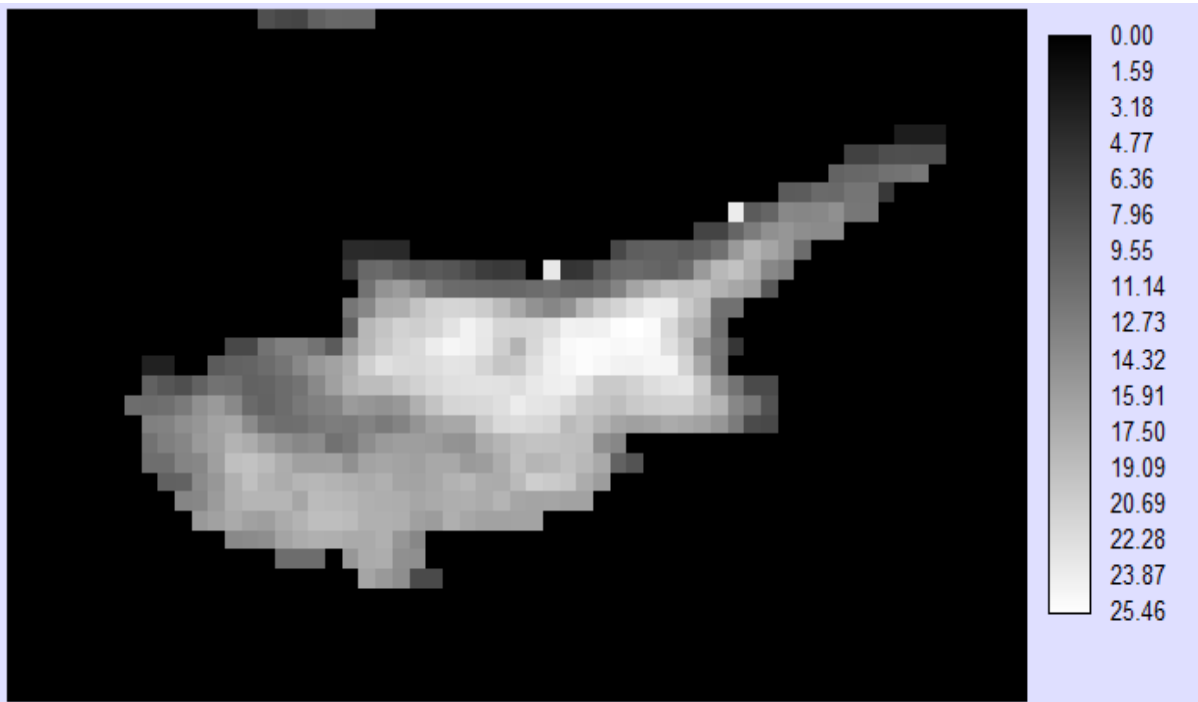
Εικόνα 4.5.8: Ημερήσια διακύμανση Θ. Αυγούστου



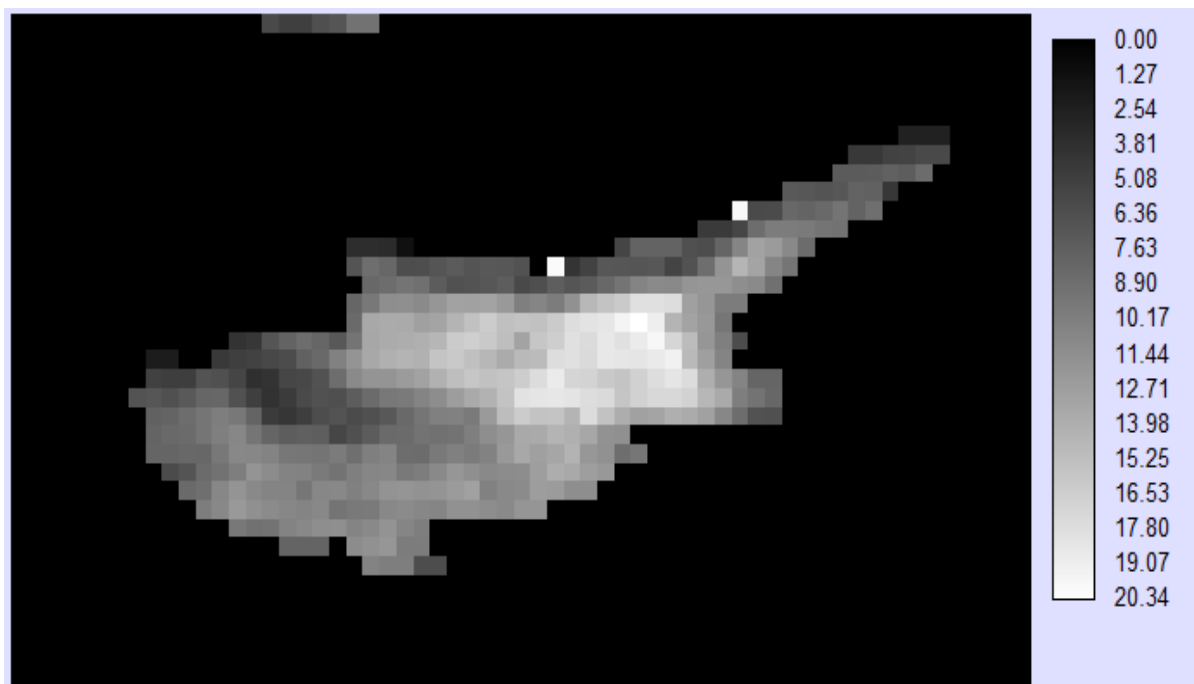
Εικόνα 4.5.9: Ημερήσια διακύμανση Θ. Σεπτεμβρίου



Εικόνα 4.5.10: Ημερήσια διακύμανση Θ . Οκτωβρίου



Εικόνα 4.5.11: Ημερήσια διακύμανση Θ . Νοεμβρίου



Εικόνα 4.5.12: Ημερήσια διακύμανση Θ . Δεκεμβρίου

Στον Πίνακα 4.5.1 που ακολουθεί δίνεται ο βαθμός συσχέτισης ο οποίος ποσοτικοποιεί το βαθμό ομοιότητας των μηνιαίων ημερήσιων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας και δυνητικά θα αποκαλύψει πιθανές εποχικές μεταβολές.

Πίνακας 4.5.1: Βαθμός συσχέτισης των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων ημερήσιας διακύμανσης Θ .

Ημερ. Διακύμανση Θ .	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Jan	1											
Feb	0,80	1										
Mar	0,80	0,87	1									
Apr	0,83	0,86	0,94	1								
May	0,81	0,82	0,90	0,97	1							
Jun	0,79	0,81	0,91	0,97	0,98	1						
Jul	0,78	0,79	0,90	0,95	0,97	0,98	1					
Aug	0,80	0,78	0,89	0,95	0,97	0,98	0,99	1				
Sep	0,83	0,82	0,90	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	1			
Oct	0,84	0,81	0,88	0,93	0,95	0,96	0,97	0,97	0,98	1		
Nov	0,85	0,81	0,85	0,91	0,93	0,93	0,94	0,95	0,97	0,97	1	
Dec	0,82	0,71	0,72	0,80	0,81	0,80	0,82	0,83	0,87	0,90	0,92	1

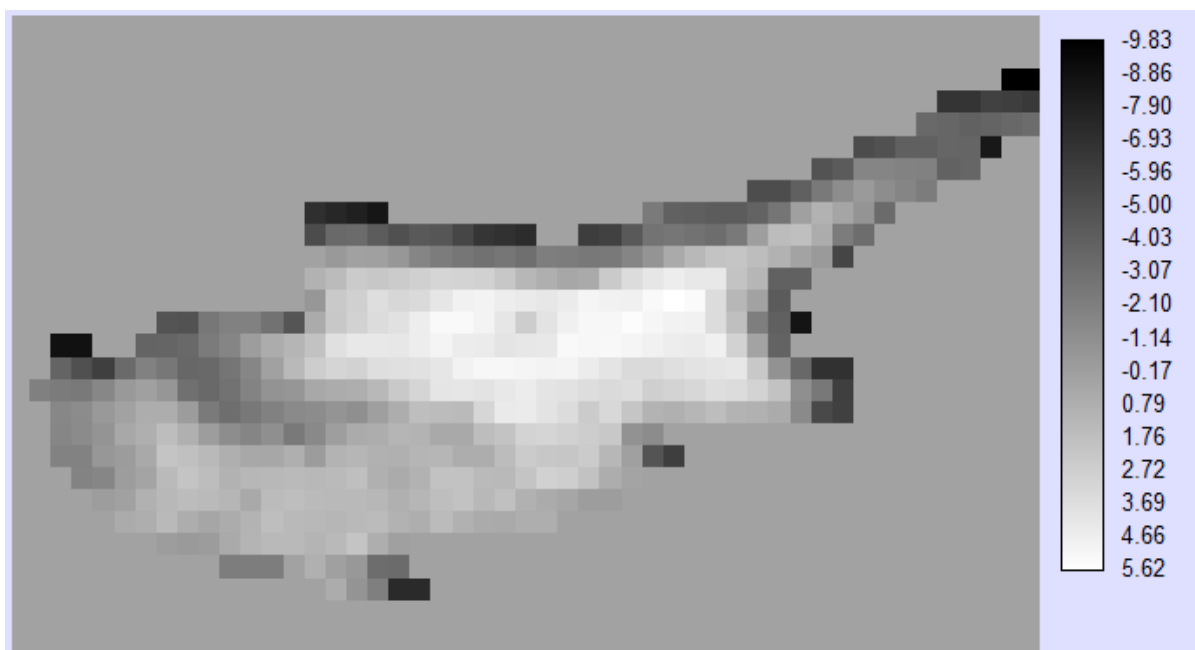
Ακολουθεί ο Πίνακας 4.5.2 με τις ιδιοτιμές (eigenvalues) και τα ιδιοδιανύσματα (eigenvectors) που προκύπτουν από την εφαρμογή της ανάλυσης κυρίων συνιστωσών (PCA analysis). Τα ιδιοδιανύσματα υποδηλώνουν το ποσοστό της διασποράς που ερμηνεύει η κάθε κύρια συνιστώσα και καταδεικνύουν τους συντελεστές που πολλαπλασιάζονται με τον αντίστοιχο μήνα για να προέλθει η κάθε κύρια συνιστώσα.

Οι έξι πρώτες συνιστώσες, όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4.5.2, ερμηνεύουν το 99.2% της πληροφορίας που υπάρχει και στις δώδεκα εικόνες.

Πίνακας 4.5.2: Ανάλυση Κύριων Συνιστωσών Ημερήσιας διακύμανση Θ. (PCA)

Eigen-vectors	Συνιστώσες / Components PCs											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Jan	0,27	-0,38	-0,50	-0,69	-0,15	-0,14	-0,07	0,03	-0,05	0,02	0,04	-0,03
Feb	0,26	0,21	-0,66	0,56	-0,34	-0,05	-0,11	0,04	-0,06	0,01	-0,01	0,01
Mar	0,28	0,38	-0,24	-0,08	0,82	-0,09	-0,07	-0,14	-0,08	0,05	-0,01	0,04
Apr	0,30	0,22	-0,04	-0,13	-0,02	0,49	0,55	0,49	0,24	-0,02	-0,07	-0,05
May	0,30	0,15	0,13	-0,13	-0,22	0,49	-0,23	-0,63	0,15	0,23	-0,16	-0,11
Jun	0,30	0,19	0,20	-0,09	-0,13	0,04	-0,15	-0,03	-0,29	-0,83	0,12	-0,01
Jul	0,30	0,14	0,27	0,00	-0,09	-0,23	-0,10	0,22	-0,24	0,35	0,31	-0,65
Aug	0,30	0,08	0,27	-0,06	-0,13	-0,15	-0,19	0,29	-0,32	0,27	-0,51	0,48
Sep	0,30	-0,02	0,16	0,03	-0,08	-0,10	0,10	-0,09	0,18	0,16	0,70	0,55
Oct	0,30	-0,12	0,14	0,10	0,05	-0,35	-0,24	0,11	0,76	-0,17	-0,23	-0,12
Nov	0,30	-0,25	0,09	0,17	0,00	-0,32	0,67	-0,41	-0,17	-0,04	-0,23	-0,09
Dec	0,27	-0,67	0,03	0,34	0,31	0,42	-0,20	0,14	-0,17	-0,02	0,06	-0,03
Eigenvalue	10,79	0,42	0,40	0,16	0,08	0,06	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
variance %	89,91	3,50	3,36	1,30	0,66	0,46	0,21	0,19	0,15	0,10	0,09	0,06
% Ποσοστό των 6 PCs						99,19						

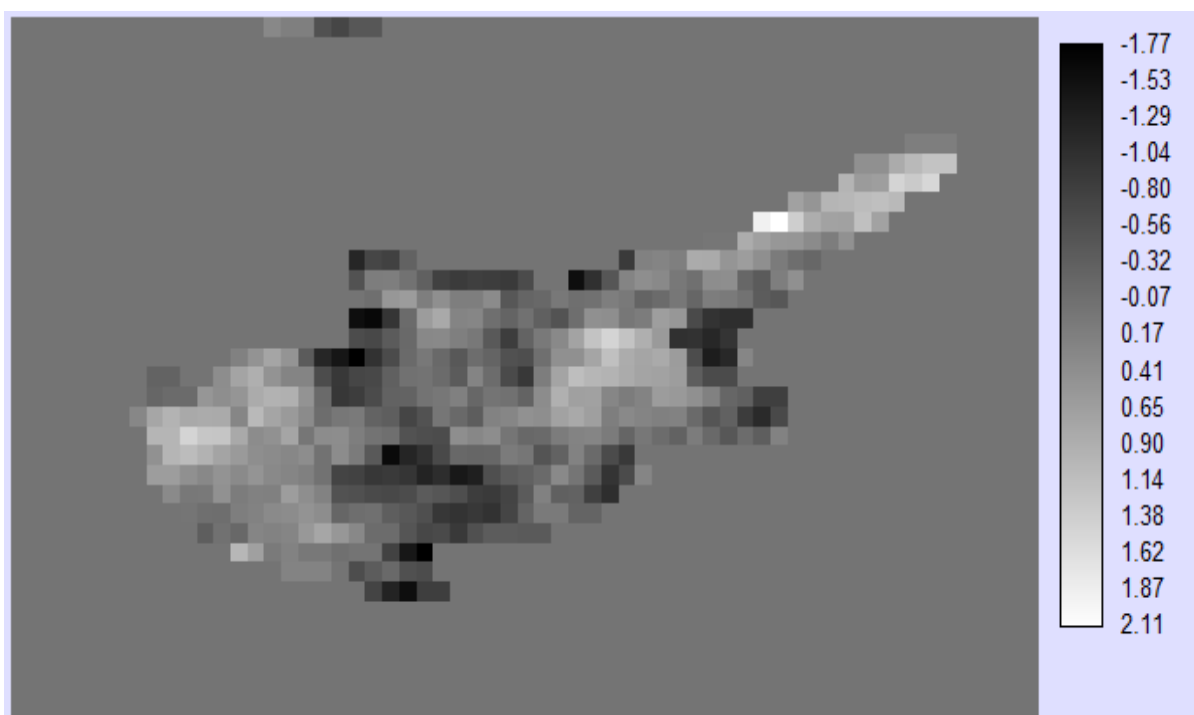
Ακολουθούν οι απεικονίσεις των τριών πρώτων κύριων συνιστωσών σε διαβαθμίσεις του γκρι:



Εικόνα 4.5.13: Πρώτη κύρια συνιστώσα ημερήσιας διακύμανσης Θ. (89.9 % της πληροφορίας).

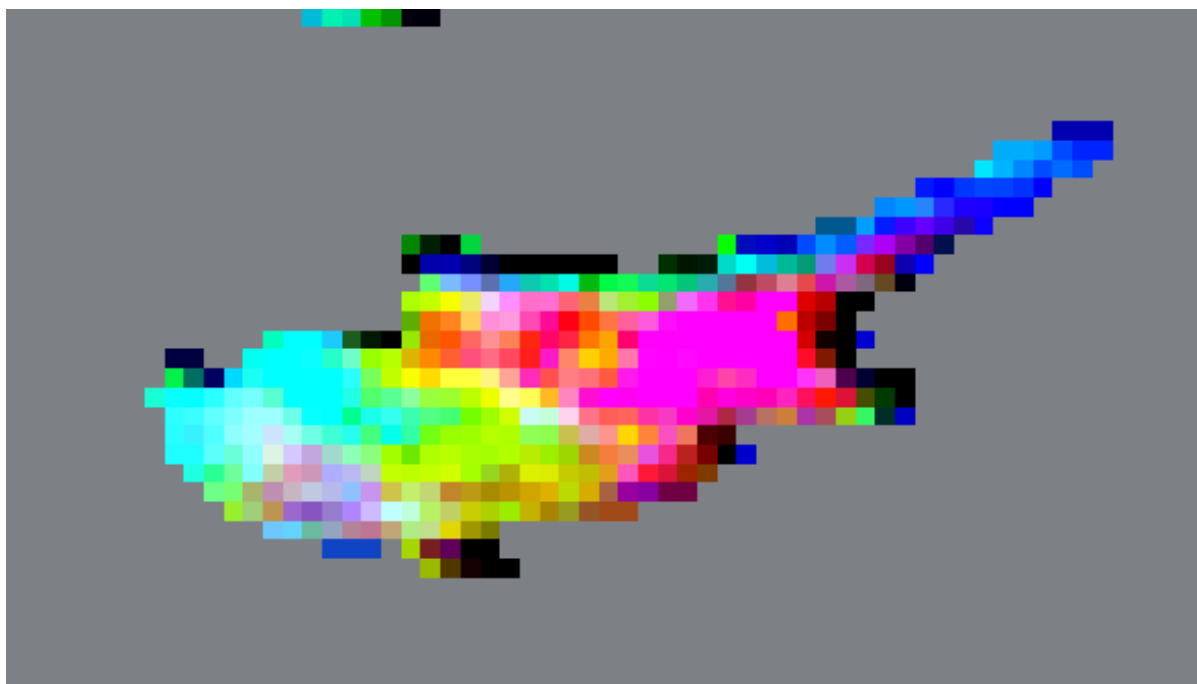


Εικόνα 4.5.14 : Δεύτερη κύρια συνιστώσα ημερήσιας διακύμανσης Θ . (3.5% της πληροφορίας).



Εικόνα 4.5.15 : Τρίτη κύρια συνιστώσα ημερήσιας διακύμανσης Θ . (3.4 % της πληροφορίας).

Στη συνέχεια παρουσιάζεται ένα έγχρωμο σύνθετο RGB 321 (εικόνα 4.5.16) όπου 3, 2 και 1 τα αντίστοιχα κανάλια των κυρίων συνιστωσών. Εμπεριέχει το 96,8% της πληροφορίας των δώδεκα μηνιαίων ημερήσιων διακυμάνσεων της θερμοκρασίας.



Εικόνα 4.5.16: RGB 321 των τριών πρώτων κύριων συνιστώσών Diurnal.

Ακολουθεί η εφαρμογή της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης στις 6 κύριες συνιστώσες (δηλ. ταξινόμηση χρησιμοποιώντας το 99.2% της πληροφορίας. Το νέφος των σημείων δεν μεταβάλλεται ως προς τη γεωμετρία στις κύριες συνιστώσες, αλλά αλλάζουν οι άξονες ως προς τις οποίες υπολογίζονται οι συντεταγμένες των σημείων του νέφους).

