

ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ



Ανάλυση VHI για την εκτίμηση ελλειμάτων νερού στην Θεσσαλία

Παναγιώτης Ε. Παπαγεωργίου

Επιβλέπων καθηγητής: Περάκης Κωνσταντίνος
Καθηγητής Πανεπιστήμιου Θεσσαλίας

Βόλος, Σεπτέμβριος 2020

ΔΗΛΩΣΗ

Αυτή η διπλωματική εργασία υποβάλλεται από τον συγγραφέα της ως μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων του Προπτυχιακού Προγράμματος Σπουδών στο Τμήμα Μηχανικών Χωροταξίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης του Πανεπιστημίου Θεσσαλίας (Πολυτεχνική Σχολή). Υπεύθυνα δηλώνεται ότι, η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία έχει συγγραφεί από τον Υπογράφοντα και δεν έχει υποβληθεί ούτε έχει αξιολογηθεί στο πλαίσιο άλλου μεταπτυχιακού ή προπτυχιακού τίτλου σπουδών, στην Ελλάδα ή στο εξωτερικό.

Όνοματεπώνυμο: Παναγιώτης Ε. Παπαγεωργίου

Ο Υπογράφων:



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η γεωργία αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πρωτογενείς οικονομικές δραστηριότητες. Στην Ελλάδα πιο συγκεκριμένα ένα πολύ σημαντικό τμήμα του ΑΕΠ της χώρας προέρχεται από την παραγωγή των αγροτικών προϊόντων. Παρόλη την σημασία της γεωργίας για την οικονομική δυναμική της χώρας, η Ελλάδα φαίνεται να έχει μείνει αρκετά πίσω όσον αφορά τις μεθόδους γεωργίας ακριβείας.

Ο προσδιορισμός των κατάλληλων ζωνών για την ορθή και στοχευμένη μέθοδο καλλιέργειας αποτελεί βασική προϋπόθεση για την επιτυχία της γεωργίας . Η παρούσα Διπλωματική αναπτύσσει μια μεθοδολογία η οποία περιλαμβάνει την παρακολούθηση αλλά και την ανάλυση ενός συγκεκριμένου αγρομετεωρολογικού δείκτη βλάστησης, του VHI(Vegetation Health Index).

Ο παραπάνω δείκτης υπολογίζεται και εν συνεχεία, αναλύεται διαχρονικά από το έτος 2000 έως και ολόκληρο το έτος 2019. Η βάση δεδομένων που χρησιμοποιείται προέρχεται από το ραδιόμετρο MODIS και επεξεργάζεται σε συγκεκριμένα και ιδιαίτερα μεθοδευμένα στάδια από την πλατφόρμα GEE(Google earth Engine) με την Χρήση της προγραμματιστικής γλώσσας JavaScript. Ο δείκτης VHI δημιουργείται ανά μήνα και έχει σκοπό την εξαγωγή αποτελεσμάτων όσον αφορά τα αποθέματα νερού στην Θεσσαλία.

Ο δείκτης παρακολουθείται μηνιαία με την βοήθεια τόσο εικόνων όσο και διαγραμμάτων για την εποπτική διευκόλυνση του εκάστοτε αναγνώστη.

Λέξεις κλειδιά: Βλάστηση, MODIS, VHI (Vegetation Health Index), VCI (Vegetation Condition Index), TCI(Temperature Condition Index), NDVI(Normalized Difference Vegetation Index), Ξηρασία , Τηλεπισκόπηση , Θεσσαλία.

VHI analysis for the assessment of water deficits in Thessaly

ABSTRACT

Agriculture is one of the most important primary economic activities. In Greece, more specifically, a very important part of the country's GDP comes from the production of agricultural products. Despite the importance of agriculture for the country's economic dynamics, Greece seems to have lagged far behind in terms of precision farming methods. Determining the appropriate zones for the correct and targeted cultivation method is a key prerequisite for crop success. This Thesis has developed a methodology which includes the monitoring and analysis of a specific vegetation index, the VHI (Vegetation Health Index). The above index is calculated and then analyzed over time from the year 2000 to the entire year of 2019. The database used, comes from the MODIS radiometer and is processed in very specifically and mathematically accurate processed steps by the Google Earth Engine platform using the JavaScript programming language. The VHI index is created per month and aims to export results regarding water reserves in Thessaly. The index is monitored monthly with the help of both pictures and diagrams for the better aid of each individual reader.

Keywords: Vegetation, MODIS, VHI (Vegetation Health Index), VCI (Vegetation Condition Index), TCI (Temperature Condition Index), NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), Draught, Remote Sensing , Thessaly.

Περιεχόμενα

ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ABSTRACT.....	3
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ	5
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	6
ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ.....	7
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	9
1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	9
1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ.....	11
2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ	11
2.2 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΦΥΤΩΝ	12
2.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΝΕΡΟ	13
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	14
3.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ.....	14
3.2 ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ	16
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΕΙΚΤΗ VHI	18
4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ	18
4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ VHI.....	21
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ	24
<i>ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ</i>	24
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ	29
ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ	32
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	57

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Γράφημα 1.1 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2000-2002

Γράφημα 1.2 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2003-2005

Γράφημα 1.3: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2006-2008

Γράφημα 1.4: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2009-2011

Γράφημα 1.5: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2012-2014

Γράφημα 1.6 : Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2015-2017

Γράφημα 1.7 : Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2018-2019

Γράφημα 1.8: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2000-2005

Γράφημα 1.9: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2006-2010

Γράφημα 2.1: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2011-2015

Γράφημα 2.2: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2016-2019

Γράφημα 2.3: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2000-2019

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΕΙΚΟΝΩΝ

- Εικόνα Ε.1.1 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάρτιο του 2000
Εικόνα Ε.1.2 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάη του 2000
Εικόνα Ε.1.3 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιούλιο του 2000
Εικόνα Ε.1.4 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2000
Εικόνα Ε.1.5 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Οκτώβριο του 2000
Εικόνα Ε.1.6 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Δεκέμβριο του 2000
Εικόνα Ε.2.1 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάρτιο του 2001
Εικόνα Ε.2.2 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάη του 2001
Εικόνα Ε.2.3 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2001
Εικόνα Ε.2.4 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2001
Εικόνα Ε.2.5 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Οκτώβριο του 2001
Εικόνα Ε.2.6 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Δεκέμβριο του 2001
Εικόνα Ε.3.1 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιανουάριο του 2003
Εικόνα Ε.3.2 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάρτιο του 2003
Εικόνα Ε.3.3 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάη του 2003
Εικόνα Ε.3.4 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιούλιο του 2003
Εικόνα Ε.3.5 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2003
Εικόνα Ε.3.6 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Οκτώβριο του 2003
Εικόνα Ε.3.7 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Δεκέμβριο του 2003
Εικόνα Ε.4.1 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιανουάριο του 2012
Εικόνα Ε.4.2 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάρτιο του 2012
Εικόνα Ε.4.3 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάη του 2012
Εικόνα Ε.4.4 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιούλιο του 2012
Εικόνα Ε.4.5 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2012
Εικόνα Ε.4.6 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Οκτώβριο του 2012
Εικόνα Ε.4.7 Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Δεκέμβριο του 2012
Εικόνα Ε.5.1 Τρόποι εμφάνισης ξηρασίας και επιπτώσεις
Εικόνα Ε.5.2 Περιφέρεια Θεσσαλίας
Εικόνα Ε.5.3 Το ραδιόμετρο MODIS
Εικόνα Ε.5.4 Τα διαθέσιμα δημόσια δεδομένα του GEE
Εικόνα Ε.5.5 Δείκτες ξηρασίας βασισμένοι σε δορυφορικά δεδομένα
Εικόνα Ε.5.6 Μεθοδολογία εξαγωγής VHI
Εικόνα Ε.5.7: Παράδειγμα υπολογισμένης εικόνας VHI

ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΑΡΚΤΙΚΟΛΕΞΩΝ

- VHI: Vegetation Health Index
- VCI: Vegetation Condition Index
- TCI: Temperature Condition Index
- MODIS: Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer
- GEE: Google Earth Engine
- SPI: Standardised Precipitation Index
- RDI: Reconnaissance Drought Index
- PN: Normal Precipitation
- RAI: Rainfall Anomaly Index
- EVI: Enhanced Vegetation Index
- VI: Vegetation Index

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Για την περάτωση της συγκεκριμένης διπλωματικής θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά τον Καθηγητή του Τμήματος Μηχανικών Χωροταξίας, Πολεοδομίας και Περιφερειακής Ανάπτυξης κ. Κωνσταντίνο Περάκη που μου δίδαξε το μάθημα της Τηλεπισκόπησης και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε στην εκπόνηση της παρούσας διπλωματικής εργασίας. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για όλες τις συμβουλές και τις καίριες παρατηρήσεις του, καθώς για την ιδιαίτερη προθυμία και για τις γνώσεις που αποκόμισα καθ' όλη την διάρκεια των φοιτητικών μου χρόνων στο Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.