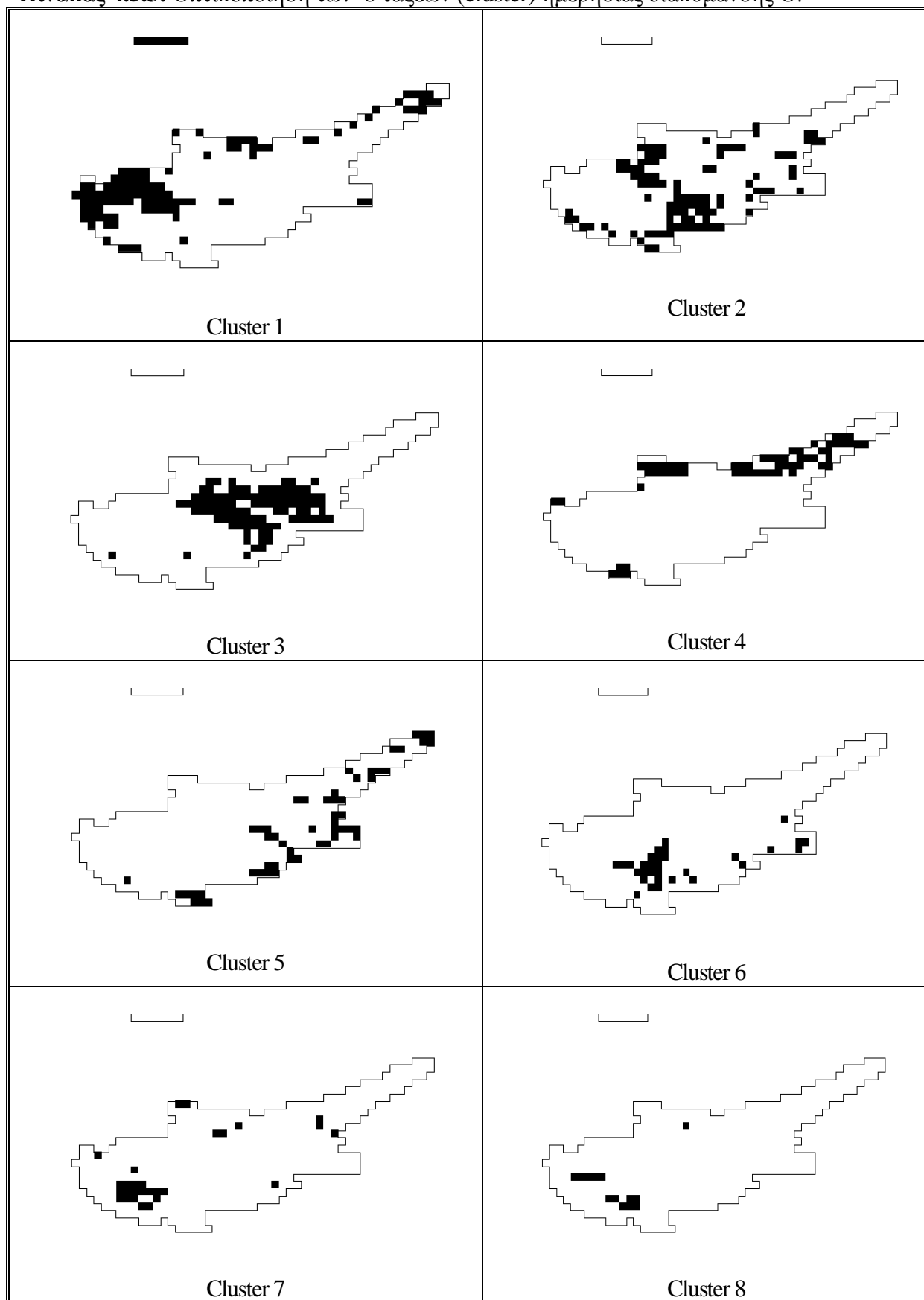
Η χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) δίνεται στην εικόνα 4.5.17 που ακολουθεί.



Εικόνα 4.5.17: Χωρική κατανομή των 8 τάξεων (cluster) των 6 κυρίων συνιστώσών ημερήσιας διακύμανσης Θ .

Η οπτικοποίηση τις κάθε τάξης ξεχωριστά παρουσιάζεται στον πίνακα 4.5.3.

Πίνακας 4.5.3: Οπτικοποίηση των 8 τάξεων (cluster) ημερήσιας διακύμανσης Θ .

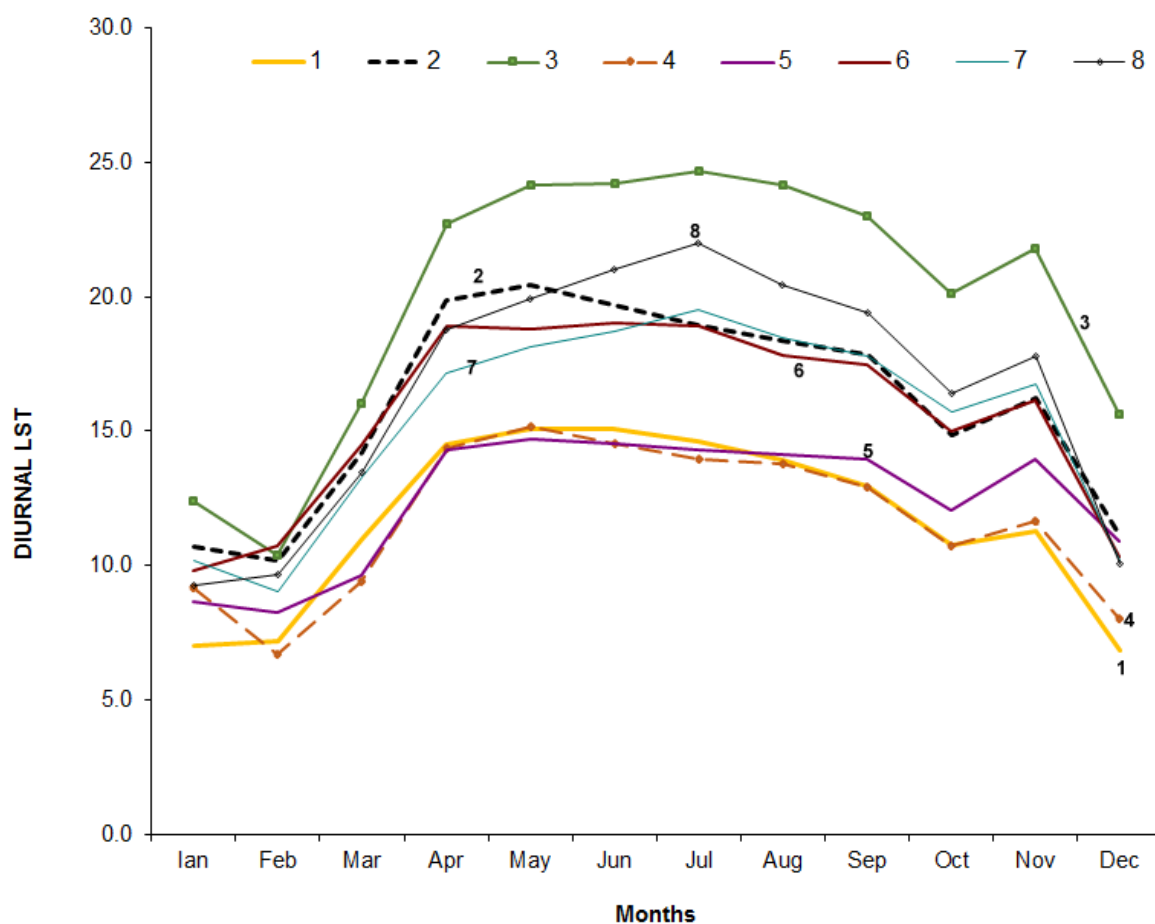


Τα κέντρα βάρους των τάξεων που υποδηλώνουν τη μέση τιμή της διακύμανσης της θερμοκρασίας για κάθε μήνα, για όλα τα τετραγωνάκια που ανήκουν στο συγκεκριμένο cluster, δίνονται στον Πίνακα 4.5.4.

Πίνακας 4.5.4: Κέντρα βάρους των 8 τάξεων (cluster) ημερήσιας διακύμανσης Θ .

cluster	Ημερήσια Διακύμανση Θ . (Diurnal)											
	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	7,0	7,2	11,0	14,5	15,1	15,1	14,6	14,0	12,9	10,7	11,3	6,9
2	10,7	10,2	14,2	19,9	20,4	19,7	18,9	18,3	17,9	14,9	16,3	11,1
3	12,4	10,4	16,0	22,7	24,1	24,2	24,7	24,1	23,0	20,2	21,8	15,7
4	9,2	6,7	9,4	14,3	15,2	14,5	14,0	13,8	12,9	10,7	11,7	8,0
5	8,7	8,2	9,7	14,3	14,7	14,5	14,3	14,1	14,0	12,1	14,0	10,9
6	9,8	10,7	14,5	18,9	18,8	19,0	18,9	17,8	17,5	15,0	16,2	10,4
7	10,2	9,0	13,3	17,2	18,2	18,7	19,5	18,5	17,8	15,7	16,7	10,2
8	9,3	9,7	13,5	18,8	20,0	21,0	22,0	20,5	19,4	16,4	17,8	10,1

Ακολουθεί η γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους.



Σχήμα 4.5.1: Γραφική αναπαράσταση των κέντρων βάρους των 8 τάξεων (cluster) ημερήσιας διακύμανσης Θ .

5 ΣΥΖΗΤΗΣΗ – ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ - ΕΙΣΗΓΗΣΕΙΣ

5.1 Ποσοτικός Έλεγχος Δεδομένων

5.1.1 Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων EVI

Οι εικόνες 4.1.1 έως 4.1.12 του EVI υποδηλώνουν μια θετική ανωμαλία (νησίδα με μεγαλύτερη τιμή του δείκτη από την περιβάλλουσα περιοχή) κυρίως μεταξύ χειμώνα και άνοιξης στην πεδιάδα της Μεσαορίας, ενώ ο πίνακας συσχέτισης 4.1.1 καταδεικνύει μεγάλη συσχέτιση για διαδοχικούς μήνες στην ίδια εποχή. Επιπλέον, ο δείκτης EVI δείχνει να αυξάνει τη χειμερινή περίοδο κι επειδή είναι ποσοστιαίος δείκτης, έχουμε αύξηση της πυκνότητας της βλάστησης ανά εικονοστοιχείο. Την καλοκαιρινή περίοδο παρουσιάζεται θετική ανωμαλία EVI στο Τρόοδο, ενώ στην πεδιάδα Μεσαορίας έχουμε ελαχιστοποίηση. Αυτό οφείλεται στο ότι το δασικό οικοσύστημα το καλοκαίρι δημιουργεί μια ποσοστιαία κάλυψη βλάστησης ανά εικονοστοιχείο που είναι σταθερή, ακόμα και σε συνθήκες πολύ υψηλών θερμοκρασιών, σε αντίθεση με την πεδιάδα Μεσαορίας που οι γεωργικές δραστηριότητες περιορίζονται εκεί που υπάρχει άρδευση.

Με βάση τον πίνακα συσχέτισης 4.1.1 παρατηρείται μεγάλη συσχέτιση του Δεκέμβρη με το Νοέμβρη και μικρή με τον Ιανουάριο. Ως εκ τούτου, η εναλλαγή θερμής σε ψυχρή περίοδο ως προ τη πυκνότητα βλάστησης γίνεται τέλος Δεκέμβρη με αρχές Ιανουαρίου. Για τους ίδιους λόγους η εναλλαγή ψυχρής σε θερμή περίοδο γίνεται τέλος Απριλίου με αρχές Μαΐου.

Από τον πίνακα των ιδιοτιμών και ιδιοδιανυσμάτων 4.1.2 προκύπτει ότι η πρώτη κύρια συνιστώσα αποτελείται από ισόρροπο άθροισμα των μηνών Μαΐου έως Δεκεμβρίου και υποδιπλάσιο άθροισμα των μηνών Ιανουαρίου ως Απριλίου, ενώ χωρικά (εικόνα 4.1.13) μεγιστοποιείται στο όρος Τρόδος (δηλ. στο όρος Τρόδος παρατηρείται η μέγιστη πυκνότητα βλάστησης σε όλη τη διάρκεια του έτους). Η δεύτερη κύρια συνιστώσα είναι η διαφορά των μηνών Ιουνίου έως Σεπτεμβρίου μείον των μηνών Ιανουαρίου έως Απριλίου (ο Μάιος, Σεπτέμβριος και Δεκέμβριος έχουν συντελεστή που τείνει στο μηδέν). Η δεύτερη κύρια συνιστώσα (εικόνα 4.1.14) χωρικά μεγιστοποιείται στην ευρύτερη περιοχή του Τροόδου στο οποίο καταγράφεται η μέγιστη διαφοροποίηση μεταξύ χειμερινής και καλοκαιρινής περιόδου δηλ. η βλάστηση δεν μειώνεται το καλοκαίρι αφού δεν είναι παροδική αλλά μόνιμη (δάσος).

Σε γενικές γραμμές, οι τάξεις παρουσιάζουν ως προς τα κέντρα βάρους (πίνακας 4.1.4) μέγιστη πυκνότητα βλάστησης τους μήνες Ιανουάριο έως Απρίλιο. Από το Μάιο έως και το Νοέμβριο η μέση τιμή του EVI ανά τάξη (σχήμα 4.1.1) ελαχιστοποιείται και μένει σταθερή για όλη αυτή τη χρονική περίοδο. Υπάρχει και μία τάξη, η έβδομη, που παρουσιάζει ελάχιστη πυκνότητα βλάστησης σε όλη τη διάρκεια του έτους και αντιστοιχεί σε παράκτιες αστικοποιημένες ζώνες. Οι υπόλοιπες τάξεις παρουσιάζουν καμπύλες που είναι σχεδόν

παράλληλα μετατοπισμένες προς μεγαλύτερες ή μικρότερες τιμές του EVI, με τη μεγαλύτερη διαφοροποίηση στο διάστημα Ιανουαρίου-Απριλίου. Την μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση (πίνακας 4.1.3) την έχει η τάξη (cluster) 1 και τη μικρότερη η τάξη (cluster) 8 οι οποίες διαφοροποιούνται ως προς το ποσοστό βλάστησης την περίοδο Ιανουαρίου-Απριλίου.

5.1.2 Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων NDVI

Ο πίνακας συσχέτισης 4.2.1 και οι εικόνες 4.2.1 έως 4.2.12 υποδηλώνουν μικρότερες συσχετίσεις σε σχέση με τους άλλους βιοφυσικούς δείκτες και ειδικότερα με το δείκτη EVI, αν και οι διαφοροποιήσεις θερινής – καλοκαιρινής περιόδου είναι παρόμοιες. Αυτό επιβεβαιώνεται από τις ιδιοτιμές (πίνακα 4.2.2) αφού οι τρεις κύριες πρώτες συνιστώσες ερμηνεύουν μικρότερο ποσοστό της συνολικής διασποράς σε σχέση με τους άλλους δείκτες.

Επιπλέον, ο χάρτης με τις θεματικές τάξεις (πίνακας 4.2.4) που προκύπτει με την ταξινόμηση περιλαμβάνει μία κύρια τάξη ως προς την επιφανειακή εξάπλωση και 7 τάξεις με πολύ μικρή επιφανειακή εξάπλωση που μπορούν να χαρακτηριστούν σαν outliers, ως προς τις εξειδικευμένες χωροχρονικές κατανομές της βλάστησης. Αυτό έχει σχέση με τον ορισμό του δείκτη, ο οποίος δεν λαμβάνει υπόψη την ανακλαστικότητα στο μπλε όπως ο EVI. Σημειώνεται ότι στο μπλε έχουμε μεγαλύτερη διάχυση (Νόμος Rayleigh. $1/\lambda^4$) και απορρόφηση, εφόσον υπάρχει αυξημένη υγρασία. Ο EVI λαμβάνοντας υπόψη την ανακλαστικότητα στο μπλε, κάνει διόρθωση τόσο της διάχυσης που επηρεάζει κυρίως τα κανάλια στο ορατό (π.χ. κόκκινο) όσο και της απορρόφησης που επηρεάζει κυρίως το κόκκινο και το εγγύς υπέρυθρο. Επομένως, ο EVI μας δίνει μια καλύτερη εκτίμηση για τη χωροχρονική κατανομή του ποσοστού βλάστησης ανά εικονοστοιχείο που είναι ανεπηρέαστη σε μεγάλο βαθμό από την υγρασία και την διάχυση.

5.1.3 Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων Θ. ημέρας

Οι εικόνες 4.3.1 έως 4.3.12 θερμοκρασιών ημέρας υποδηλώνουν μια θετική ανωμαλία (δηλ. η θερμοκρασία είναι μεγαλύτερη σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή μελέτης) καθόλη τη διάρκεια του έτους, στην ευρύτερη περιοχή της Λευκωσίας και την πεδιάδα της Μεσαορίας και μία αρνητική ανωμαλία Θ. ημέρας καθόλη τη διάρκεια του έτους στην περιοχή του Τροόδους (δηλ. η θερμοκρασία είναι μικρότερη σε σχέση με την υπόλοιπη περιοχή μελέτης). Την καλοκαιρινή περίοδο η Θ. ημέρας δείχνει να αυξάνει, γεγονός που υποδηλώνει ως ποσοστιαίος δείκτης που είναι, την αύξηση της θερμοκρασίας ανά εικονοστοιχείο, η οποία τον μήνα Αύγουστο φτάνει μέχρι τους 51.7^0 C. Το δασικό οικοσύστημα επομένως της περιοχής του Τροόδους συντελεί στην διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών ακόμα και σε συνθήκες πολύ υψηλών θερμοκρασιών.

Ο πίνακας συσχέτισης 4.3.1 καταδεικνύει μεγάλη συσχέτιση για τους μήνες Απρίλιο έως Σεπτέμβριο και μικρή για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο. Η εναλλαγή θερμής σε ψυχρή περίοδο ως προς την ημερήσια θερμοκρασία με βάση τον πίνακα συσχέτισης ξεκινάει αρχές Ιανουαρίου και γίνεται εμφανέστερη το Φεβρουάριο και η εναλλαγή ψυχρής σε θερμή περίοδο γίνεται τέλος Απριλίου με αρχές Μαΐου.

Με βάση τα ιδιοδιανύσματα (πίνακας 4.3.2) η πρώτη κύρια συνιστώσα αποτελείται από ισόρροπο άθροισμα όλων των μηνών, ενώ χωρικά μεγιστοποιείται στην ευρύτερη περιοχή της Λευκωσίας, και της πεδιάδας της Μεσαορίας (δηλ. σε αυτές τις περιοχές παρατηρείται η

μέγιστη θερμοκρασία ημέρας σε όλη τη διάρκεια του έτους). Η δεύτερη κύρια συνιστώσα είναι η διαφορά των μηνών Μαρτίου έως Αύγουστο μείον των μηνών Δεκεμβρίου έως Φεβρουάριο (οι μήνες Σεπτέμβριος έως Νοέμβριος έχουν συντελεστή που τείνει στο μηδέν). Η δεύτερη κύρια συνιστώσα χωρικά μεγιστοποιείται στην ευρύτερη περιοχή του Τροόδους, σε περιοχές δηλαδή που παρατηρούνται δασικά οικοσυστήματα.

Σε γενικές γραμμές οι τάξεις (σχήμα 4.3.1) ως προς τα κέντρα βάρους αποτελούν ομοειδείς καμπύλες οι οποίες παρουσιάζουν από το μήνα Φεβρουάριο έως και τον Αύγουστο αυξητική τάση, με τη μέση τιμή Θ ημέρας τον Αύγουστο να μεγιστοποιείται σε όλες τις τάξεις. Από τον Αύγουστο έως και τον Ιανουάριο παρατηρείται πτωτική τάση. Μεταξύ της τάξης 1 η οποία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση (αστικές περιοχές) και της τάξης 2 (δασικές εκτάσεις) παρατηρούνται διαφορές θερμοκρασιών μέχρι και 10^0 C. Η τάξη 4 που αντιστοιχεί στην οροσειρά του Πενταδακτύλου και στις παράκτιες περιοχές στο ανατολικό μέρος του νησιού, παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές Θ ημέρας από όλες τις τάξεις, ενώ η τάξη 8 (μέρος περιοχής Τροόδους), η οποία έχει την μικρότερη επιφανειακή εξάπλωση, παρουσιάζει την πιο απότομη πτωτική τάση της θερμοκρασίας κατά τους μήνες Αύγουστο έως Δεκέμβριο.

5.1.4 Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων Θ νύχτας

Τη νύχτα παρουσιάζεται το αυτονόητο να έχουμε σχετική μετατόπιση των μεγεθών τις θερμοκρασίας σε μικρότερες τιμές. Οι εικόνες 4.4.1 έως 4.4.12 των θερμοκρασιών νύχτας, υποδηλώνουν μια αρνητική ανωμαλία καθόλη τη διάρκεια του έτους (νησίδα με μικρή τιμή του δείκτη που περιβάλλεται από ζώνες με μεγαλύτερες τιμές) στην ευρύτερη περιοχή του Τροόδους, της Λευκωσίας και της πεδιάδας της Μεσαορίας, η οποία γίνεται εντονότερη κατά τους μήνες Δεκέμβριο και Ιανουάριο, ενώ τους μήνες Μάιο έως Οκτώβριο η ανωμαλία αυτή ελαχιστοποιείται. Η Θ νύχτας κυμαίνεται από 0 έως 28^0 C με τους μήνες Ιούλιο έως Σεπτέμβριο να εμφανίζουν μέγιστες τιμές, γεγονός που υποδηλώνει ότι κατά τους μήνες αυτούς παρατηρείται αύξηση των νυχτερινών θερμοκρασιών ανά εικονοστοιχείο. Με βάση τα πιο πάνω επομένως, την περίοδο Ιούλιο έως Σεπτέμβριο στο δασικό οικοσύστημα της περιοχής του Τροόδους παρουσιάζονται υψηλές θερμοκρασίες νύχτας.

Ο πίνακας συσχέτισης 4.4.1 καταδεικνύει μεγάλη συσχέτιση για τους μήνες Ιούλιο έως Σεπτέμβριο και μικρή για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο (δηλ. έχουμε μια μεγαλύτερη ομογενοποίηση της θερμοκρασίας την καλοκαιρινή περίοδο, αφού η επαγόμενη εποχική θερμοκρασία είναι πολύ μεγάλη και τείνει να ομογενοποιήσει μικρές και μεσαίες διαφορές που παρατηρούνται το χειμώνα). Η εναλλαγή θερμής σε ψυχρή περίοδο ως προς τη νυχτερινή θερμοκρασία με βάση τον πίνακα συσχέτισης γίνεται τέλος Δεκέμβρη με αρχές Ιανουαρίου και η εναλλαγή ψυχρής σε θερμή περίοδο γίνεται τέλος Μαΐου με αρχές Ιουνίου.

Με βάση τα ιδιοδιανύσματα (πίνακας 4.4.2) η πρώτη κύρια συνιστώσα αποτελείται από ισόρροπο άθροισμα όλων των μηνών, ενώ χωρικά (εικόνα 4.4.13) μεγιστοποιείται κατά μήκος των παράκτιων περιοχών του νησιού. Η δεύτερη κύρια συνιστώσα είναι η διαφορά των μηνών Μαΐου έως Σεπτεμβρίου μείον των μηνών Νοεμβρίου έως Μαρτίου (οι μήνες Απρίλιος και Οκτώβριος έχουν συντελεστή που τείνει στο μηδέν). Η δεύτερη κύρια συνιστώσα χωρικά μεγιστοποιείται (εικόνα 4.4.14) στα αστικά συγκροτήματα της Λευκωσίας, Λεμεσού και Λάρνακας.

Σε γενικές γραμμές οι τάξεις (σχήμα 4.4.1) ως προς τα κέντρα βάρους αποτελούν ομοειδείς καμπύλες οι οποίες παρουσιάζουν από το μήνα Ιανουάριο έως και τον Αύγουστο αυξητική τάση, με τη μέση τιμή Θ . νύχτας τον Αύγουστο να μεγιστοποιείται σε όλες τις τάξεις, ενώ από τον Αύγουστο έως και τον Δεκέμβριο παρατηρείται πτωτική τάση. Η τάξη 2 (παράλιες περιοχές) παρουσιάζει τις μεγαλύτερες μέσες τιμές Θ . νύχτας όλη τη διάρκεια του έτους, ενώ οι τάξεις 1 (μέρος περιοχή Τροόδους και Λευκωσίας) και 3 (υπόλοιπο ευρύτερης περιοχής Λευκωσίας, πεδιάδα Μεσαορίας) παρουσιάζουν τις χαμηλότερες μέσες τιμές Θ . νύχτας και την πιο απότομη πτωτική τάση της θερμοκρασίας κατά τους μήνες Αύγουστο έως Δεκέμβριο. Η απόκλιση των θερμοκρασιών ειδικά κατά τους χειμερινούς μήνες κυμαίνεται γύρω στους $5-6^{\circ}\text{C}$. Η τάξη 1 παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση, ενώ η τάξη 8 (μέρος περιοχής Καρπασίας και Ακρωτηρίου) έχει την μικρότερη επιφανειακή εξάπλωση.

5.1.5 Σχολιασμός ποσοτικών εκτιμήσεων ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας

Οι εικόνες 4.5.1 έως 4.5.12 ημερήσιας διακύμανσης Θ ., υποδηλώνουν μια θετική ανωμαλία καθόλη τη διάρκεια του έτους στη περιοχή μελέτης (θετικές τιμές διαφορών θερμοκρασίας ημέρας, νύχτας). Στην περιοχή του Τροόδους και σε μέρος του αστικού συγκροτήματος Λευκωσίας παρατηρούνται υψηλές τιμές ημερήσιας διακύμανσης της θερμοκρασίας, ενώ στην πεδιάδα της Μεσαορίας και στην ευρύτερη περιοχή της Επαρχίας Λευκωσίας παρατηρούνται χαμηλές τιμές διακύμανσης σε όλη τη διάρκεια του έτους. Εποχικά, ο δείκτης διαφοροποιείται ως προς το μέγεθος της θετικής ανωμαλίας. Εμφανίζει δηλαδή μέγιστη διακύμανση την άνοιξη, το καλοκαίρι και το φθινόπωρο, ενώ το χειμώνα εμφανίζει ελάχιστη διακύμανση, όπου ελάχιστη σημαίνει 10°C περίπου μικρότερη.

Ο πίνακας συσχέτισης 4.5.2 καταδεικνύει μεγάλη συσχέτιση για τους μήνες Μάιο έως Σεπτέμβριο και μικρή για τους μήνες Ιανουάριο και Φεβρουάριο.

Με βάση τα ιδιοδιανύσματα (πίνακας 4.5.3) η πρώτη κύρια συνιστώσα αποτελείται από ισόρροπο άθροισμα όλων των μηνών, ενώ χωρικά (εικόνα 4.5.13) μεγιστοποιείται στην ευρύτερη περιοχή της Λευκωσίας και την πεδιάδα της Μεσαορίας. Η δεύτερη κύρια συνιστώσα είναι η διαφορά των μηνών Φεβρουαρίου έως Ιουλίου μείον των μηνών Οκτωβρίου έως Ιανουαρίου (οι μήνες Αύγουστος και Σεπτέμβριος έχουν συντελεστή που τείνει στο μηδέν). Η δεύτερη κύρια συνιστώσα χωρικά (εικόνα 4.5.14) μεγιστοποιείται στην ευρύτερη περιοχή του Τροόδους, το βορειοδυτικό τμήμα της Επαρχίας Πάφου (Πόλη Χρυσοχούς. Ακάμας), περιοχές δηλαδή στις οποίες παρατηρούνται δασικά οικοσυστήματα.

Σε γενικές γραμμές, και οι 8 καμπύλες των τάξεων (σχήμα 4.5.1) ως προς τα κέντρα βάρους δείχνουν ότι η ημερήσια διακύμανση της θερμοκρασίας ελαχιστοποιείται το χειμώνα και μεγιστοποιείται την υπόλοιπη περίοδο. Επιπλέον παρατηρούνται δυο μικρότερες σε μέγεθος ανωμαλίες τον Νοέμβριο και τον Ιανουάριο. Συγκεκριμένα, ενώ τον Οκτώβριο έχουμε πτώση της διακύμανσης, το Νοέμβριο έχουμε μικρή αύξηση για να επακολουθήσει η πτώση που συνεχίζεται στην διάρκεια του χειμώνα. Παρόμοια αύξηση της ημερήσιας διακύμανσης μεταξύ των δυο ελαχίστων των μηνών Δεκεμβρίου και Φεβρουαρίου εμφανίζεται και τον Ιανουάριο. Οι τοπικές αυτές χωροχρονικές ανωμαλίες σχετίζονται με καιρικά φαινόμενα που έλαβαν χώρα τη χρονιά μελέτης κατά τους μήνες Νοέμβριο και Ιανουάριο και αύξησαν τη διακύμανση.

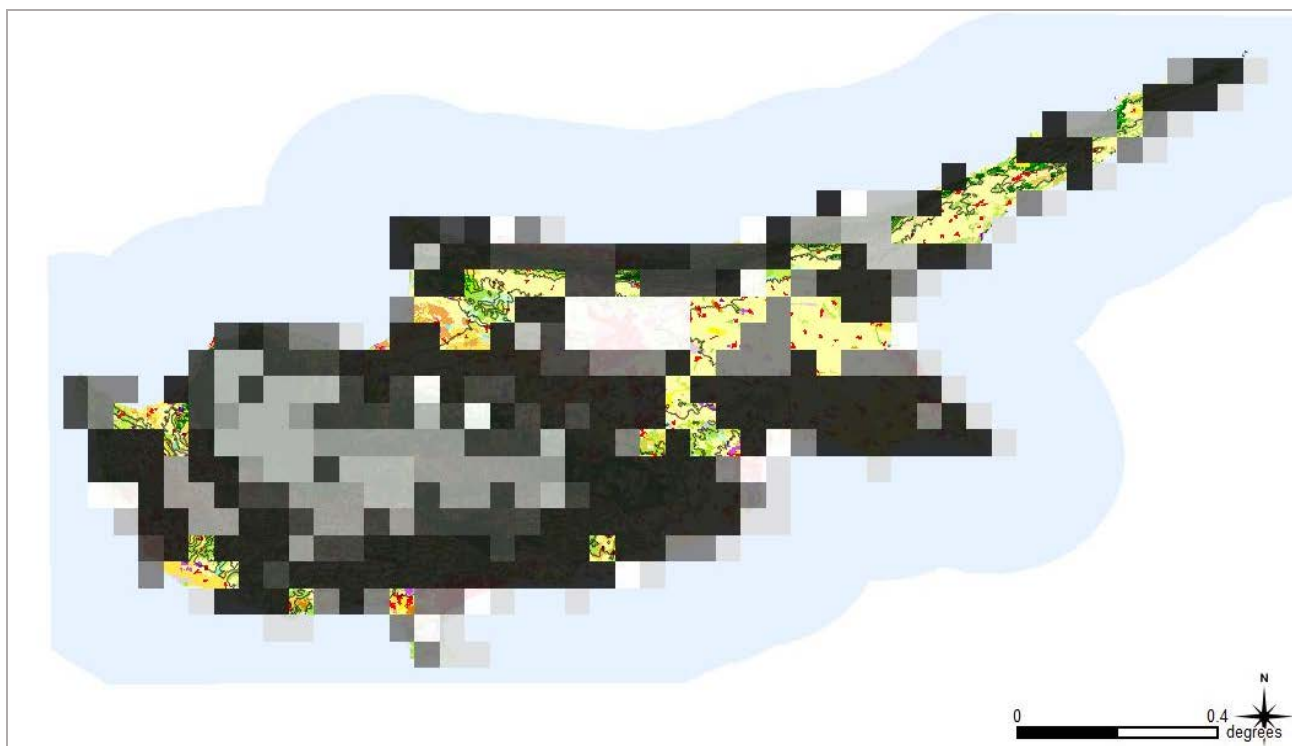
Μεταξύ της τάξης 1 η οποία παρουσιάζει τη μεγαλύτερη επιφανειακή εξάπλωση (δασικές εκτάσεις) και της τάξης 2 (αστικές περιοχές) παρατηρούνται διαφορές ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασιών μέχρι και 5°C (σχήμα 4.5.1). Η τάξη 1, που αντιστοιχεί στην ευρύτερη περιοχή του Τροόδους, το βορειοδυτικό τμήμα της Επαρχίας Πάφου (Πόλη Χρυσοχούς, Ακάμα) και την οροσειρά του Πενταδακτύλου, παρουσιάζει τις χαμηλότερες τιμές ημερήσιας διακύμανσης από όλες τις τάξεις. Ενώ η τάξη 3 που αντιστοιχεί στην πεδιάδα Μεσαορίας και μέρος της ευρύτερης περιοχής Επαρχίας Λευκωσίας (αστικό ιστό) παρουσιάζει τις μεγαλύτερες τιμές ημερήσιας διακύμανσης θερμοκρασίας σε όλη τη διάρκεια του έτους, διακυμάνσεις οι οποίες ανέρχονται μέχρι και τους 10°C σε σύγκριση με την τάξη 1 (δασικές εκτάσεις).

5.2 Ποιοτικός Έλεγχος Δεδομένων σε περιβάλλον ΣΓΠ

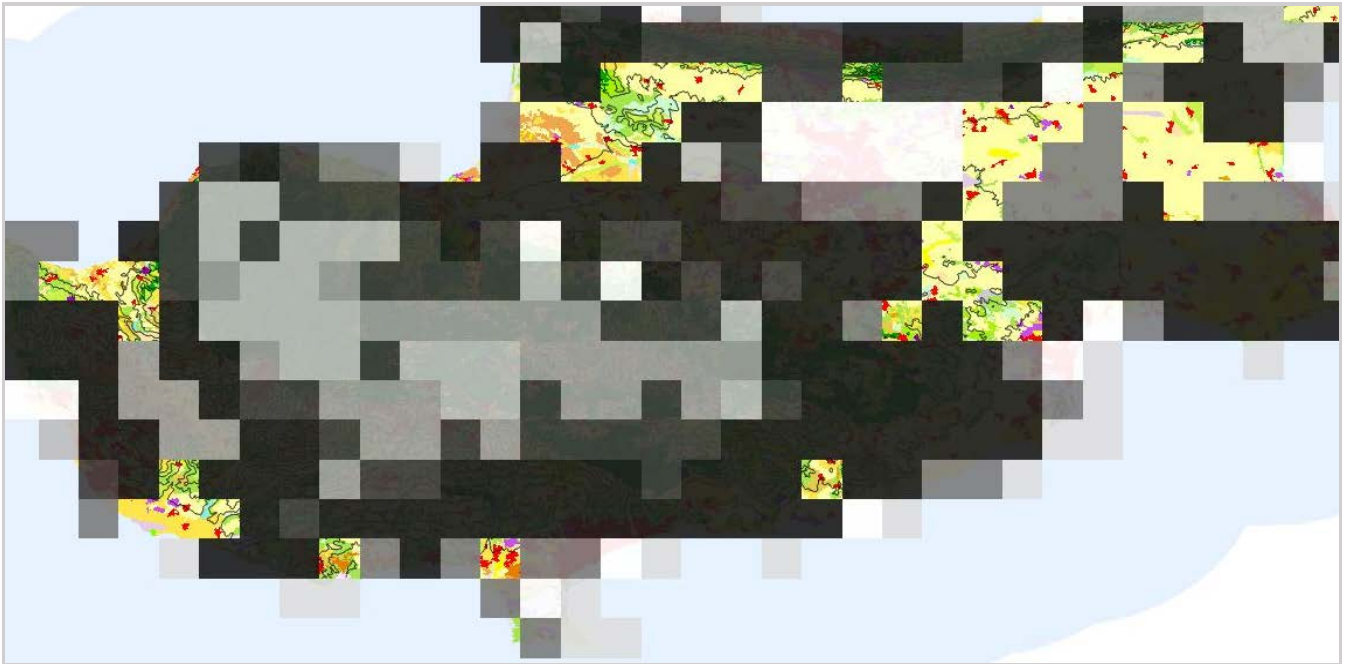
5.2.1 Ερμηνεία της χωρικής κατανομής EVI

Για σκοπούς καλύτερης ερμηνείας των μεταβολών που εντοπίστηκαν ως προς το φυσικό περιβάλλον και τις ανθρωπογενείς δράσεις, θα συγκριθούν τάξεις που παρουσιάζουν διαφορετική συμπεριφορά εποχικής μεταβολής. Συγκεκριμένα θα συγκριθούν οι τάξεις 3 και 6. Η τάξη 3 παρουσιάζει εξαιρετικά μεγάλη πυκνότητα το χειμώνα που ελαχιστοποιείται την καλοκαιρινή περίοδο, ενώ η τάξη 6 παρουσιάζει ελάχιστη διακύμανση στην πυκνότητα βλάστησης στη διάρκεια του χρόνου.

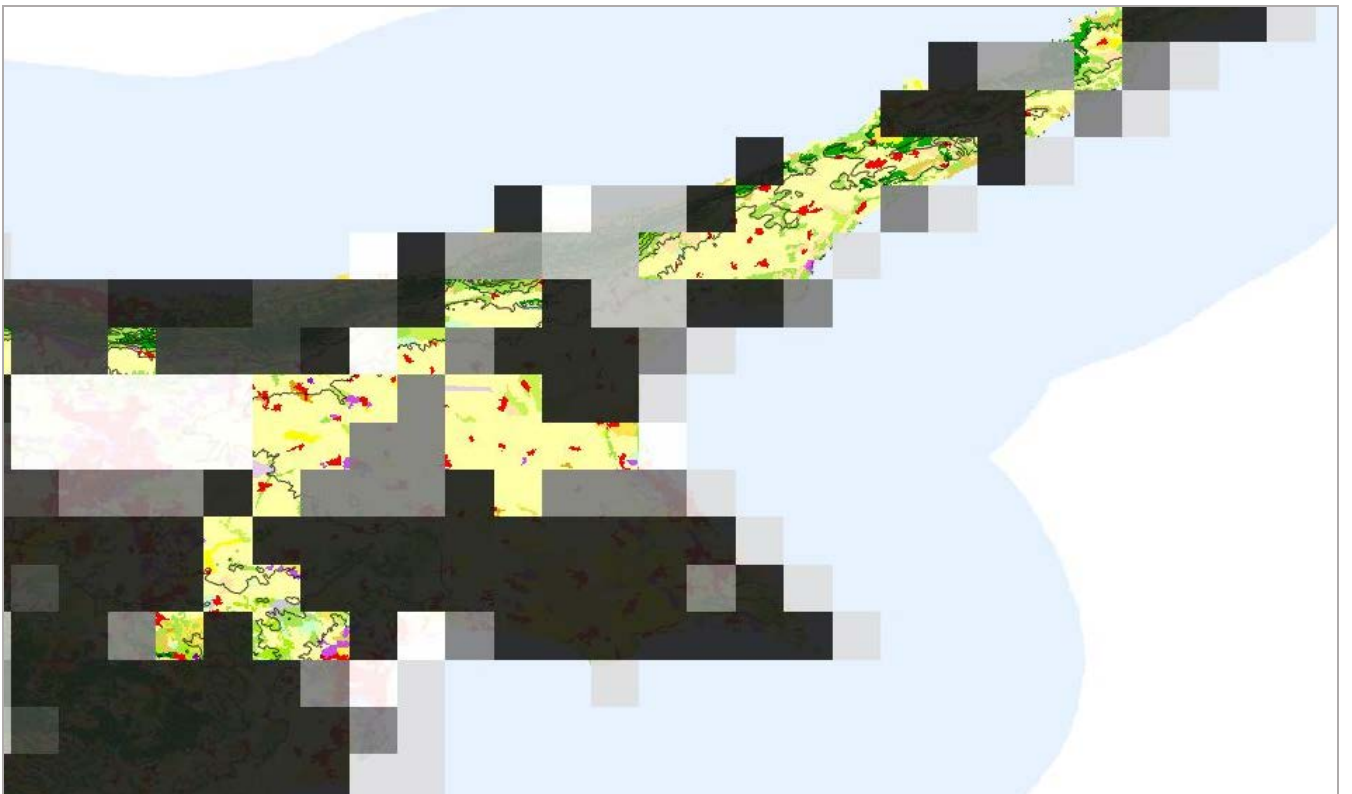
Η μελέτη των μεταβολών θα γίνει με τη χρήση του χάρτη χρήσεων γης Corine και των ισοϋψών καμπυλών. Ακολουθούν οι εικόνες υπέρθεσης των τάξεων καθώς και επιμέρους μεγεθύνσεις των περιοχών για καλύτερη ερμηνεία.



Εικόνα 5.2.1.1: EVI 3^η θεματική τάξη



Εικόνα 5.2.1.1 (α): EVI 3^η τάξη μεγέθυνση του βορειοδυτικού τμήματος



Εικόνα 5.2.1.1 (β): EVI 3^η τάξη μεγέθυνση του νοτιοανατολικού τμήματος.