Ακόμα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Φαρασλή Ιωάννη τέως μέλος διδακτικού προσωπικού του ΤΜΧΠΠΑ που παρόλες τις δυσκολίες λόγω της μετάβασής του σε άλλο Πανεπιστημιακό ίδρυμα δεν έπαψε να ενδιαφέρεται για την εξέλιξη της εργασίας μου και αποτέλεσε μέντορα για εμένα κατά την διάρκεια των πανεπιστημιακών μου χρόνων προσφέροντάς μου σημαντικές γνώσεις τις οποίες σκοπεύω να εμπλουτίσω πάνω στην επιστημη της Τηλεπισκόπησης .

Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω θερμά την οικογένεια μου, την αδερφή μου Μαρία και τους γονείς μου Ευάγγελο και Ισιδώρα μου που ήτανε δίπλα μου σε κάθε απόφαση που πήρα και μου στάθηκαν με τον καλύτερο και τον πιο όμορφο τρόπο σε αυτό το πενταετές ακαδημαϊκό μου ταξίδι.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 ΣΚΟΠΟΣ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Στην Ελλάδα δεν υπάρχει ευρεία χρήση των μεθόδων γεωργίας ακριβείας. Η χρήση παρωχημένων μεθόδων καθιστά την ίδια την γεωργική μας παραγωγή καινοτομικά αδύναμη. Δεν έχει ακόμη δοθεί η κατάλληλη προσοχή και ούτε έχει πραγματοποιηθεί κάποια άξια αναφοράς προσπάθεια εφαρμογής της γεωργίας ακριβείας μέσω την τηλεπισκόπησης. Για την επίτευξη μιας γεωργίας βασιζόμενης στην αποδοτική, ορθολογική και βιώσιμη χρήση των φυσικών πόρων, κρίνεται απαραίτητη η χρήση της τηλεπισκόπησης μέσω των ΓΣΠ(Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφόρησης). Παρόλα αυτά η παγκόσμια επιστημονική κοινότητα φαίνεται να εκφράζει όλο και περισσότερο ενδιαφέρον για την εφαρμογή της τηλεπισκόπησης στην γεωργία και τις επιστήμες περιβάλλοντος. Η χρήση γλωσσών προγραμματισμού συγκεκριμένα έχει διευκολύνει σε μεγάλο βαθμό την διαδικασία επεξεργασίας δεδομένων χρονικής σειράς(time series) , τα οποία έως κάποτε θεωρούνταν ιδιαίτερα χροστικά και δύσκολα επεξεργάσιμα λόγω του μεγέθους τους αλλά και των σύνθετων ιδιοτήτων τους. Πλέον η επεξεργασία χιλιάδων pixels είναι δυνατή μέσα σε λίγα μόλις δευτερόλεπτα. Σκόπιμη αποτελεί η αξιοποίηση αυτών των εργαλείων για τον εκμοντερνισμό των μεθόδων καλλιέργειας μίας χώρας πλούσιας σε βλάστηση όπως είναι η Ελλάδα. Τα αντικείμενα της παρούσας έρευνας είναι:

1. Υπολογισμός του δείκτη βλάστης VHI για την αποτύπωση μιας γενικής εικόνας όσον αφορά την διαμόρφωση της βλάστησης στην Θεσσαλία.
2. Η ανάλυση των δεδομένων βλάστησης και η εξαγωγή συμπερασμάτων όσον αφορά την ξηρασία αλλά και την ύπαρξη ελλειμάτων νερού στον Θεσσαλικό κάμπο.

Ο βασικός στόχος της παρούσας διπλωματικής είναι η παρακολούθηση του αγροτικού περιβάλλοντος σε επίπεδο υγείας της βλάστησης διαχρονικά για 20 περίπου έτη και η ανάπτυξη ενός συμπεράματος εκτίμησης της ξηρασίας και των τυχόν ελλειμάτων νερού στον θεσσαλικό κάμπο με τη χρήση νέων τεχνολογιών. Οι επιμέρους στόχοι είναι

- Η ανάπτυξη μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας προσδιορισμού της υγείας της βλάστησης μέσω της δημιουργίας επιμέρους δεικτων.
- Η εκτίμηση των αποτελεσμάτων με μελλοντικό στόχο το έναυσμα για βελτιστοποίηση της γεωργικής παραγωγής τόσο στην Θεσσαλία όσο και σε ολόκληρη την χώρα.

1.2 ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΤΗΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Όπως προαναφέρθηκε, η παρούσα διπλωματική έχει ως στόχο την εξαγωγή μίας ολοκληρωμένης μεθοδολογίας για τον υπολογισμό του αγρομετεωρολογικού δείκτη υγείας της βλάστησης VHI. Η εξαγωγή του δείκτη θα πραγματοποιηθεί αφού πρωτίστως εξηγηθούν αναλυτικά οι παράμετροι οι οποίοι θα διαδραματίσουν σημαντικό ρόλο στην διαμόρφωσή του.

Θα γίνει ανάλυση κομβικών εννοιών όπως οι ξηρασίες και τα εκάστοτε υποείδη τους, το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, οι φυτικοί παράγοντες διαμόρφωσης της βλάστησης ο ρόλος του νερού αλλά και της ίδιας της επιστήμης της τηλεπισκόπησης για την γεωργική παραγωγή. Θα αναφερθεί και θα αναλυθεί η περιοχή μελέτης και γίνει ξανά ανάλυση αυτή την φορά της βάσης δεδομένων η οποία χρησιμοποιήθηκε για την εξαγωγή των αποτελεσμάτων, δηλαδή οι δορυφορικές εικόνες του ραδιόμετρου MODIS.

Ύστερα θα πραγματοποιηθεί λεπτομερής εξήγηση της μεθοδολογίας που ακολουθήθηκε και θα παρουσιαστούν οι δείκτες οι οποίοι κρίνονται απαραίτητο να υπολογιστούν έτσι ώστε να οδηγηθούμε στην εξαγωγή απτών αποτελεσμάτων για τον δείκτη υγιούς βλάστησης.

Θα εξηγηθεί η σημασία του VHI στην γεωργική παραγωγή και θα παρουσιαστούν τα αποτελέσματα της μελέτης. Τέλος με της εξαγωγή των αποτελεσμάτων έρχεται η σειρά της ανάλυσής τους με την βοήθεια διαγραμμάτων. Τέλος θα γίνουν σχόλια όσον αφορά της μελέτη που πραγματοποιήθηκε αλλά και επισημάνσεις για μελλοντική χρήση της συγκεκριμένης μελέτης για περαιτέρω έρευνα.