Εικόνα 5.2.1.2: EVI 6^η θεματική τάξη



Εικόνα 5.2.1.2 (α): EVI 6^η τάξη μεγέθυνση βορειοδυτικού τμήματος

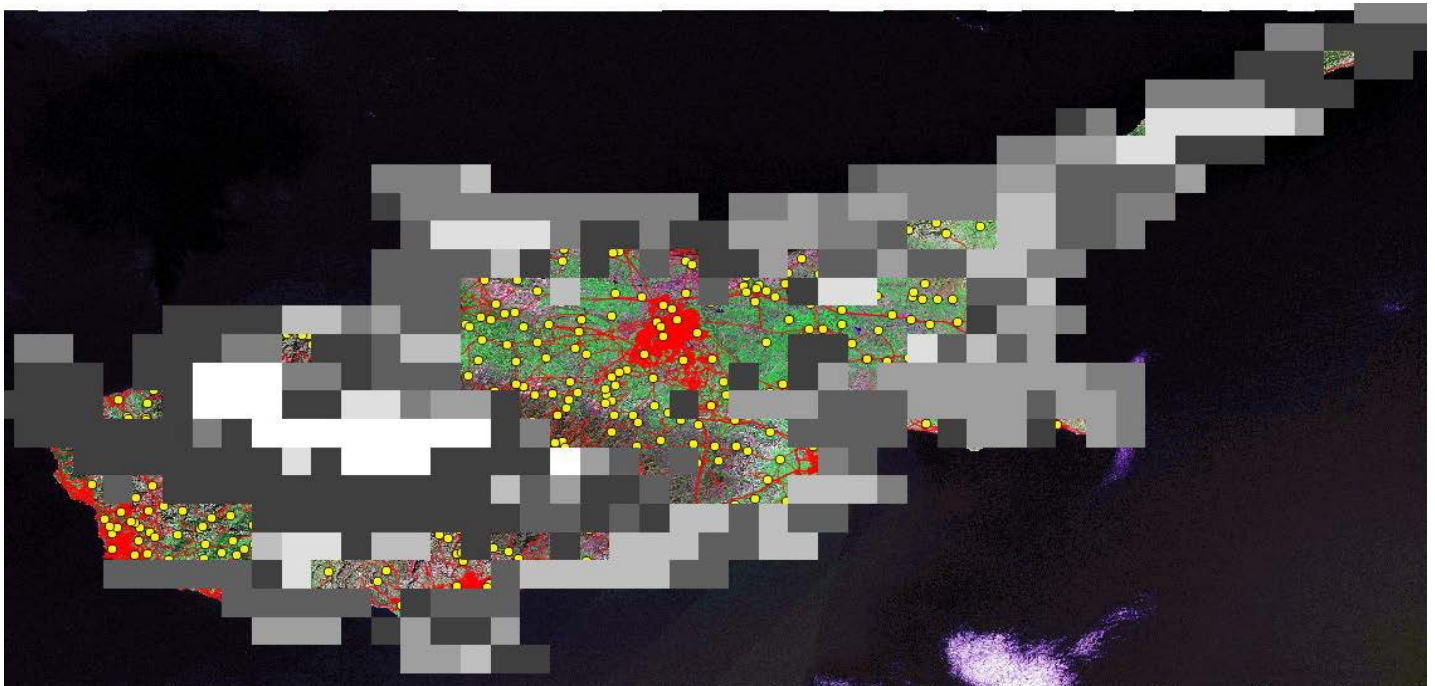
Με βάση τη χωρική ανάλυση που προκύπτει από τη υπέρθεση των τάξεων στο Corine και τις ισοϋψείς στην 3 τάξη (Εικόνες 5.2.1.1 (α) & (β)) παρουσιάζονται αστικοποιημένες περιοχές, μη αρδευόμενες αρόσιμες εκτάσεις, οπωρώνες, συμπλέγματα καλλιεργειών καθώς και εκτάσεις με ποολίβαδα. Όσον αφορά το υψόμετρο πρόκειται για περιοχές με χαμηλό

υψόμετρο. Η τάξη 6 εντοπίζεται στην ευρύτερη περιοχή του Τροόδους. Πρόκειται για περιοχή με υψηλά υψόμετρα και με κυριότερες καλύψεις γης δάση κωνοφόρων και σκληρόφυλλη βλάστηση, ενώ ο ασυνεχής αστικός ιστός καταλαμβάνει πολύ μικρές εκτάσεις.

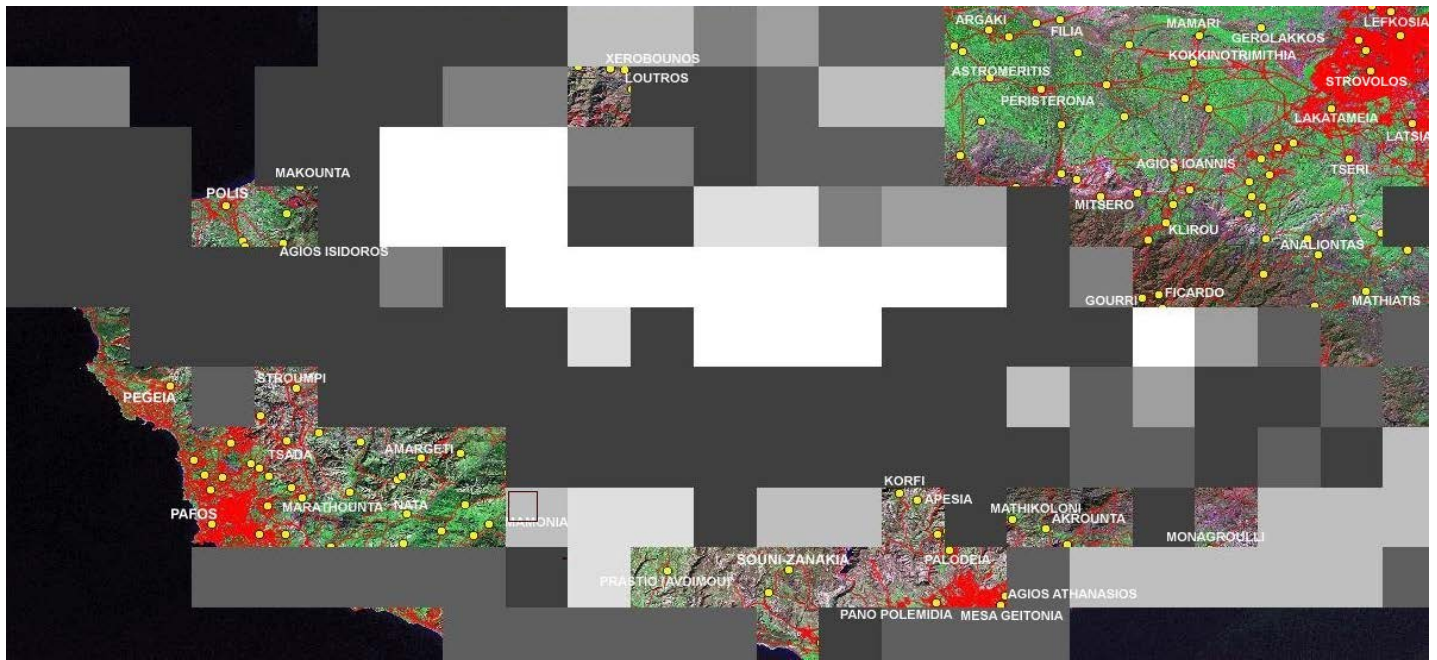
5.2.2 Ερμηνεία της χωρικής κατανομής Θ. ημέρας

Θα συγκριθούν οι χωρικές κατανομές των τάξεων 1 και 8. Η τάξη 1 παρουσιάζει τα μέγιστα των θερμοκρασιών σχεδόν σε όλους τους μήνες του έτους, ενώ η τάξη 8 παρουσιάζει τα ελάχιστα των θερμοκρασιών για τη μεγαλύτερη περίοδο του έτους.

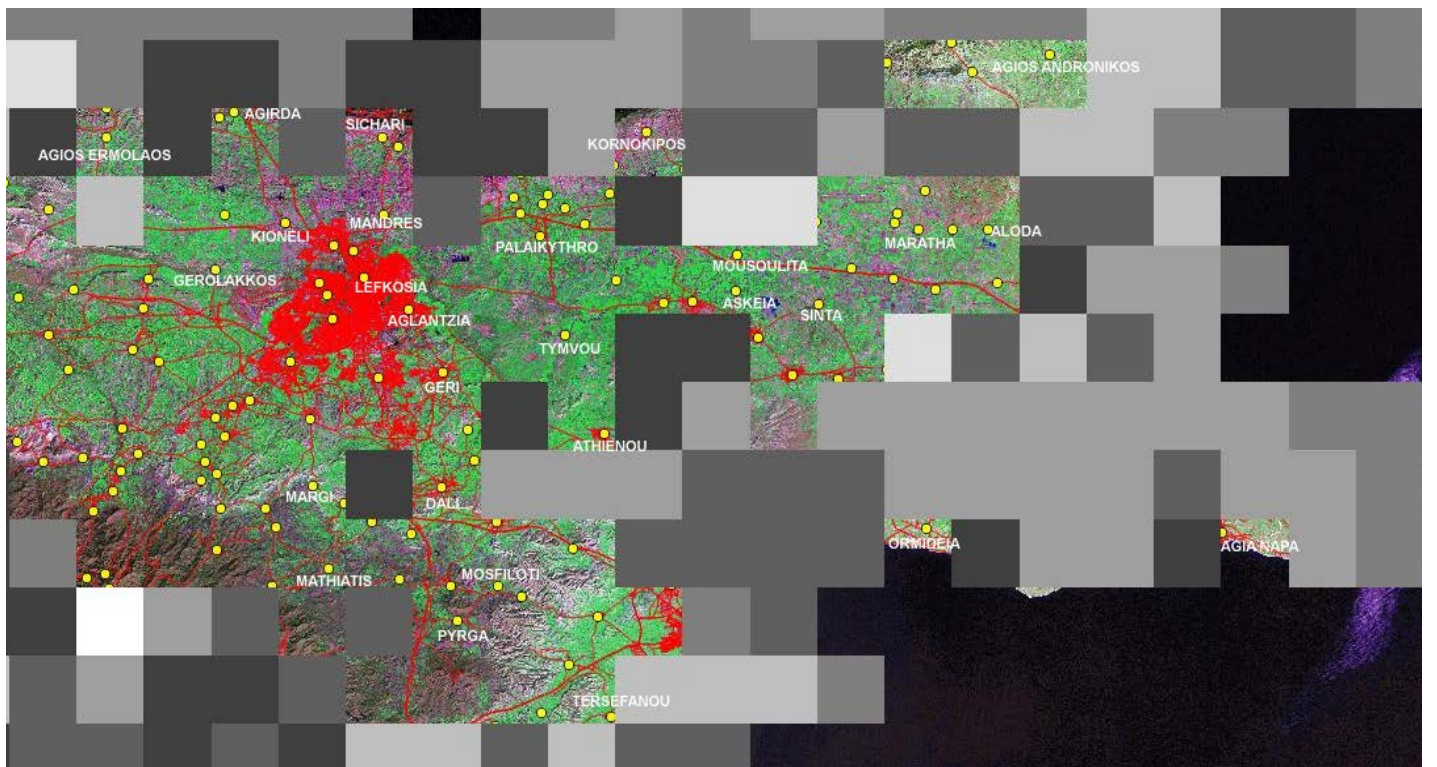
Η μελέτη των μεταβολών θα γίνει με τη χρήση της δορυφορικής Google Earth και των διανυσματικών πληροφοριών του οδικού δικτύου (απεικονίζονται με κόκκινο) και των πόλεων (απεικονίζονται με κίτρινο). Ακολουθούν οι εικόνες υπέρθεσης των τάξεων καθώς και επιμέρους μεγεθύνσεις των περιοχών για καλύτερη ερμηνεία.



Εικόνα 5.2.2.1: 1^η θεματική τάξη Θ. ημέρας



Εικόνα 5.1.2.2.1 (α): 1^η τάξη Θ. ημέρας (μεγέθυνση νοτιοδυτικού τμήματος)



Εικόνα 5.2.2.1 (β): 1^η τάξη Θ. ημέρας (μεγέθυνση βορειοανατολικού τμήματος)



Εικόνα 5.2.2.2: 8^η θεματική τάξη Θ. ημέρας



Εικόνα 5.2.2.2 (α): 8^η τάξης Θ. ημέρας (Μεγέθυνση περιοχής)

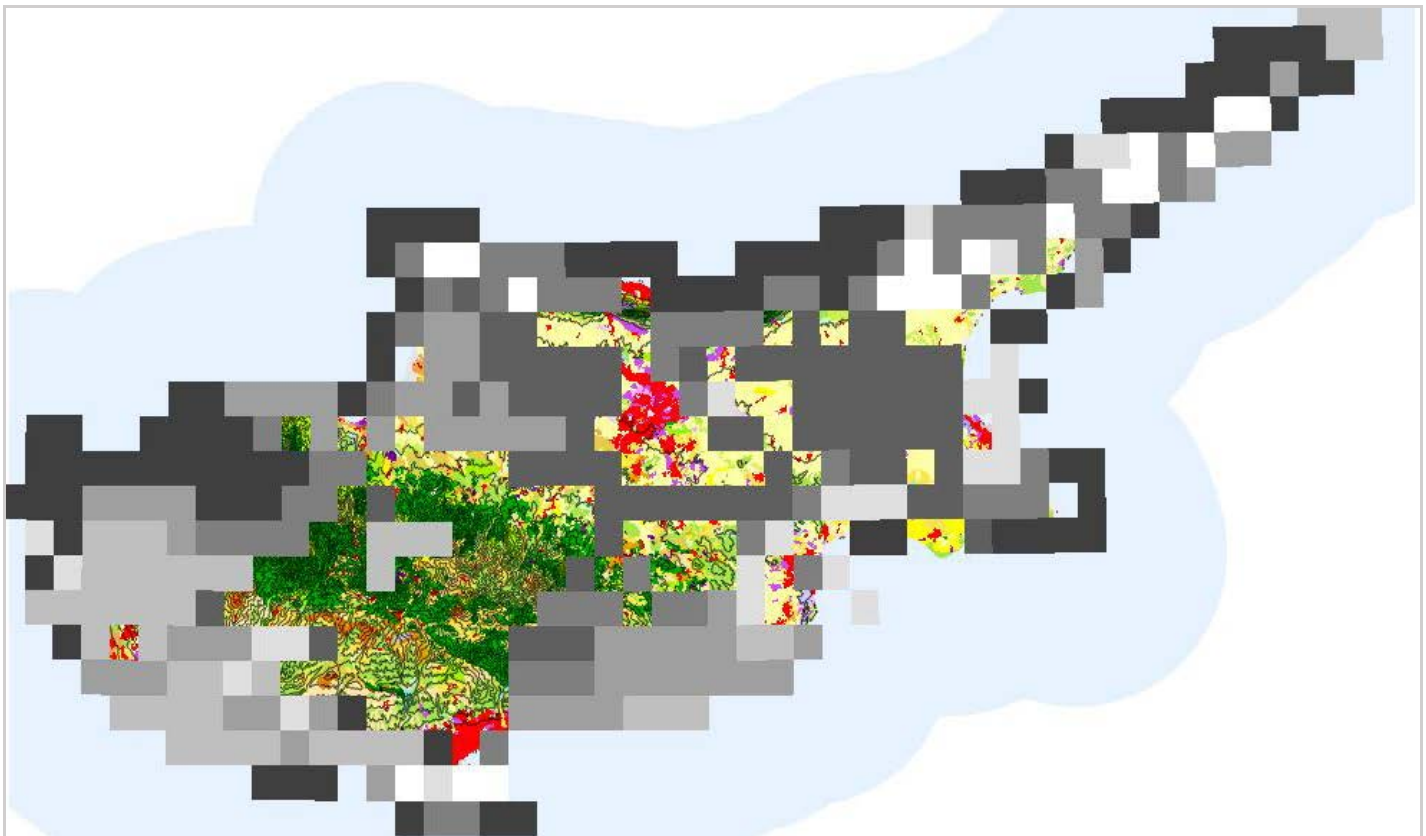
Με βάση τη χωρική ανάλυση που προκύπτει από τη υπέρθεση των τάξεων στο Google Earth και των διανυσματικών δεδομένων του οδικού δικτύου και των πόλεων στην τάξη 1, όπου εμφανίζονται οι υψηλότερες θερμοκρασίες ημέρας (Εικόνες 5.2.2.1), εμπεριέχονται μεγάλες εκτάσεις με οικιστικό και αστικοποιημένο ιστό, με έντονο αναπτυγμένο οδικό δίκτυο και τεχνητές επιφάνειες με χαμηλό υψόμετρο, χρήσεις δηλ. οι οποίες συντελούν στην αύξηση της θερμοκρασίας κατά τη διάρκεια της μέρας. Οι περιοχές βλάστησης που εντοπίζονται στη δορυφορική εικόνα στην συγκεκριμένη τάξη, σύμφωνα με το χάρτη καλύψεων γης, αντιπροσωπεύουν μη αρόσιμες καλλιέργειες οι οποίες λόγω τη μη άρδευσης τους κατά τη διάρκεια των καλοκαιρινών μηνών συντελούν και αυτές με τη σειρά τους στην αύξηση της θερμοκρασίας.

Η τάξη 8 αντιπροσωπεύει μέρος της περιοχής του Τροόδου. Περιοχή με πολύ μεγάλο υψόμετρο στην οποία εμφανίζονται μικρές εκτάσεις ασυνεχούς αστικού ιστού και οδικού δικτύου (Εικόνες 5.2.2.2). Μεγαλύτερη έκταση καταλαμβάνουν περιοχές με βλάστηση, οι οποίες σύμφωνα με το χάρτη καλύψεων γης αντιπροσωπεύουν δασικές εκτάσεις. Τόσο το υψόμετρο όσο και οι καλύψεις γης δικαιολογούν τις μικρότερες θερμοκρασίες που παρατηρούνται καθόλη τη διάρκεια του έτους σε αυτή τη θεματική τάξη.

5.2.3 Ερμηνεία της χωρικής κατανομής Θ. νύχτας

Θα συγκριθούν οι χωρικές κατανομές των τάξεων 1 και 2. Η τάξη 1 παρουσιάζει ελάχιστες θερμοκρασίες νύχτας, ενώ η τάξη 2 μέγιστες θερμοκρασίες νύχτας σχεδόν σε όλους τους μήνες του έτους. Σημειώνεται ότι οι καμπύλες των χωρικών κατανομών της θερμοκρασίας τη νύχτα τείνουν να συγκλίνουν με αποτέλεσμα να εμφανίζονται πολύ μικρές διαφορές.

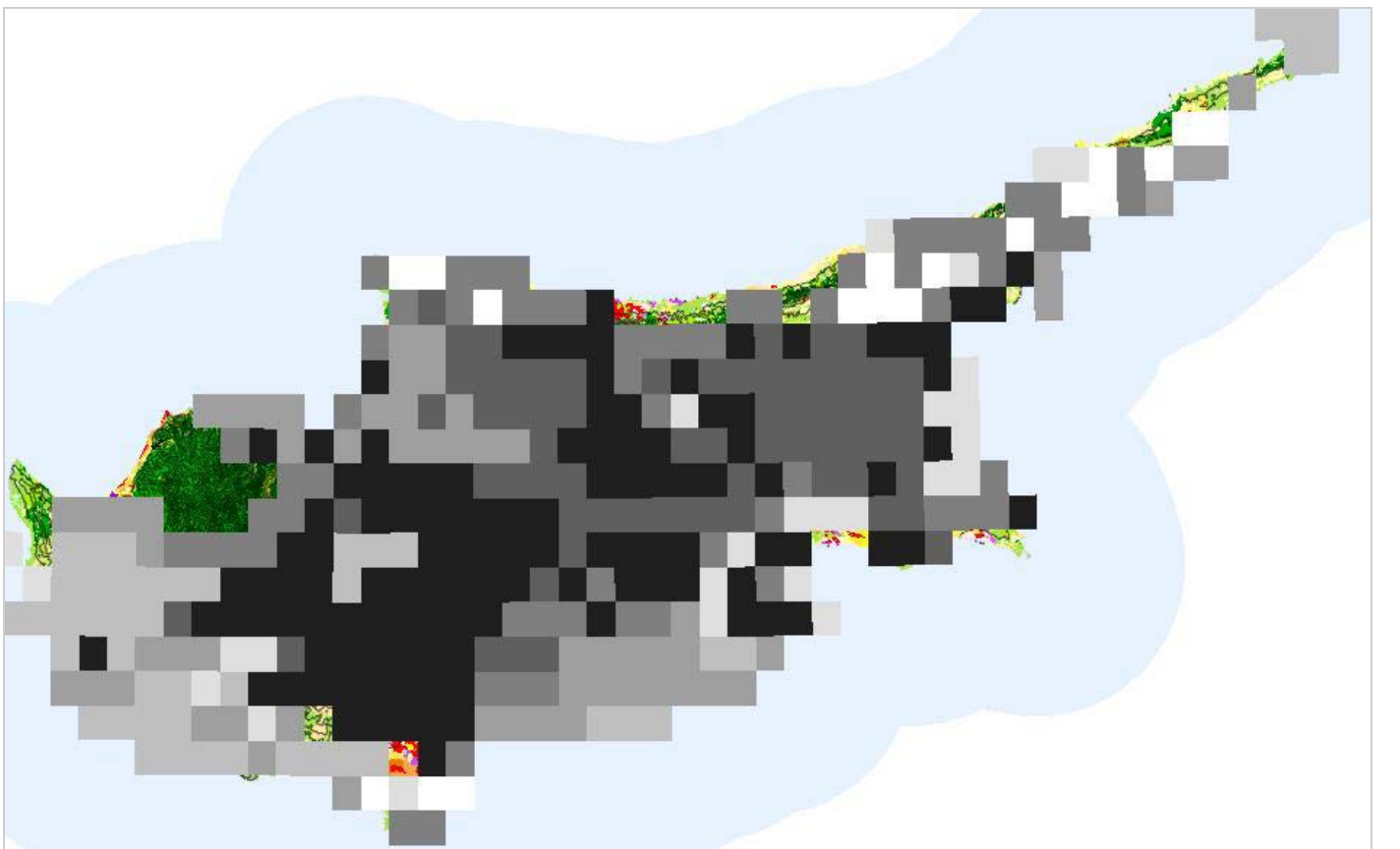
Η μελέτη των μεταβολών θα γίνει με τη χρήση του χάρτη καλύψεων γης Corine, των ισουψών και των διανυσματικών πληροφοριών του οδικού δικτύου (απεικονίζονται με κόκκινο) και των πόλεων (απεικονίζονται με κίτρινο). Ακολουθούν οι εικόνες υπέρθεσης των τάξεων.



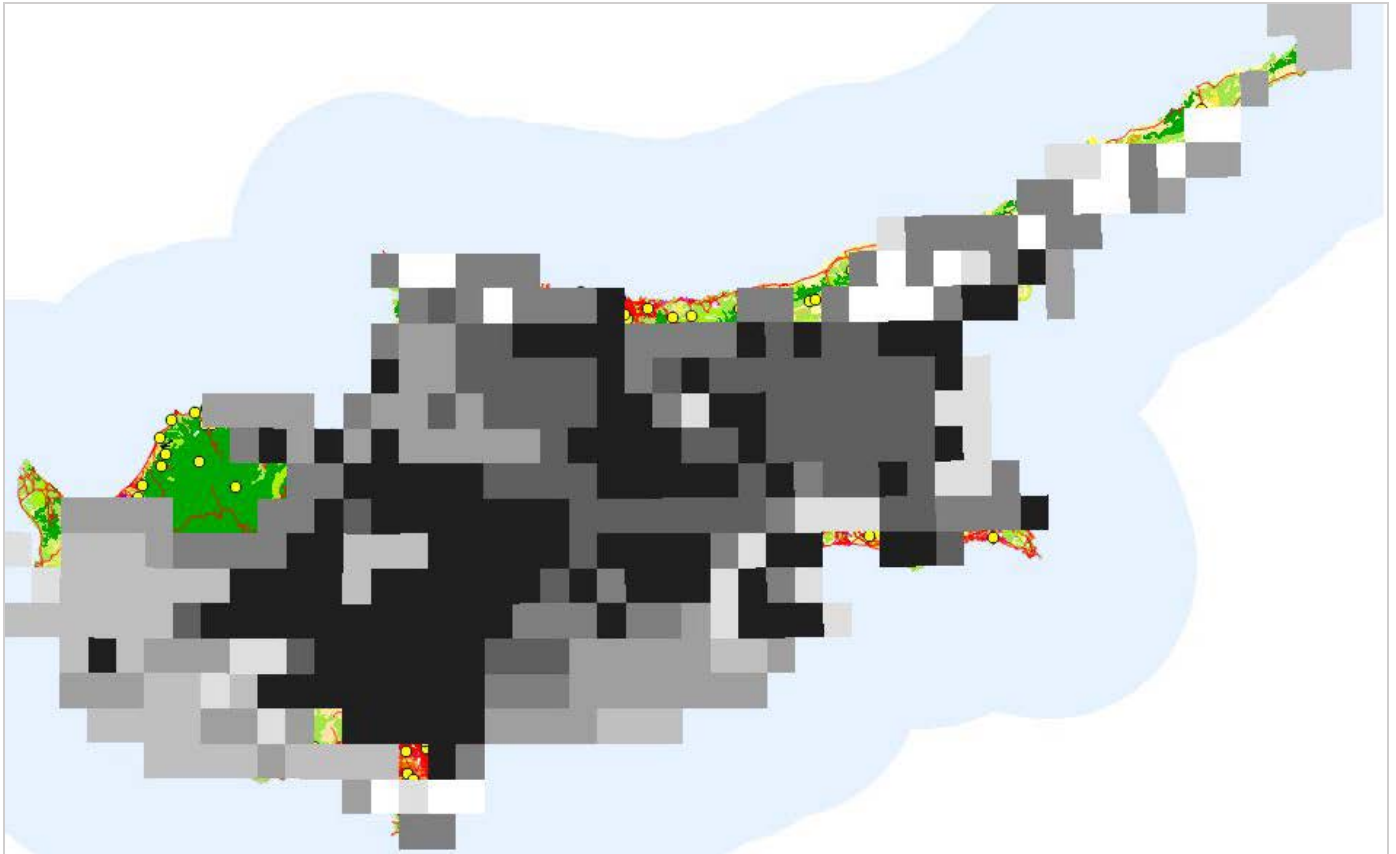
Εικόνα 5.2.3.1: 1^η θεματική τάξη Θ. νύχτας (Corine-ισουψείς)



Εικόνα 5.2.3.1 (α): 1^η θεματική τάξη Θ. νύχτας (Corine-Οδικό δίκτυο- Πόλεις)



Εικόνα 5.2.3.2: 2^η θεματική τάξη Θ. νύχτας (Corine-ισούψεις)



Εικόνα 5.2.3.2 (α): 2^η θεματική τάξη Θ. νύχτας (Corine-Οδικό δίκτυο-Πόλεις)

Με βάση τη χωρική ανάλυση υπέρθεσης (Εικόνες 5.2.3.1) των τάξεων με τους χάρτες καλύψεων γης, τις ισοϋψείς και τις διανυσματικές πληροφορίες οδικού δικτύου και πόλεων με την τάξη 1 (χαμηλές θερμοκρασίες) φαίνεται ότι εμπεριέχονται περιοχές με οικιστικό και αστικοποιημένο ιστό, με έντονο αναπτυγμένο οδικό δίκτυο, με μη αρδευόμενες αρόσιμες εκτάσεις και συμπλέγματα καλλιιεργειών. Επιπρόσθετα συμπεριλαμβάνονται και περιοχές της ευρύτερης περιοχής του Τρόοδου με υψόμετρα που φτάνουν μέχρι και τα 1300 μέτρα.

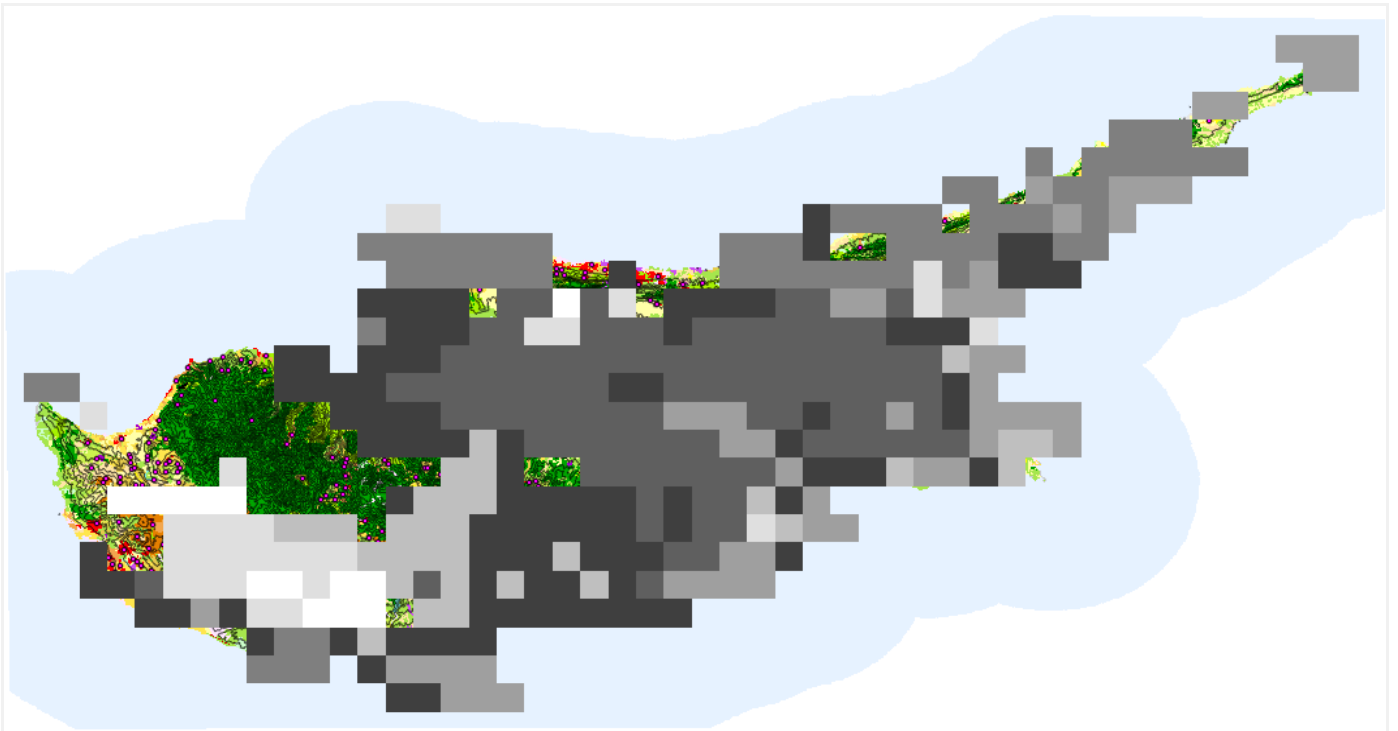
Στην τάξη 2 (υψηλές θερμοκρασίες) εμπεριέχονται παραθαλάσσιες περιοχές, το μεγαλύτερο μέρος των οποίων βρίσκεται στο βόρειο τμήμα του νησιού. Οι περιοχές αυτές (Εικόνες 5.2.3.2) εμφανίζουν οικιστικό και αστικοποιημένο ιστό, με έντονο αναπτυγμένο οδικό δίκτυο και σύμφωνα με το χάρτη των ισοϋψών η παρουσία ορεινών όγκων (400 - 1100 μέτρα) με μεγάλα υψόμετρα τις απομονώνουν. Οι μικρότερες σε έκταση περιοχές στο νότιο τμήμα του νησιού εμφανίζουν έντονη αστική ανάπτυξη.

5.2.4 Ερμηνεία της χωρικής κατανομής ημερήσια διακύμανσης Θ.

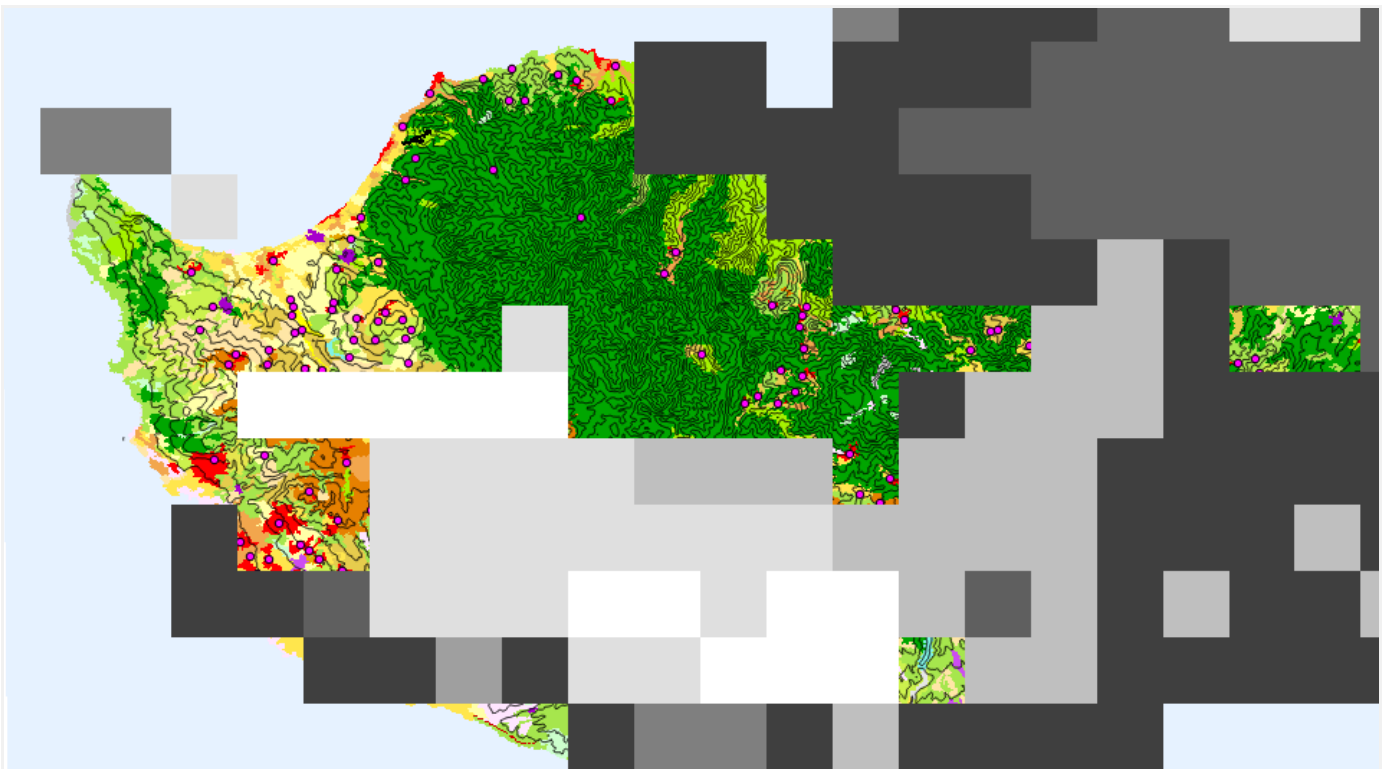
Θα συγκριθούν οι χωρικές κατανομές των θεματικών τάξεων 1 και 3. Η τάξη 3 παρουσιάζει τις μέγιστες τιμές ημερήσιας διακύμανσης Θ., ενώ η τάξη 1 τις ελάχιστες σχεδόν σε όλους τους μήνες του έτους.

Η μελέτη των μεταβολών θα γίνει με τη χρήση του χάρτη καλύψεων γης Corine, των ισοϋψών και των διανυσματικών πληροφοριών των πόλεων (απεικονίζονται με μωβ).

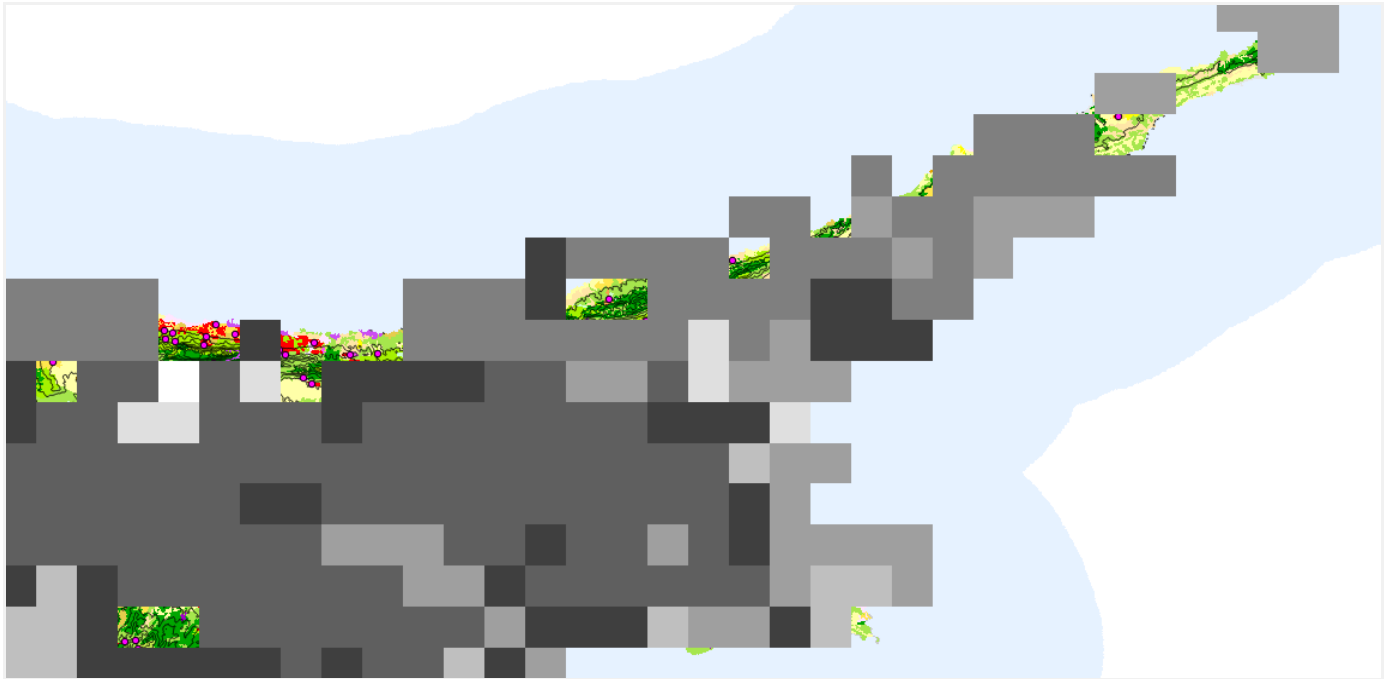
Ακολουθούν οι εικόνες υπέρθεσης των τάξεων και επιμέρους μεγεθύνσεις των περιοχών για καλύτερη ερμηνεία.