Οι εικόνες οι οποίες κρίνεται πως χρήζουν ιδιαίτερης σημασίας θα παρουσιαστούν στα παραρτήματα όπως και διαγράμματα με συγκριτικές αναλύσεις μεταξύ των ετών για τα οποία έγινε η παραπάνω μελέτη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

2.1 ΗΛΙΑΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ

Ο Ήλιος είναι η βασική και ουσιαστικά η μοναδική πηγή ενέργειας σχεδόν εξολοκλήρου όλων των φαινομένων που συμβαίνουν στην γήινη ατμόσφαιρα. Ιδιαίτερα μικρά ποσοστά ενέργειας έρχονται από ποικίλες δραστηριότητες του ανθρώπου (0,01%), από το εσωτερικό της ίδιας της Γης (0,005%) και τα λοιπά αστρα (10-5%). Η σκτινοβολία του ηλίου αποτελεί μείζονος σημασίας για πολλές ενέργειες που διαδραματίζονται στην επιφάνεια της Γης, όπως οι ροή ενέργειας και υγρασίας, η φωτοσύνθεση και η εξατμισοδιαπνοή. Οι διακυμάνσεις μικρής κλίμακας της ακτινοβολίας επηρεάζουν τη βλάστηση και κα επέκτασιν το πως αναπτύσσονται τα φυτά, την παραγωγικότητα και την υγρασία τους, όπως και το πως κυμαίνεται το ισοζύγιο της ενέργειας στο έδαφος(Δαλέζιος, 2015)

Ιδιότητες Ηλιάκης Ακτινοβολίας

Η ακτινοβολία του ηλίου έχει χαμηλό μήκος κύματος (0,3-3,0 μm) και αποτελεί την βασική πηγή ενέργειας που διέπει το σύστημα μεταξύ της Γης και της ατμόσφαιρας. Η ακτινοβολία του ηλίου εκπέμπεται στο διάστημα με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Όπως αναφέρει στην κλασική του θεωρία ο Maxwell, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διαδίδεται στο χώρο με τη μορφή κύματος . Κάθε υλικό στοιχείο με θερμοκρασία που ξεπερνά το μηδέν εκπέμπει κάποιου είδους ακτινοβολία. Η ταχύτητα διάδοσης του κύματος ηλεκτρομαγνητισμού, c , είναι σταθερή και ίση με την ταχύτητα του φωτός ($c = 2,998 \times 10^8$ m/s), ενώ η συχνότητα, f , και το μήκος κύματος, λ , συνδέονται με την σχέση που παρουσιάζεται παρακάτω, γνωστή ως θεμελιώδη εξίσωση της κυματικής(Μερτίκας, 1991):

$$c = \lambda \cdot f$$

Ηλιάκης Ακτινοβολίας και καλλιέργειες

Τα υλικά στοιχεία απορροφούν την ακτινοβολία σε μήκη κύματος, τα οποία ύστερα μπορούν να εκπέμψουν. Αυτά τα μήκη κύματος, που τα υλικά στοιχεία εκπέμπουν ενέργεια, εξαρτώνται από το τί θερμοκρασία έχουνε, δηλαδή όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία, τόσο μικρότερο θα είναι εν συνεχεία το μήκος κύματος. Τα αέρια απορροφούν αλλά και εκπέμπουν ακτινοβολία σε ιδιαίτερα συγκεκριμένα μήκη κύματος. Στο σύνολο τους τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, δηλαδή όλα τα μήκη κύματος, συνιστούν το φάσμα του ηλεκτρομαγνητισμού . Το φάσμα στο οποίο αναφέρεται η μελέτη της γήινης ατμόσφαιρας εκτείνεται από 10-2 μm μέχρι 102 μm, δηλαδή από την υπεριώδη μέχρι και την υπέρυθη ακτινοβολία. Εδώ να επισημανθεί ότι από το συνολικό ποσό της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας που εκπέμπεται από τον ήλιο, το μισό περίπου εμπίπτει στο υπέρυθρο ($\lambda > 0,7$ μm), το 40% σχεδόν, μπορεί να βρεθεί στην περιοχή του ορατού φάσματος (0,4-0,7 μm) και το 10% περίπου στο υπεριώδες ($\lambda < 0,4$ μm).(Δαλέζιος, 2015))

Για πολύ συγκεκριμένες καλλιέργειες, η επίδραση της θερμοκρασίας στο βαθμό της ανάπτυξης του φυτού μεταβάλλεται ανάλογα με το πόσο μεγάλη είναι η μέρα (ή πιο

σωστά από το πόσο μεγάλη είναι η νύκτα!). αυτή η επίδραση λέγεται «φωτοπεριοδισμός» (photoperiodism). Όσον αφορά αυτή την λειτουργία, τα φυτά διαχωρίζονται στις παρακάτω τρεις κατηγορίες (Δαναλάτος, 2007):

- φυτά ουδέτερης ημέρας (day-neutral), όπου ο βαθμός που αναπτύσσονται είναι ανεξάρτητος από το πόσο διαρκεί η μέρα,
- φυτά μακράς ημέρας (long day), στα οποία η άνθιση επέρχεται μετά από την ύπαρξη μακροσκελών μερών (και προφανών βραχέων νυκτών) και
- φυτά βραχείας ημέρας (short day), όπου η άνθιση των συγκεκριμένων προκαλείται από την ύπαρξη βραχέων ημερών (και επομένως μακρών νυκτών).

Η αντίδραση του φυτού στο πόσο μπορεί να διαρκεί η ημέρα μπορεί να είναι κύριο χαρακτηριστικό όταν μια νέα καλλιέργεια δοκιμάζεται και παράγονται ύστερα αγροκλιματικοί δείκτες για πρώτη φορά στην, ακόμα και αν η περιοχή αυτή βρίσκεται σε παρόμοιο γεωγραφικό πλάτος με αυτό από όπου προέρχεται το φυτό (Δαναλάτος, 2007).

Καθαρή ακτινοβολία (Net Radiation, R_n). Η επίγνωση του ποια είναι η διακύμανση της καθαρής ακτινοβολίας διαδραματίζει μείζονα ρόλο αγρονομία, όμως και την κλιματολογία. Η γνώση της παραπάνω είναι άκρως σημαντική όσον όλες οι τυρβώδεις ανταλλαγές στην γη προσδιορίζονται από το ισοζύγιο της καθαρής ακτινοβολίας (Hurtado and Sobrino, 2001). Στο περιβάλλον η εξατμισοδιαπνοή συνδέεται άρρηκτα με την καθαρή ακτινοβολία διαμέσου του ισοζυγίου ενέργειας που διαδραματίζεται στην επιφάνεια του φλοιού της γης.

Προσπίπτουσα ολική ακτινοβολία. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία έχει να κάνει με την ολική ακτινοβολία σε μία ημέρα δίχως καθόλου νέφη και το διάστημα της ημέρας που ο ουρανός είναι νεφοσκεπής. Εάν δεν είναι υπάρχουνε κάπου τα δεδομένα νεφοκάλυψης, δύνανται να χρησιμοποιηθεί ο λόγος n/N , των ωρών πραγματικής ηλιοφάνειας (n) προς τις ώρες όπου η ηλιοφάνεια μπορεί να χαρακτηριστεί ως μέγιστη (N) (Δαναλάτος, 2007).

PAR. Η PAR απορροφάται από τη χλωροφύλλη των φυτών μιας συγκεκριμένης καλλιέργειας και χρησιμοποιείται για την εξίσωση του διοξειδίου του άνθρακα, ανήκει επίσης στο ορατό φάσμα (400-700 nm) και αντιπροσωπεύει περί το 50% της ολικής προσπίπτουσας ακτινοβολίας.