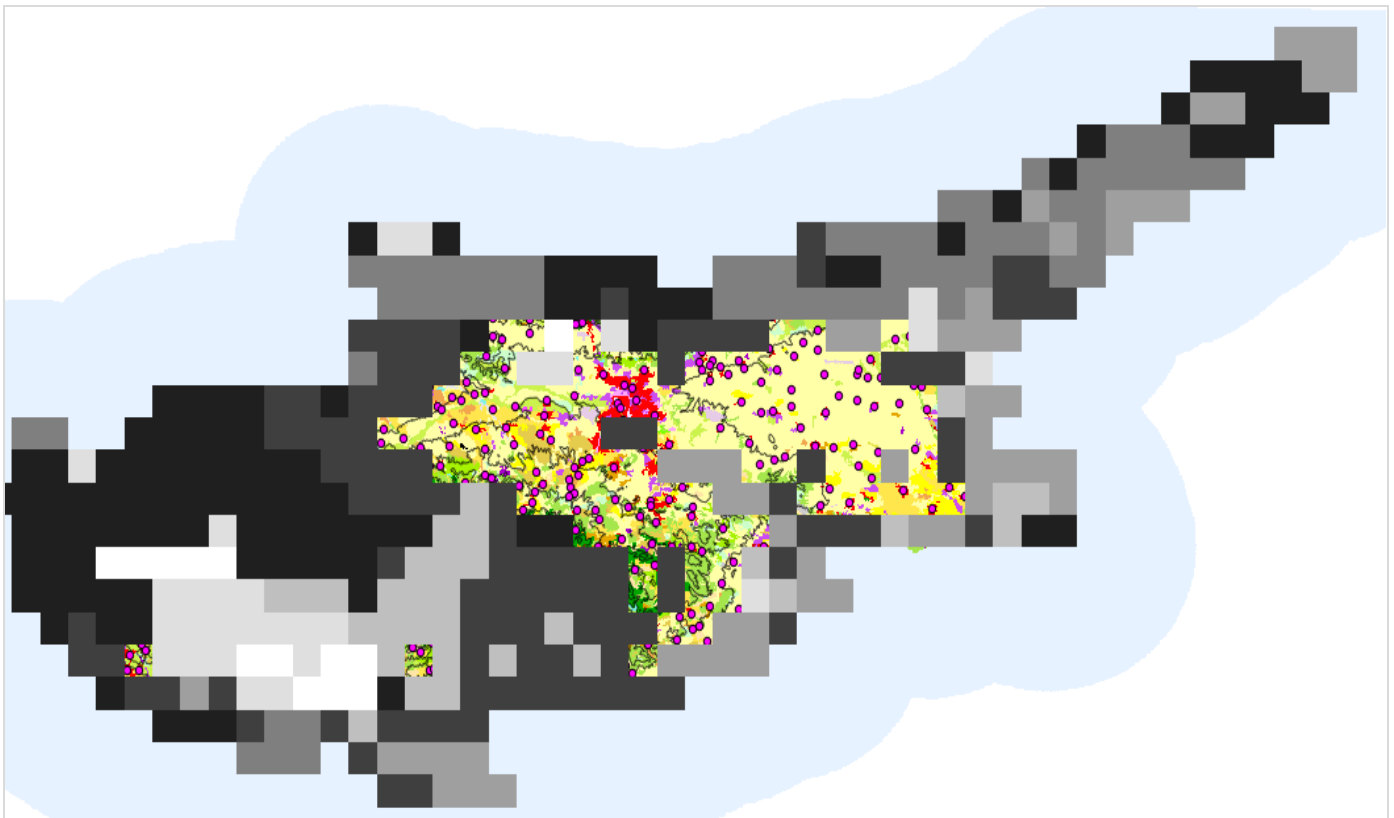
Εικόνα 5.2.4.1: 1^η θεματική τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ. (Corine-ισοψείς-πόλεις)



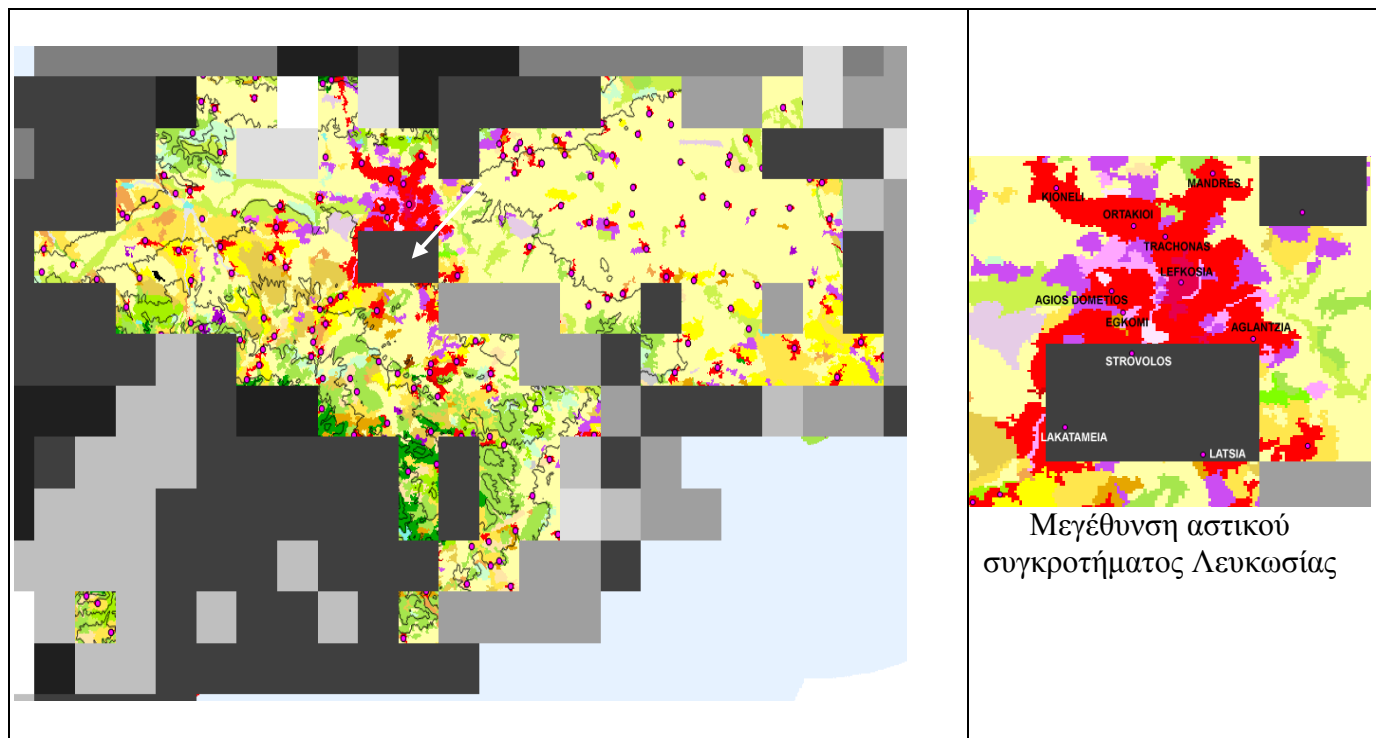
Εικόνα 5.2.4.1 (α) : 1^η τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ. (μεγέθυνση βορειοδυτικού τμήματος)



Εικόνα 5.2.4.1 (β) : 1^η τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ . (μεγέθυνση βορειοανατολικού τμήματος)



Εικόνα 5.2.4.2: 3^η θεματική τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ . (Corine-ισοψείς-πόλεις)



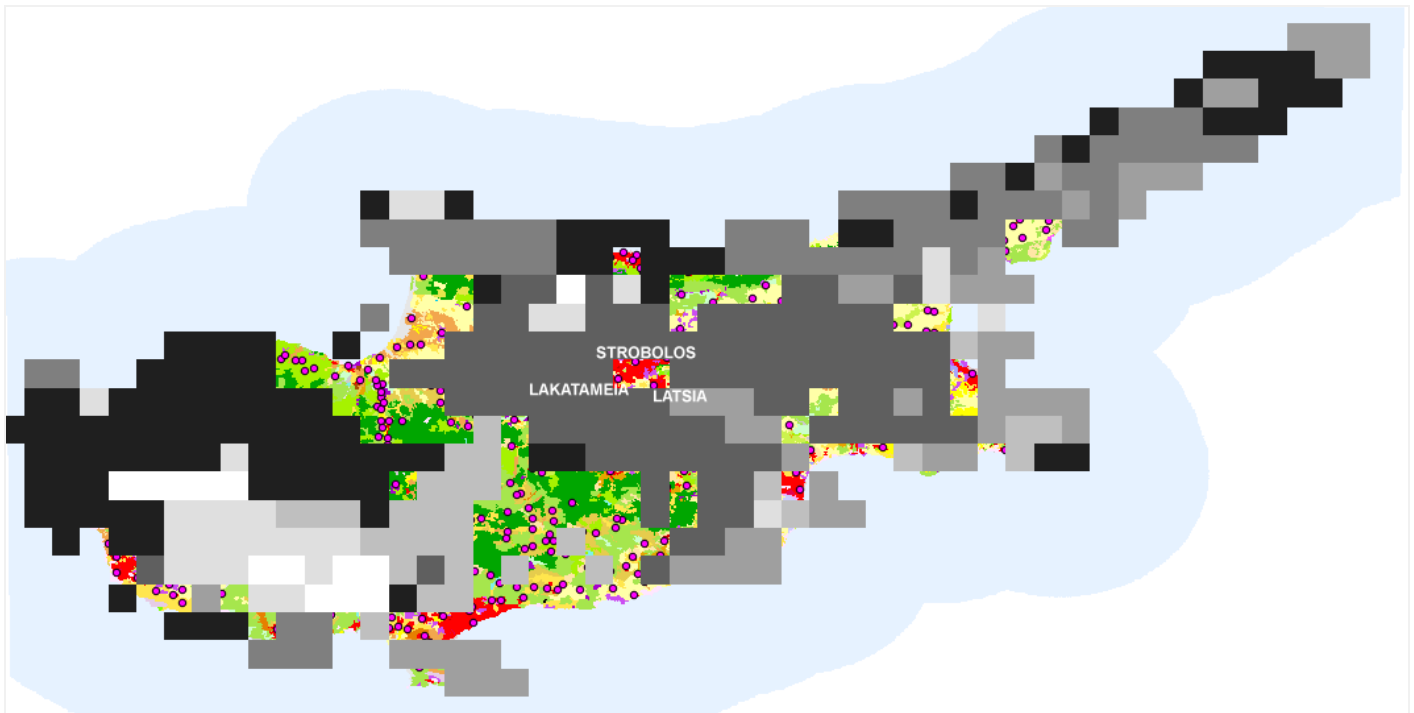
Εικόνα 5.2.4.2(α): Μεγέθυνση 3^{ης} θεματικής τάξης ημερήσιας διακύμανσης Θ. (Corine-ισοϋψείς-πόλεις)

Με βάση τη χωρική ανάλυση στην τάξη 1, όπου εμφανίζονται οι χαμηλότερες ημερήσιες διακυμάνσεις Θ. (Εικόνες 5.2.4.1), εμπεριέχονται περιοχές με κυριότερες καλύψεις γης δάση κωνοφόρων και σκληρόφυλλη βλάστηση και σε μικρότερο ποσοστό μη αρδευόμενες αρόσιμες εκτάσεις, συμπλέγματα καλλιεργειών καθώς και εκτάσεις ασυνεχούς αστικού ιστού. Το μεγαλύτερο μέρος αυτών βρίσκεται στο βορειοδυτικό τμήμα του νησιού (Τρόδος, Ακάμα, Πόλη Χρυσοχούς) και μικρότερο στις βορειοανατολικές παραθαλάσσιες περιοχές και σύμφωνα με το χάρτη των ισοϋψών πρόκειται για περιοχές με υψηλό υψόμετρο που κυμαίνεται από 700-1800 μέτρα. Τόσο το υψόμετρο όσο και οι καλύψεις γης δικαιολογούν τις μικρότερες ημερήσιες διακυμάνσεις θερμοκρασιών που παρατηρούνται καθόλη τη διάρκεια του έτους σε αυτή τη θεματική τάξη.

Στην τάξη 3 (υψηλές ημερήσιες διακυμάνσεις Θ.), εμπεριέχονται αστικοποιημένες περιοχές, μη αρδευόμενες αρόσιμες εκτάσεις, οπωρώνες, συμπλέγματα καλλιεργειών καθώς και εκτάσεις με ποολίβαδα. Όσον αφορά το υψόμετρο πρόκειται για περιοχές με χαμηλό υψόμετρο το οποίο σύμφωνα με το χάρτη των ισοϋψών φτάνει μέχρι τα 300 μέτρα (Εικόνες 5.2.4.2). Οι διακυμάνσεις αυτές δικαιολογούνται αφού πρόκειται για περιοχές που απορροφούν μεγάλες ποσότητες ηλιακής ενέργειας κατά τη διάρκεια της μέρας (αυξημένες τιμές Θ. ημέρας) και αποβάλλουν μεγάλες ποσότητες θερμότητας λόγω ακτινοβολίας τη νύχτα (χαμηλές τιμές Θ. νύχτας).

Ενδιαφέρον παρουσιάζει ότι μέρος του αστικού ιστού της Λευκωσίας που αντιστοιχεί στους Δήμους Στροβόλου, Λακατάμιας και Λατσιών δεν εμπεριέχεται στην τάξη αυτή (Εικόνα 5.2.4.1α), ως εκ τούτου δεν παρουσιάζει την ίδια τάση ημερήσιας διακύμανσης Θ. με τον ευρύτερο αστικό ιστό Λευκωσίας. Οι εν λόγω περιοχές εμπεριέχονται στην τάξη 2 (Εικόνα 5.2.4.3), η οποία σύμφωνα με τις καμπύλες των κέντρων βάρους εμφανίζει μικρότερες διακυμάνσεις θερμοκρασίας (Σχήμα 4.5.1). Οι διακυμάνσεις αυτές συγκρινόμενες με αυτές

της τάξης 3 (Πίνακας 4.5.4) είναι μέχρι και 6°C μικρότερες κατά τους μήνες του καλοκαιριού (εύρος διακύμανσης δείκτη ημερήσιας διακύμανσης $\Theta.10-20.5^{\circ}\text{C}$).



Εικόνα 5.1.2.4.3 : 2^η θεματική τάξη ημερήσιας διακύμανσης Θ .

5.3 Περιορισμοί μελέτης

Οι κύριοι περιορισμοί της έρευνας της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής έχουν σχέση με το μέγεθος του εικονοστοιχείου, το στοιχειώδες μέσο χρονικό διάστημα και το εύρος της χρονικής περιόδου.

Συγκεκριμένα το μέγεθος του εικονοστοιχείου αναφέρεται στη χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα MODIS που είναι 5 km, με αποτέλεσμα να έχουμε γενικές εκτιμήσεις ως προς την χωρική διάσταση. Αν όμως τα αποτελέσματα αυτά συγκριθούν με το αραιό δίκτυο μετεωρολογικών σταθμών τότε η δειγματοληψία του εδάφους είναι εξαιρετικά πυκνότερη.

Η χρονική γενίκευση των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων που χρησιμοποιείται, ενώ υπάρχουν δεδομένα σε ημερήσια και εβδομαδιαία βάση δεν επιτρέπει τον ακριβή προσδιορισμό των μεγίστων και ελαχίστων των βιοφυσικών δεικτών. Είναι δηλαδή πιθανόν οι βιοφυσικοί δείκτες να παρουσιάζουν μέγιστα και ελάχιστα σε μεγαλύτερα εύρη εντός των μηνών.

Τέλος, το εύρος της χρονικής περιόδου του ενός έτους (2010), ενώ η διαθεσιμότητα δεδομένων ξεκινά από το 2000 έως σήμερα, δεν επιτρέπει τον εντοπισμό διαφοροποιήσεων που οφείλονται στην κλιματική αλλαγή.

Η χρήση επομένως στο άμεσο μέλλον βιοφυσικών δεδομένων με υποπενταπλάσια έως και υποδεκαπλάσια χωρική διακριτική ικανότητα θα επιτρέψει τη χαρτογράφηση ενοτήτων με διαφορετική βιοφυσική υπογραφή που θα έχουν πολύ μικρότερη επιφανειακή εξάπλωση. Επιπροσθέτως η αύξηση του εύρους της χρονικής περιόδου μελέτης θα επιτρέψει την αναγνώριση διαφοροποιήσεων που έχουν σχέση με την επερχόμενη κλιματική αλλαγή. Ενώ η θεώρηση μικρότερου μέσου χρονικού διαστήματος θα επιτρέψει τον ακριβέστερο προσδιορισμό χρονικά της μετάβασης των εποχών.

Βέβαια οι τρεις προτεινόμενες βελτιώσεις- αναθεωρήσεις θα έχουν σαν αποτέλεσμα την αύξηση του όγκου των δεδομένων και του χρονικού διαστήματος επεξεργασίας.

5.4 Συμπεράσματα και Εισηγήσεις

Η μελέτη των ταξινομήσεων αποδεικνύει ότι υπάρχουν διαφοροποιήσεις ως προς τις βιοφυσικές υπογραφές και αυτές οι διαφοροποιήσεις είναι εξαιρετικά σημαντικές, αφού υποδεικνύουν χωροχρονικές μεταβολές σε συγκριμένες ζώνες που συσχετίζονται με τις καλύψεις και τις χρήσεις γης. Δηλαδή ικανοποιείται το πρώτο ερευνητικό ερώτημα που αξιολογεί το θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο των δεδομένων (Μηλιαρέσης 2003), δηλαδή ελέγχει κατά πόσο η ψηφιακή αναπαράσταση του φυσικού χώρου στο πλαίσιο της ψηφιακής διαμέρισης και της παραμετροποίησης των δεδομένων εμπεριέχει διαφοροποίηση χωρικής πληροφορίας που συσχετίζεται με φυσικά και άλλα μεγέθη. Επομένως, η ψηφιακή διαμέριση σε Climatic Modeling Grid της NASA εμπεριέχει θεματικό πληροφοριακό περιεχόμενο που συσχετίζεται με τη χωροχρονική μεταβολή της βλάστησης και της θερμοκρασίας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί στη λήψη αποφάσεων.

Η τεχνική μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης με συνδυασμένη χρήση κυρίων συνιστωσών που περιγράφει ο Miliareisis (2009b, 2012a, 2013b) εφαρμόστηκε στα δεδομένα. Πιο συγκεκριμένα οι κύριες συνιστώσες δεν μεταβάλουν τις θέσεις του νέφους σημείων (φασματικός χώρος) αλλά επαναυπολογίζουν τις συντεταγμένες των σημείων ως προς ένα νέο σύστημα ορθογώνιων αξόνων (κύριες συνιστώσες) που είναι γραμμικός συνδυασμός των αρχικών αξόνων. Δηλαδή το νέφος σημείων προσεγγίζεται από μια υπερ-έλλειψη 12 διαστάσεων. Η έλλειψη καθορίζει σαν σημείο αρχής του συστήματος συντεταγμένων $(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ το σημείο που τέμνονται οι 12 ημιάξονες της έλλειψης (κύριες συνιστώσες). Κάθε ημιάξονας προσδιορίζεται στο χώρο από το αντίστοιχο ιδιοδιάλυμα, ενώ το ποσοστό της διασποράς κατά μήκος του κάθε ημιάξονα προσδιορίζεται από την αντίστοιχη ιδιοτιμή. Όταν μια ιδιοτιμή έχει πολύ μικρή τιμή τότε κατά μήκος της κύριας συνιστώσας (ημιάξονας της έλλειψης) όλο το νέφος σημείων προβάλλεται περίπου στην ίδια θέση.

Η υλοποίηση της μη επιβλεπόμενης ταξινόμησης σε ένα υποσύνολο από τις κύριες συνιστώσες που ερμηνεύει πάνω από το 97% της διασποράς έχει σαν αποτέλεσμα τα χωρικά υποσύνολα των τάξεων να είναι πιο ομοιογενή, αφού φιλτράρεται με μία τεχνική που προσμοιάζει τα φίλτρα πλειοψηφίας ο σημειακός θόρυβος που υπάρχει στα δεδομένα. Κατά αυτό τον τρόπο οι τάξεις που προκύπτουν είναι περισσότερο χωρικά ομοιογενείς ενώ επειδή τα κέντρα βάρους των τάξεων προσδιορίστηκαν από τα αρχικά δεδομένα έχουμε εποχικές καμπύλες που αντιστοιχούν στις αρχικές τιμές θερμοκρασίας και βλάστησης για κάθε τάξη. Ο σημειακός θόρυβος που εμπεριέχεται στο χωρικό υποσύνολο που αντιστοιχεί σε κάθε τάξη εξομαλύνεται εξ ορισμού στην αναπαράσταση του κέντρου βάρους της αφού λαμβάνεται υπόψη η μέση τιμή της κάθε τάξης.

Αναφορικά με τη διαδικασία προσδιορισμού των τάξεων στην μη επιβλεπόμενη ταξινόμηση γίνεται εκ των προτέρων και αξιολογείται εκ των υστέρων μέσα από μία διαδικασία που είναι πειραματική (trial and error). Η αξιολόγηση του διαχωρισμού των τάξεων γίνεται με υπολογισμό της μέσης απόστασης που απέχουν τα κέντρα βάρους. Αν τα κέντρα βάρους είναι πολύ κοντά μεταξύ τους τότε έχει επέλθει μικρή γενίκευση, ενώ αν είναι πολύ μακριά τότε έχει επέλθει μεγάλη γενίκευση. Η ζητούμενη γενίκευση καθορίζεται πάντα από το χρήστη σύμφωνα με τις ανάγκες που προσδιορίζει η εφαρμογή και η μελέτη (Miliareisis 2009b, 2012a, 2013b, 2014a). Στη συγκεκριμένη εφαρμογή επιλέχθηκαν οχτώ τάξεις που προέκυψαν σαν συνάρτηση του διαχωρισμού των κέντρων βάρους και του αριθμού των εικονοστοιχείων της περιοχής μελέτης (495).

Η φωτοερμηνεία των μέσων μηνιαίων εκτιμήσεων σε απεικόνιση του γκριζου οδήγησαν στην εξαγωγή σημαντικών πληροφοριών για το σύνολο των βιοφυσικών δεικτών που χρησιμοποιήθηκαν. Συγκεκριμένα, το δασικό οικοσύστημα της περιοχής Τροόδους για παράδειγμα, σύμφωνα με τις εικόνες του EVI που παρουσιάζουν θετική ανωμαλία κατά την καλοκαιρινή περίοδο, συμβάλει στην αύξηση της πυκνότητας της βλάστησης κατά τους καλοκαιρινούς μήνες καθώς και στη διατήρηση χαμηλών θερμοκρασιών ημέρας και νύχτας παρά την ύπαρξη υψηλών θερμοκρασιών. Ενώ στην περιοχή της Μεσαορίας, όπου οι γεωργικές δραστηριότητες περιορίζονται εκεί όπου υπάρχει άρδευση, η πυκνότητα της βλάστησης ελαχιστοποιείται κατά τους μήνες του καλοκαιριού και παρατηρούνται υψηλές τιμές Θ. ημέρας και χαμηλές τιμές Θ. νύχτας. Όσον αφορά τις ημερήσιες διακυμάνσεις Θ., κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού, η περιοχή του Τροόδους εμφανίζει μέχρι και 10°C χαμηλότερες τιμές εύρους σε σύγκριση με την περιοχή της Μεσαορίας.

Επιπλέον, μέσα από τον υπολογισμό των πινάκων συντελεστών συσχέτισης ποσοτικοποιήθηκαν οι δύο κύριες αλλαγές των εποχών (θερμή→ψυχρή περίοδο και αντιστρόφως) για κάθε δείκτη. Παράδειγμα, με βάση τον πίνακα συσχέτισης EVI (μεγάλη συσχέτιση του Δεκέμβρη με το Νοέμβρη και μικρή με τον Ιανουάριο) η εναλλαγή θερμής σε ψυχρή περίοδο ως προ τη πυκνότητα βλάστησης γίνεται τέλος Δεκέμβρη με αρχές Ιανουαρίου. Για τους ίδιους λόγους η εναλλαγή ψυχρής σε θερμή περίοδο γίνεται τέλος Απριλίου με αρχές Μαΐου.

Τέλος, σημαντικά αποτελέσματα προκύψαν από την σύγκριση της χωρικής κατανομής των τάξεων και την σύγκριση των ζωνών με δεδομένα καλύψεων/χρήσεων γης, ισοϋψών καμπυλών, δεδομένα αστικού και οδικού δικτύου σε συστήματα γεωγραφικών πληροφοριών που χρησιμοποιήθηκαν για την ερμηνεία των μεταβολών με βάση το φυσικό περιβάλλον και τις ανθρωπογενείς δραστηριότητες. Σημαντικότερη εκ των οποίων ο εντοπισμός περιοχών του ευρύτερου αστικού συγκροτήματος της Λευκωσίας που παρουσιάζουν φαινόμενο αστικής θερμονησίδας, με την ημερήσια διακύμανση Θ., να είναι μέχρι και 6°C χαμηλότερη κατά τους μήνες του καλοκαιριού.

Αναφορικά με τις εφαρμογές της βιοφυσικής χαρτογράφησης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής, αυτή θα μπορούσε να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τον καλύτερο προγραμματισμό των καλλιεργειών με σκοπό την αύξηση της παραγωγικότητας αυτών. Οι υψηλές θερμοκρασίες νύχτας, σύμφωνα με τη βιβλιογραφική ανασκόπηση, προκαλούν μείωση του μηχανισμού φωτοσύνθεσης με αποτέλεσμα να οδηγούν στη μείωση της παραγωγικότητας των καλλιεργειών (Turnbull, Murthy & Griffin, 2002). Ενώ περιοχές μεγάλου εύρους διακύμανσης Θ. παρουσιάζουν μέγιστη φωτοσύνθεση (Mohammed and Tarpley, 2009). Η κατάτμηση επομένως της Κύπρου σε ζώνες ανάλογα με τις θερμοκρασίες

και η παρακολούθηση των χωροχρονικών καμπυλών τους θα συμβάλει στον εντοπισμό περιοχών οι οποίες είναι περισσότερο ή λιγότερο επιδεκτικές για καλλιέργεια και θα δώσει τη δυνατότητα για πιο στοχευμένη επιλογή ειδών καλλιεργειών, ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν σε κάθε περιοχή.

Επιπρόσθετα μπορεί να χρησιμοποιηθεί και ως εργαλείο στον αστικό και περιβαλλοντικό σχεδιασμό. Για παράδειγμα, ο εντοπισμός περιοχών που εμφανίζουν το φαινόμενο αστικής θερμονησίδας μπορεί να καθορίσει και τον καλύτερο χωροταξικό σχεδιασμό των πόλεων, αφού με λήψη μέτρων όπως η δημιουργία αστικού πρασίνου, ο χαμηλότερος επιτρεπτός συντελεστής δόμησης ή η χρήση κατάλληλων υλικών δόμησης στις εν λόγω περιοχές, θα οδηγήσει σε άμβλυνση του εν λόγω φαινομένου και κατ' επέκταση βελτίωση της ποιότητας ζωής των κατοίκων. Μπορεί ακόμα να αποτελέσει εργαλείο για την προώθηση ήπιων και εναλλακτικών μορφών τουρισμού μέσα από την ορθή χωροθέτηση τουριστικών εγκαταστάσεων, συμβάλλοντας στη μείωση της επιβάρυνσης της θερμικής άνεσης των τουριστών και στον περιορισμό του αποτυπώματος του άνθρακα.

Τέλος, ο εντοπισμός περιοχών αυξημένης επικινδυνότητας για εκδήλωση πυρκαγιών, ανάπτυξης ασθενειών, που αντίστοιχα θα οδηγούσε στη λήψη των ενδεικνυόμενων προληπτικών μέτρων, θα μπορούσε να αποτελέσει μία ακόμα εφαρμογή της βιοφυσικής χαρτογράφησης μέσα από τη παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή.

Τα αποτελέσματα επομένως της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής μπορούν να διαχυθούν στους κρατικούς και ιδιωτικούς φορείς της Κύπρου (Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Ινστιτούτο Γεωργικών Ερευνών, Κέντρο Πληροφορικής Φυσικών Πόρων και Τηλεπισκόπησης, Μετεωρολογική Υπηρεσία, Τμήμα Πολεοδομίας και Οικήσεως του Υπουργείου Εσωτερικών, Κυπριακή Κοινότητα Τηλεπισκόπησης κ.α.), ούτως ώστε να ληφθούν υπόψη για τη χωροθέτηση – εγκατάσταση χρήσεων και δραστηριοτήτων (καλλιέργειες, επέκταση σχεδίων πόλεων, χωροθέτηση τουριστικών εγκαταστάσεων κ.α.) που θα οδηγήσουν στον καλύτερο περιβαλλοντικό χωροταξικό σχεδιασμό, τον σχεδιασμό προγραμμάτων αποκατάστασης και στρατηγικών έγκαιρης πρόληψης, συμβάλλοντας παράλληλα και στη βελτίωση των βιοφυσικών υπογραφών.

Ολοκληρώνοντας, εισηγήσεις αναφορικά με τη βελτίωση της ανάλυσης της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής θα μπορούσαν να αποτελέσουν η χρήση δεδομένων υψηλής χωρικής διακριτικής ικανότητας, η αύξηση του εύρους της χρονικής περιόδου μελέτης π.χ. 5 έτη και η θεώρηση μικρότερου μέσου χρονικού διαστήματος (ημερήσιες, εβδομαδιαίες μετρήσεις). Τέλος από πλευράς βελτίωσης της έρευνας η διεξαγωγή της ανάλυσης λαμβάνοντας υπόψη ταυτόχρονα την αλληλεπίδραση και των 5 παραμέτρων (δείκτες βλάστησης, θερμοκρασίες) και την ταυτόχρονη κατάτμηση σε ζώνες που να παρουσιάζουν κοινή βιοφυσική υπογραφή ως προς τους 5 δείκτες θα μπορούσε να αποτελέσει μια ακόμα εισήγηση.

6. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Aguiar R., Oliveira M., & Goncalves H. (2002). Climate change impacts on the thermal performance of Portuguese buildings. Results of the SIAM study. *Building Service Engineers Research and Technology*, 23(4), 223–231.
- Alexakis D.D., Agapiou A., Tzouvaras M., Themistocleous K., Neocleous K., Michaelides, S., & Hadjimitsis, D. G. (2014). Integrated use of GIS and remote sensing for monitoring landslides in transportation pavements: the case study of Paphos area in Cyprus. *Natural Hazards*, 72(1), 119-141.
- Alexakis D.D., Hadjimitsis D.G. & Agapiou A. (2013). Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of “Yialias” in Cyprus. *Atmospheric Research*, 131, 108-124.
- Alward R.D., Detling J. K., & Milchunas D. G. (1999). Grassland vegetation changes and nocturnal global warming. *Science*, 283(5399), 229-231.
- Astel A., Tsakovski S., Barbieri P., & Simeonov V. (2007). Comparison of self-organizing maps classification approach with cluster and principal components analysis for large environmental data sets. *Water Research*, 41(19), 4566-4578.
- AQUA. (2013). Aqua Project Science. National Aeronautics and Space Administration, NASA . <http://aqua.nasa.gov/about/instruments.php> (πρόσβαση 7/10/2013).
- Bannari A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices. *Remote sensing reviews*, 13(1-2), 95-120.
- Beeri O., Phillips R., Hendrickson J., Frank A. B., & Kronberg S. (2007). Estimating forage quantity and quality using aerial hyperspectral imagery for northern mixed-grass prairie. *Remote sensing of environment*, 110(2), 216-225.
- Benz U. C., Hofmann P., Willhauck G., Lingenfelder I., & Heynen M. (2004). Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. *ISPRS Journal of photogrammetry and remote sensing*, 58(3), 239-258.
- Blackett M., Wooster M. J., & Malamud B. (2011). Exploring claims of land surface temperature precursors to the 2001 Gujarat earthquake. *Geophysical Research Letters*, 38 (L15303), 7. doi:10.1029/2011GL048282.
- Boyd DS. (2009). Remote sensing in physical geography: a twenty-first century perspective *Progress in Physical Geography*, 33, 451–456.
- Campbell J. (1997). Land use & land cover inventory. In: *Manual of Photographic Interpretation*, by Warren, R. (Ed). American Society of Photogrammetry, Washington D.C., pp.335-364.
- Chang J., Hansen M.C., Pittman K., Carroll M., DiMiceli C. (2007). Corn and soybean mapping in the United States using MODIS time-series data sets. *Agronomy Journal*, 99(6), 1654–1664.

Cheval S., & Dumitrescu A. (2009). The July urban heat island of Bucharest as derived from modis images. *Theoretical and Applied Climatology*, 96(1-2), 145-153.

Cihlar J. (2000). Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities. *International Journal of Remote Sensing*, 21(6-7), 1093-1114.

CLC (2006). Raster data on land cover for the CLC2006 inventory, 100m, version 13 (02/2010). European Environment Agency (©EEA, Copenhagen). URL: <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster> (πρόσβαση 20/2/2014).

Coolbaugh M. F., Kratt, C., Fallacaro A., Calvin W. M., & Taranik J. V. (2007). Detection of geothermal anomalies using Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) thermal infrared images at Brady's Hot Springs, Nevada, USA. *Remote Sensing of Environment*, 106, 350–359.

Du Q. & Fowler J.E. (2007). Hyperspectral image compression using JPEG2000 and principal component analysis. *Geoscience and Remote Sensing Letters, IEEE*, 4(2), 201-205.

EEA, European Environment Agency. (2007). EEA Technical report No 17/2007. CLC2006 technical guidelines. http://www.eea.europa.eu/publications/technical_report_2007_17 (πρόσβαση 19/02/2014).

Eklundh L., & Singh A. (1993). A comparative analysis of standardised and unstandardised principal components analysis in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 14(7), 1359-1370.

EPA. (2014). Corine Land Cover. European Protection Agency. <http://www.epa.ie/soilandbiodiversity/soils/land/corine/#.U1Un01d1AsB> (πρόσβαση 19/02/2014).

Farr TG., & Kobrick M. (2000). Shuttle Radar Topography Mission produces a wealth of data. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, 81(48), 583-585.

Fresco L.O., Stroosnijder L., Bouma J., & Keulen H. V. (1994). *The future of the land: mobilising and integrating knowledge for land use options*. Chichester (UK), John Wiley and Sons, 1994.

Gartland L. (2010). *Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas*. Routledge. http://scholar.google.gr/scholar?q=Heat+islands%3A+understanding+and+mitigating+heat+in+urban+areas&btnG=&hl=el&as_sdt=0%2C5 (πρόσβαση 19/03/2014) .

Geist H. J., & Lambin E. F. (2002). Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience*, 52(2), 143-150.

Giannakopoulos C., Hadjinicolaou P., Kostopoulou E., Varotsos K.V., Zerefos C. (2010). Precipitation and temperature regime over Cyprus as a result of global climate. *Advances in Geosciences*, 23, 17–24.

Glenn E.P., Huete A. R., Nagler P. L., & Nelson S. G. (2008). Relationship between remotely-sensed vegetation indices, canopy attributes and plant physiological processes: what vegetation indices can and cannot tell us about the landscape. *Sensors*, 8(4), 2136-2160.

Guhathakurta S., & Gober P. (2007). The impact of the Phoenix urban heat island on residential water use. *Journal of the American Planning Association*, 73(3), 317-329.

Gupta R. P. (2003). *Remote sensing geology*. Springer.

http://www.google.com.cy/books?hl=el&lr=&id=74T8X1zqgF4C&oi=fnd&pg=PA1&dq=atmospheric+windws+in+remote+sensing+principles&ots=npU4bW6wHw&sig=XTnUOqyFLnVbous1TWfaDcOPL7U&redir_esc=y#v=onepage&q=atmospheric%20windws%20in%20remote%20sensing%20principles&f=false (πρόσβαση 20/01/2014).

Hadjimitsis D. G., Agapiou A., & Papachristodoulou A. (2013). MODIS Data for Monitoring RedScale (*Aonidiellaaurantii*) Population: The Development of a Regression Model Using Temperature Measurements from Satellite and Meteorological Stations. In *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics* (pp. 117-122). Springer Berlin Heidelberg.

Hadjimitsis, D., Mitraka, Z., Gazani, I., Retalis, A., Chrysoulakis, N., & Michaelides, S. (2011). Estimation of spatio-temporal distribution of precipitable water using MODIS and AVHRR data: a case study for Cyprus. *Advances in Geosciences*, 30(30), 23-29.

Hadjimitsis D. G., Nisantzi A., Themistocleous K., Matsas A., & Trigkas V. (2010a). Satellite remote sensing, GIS and sun-photometers for monitoring PM10 in Cyprus: issues on public health. In *Remote Sensing* (pp. 78262C-78262C). International Society for Optics and Photonics.

Hadjimitsis D. G., Clayton C. R. I., & Toullos L. (2010b). A new method for assessing the trophic state of large dams in Cyprus using satellite remotely sensed data. *Water and Environment Journal*, 24(3), 200-207.

Hartemink N., Vanwambeke S. O., Heesterbeek H., Rogers D., Morley D., Pesson B., ...& Ready P. (2011). Integrated mapping of establishment risk for emerging vector-borne infections: a case study of canine leishmaniasis in southwest France. *PloS one*, 6(8), e2081.

Hill D.J. (2013). An assessment of spatial models for daily minimum and maximum air temperature. *GIScience & Remote Sensing*, 50:281–300.

Hillger D. W. & Clark, J. D. (2002). Principal component image analysis of MODIS for volcanic ash. Part I: Most important bands and implications for future GOES Imagers. *Journal of Applied Meteorology*, 41(10).

Hertel T. W., Burke M. B., & Lobell D. B. (2010). The poverty implications of climate-induced crop yield changes by 2030. *Global Environmental Change*, 20(4), 577-585.

Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L.G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83,195–213.

Hughes M., Hall A., and Fovell R. (2007). Dynamical controls on the diurnal cycle of temperature in complex topography. *Climate Dynamics*, 29:277-292.

- Iacovides, I. (2011). Water resources in cyprus: endowments and water management practices. In *Water Resources Allocation* (pp. 11-21). Springer Netherlands.
- IDRISI. (2012). IDRISI Selva Version 17. Geospatial software for monitoring and modeling the Earth system. Clark Labs, Clark University. <http://www.clarklabs.org/> (πρόσβαση 10/01/2014).
- ILWIS. (2014). ILWIS version 3.8 OPEN. <http://52north.org/communities/ilwis/ilwis-open> (πρόσβαση 10/01/2014).
- Imhoff M. L., Zhang P., Wolfe R. E., & Bounoua L. (2010). Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. *Remote Sensing of Environment*, 114(3), 504-513.
- Jacob F., Olioso A., Gu X., Su Z., & Seguin B. (2002). Mapping surface fluxes using visible, near infrared, thermal infrared remote sensing data with a spatialized surface energy balance model. *Agronomie: Agriculture and Environment*, 22, 669–680.
- Jiang J., Tian G. (2010). Analysis of the impact of Land use/Land cover change on Land Surface Temperature with Remote Sensing. *Procedia Environmental Sciences*, 2, 571-575.
- Jones H.G. and Vaughan R. A. (2010). *Remote Sensing of Vegetation*. Chapter 6 Preparation and Manipulation of Optical Data.
- King R.B. (2002). Land cover mapping principles: a return to interpretation fundamentals. *International Journal of Remote Sensing*, 23(18), 3525-3545.
- Kloiber S.M., Brezonik P.L. & Bauer M.E. (2002). Application of Landsat imagery to regional-scale assessments of lake clarity. *Water Research*, 36(17), 4330-4340.
- Lagios E., Vassilopoulou S., Sakkas V., Dietrich V., Damiata B.N., Ganas A. (2007). Testing satellite and ground thermal imaging of low-temperature fumarolic fields: The dormant Nisyros Volcano (Greece). *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 62 (6), 447-460.
- Lambin E.F., Geist H., & Rindfuss R. R. (2006). Introduction: local processes with global impacts. In *Land-use and land-cover change* (pp. 1-8). Springer Berlin Heidelberg.
- Lee T.M., & Yeh H. C. (2009). Applying remote sensing techniques to monitor shifting wetland vegetation: A case study of Danshui River estuary mangrove communities, Taiwan. *Ecological Engineering*, 35(4), 487-496.
- Li Z., & Fox J. M. (2012). Mapping rubber tree growth in mainland Southeast Asia using time-series MODIS 250 m NDVI and statistical data. *Applied Geography*, 32(2), 420-432.
- Li Z., Zhu C., & Gold C. (2010). *Digital terrain modeling: principles and methodology*. CRC press.
- Li Y., Zhang H., Kainz W. (2012). Monitoring patterns of urban heat islands of the fast-growing Shanghai metropolis, China: Using time-series of Landsat TM/ETM+ data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 19, 127-138.

- Li Z-L, Wu H., Wang N., Qiu S., Sobrino J.A. , Wan Z., Tang B-H., Yan G. (2013). Land surface emissivity retrieval from satellite data. *International Journal of Remote Sensing*, 34 (9-10), 3084-3127.
- Lillesand T., Kiefer R. and Chipman J. (2008). *Remote sensing and image interpretation*, 6th Edition. John Wiley & Sons, New York, 768 .
- Lo C.P., 1998. Applications of Imaging Radar to landuse and landcover mapping. In: *Principles & Applications of Imaging Radar* by Henderson F. & Lewis, A., (Eds). John Wiley & Sons, New York, pp. 705-732.
- Lobell, D. B., &Asner, G. P. (2004). Cropland distributions from temporal unmixing of MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, 93(3), 412-422.
- Loveland T.R., Dwyer J.L. (2012): Landsat: Building a strong future. *Remote Sensing of Environment*, 122, 22-29.
- Lu A., Pang D., Ge J., He Y., Pang H. & Yuan L.(2006). Effect of landform on seasonal temperature structures across China in the past 52 years. *Journal of Mountain Science*, 3:158-167.
- Lunetta R. S., Shao Y., Ediriwickrema J., & Lyon J. G. (2010). Monitoring agricultural cropping patterns across the Laurentian Great Lakes Basin using MODIS-NDVI data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 12(2), 81-88.
- Maaten, L., & Hinton, G. (2008). Visualizing Data using t-SNE. *Journal of Machine Learning Research*, 9(11), 2579-2605.
- Maguire D. J., Goodchild M., & Rhinds D. (1991). An overview and definition of GIS. *Geographical Information Systems: Principals and Applications*, 9-20.
- Mather P. (2004). *Computer processing of Remotely-sensed images* (3rd edition). John Wiley and Sons.
- Maune DF., Maitra JB. & McKay EJ. (2007). Accuracy standards, digital elevation model technologies and applications: the DEM users manual (D. Maune, editor), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda, Maryland, pp. 61-82.
- Michaelides S.C., Tymvios F.S, Michaelidou T. (2009). Spatial and temporal characteristics of the annual rainfall frequency distribution in Cyprus *Atmospheric Research* 94, 606–615.
- Miliareisis G., (2014a). Spatiotemporal patterns of land surface temperature of Antarctica from MODIS Monthly LST data (MYD11C3). *Journal of Spatial Sciences*, 59(1) 157-166 : DOI: 10.1080/14498596.2013.857382.
- Miliareisis G., (2014b). Daily Temperature Oscillation Enhancement of Multi-temporal LST Imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 89.
- Miliareisis G., (2013a). Thermal anomaly mapping from night MODIS imagery of USA, a tool for environmental assessment. *Environmental Monitoring & Assessment* 185(2):1601-1612.