Δείκτες βλάστησης. Οι δείκτες βλάστησης προσδίδουν μία ένδειξη της εικόνας της βλάστησης μέσω της σύγκρισης των τιμών ανακλαστικότητας στο κοντινό υπέρυθρο και στο ερυθρό τμήμα του φάσματος. Συχνά, πραγματοποιείται η χρήση της διαφοράς ή του λόγου των δύο ανωτέρω τμημάτων, παρόλα αυτά σε όλες τις περιπτώσεις υψηλές τιμές υποδηλώνουν την ύπαρξη βλάστησης (Ray, 1994). Ο πιο διαδεδομένος και ευρέως χρηστικός δείκτης είναι ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI). (Τσιρος, Βολος 2019).

2.2 ΦΥΣΙΟΛΟΓΙΑ ΦΥΤΩΝ

Η ακτινοβολία του ηλίου (0,4 – 2,5 μm) που εισέρχεται στο φύλλωμα ενός φυτού, έρχεται σε ανάκλαση, διάθλαση και απορρόφηση. Η ανάκλαση συμβαίνει εξαιτίας των

δεικτών διάθλασης ανάμεσα στα αέρια του μεσοκυττάρου χώρου του φυλλώματος και των κυττάρων. Εν συνεχεία, ορισμένο ποσοστό διάθλασης συμβαίνει λόγω αλληλεπιδράσεων μεταξύ των συστατικών εντός του κυττάρου, όπως μακρομορία και λυσοσωμάτα, το οποίο βέβαια φτάνει το 10% μονάχα της συνολικής πραγματοποιούμενης διάθλασης.

Οι χρωστικές που περιέχουν τα φυτά και το νερό στο μεσόφυλλο απορροφούν την ακτινοβολία του ηλίου στα διαστήματα 0,4 – 0,7 μm και 1,3 – 2,5 μm, αντίστοιχα, του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η ακτινοβολία στο διάστημα που αναφέρθηκε πρώτο είναι γνωστή ως PAR και απορροφάται κυρίως από τη χλωροφύλλη, που αποτελεί συστατικό των χλωροπλάστων. Στο δεύτερο διάστημα γίνεται μηδενική απορρόφηση και με αυτόν τον τρόπο επικρατούν οι λειτουργίες εκπομπής και ανάκλασης. Η προσπίπτουσα ακτινοβολία, εν τέλει, είτε ανακλάται είτε απορροφάται και διαχέεται στο υπόβαθρο αυτής (έδαφος, ατμόσφαιρα κ.λπ.) (Δαλέζιος, 2002).

Η φασματική συμπεριφορά της φυτικής κάλυψης στο διάστημα που προαναφέρθηκε δίνει τη δυνατότητα παρακολούθησης των εξελίξεων στα εκάστοτε στάδια φυτών, λαμβάνοντας, βέβαια, υπόψιν και την αντίστοιχη συμπεριφορά των εκάστοτε μικροοικοσυστημάτων, όπως για παράδειγμα το έδαφος. Με αυτόν τον τρόπο, ουσιαστικά, όπως προκύπτει διάφορες μελέτες, 4 είναι οι περιοχές του φάσματος ακτινοβολίας που ενδιαφέρουν στην παρακολούθηση της βλάστησης, επειδή σε αυτές διαδραματίζονται ιδιαίτερα σημαντικά φυσιολογικά φαινόμενα (Δαλέζιος, 2002).

2.3 ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΣΕ ΝΕΡΟ

Η παροχή νερού και η επάρκειά του για την κάλυψη των αναγκών των καλλιεργειών είναι ένας ιδιαίτερα κρίσιμος παράγοντας για τον έλεγχο της καταλληλότητας των καλλιεργειών σε μία περιοχή. Επίσης, η κατανομή του, κατά την βλαστική περίοδο, αποτελεί σημαντικότερη πληροφορία, μιας και η έλλειψη ή και η περίσσεια νερού έχει συγκεκριμένες επιπτώσεις στη χρονική διάρκεια εξέλιξης μιας καλλιέργειας, ανάλογα με το φαινολογικό στάδιο όπου βρίσκεται (Thomas, 1992). Έτσι καταλαβαίνει κανείς, πως είναι απαραίτητος ο χαρακτηρισμός των πόρων νερού και των συνθηκών υγρασίας μιας καλλιέργειας σε εξίσωση με τί απαιτήσεις σε υδατικούς πόρους έχουν οι καλλιέργειες. Ένα πλήθος αγροκλιματικών δεικτών, δηλαδή μεταβλητών μετεωρολογίας και μεθοδολογιών έχει φανεί χρήσιμο παγκοσμίως για τον προσδιορισμό των υδατικών πόρων ή της διαθεσιμότητάς τους. Οι βασικότεροι και πιο διαδεδομένοι από εκείνους αναφέρονται παρακάτω.

1. Δείκτης ξηρότητας (Aridity index, AI). Ο συγκεκριμένος δείκτης υπολογίζεται από το πηλίκο του ετήσιου μέσου ύψους βροχής προς τη μέση ετήσια εξατμισοδιαπνοή. Ο AI χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της ξηρότητας του κλίματος (UNESCO, 1979) και της επάρκειας της βροχής για την κάλυψη της ανάγκης σε υδατικούς πόρους των φυτών (Badini et al., 1997).
2. Δείκτης υδατικής καταπόνησης καλλιέργειας (Crop Water Stress Index, CWSI). Ο δείκτης αυτός δύνανται να οριστεί ως ο λόγος εξατμισοδιαπνοής προς τη δυναμική εξατμισοδιαπνοή την διάρκεια μια περιόδου βλάστησης. Η πραγματική εξατμισοδιαπνοή αντιπροσωπεύει το ποσό νερού που διαπνέει μια καλλιέργεια και που εξατμίζεται από την επιφάνεια του εδάφους. Όπως αναφέρθηκε πρωτότερα, η δυναμική εξατμισοδιαπνοή είναι το ποσό νερού που θα διαπνέονταν από την καλλιέργεια και θα εξατμιζόταν από το έδαφος, εάν όμως δεν ήταν υπαρκτός κάποιος περιορισμός στο διαθέσιμο νερό. Κάτω από συνθήκες περιορισμού, σε ό,τι έχει να κάνει με το διαθέσιμο ύδωρ, το έλλειμμα μπορεί να είναι τόσο σκληρό και μεγάλο ώστε να μην γίνει επιτυχημένη συγκομιδή (πραγματική εξατμισοδιαπνοή κοντά στο 0) και έτσι σε αναλογία είναι ιδιαίτερα μικρή. Ο CWSI αντιπροσωπεύει την

ανταπόκριση των καλλιεργειών στις εκάστοτε συνθήκες, λαμβάνοντας υπόψη τον εδαφικό τύπο και την καιρική μεταβλητότητα της περιοχής (Badini et al., 1997). Θεωρείται ως ο δείκτης που μετουσιώνει όλους τους παράγοντες που επιβάλουν επιπτώσεις στη διαθέσιμο νερό για την ανάπτυξη των καλλιεργειών (υδατοχωρητικότητα, εδαφολογικό βάθος, απορροή, κ.λπ.). Μέσω τον CWSI διαφαίνονται 8 κατηγορίες που κυμαίνονται από μηδέν (υψηλή υδατική καταπόνηση) ως 0,9 (μικρή υδατική καταπόνηση).