- Miliaresis G., (2013b). Terrain analysis for active tectonic zone characterization, a new application for MODIS night LST (MYD11C3) dataset. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(7):1417-1432.
- Miliaresis, G. (2012a). Elevation, latitude/longitude decorrelation stretch of multi-temporal LST imagery. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 87:151-160.
- Miliaresis, G. (2012b). Elevation, latitude/longitude decorrelation stretch of multi-temporal near-diurnal LST imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 33(19): 6020-6034.
- Miliaresis, G. (2012c). Selective variance reduction of multi-temporal LST imagery in the East Africa Rift System. *Earth Science Informatics* 5(1):1-12.
- Miliaresis G., Tsatsaris A. (2011). Mapping the spatial and temporal pattern of day-night temperature difference in Greece from MODIS imagery. *GIScience & Remote Sensing*, 48(2):210-224. doi: 10.2747/1548-1603.48.2.210.
- Miliaresis G., Tsatsaris A. (2010). Thermal terrain modeling of spatial objects, a tool for environmental and climatic change assessment. *Environmental Monitoring & Assessment*, 164(1-4):561-572.
- Miliaresis G., (2009a). The terrain signatures of administrative units: a tool for environmental assessment. *Environmental monitoring and assessment*, 150(1-4), 385-396.
- Miliaresis G., (2009b). Regional thermal and terrain modeling of the Afar Depression from multi-temporal night LST data. *International Journal of Remote Sensing*, 30(9):2429–2446.
- Miliaresis G. (2007). “An upland object based modelling of the vertical accuracy of the SRTM-1 elevation dataset.” *Journal of Spatial Science*, 52 (1), 13-28.
- Miliaresis GC & Paraschou CVE. (2005). “Vertical accuracy of the SRTM DTED level 1 of Crete.” *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 7(1),49-59.
- MODIS Web. (2013). National Aeronautics and Space Administration, NASA. <http://modis.gsfc.nasa.gov> (πρόσβαση 14/9/2013).
- Mohammed A.R. & Tarpley L. (2009). High night time temperatures affect rice productivity through altered pollen germination and spikelet fertility. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149:999-1008.
- Moore I. D., Grayson R. B.& Ladson, A. R. (1991). Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications. *Hydrological processes*, 5(1), 3-30.
- Nagendra H., Munroe D. K. & Southworth J. (2004). From pattern to process: landscape fragmentation and the analysis of land use/land cover change. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2), 111-115.
- Neteler M. (2005). Time series processing of MODIS satellite data for landscape epidemiological applications. *International Journal of Geoinformatics*, 1(1), 133-138.
- Neteler M. (2010). Estimating daily land surface temperatures in mountainous environments by reconstructed MODIS LST data. *Remote sensing*, 2(1), 333-351.

- Nikolakopoulos K. G., Kamaratakis E. K., & Chrysoulakis N. (2006). SRTM vs ASTER elevation products. Comparison for two regions in Crete, Greece. *International Journal of Remote Sensing*, 27(21).
- Nisantzi A., Hadjimitsis D. G., Akylas E., Agapiou A., Panayiotou M., Michaelides S. & Achilleos S. (2013). Study of Air Pollution with the Use of MODIS Data, LIDAR and Sun Photometers in Cyprus. In *Advances in Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics* (pp. 1133-1139). Springer Berlin Heidelberg.
- Oke T. R. (1995). The heat island of the urban boundary layer: characteristics, causes and effects. In *Wind climate in cities* (pp. 81-107). Springer Netherlands.
- Panda S.K., Choudhury S., Saraf A.K., & Das, J. D. (2007). MODIS land surface temperature data detects thermal anomaly preceding 8 October 2005 Kashmir earthquake. *International Journal of Remote Sensing*, 28(20), 4587-4596.
- Papadavid, G., Hadjimitsis, D., Michaelides, S., & Nisantzi, A. (2011). Crop evapotranspiration estimation using remote sensing and the existing network of meteorological stations in Cyprus. *Advances in Geosciences*, 30, 39-44.
- Papadavid G., Hadjimitsis D.G., Toullos L., & Michaelides S. (2013). A Modified SEBAL Modeling Approach for Estimating Crop Evapotranspiration in Semi-arid Conditions. *Water Resources Management*, 27(9), 3493-3506.
- Papadavid G. & Hadjimitsis D. (2012). Adaptation of SEBAL for estimating groundnuts evapotranspiration, in Cyprus. *South-Eastern European Journal of Earth Observation and Geomatics*, 1(2), 59-70.
- Papoutsas C. & Hadjimitsis D.G. (2012). Field spectroscopy measurements over Asprokremmos Dam in Cyprus intended for water quality monitoring. *Key Engineering Materials*, 500, 813-819.
- Patel N. R., Parida B.R., Venus V., Saha S. K. & Dadhwal V. K. (2012). Analysis of agricultural drought using vegetation temperature condition index (VTCI) from Terra/MODIS satellite data. *Environmental Monitoring and Assessment* 184:7153–7163.
- Paul F. & Andreassen LM. (2009). A new glacier inventory for the Svartisen region, Norway, from Landsat ETM+ data: challenges and change assessment. *Journal of Glaciology*, 55(192), 607-618.
- Pieri D. & Abrams M. (2005). ASTER observations of thermal anomalies preceding the April 2003 eruption of Chikurachki volcano, Kurile Islands, Russia. *Remote Sensing of Environment*, 99, 84-94.
- Pettorelli N., Vik, J. O., Mysterud A., Gaillard J. M., Tucker C. J., & Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in ecology & evolution*, 20(9), 503-510.
- Pohl, C., & Van Genderen, J. L. (1998). Review article multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. *International Journal of Remote Sensing*, 19(5), 823-854.

Qiming Z. H. O. U., Lees B. G. & Guo-an, T. A. N. G. (2008). Advances in digital terrain analysis: the TADTM initiative. In *Advances in digital terrain analysis* (pp. 3-10). Springer Berlin Heidelberg.

Qin Q., Zhang N., Nan P., Chai L. (2011). Geothermal area detection using Landsat ETM+ thermal infrared data and its mechanistic analysis— A case study in Tengchong, China. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13 (4), 552-559.

QGIS. (2014). Quantum GIS version 2.2. A Free and Open Source Geographic Information System. <http://www.qgis.org/en/site/> (πρόσβαση 16/2/2014).

Ramachandr, T. V., & Kumar U. (2009). Land Surface Temperature with Land Cover Dynamics: Multi-Resolution, Spatio-Temporal Data Analysis of Greater Bangalore, India. *International Journal of Geoinformatics*, 5(3).

Rees W.G. (2013). *Physical Principles of Remote Sensing*. (3rd edition). Cambridge University Press http://www.google.com.cy/books?hl=el&lr=&id=rAAEAqnzWtsC&oi=fnd&pg=PR1&dq=remote+sensing+principals&ots=hqDy9__VM0&sig=ydZphQ5tCeXc1DAXxWd9pZU10GI&redir_esc=y#v=onepage&q=remote%20sensing%20principals&f=false. (πρόσβαση 14/10/2013)

Retalis A., Hadjimitsis D. G., Michaelides S., Tymvios F., Chrysoulakis N., Clayton C. R., & Themistocleous K. (2010). Comparison of aerosol optical thickness with in situ visibility data over Cyprus. *Natural Hazards & Earth System Sciences*, 10(3), 421-428.

Retalis A., & Michaelides S. C. (2009). Synergetic use of TERRA/MODIS imagery and meteorological data for studying aerosol dust events in Cyprus. *International Journal of Environment and Pollution*, 36(1), 139-150.

Rizwan A. M., Dennis L. Y. & Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1), 120-128.

Roiz D., Neteler M., Castellani C., Arnoldi D., & Rizzoli A. (2011). Climatic factors driving invasion of the tiger mosquito (*Aedes albopictus*) into new areas of Trentino, northern Italy. *PLoS One*, 6(4), e14800.

RSCY. (2014). Second International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment. 7-10 April, 2014. <http://www.cyprusremotesensing.com/rscy2014> (πρόσβαση 12/04/2014).

Sakamoto T., Shibayama M., Takada E., Inoue A., Morita K., Takahashi W., Miura S. & A. Kimura. (2010). Detecting Seasonal changes in crop community structure using day and night digital images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76:713-726.

Setiawan Y., Yoshino K., & Prasetyo L. B. (2014). Characterizing the dynamics change of vegetation cover on tropical forestlands using 250m multi-temporal MODIS EVI. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 26, 132-144.

Shao Y., Lunetta R. S., Ediriwickrema J., & Liames J. (2010). Mapping cropland and major crop types across the Great Lakes Basin using MODIS-NDVI data. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 76(1), 73-84.

- Siljestrom P. A., Moreno A., Vikgren K., & Caceres L. M. (1997). Technical note. The application of selective principal components analysis (SPCA) to a Thematic Mapper (TM) image for the recognition of geomorphologic features configuration. *International Journal of Remote Sensing*, 18(18), 3843-3852.
- Skarlatos D., Miliareisis G. & Georgiou A. (2013). Investigation of Cyprus thermal tenancy using nine year MODIS LST data and Fourier analysis. In *First International Conference on Remote Sensing and Geoinformation of Environment* (pp. 87951R-87951R). International Society for Optics and Photonics.
- Streutker D. (2002). A remote-sensing study of the urban heat island of Houston, Texas. *International Journal of RemoteSensing*, 23, 2595–2608.
- Streutker D. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *RemoteSensing of Environment*, 85, 282–289.
- Tang Z. & J. Fang. (2006). Temperature variation along the northern and southern slopes of Mt. Taibai, China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 139, 200-207.
- TERRA. (2013). Terra the EOS Flagship. National Aeronautics and Space Administration, NASA. <http://terra.nasa.gov/index.php?section=31> (πρόσβαση 7/10/2013).
- Themistocleous K., Nisantzi A., Agapiou A., Alexakis D. D., Hadjimitsis D. G., Lysandrou V., ...& Chrysoulakis N. (2012). Long term monitoring of air pollution on monuments and cultural heritage sites in Cyprus using satellite remote sensing. *International Journal of Heritage in the Digital Era*, 1(1), 145-168.
- Themistocleous K., Nisantzi A., Hadjimitsis D., Retalis A., Paronis D., Michaelides S., ...& Perdikou S. (2010). Monitoring air pollution in the vicinity of cultural heritage sites in Cyprus using remote sensing techniques. In *Digital Heritage* (pp. 536-547). Springer Berlin Heidelberg.
- Thenkabail BPS., Knox J. W., Ozdogan M., Gumma M. K., Congalton R. G., Zhuoting W., ...& Nagler P. (2012). Assessing Future Risks to Agricultural Productivity: Water Resources and Food Security: How Can Remote Sensing Help? *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 78(8), 773-782.
- Tian F, Wang Y, Fensholt R, Wang K, Zhang L, Huang Y. (2013). Mapping and Evaluation of NDVI Trends from Synthetic Time Series Obtained by Blending Landsat and MODIS Data around a Coalfield on the Loess Plateau. *Remote Sensing*, 5(9), 4255-4279.
- Tomlinson C. J., Chapman L., Thornes J. E. & Baker C. J. (2012). Derivation of Birmingham's summer surface urban heat island from MODIS satellite images. *International Journal of Climatology*, 32(2), 214-224.
- Tsatsaris A., Iliopoulou P., Panagiotopoulou A., & Tselentis I. (2005). A geographical database for the control of Leishmaniasis: The case of greater Athens, Greece. In *10th international symposium on health information management research (ISHIMR2005)* (pp. 120-135).
- Tso B. R. A. N. D. T. & Olsen R. C. (2005). Combining spectral and spatial information into hidden Markov models for unsupervised image classification. *International Journal of RemoteSensing*, 26(10), 2113-2133.

- Tucker CJ, Grant DM & Dykstra JD. (2004). NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70 (3), 313-322.
- Turnbull M. H., Murthy R. & Griffin K. L. (2002). The relative impacts of daytime and night-time warming on photosynthetic capacity in *Populus deltoides*. *Plant, Cell & Environment*, 25(12), 1729-1737.
- Turner W., Spector S., Gardiner N., Fladeland M., Sterling E., Steininger M. (2003). Remote sensing for biodiversity science and conservation. *Trends in Ecology & Evolution*, 18 (6) 306-314.
- USEPA: United States Environmental Protection Agency. (2014). Heat Island Effect. <http://www.epa.gov/heatisland> (πρόσβαση 10/2/2014).
- USGS: US Geological Survey. (2014). SRTM DTED <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/cbanddataproducts.html> (πρόσβαση 5/10/2013).
- Verburg P. H., Van De Steeg J., Veldkamp A., & Willemsen L. (2009). From land cover change to land function dynamics: a major challenge to improve land characterization. *Journal of environmental management*, 90(3), 1327-1335.
- Vintrou E., Soumare M., Bernard S., Begue A., Baron C. & Lo Seen D. (2012). Mapping fragmented agricultural systems in the Sudano-Sahelian environments of Africa using random forest and ensemble metrics of coarse resolution MODIS imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 78(8), 839-848.
- Voogt J.A. & Oke, T.R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370–384.
- Voogt J.A. & Oke, T.R. (1997). Complete urban surface temperatures. *Journal of Applied Meteorology*, 36, 1117–1132.
- Wan Z., 2008. New refinements and validation of the MODIS land-surface temperature/emissivity products. *Remote Sensing of Environment*, 112, 59-74.
- Wardlow B.D. & Egber S.L. (2008). Large-area crop mapping using time-series MODIS 250 m NDVI data: an assessment for the U.S. Central Great Plains. *Remote Sensing of Environment*, 112(3), 1096–1116.
- Williams D. L, Goward S & Arvidson, T. (2006). Landsat: Yesterday, today, and tomorrow. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72(10), 1171–1178.
- Withers C.S., Krouse D.P., Pearson C.P. & Nadarajah S. (2009). Modeling temperature trends in New Zealand. *Environmental Modeling and Assessment*, 14:231-249.
- Xie Y., Sha Z., & Yu M. (2008). Remote sensing imagery in vegetation mapping: a review. *Journal of Plant Ecology*, 1(1), 9-23.
- Yang X. & Lo C.P. (2002). Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*, 23(9), 1775-1798.

Zhang X., Friedl M. A., Schaaf C. B., Strahler A. H., Hodges J. C., Gao F., ... & Huete A. (2003). Monitoring vegetation phenology using MODIS. *Remote sensing of environment*, 84(3), 471-475.

Zhang X., Sun R., Zhang B. & Tong, Q. (2008). Land cover classification of the North China Plain using MODIS_EVI time series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63(4), 476-484.

Zhao B., Yan Y., Guo H., He M., Gu Y. & Li B. (2009). Monitoring rapid vegetation succession in estuarine wetland using time series MODIS-based indicators: An application in the Yangtze River Delta area. *Ecological Indicators*, 9(2), 346-356.

Zoran M. (2012). MODIS and NOAA-AVHRR 1 and surface temperature data detect a thermal anomaly preceding the 11 March 2011 Tohoku earthquake. *International Journal of Remote Sensing*, 33(21), 6805-681.

Zouzias D., Miliareisis G., Seymour K.ST. (2011). Probable regional geothermal field reconnaissance in the Aegean Region from modern multi-temporal night LST imagery. *Environmental Earth Sciences*, 62(4):717-723.

Ελληνική βιβλιογραφία

Απογραφή Πληθυσμού 2011. Στατιστική Υπηρεσία Κύπρου. http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/populationcondition_22main_gr/populationcondition_22main_gr?OpenForm&sub=2&sel=2. (πρόσβαση 13/3/2014)

Αστάρας Θ. (2006). Τηλεπισκόπηση-Φωτοερμηνεία στις Γεωεπιστήμες (Διδακτικές Πανεπιστημιακές Σημειώσεις). Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης- Ηλεκτρονική Έκδοση <http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge770e/>. (πρόσβαση 18/1/2014).

Αστάρας Θ. (2008). Εικονικά Εργαστήρια: Εφαρμογές της Τηλεπισκόπησης στη Γεωλογία-Κεφάλαιο 4: Μέθοδοι Ψηφιακής Επεξεργασίας. Τμήμα Γεωλογίας. Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης- Ηλεκτρονική Έκδοση. http://www.geo.auth.gr/courses/gge/gge770e_lab/

Απογραφή Γεωργίας 2010. Γεωργικές Στατιστικές. Σειρά Ι. Αρ. Έκθεσης 8. Κυπριακή Δημοκρατία. [http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/All/6A1123AF9DC7C6E1C2257225003CBF28/\\$file/AGRICULTURE_CENSUS-2010-100314.pdf?OpenElement](http://www.mof.gov.cy/mof/cystat/statistics.nsf/All/6A1123AF9DC7C6E1C2257225003CBF28/$file/AGRICULTURE_CENSUS-2010-100314.pdf?OpenElement). (πρόσβαση 27/04/2014).

ΠΕ. (2011). Η συμβολή της δορυφορικής τηλεπισκόπησης στη διαχείριση του νερού άρδευσης. Ιστολόγιο Ινστιτούτου Γεωργικών Ερευνών. <http://blog.ari.gov.cy/?tag=%CE%B4%CE%BF%CF%81%CF%85%CF%86%CE%BF%CF%81%CE%B9%CE%BA%CE%AE-%CF%84%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CF%83%CE%BA%CF%8C%CF%80%CE%B7%CF%83%CE%B7#sthash.qCjaeAM3.dpuf>. (πρόσβαση 12/04/2014)

Λιαρικός, Κ., Μαραγκού, Π., & Παπαγιάννης Θ. (επιμ. έκδοσης). (2012). Η Ελλάδα τότε και τώρα: Διαχρονική Χαρτογράφηση των Καλύψεων Γης 1987- 2007. WWF Ελλάς, Αθήνα

http://www.wwf.gr/forests/pdfs/atlas/ATLAS_WWF_BOOK_11.2012_WEB%20%5BWRITE%5D.pdf. (πρόσβαση 27/11/2013).

Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου. (2013). Το κλίμα της Κύπρου. Τομέας κλιματολογίας και Εφαρμογές Μετεωρολογίας.

http://www.moa.gov.cy/moa/ms/ms.nsf/DMLcyclimate_gr/DMLcyclimate_gr?OpenDocument. (πρόσβαση 27/11/2013).

Μηλιαρέσης Γ. (2003). Φωτοερμηνεία Τηλεπισκόπηση. Εκδόσεις Ίων, σελ. 243.

Μηλιαρέσης Γ. (2006). Ειδικές Εφαρμογές στο ArcGIS. Εκδόσεις ΙΩΝ, σελ.248.

ΠΕΕ. (2011). Περιληπτική Ετήσια Έκθεση 2011. Μετεωρολογική Υπηρεσία Κύπρου. http://www.moa.gov.cy/moa/MS/MS.nsf/DMLannual_gr/DMLannual_gr?OpenDocument&highlight=%CE%B5%CF%84%CE%AE%CF%83%CE%B9%CE%B1. (πρόσβαση 27/11/2013).

Περί Κύπρου. (2009). Γραφείο Τύπου και Πληροφοριών Κυπριακή Δημοκρατία. Γ.Τ.Π 316/2009.

Τμήμα Δασών. (2010). Η πυροπροστασία των δασών της Κύπρου. Κυπριακή Δημοκρατία. Υπουργείο Γεωργίας, Φυσικών Πόρων και Περιβάλλοντος. Γ.Τ.Π 132/2010. <http://www.moa.gov.cy/moa/fd/fd.nsf/9977a096e421fe9fc2256f2c003876c4/90ec0f641b3bcd21c2257a29002a58a2?OpenDocument>. (πρόσβαση 21/03/2014).

Χατζιωάννου Λ. (2013). Αισθητή Θερμοκρασία και Καύσωνας. Κείμενα Κλιματολογίας, Μελετών και Εφαρμογών Κλιματολογίας.

http://www.moa.gov.cy/moa/MS/MS.nsf/DMLgen_climatology_gr/DMLgen_climatology_gr?OpenDocument (πρόσβαση 27/11/2013)

7. ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ

Ακρωνύμια και Συμβολισμοί

CLC (Corine Land Cover): Χάρτης καλύψεων γης Corine

Diurnal: Ημερήσια Διακύμανση Θερμοκρασίας

EVI (Enhanced Vegetation Index): Βελτιωμένος Δείκτης Βλάστησης

Θ. : Θερμοκρασία

LST (Land Surface Temperature): Θερμοκρασία ημέρας και νύχτας

LST day: Θερμοκρασία ημέρας

LST night: Θερμοκρασία νύχτας

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer): Δορυφορικός Αισθητήρας

NDVI (Normalized Difference Vegetation Index): Κανονικοποιημένος Δείκτης Βλάστησης

PCA (Principal Component Analysis): Ανάλυση Κυρίων Συνιστωσών

PCs (Principal Components): Κύριες Συνιστώσες

ΣΓΠ: Σύστημα Γεωγραφικών Πληροφοριών

ΨΥΜΕ: Ψηφιακά Υψομετρικά Μοντέλα Εδάφους