3. Δείκτης ελλείμματος ύδατος (Water Deficit Index, WDI). Ο WDI αναπτύχθηκε από τους Moran et al. (1994) και χρησιμοποιεί τη διαφορά μεταξύ της θερμοκρασίας εδάφους και της θερμοκρασίας αέρα, σε συνδυασμό με ένα δείκτη, για την εκτίμηση της σχετικής υγρασιακής κατάστασης της καλλιέργειας. Ο δείκτης εξελίχθηκε για να αποδώσει λύση στον περιορισμό που είχε ο CWSI, που επέρχεται στο γεγονός ότι ο CWSI χρειάζεται την πλήρη κάλυψη του εδάφους από την καλλιέργεια (Moran et al., 1994 και 1997). Όταν η κάλυψη του εδάφους δεν είναι πλήρης, η μέτρηση της θερμοκρασίας της επιφάνειας μπορεί να οδηγήσει σε ιδιαίτερα λανθασμένες εκτιμήσεις της καταπόνησης του νερού, αφού η θερμοκρασία του εδάφους είναι υψηλότερη από εκείνη του αέρα.
4. Δείκτης ξηρότητας Budyko. Ο δείκτης υπολογίζεται μέσω του λόγου του ισοζυγίου της ακτινοβολίας προς το άθροισμα της ετήσιας βροχόπτωσης, πολλαπλασιασμένος με τη λανθάνουσα θερμότητα εξατμησης (Chirkov, 1979).
5. Ο υδροθερμικός παράγοντας του Selyaninon (Selyaninon Hydrothermal Coefficient, HTC). Ο HTC εξάγεται από το λόγο του συνολικού νετού μίας συγκεκριμένης περιόδου προς την ΓΑΤ της συγκεκριμένης περιόδου που προαναφέρθηκε (Chirkov, 1979).

Η εντονη παρακολούθηση των μεταβολών του ισοζυγίου του νερού για την διάρκεια της περιόδου βλάστησης μπορεί να αποδόσει μείζονα στοιχεία, τα οποία δεν είναι δυνατόν να ληφθούν υπόψη όταν το ισοζύγιο του νερού ανελύεται στο τέλος της συγκεκριμένης περιόδου. Συχνά, οι απαιτήσεις σε ύδωρ διαφέρουν κατά τη διάρκεια της ανάπτυξης μιας καλλιέργειας. Έτσι, αναλόγως με τα στάδια ανάπτυξης, πολλά φυτά έχουν διάφορες ανάγκες σε ύδωρ. Κατά αυτές τις περιπτώσεις δεν είναι αρκετή η γνώση του υδατικού ισοζυγίου στην αρχή και στο τέλος της βλαστικής περιόδου, αλλά απαιτείται επιπλέον ο υπολογισμός ανά μήνα ή ακόμα και ανά δεκαήμερο.

Αθροιστική βροχόπτωση (Cumulative Rainfall). Ο δείκτης αυτός σχετίζεται με την εκτίμηση των αποθεμάτων της εδαφικής υγρασίας και κρίνει την πορεία των φυτών, καθώς και τις επιμέρους φαινολογικές ιδιότητές τους (Dalezios et al., 2002; Bampzelis et al., 2006). Αναλύονται, συνήθως, σε αθροιστικές τιμές ημέρας, δεκαημέρων, μηνών, βλαστικής περιόδου ή και ολοκλήρων υδρολογικών ετών, ανάλογα με τις ανάγκες της εφαρμογής και τη διαθεσιμότητα των δεδομένων. μικρότερη είναι η διάρκεια του χρονικού διαστήματος υπολογισμού, τόσο πιο συγκεκριμένα παρουσιάζεται η κατανομή της βροχόπτωσης.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ ΤΗΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

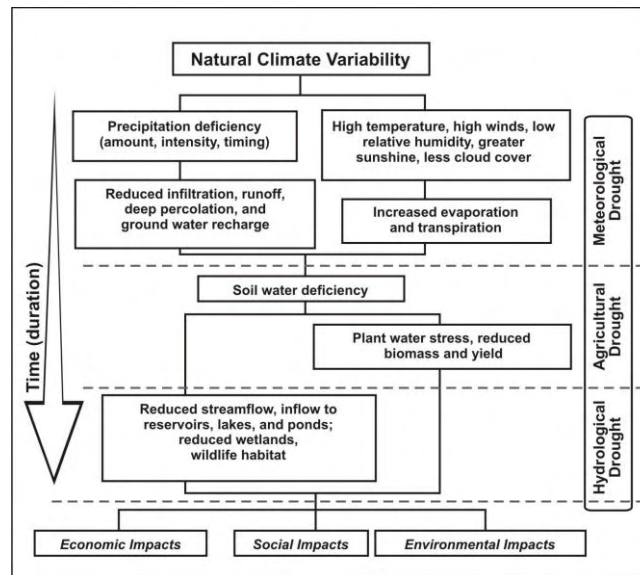
3.1 ΟΡΙΣΜΟΙ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Οι βασικότεροι ορισμοί της ξηρασίας αποδίδονται στην συνέχεια (National Drought Mitigation Center, 1996b):

1. Μετεωρολογική ξηρασία, που θεωρείται ως μια συνεχόμενη, μη συνηθισμένη έλλειψη υγρασίας. Είναι η έκφραση της απόκλισης της βροχόπτωσης από τις κανονικές συνθήκες, με βάση του τί κλίμα επικρατεί στην περιοχή.
2. Υδρολογική ξηρασία, ονομάζεται μία περίοδος όπου η παροχή νερού (επιφανειακή και υπόγεια) είναι μικρότερη από την minimum που απαιτείται έτσι ώστε να ικανοποιηθούν οι

ανάγκες μιας περιοχής. Δηλαδή, είναι, μια περίοδος ελλείψης νερού (για παράδειγμα κατά την απορροή, στην αποθήκευση σε ταμιευτήρες, στα υπόγεια υδροφόρα στρώματα).

3. Γεωργική ξηρασία, όπου χαρακτηρίζεται, ως η έκβαση της ανεπάρκειας της υγρασίας του εδάφους (σαν συνέπεια της μη διαθεσιμότητας νερού) να πληρεί τις ανάγκες των φυτών σε ύδωρ, για την ανάπτυξή τους σε μία συγκεκριμένη περίοδο. (Τσίρος 2009, βολος) Η γεωργική ξηρασία θα αποτελέσει βασική κέντρο προσήλωσης αυτής της διπλωματικής.



Εικόνα Ε.5.1: Τρόποι εμφάνισης ξηρασίας και επιπτώσεις για κοινά αποδεκτούς τύπους ξηρασίας (Πηγή: NDMC)

Η μετεωρολογική ξηρασία ορίζεται συνήθως με βάση τον βαθμό ξηρότητας (σε σύγκριση με κάποια «κανονική» ή μέση ποσότητα) και τη διάρκεια της ξηρής περιόδου. Οι ορισμοί της μετεωρολογικής ξηρασίας πρέπει να θεωρηθούν τοπικοί, δεδομένου ότι οι ατμοσφαιρικές συνθήκες που οδηγούν σε ελλείψεις νερού ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό από περιοχή σε περιοχή.

Για παράδειγμα, ορισμένοι ορισμοί της μετεωρολογικής ξηρασίας προσδιορίζουν περιόδους ξηρασίας με βάση τον αριθμό των ημερών με βροχόπτωση μικρότερη από κάποιο καθορισμένο κατώφλι. Αυτό το μέτρο είναι κατάλληλο μόνο για περιοχές που χαρακτηρίζονται από καθεστώς βροχόπτωσης όλο το χρόνο, όπως τροπικά δάση, υγρά υποτροπικά κλίματα ή υγρά κλίματα μεσαίου γεωγραφικού πλάτους. Τοποθεσίες όπως Manaus, Βραζιλία; Νέα Ορλεάνη, Λουιζιάνα (Η.Π.Α.); και το Λονδίνο, Αγγλία, είναι χαρακτηριστικά παραδείγματα. Άλλα κλιματικά καθεστώτα χαρακτηρίζονται από εποχιακό μοτίβο βροχοπτώσεων, όπως οι κεντρικές Ηνωμένες Πολιτείες, η βορειοανατολική Βραζιλία, η Δυτική Αφρική και η βόρεια Αυστραλία. Άλλοι ορισμοί μπορεί να σχετίζονται με την πραγματική ύπαρξη νερού με τα μέσα ποσά σε μηνιαίες, εποχιακές ή ετήσιες χρονικές κλίμακες. (Πηγή: national draught mitigation center)

Η υδρολογική ξηρασία σχετίζεται με τις επιπτώσεις των περιόδων βροχόπτωσης (συμπεριλαμβανομένης της χιονόπτωσης) που κατά συνέπεια περιλαμβάνει τις ελλείψεις σε επιφανειακή ή υπόγεια παροχή νερού (δηλαδή, ροή, στάθμη δεξαμενής και λίμνης, υπόγεια ύδατα).

Η συχνότητα και η σοβαρότητα της υδρολογικής ξηρασίας προσδιορίζεται συχνά σε μια κλίμακα λεκάνης απορροής ή λεκάνης απορροής ποταμού. Αν και όλες οι ξηρασίες προέρχονται από ανεπάρκεια νερού, οι υδρολόγοι ανησυχούν περισσότερο για το πώς αυτή η ανεπάρκεια διαδραματίζεται μέσω του υδρολογικού συστήματος. Οι υδρολογικές ξηρασίες είναι συνήθως εκτός φάσης με ή καθυστερούν την εμφάνιση μετεωρολογικών και γεωργικών ξηρασιών. Χρειάζεται περισσότερος χρόνος για να εμφανιστούν ελλείψεις

υετού σε συστατικά του υδρολογικού συστήματος, όπως υγρασία εδάφους, ροή ρεύματος και επίπεδα υπόγειων υδάτων και δεξαμενών. (Πηγή: national draught mitigation center)

Ως αποτέλεσμα, αυτές οι επιπτώσεις είναι εκτός φάσης με επιπτώσεις σε άλλους οικονομικούς τομείς. Για παράδειγμα, μια ανεπάρκεια υετού μπορεί να οδηγήσει σε ταχεία μείωση της υγρασίας του εδάφους που είναι σχεδόν άμεσα αντιληπτή από τους γεωργούς, αλλά ο αντίκτυπος αυτής της ανεπάρκειας στα επίπεδα των δεξαμενών ενδέχεται να μην επηρεάσει την παραγωγή υδροηλεκτρικής ενέργειας ή τις ψυχαγωγικές χρήσεις για πολλούς μήνες. Επίσης, το νερό σε υδρολογικά συστήματα αποθήκευσης (π.χ. δεξαμενές, ποτάμια) χρησιμοποιείται συχνά για πολλαπλούς και ανταγωνιστικούς σκοπούς (π.χ. έλεγχος πλημμύρας, άρδευση, αναψυχή, πλοήγηση, υδροηλεκτρική ενέργεια, βιότοπος άγριας ζωής), περιπλέκοντας περαιτέρω την ακολουθία και τον ποσοτικό προσδιορισμό των επιπτώσεων. (Πηγή: national draught mitigation center)

Ο ανταγωνισμός για το νερό σε αυτά τα συστήματα αποθήκευσης αυξάνεται κατά τη διάρκεια της ξηρασίας και οι συγκρούσεις μεταξύ χρηστών νερού αυξάνονται σημαντικά. (Πηγή: national draught mitigation center)

Η γεωργική ξηρασία συνδέει διάφορα χαρακτηριστικά της μετεωρολογικής (ή υδρολογικής) ξηρασίας με τις επιπτώσεις στην γεωργία, εστιάζοντας στις ελλείψεις βροχοπτώσεων, τις διαφορές μεταξύ πραγματικής και δυνητικής εξατμισοδιαπνοής, ελλειμμάτων εδάφους, μειωμένων επιπέδων υπόγειων υδάτων ή δεξαμενών και ούτω καθεξής. Η ζήτηση νερού για τα φυτά εξαρτάται από τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες, τα βιολογικά χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου φυτού, το στάδιο ανάπτυξής του και τις φυσικές και βιολογικές ιδιότητες του εδάφους.

Ένας καλός ορισμός της γεωργικής ξηρασίας θα πρέπει να μπορεί να λαμβάνει υπόψη τη μεταβλητή ευαισθησία των καλλιεργειών σε διάφορα στάδια ανάπτυξης των καλλιεργειών, από την εμφάνιση έως την ωρίμανσή τους. Η ανεπαρκής υγρασία του εδάφους κατά τη φύτευση των καλλιεργειών μπορεί να εμποδίσει τη βλάστηση, οδηγώντας σε χαμηλούς πληθυσμούς φυτών ανά εκτάριο και μείωση της τελικής απόδοσης. Ωστόσο, εάν η υγρασία του εδάφους είναι επαρκής για τις ανάγκες της πρώιμης ανάπτυξης, οι ελλείψεις στην υγρασία του εδάφους σε αυτό το πρώιμο στάδιο ενδέχεται να μην επηρεάσουν την τελική απόδοση εάν η υγρασία του εδάφους αναπληρώνεται καθώς προχωρά η καλλιεργητική περίοδος ή εάν οι βροχοπτώσεις ανταποκρίνονται στις ανάγκες του νερού για τις ανάγκες του φυτού. . (Πηγή: national draught mitigation center)

3.2 ΔΕΙΚΤΕΣ ΞΗΡΑΣΙΑΣ

Η παρατήρηση και η εξέλιξη εργαλείων για την πρόβλεψη και την παρακολούθηση της ξηρασίας θα βοηθήσει στον σχεδιασμό της άμβλυνσης των επιπτώσεων της. Για αυτό το λόγο, δημιουργήθηκαν δείκτες, οι περισσότεροι από τους οποίους βασίζονται σε μετεωρολογικές και υδρολογικές μεταβλητές, ώστε να μπορεί να προσδιοριστεί το φαινόμενο. Οι δείκτες χωρίστηκαν και αυτοί σε κατηγορίες που πήραν το όνομα τους από τις κατηγορίες της ξηρασίας που προσδιορίζουν και το είδος των δεδομένων που αξιοποίησαν. Τέτοιοι δείκτες είναι οι μετεωρολογικοί, οι οποίοι χρησιμοποιούν μετεωρολογικές παραμέτρους όπως βροχόπτωση και θερμοκρασία, μερικοί από τους οποίους είναι ο Standardised Precipitation Index (SPI), ο Reconnaissance Drought Index (RDI), ο Deciles, ο Percent of Normal Precipitation (PN), ο Rainfall Anomaly Index (RAI), ο Standardised Anomaly Index (SAI) και αρκετοί ακόμα. (Δαλέζιος 2016, βολος)

Άλλη κατηγορία δεικτών αποτελούν οι υδρολογικοί δείκτες, οι οποίοι βασίζονται στο έλλειμμα της απορροής, με πιο γνωστούς τον Palmer Hydrological Drought Index (PHDI), τον Surface Water Supply Index (SWSI), τον Streamflow Drought Index (SDI), Base Flow Index (BFI), Groundwater Resource Index (GRI), Low Flow Index (Q90). Όσον αφορά την γεωργική ξηρασία, οι δείκτες που εφαρμόζονται για τον έλεγχο της ανάπτυξης της καλλιέργειας, είναι ο Palmer Drought Severity Index (PDSI), ο οποίος συνδυάζει την εδαφική υγρασία και την εξατμισοδιαπνοή, ο Crop Moisture Index (CMI), ο Soil Moisture Drought Index (SMDI), ο Agricultural Drought Index (ADI) ο VHI (Vegetation Health Index) ο οποίος θα εξεταστεί στην παρούσα μελέτη για τον προσδιορισμό ελλειμάτων νερού αλλά και πολλοί ακόμα. Από τη δεκαετία του '80 και μετά, μέσω της ανάπτυξη των δορυφόρων, εξοπλισμένων με αισθητήρες κυρίως στον οπτικό τομέα, διανοίχθηκε ένας νέος δρόμος για την ανάλυση και τον εντοπισμό του φαινομένου της ξηρασίας. (Δαλέζιος 2016, βολος)

Αρκετοί δείκτες εξελίχθηκαν για να περιγράψουν την κατάσταση της επιφάνειας της γης, κυρίως την βλάστηση, με τη δυνατότητα να εντοπίζουν και να παρακολουθούν στενά τις ανωμαλίες της ατμόσφαιρας όπως οι ξηρασίες (Niemeyer, 2008). Έτσι, προέκυψε και άλλη μια κατηγορία δεικτών, οι τηλεπισκοπικοί (ή δορυφορικοί) δείκτες, οι οποίοι χρησιμοποιούν δεδομένα τηλεπισκόπησης για τον εντοπισμό και την ανάλυση του φαινομένου της ξηρασίας. Ο πιο διαδεδομένος δείκτης αυτής της κατηγορίας είναι ο Normalised Difference Vegetation Index (NDVI), όπου εξετάζει την ύπαρξη ξηρασίας, βλέποντας μέσω δορυφορικών δεδομένων αν η βλάστηση είναι υγιής. (Δαλέζιος 2015, βολος)

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΥ ΔΕΙΚΤΗ VHI

4.1 ΠΕΡΙΟΧΗ ΜΕΛΕΤΗΣ ΚΑΙ ΒΑΣΗ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Περιοχή μελέτης

Ως περιοχή μελέτης για την εφαρμογή της μεθοδολογίας επιλέχθηκε το υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Η Θεσσαλία είναι μια μεγάλη πεδιάδα την οποία περιβάλλουν βουνά . Πιο συγκεκριμένα στα ανατολικά της ακτογραμμής της επικοινωνεί με το Αιγαίο πέλαγος, ενώ επικοινωνεί με το βουνό Όσσα, στον νοτιά, ο νομός Μαγνησίας περιβάλλεται από το Πήλιο, βορειότερα από το όρος Όλυμπος, δυτικά από την Πίνδο και νότια από τον Όθρη. Επίσης περιλαμβάνει και τον Πηνειό .



Εικόνα Ε.5.2: Περιφέρεια Θεσσαλίας (Πηγή: Wikipedia)

Η έκταση της ορεινής Θεσσαλίας είναι 9.550 Km² , με ποσοστό επί της συνολικής έκτασης 33,5%. Το μέσο υψόμετρο του διαμερίσματος είναι 285 m (Πέππας, 2001). Λόγω των μεγάλων πεδινών εκτάσεων, η Θεσσαλία αποτελεί μία εύφορη περιοχή και, μεταξύ άλλων, ένα μεγάλο προμηθευτή γεωργικών προϊόντων. Στη δυτική πλευρά της Θεσσαλίας το κλίμα είναι ηπειρωτικό, με κρύους χειμώνες, πολύ θερμά καλοκαίρια και άρα με πολύ μεγάλη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ αυτών των δύο εποχών. Στην ανατολική πλευρά, το κλίμα είναι θερμό μεσογειακό. Τα καλοκαίρια στη Θεσσαλία είναι συνήθως πολύ θερμά και ξηρά και πολλές φορές κατά τον Ιούλιο και τον Αύγουστο οι θερμοκρασίες μπορεί να ξεπεράσουν τους 40°C. Γενικά, οι βροχοπτώσεις είναι σπάνιες από τον Ιούνιο μέχρι τον Αύγουστο, ενώ οι ημέρες είναι θερμές και ξηρές, φαινόμενο συνηθισμένο για το μεσογειακό κλίμα. Οι περιοχές που βρίσκονται στα βουνά είναι πολύ πιο δροσερές με αξιοσημείωτη βροχόπτωση. (Τσίρος 2009, βολος)

Ένα άλλο ιδιαίτερα μείζον χαρακτηριστικό που αφορά το κλίμα της Θεσσαλίας είναι οι συχνές καταιγίδες κατά την άνοιξη και το καλοκαίρι. Αυτά τα φαινόμενα έχουν επιπτώσεις ειδικότερα στις γεωργικές δραστηριότητες αυτής της περιοχής. Η γενικότερη γεωμορφολογία και φυσιολογία του πεδινού τμήματος της περιοχής μπορεί να περιγραφεί ως εξής: Η πεδινή περιοχή της Θεσσαλίας χωρίζεται από το χαμηλού υψόμετρου Χαλκηδόνιο όρος σε δύο μεγάλα τμήματα ίσης περίπου έκτασης, το ανατολικό και το δυτικό. Περιφερειακά των πεδινών αυτών εκτάσεων βρίσκονται οι ορεινοί όγκοι. (Τσίρος 2009, βολος)

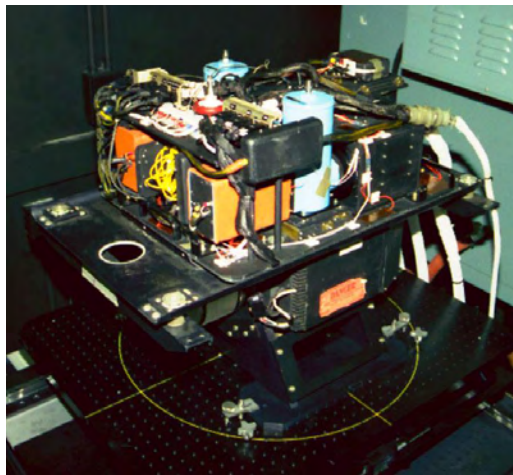
Το ανατολικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας έχει τα εξής γεωγραφικά όρια:

- Βόρεια τον Κάτω Όλυμπο και την Όσσα,
- Ανατολικά
- Βορειοδυτικά το όρος Ζάρκο

Στην Ανατολική Θεσσαλία εντάσσονται και οι ορεινές, αλλά με αξιόλογη καλλιεργούμενη έκταση, περιοχές της Ελασσόνας και του Δαμασίου. Μεθοδολογία 109 Το δυτικό τμήμα της Θεσσαλικής πεδιάδας ορίζεται γεωγραφικά ως εξής: ανατολικά από τα Χαλκηδόνια όρη, βορειοανατολικά από το Ζάρκο, βόρεια από τα Χάσια και τα Αντιχάσια όρη, δυτικά από το Κερκέτιον όρος (Κόζιακας) και νότια από το Ναθράκιο, τους πρόποδες του όρους Τιμφρηστός και την αποξηρανθείσα λίμνη Ξυνιά (Πέππας, 2001). Προς τα βόρεια, οι καλλιέργειες σταματάνε στην πεδιάδα, με όριο τους πρόποδες των βουνών. Αντιθέτως, στα νότια παρατηρούνται καλλιέργειες ακόμα και στους πρόποδες των βουνών. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει το γεγονός ότι στην κεντρική-ανατολική πλευρά της δυτικής πεδιάδας (από Φυλλήιο μέχρι και Χαλκηδόνιο), οι καλλιέργειες φθάνουν σε μεγάλο υψόμετρο, έως και περίπου 600 m, λόγω των εξαιρετικά ομαλών κλίσεων των βουνών. Στην εικόνα 5.2 παρουσιάζονται η τοποθεσία, τα γεωγραφικά χαρακτηριστικά και τα όρια του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας. (Τσίρος 2009, βολος)

Βάση Δεδομένων δορυφορικών εικόνων

Το ραδιόμετρο MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer— «εικονοληπτικό φασματοραδιόμετρο μέσης χωρικής διακριτικής ικανότητας») που παρέχονται ως free data από τη NASA (MODIS) είναι ένα ισχυρό ραδιόμετρο για την παρακολούθηση της φυσικής γήινης επιφάνειας, των ωκεανών άλλα και της γήινης ατμοσφαιράς. Το πρόγραμμα MODIS διαθέτει δέκτες σε δύο διαφορετικούς δορυφόρους (Terra και Aqua) οι οποίοι καταγράφουν όλη την έκταση της γήινης επιφάνειας το πολύ δυο φορές τη μέρα. Η διακριτική ικανότητα του ραδιομέτρου MODIS φτάνει τα 250m και φτάνει έως και το 1km, ουσιαστικά αποτελεί την βελτιωμένη μορφή του NOAA-AVHRR που χρησιμοποιούνταν ευρέως από επιστήμονες για ανάλογες μελέτες. Για την παρούσα μελέτη θα χρησιμοποιηθούν εικόνες ανάλυσης ενός χιλιομέτρου(1km).



Εικόνα Ε.5.3: Το ραδιόμετρο MODIS (Πηγή: Wikipedia)

Σε αντίθεση με τους μέχρι τώρα δέκτες αυτής της κατηγορίας, οι δέκτες MODIS έχουν σχεδιαστεί να παρέχουν μετρήσεις με υψηλή φασματική διακριτική ικανότητα σε 36 διαφορετικά κανάλια, δηλαδή σε 36 διαφορετικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Πέρα από τα ορατά κανάλια (μπλε, πράσινο, κόκκινο), τα οποία δίνουν τη δυνατότητα για τη σύνθεση φυσικών έγχρωμων τηλεπισκοπικών απεικονίσεων, υπάρχουν κανάλια διασκορπισμένα σε περιοχές του φάσματος που καταγράφουν πληροφορία, πολύ χρήσιμη και με άμεσες εφαρμογές για την τηλεπισκόπηση. Υπάρχουν κανάλια στο υπέρυθρο φάσμα, με τα οποία γίνεται ανίχνευση και καταγραφή της βλάστησης και των υδάτινων όγκων, ενώ σε συνδιασμό με τα ορατά κανάλια, παράγεται πληροφορία για την κάλυψη και τη χρήση γης. Επίσης υπάρχουν κανάλια στο θερμικό υπέρυθρο που καταγράφουν τη θερμοκρασία τόσο της επιφάνειας του πλανήτη, όσο της

ατμόσφαιρας και των ωκεανών. Επιπλέον, υπάρχουν εξειδικευμένα κανάλια που καταγράφουν το φυτοπλαγκτόν των θαλασσών, τα θαλάσσια ρεύματα, το όζον, το ύψος των νεφών στην ατμόσφαιρα κ.α. (Εμμανουήλ Κων/νου Τσίρος 2009, Βόλος)

Όσο αφορά στην καταγραφή των φυσικών και ανακλαστικών ιδιοτήτων των νεφών, το φασματοραδιόμετρο, συνδυάζει τεχνικές στο ορατό και στο υπέρυθρο. Δεδομένα για τη φάση των στοιχείων του νέφους (πάγος, παγοκρύσταλλος, ύδωρ κλπ), για την κρίσιμη ακτίνα των στοιχείων και για το οπτικό βάθος του νέφους έχουμε από το ορατό και το κοντινό στο υπέρυθρο κανάλι. Παρέχει επίσης στοιχεία σκίασης από τα νέφη. Η θερμοκρασία στην κορυφή του νέφους, το ύψος, η φάση και ο δείκτης νεφοκάλυψης παράγονται από μεθόδους επανόρθωσης στο υπέρυθρο τόσο για ημέρα όσο και για νύχτα με γεωμετρική διακριτική ικανότητα 1km. Τέλος, το MODIS περιλαμβάνει την ανακλαστικότητα των σωρείτων (cirrus) στο ορατό με χωρική ανάλυση 1km, το οποίο είναι χρήσιμο για την αφαίρεση της σκέδασης των συγκεκριμένων νεφών που οφείλεται στην αντανακλαστικότητα του εδάφους. (Εμμανουήλ Κων/νου Τσίρος 2009, Βόλος).

Τα δεδομένα παρέχονται από την διαδικτυακή πλατφόρμα της Google το GEE(Google Earth Engine). Το Google Earth Engine είναι μια πλατφόρμα γεωχωρικής ανάλυσης παγκόσμιας κλίμακας που επιτρέπει στους χρήστες να σχεδιάζουν γρήγορα και επαναληπτικά την ανάλυσή τους. Τα δεδομένα (όπως τα δεδομένα Landsat, Modis, Sentinel etc) φιλοξενούνται και αναλύονται εντός της υποδομής της Google. Η ανάλυση της παρούσας μελέτης πραγματοποιείται μέσω της διεκπεραίωσης κώδικα προγραμματισμού στην γλώσσα JavaScript. Ουσιαστικά το σύστημα λαμβάνει τις εντολές του κώδικα και παρουσιάζει σε real time τα αποτελέσματα δίχως να χρειαστεί ιδιαίτερη χρήση μνήμης από τον υπολογιστή(συγκριτικά με παρόμοιες geospatial εφαρμογές). Η online βάση δεδομένων επεξεργάζεται αυτόματα με το πάτημα της εντολής run, κάνοντας την διαδικασία όσο πιο άμεση δύνανται να γίνει, εξοικονομώντας χρόνο για την επίτευξη περαιτέρω βημάτων στην μελέτη.

The Earth Engine Public Data Catalog



Google Earth Engine

Εικόνα Ε.5.4: Τα διαθέσιμα δημόσια δεδομένα του GEE (Πηγή: Geohackweek)

Η Google φιλοξενεί περισσότερα από 2 petabytes ακατέργαστων δορυφορικών πληροφοριών και άλλα 2+ petabytes δημιουργημένων extra datasets. Αυτά τα σύνολα δεδομένων μπορούν να κληθούν έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να δει και να πραγματοποιήσει την επιθυμούμενη. Αυτό από μόνο του είναι πολύ χρήσιμο και εξοικονομεί αρκετό χρόνο. Ακριβώς το σύνολο δεδομένων

MODIS MOD09GA είναι μεγαλύτερο από 141 Terabyte και οι χρήστες μπορούν να καλέσουν ολόκληρο το σύνολο δεδομένων χρησιμοποιώντας κάτω από 40 χαρακτήρες.

4.2 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ VHI

Για να υπολογιστεί ο VHI (Vegetation Health Index) για το ραδιόμετρο MODIS, θα πρέπει σε πρώτο στάδιο να υπολογιστούν οι δείκτες VCI (Vegetation Condition Index) και TCI (Temperature Condition Index). Τα βήματα που ακολουθήθηκαν για την εξαγωγή των δύο δεικτών, και εν συνεχεία του VHI, παρουσιάζονται στη συνέχεια.

Index	Type of drought
1. Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Agricultural
2. Deviation $_{NDVI}$ Index	Agricultural
3. Enhanced Vegetation Index (EVI)	Agricultural
4. Vegetation Condition Index (VCI)	Agricultural
5. Monthly Vegetation Condition Index	Agricultural
6. Temperature Condition Index (TCI)	Agricultural
7. Vegetation Health Index (VHI)	Agricultural
8. Normalised Difference Temperature Index (NDTI)	Agricultural
9. Crop Water Stress Index (SWSI)	Hydrological
10. Drought Severity Index (DSI)	Hydrological
11. Temperature-Vegetation Dryness Index (TVDI)	Agricultural
12. Normalized Difference Water Index (NDWI)	Hydrological
13. Reconnaissance Drought Index (RDI)	Hydrological

Εικόνα Ε.5.5: Δείκτες ξηρασίας βασισμένοι σε δορυφορικά δεδομένα (Πηγή: Nicolas R. Dalezios 2010)

ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΣ VCI

Ο Kogan πρότεινε έναν δείκτη κατάστασης βλάστησης (VCI) ο οποίος σχετίζεται με την αλλαγή του δείκτη βλάστησης Normalized Difference (NDVI) σε σχέση με την ελάχιστη ιστορική τιμή του (min-max). Επομένως, το VCI συγκρίνει τον τρέχοντα δείκτη βλάστησης (VI) όπως και ο NDVI ή ο ενισχυμένος δείκτη βλάστησης (EVI) με τις τιμές που παρατηρήθηκαν την ίδια περίοδο των προηγούμενων ετών μέσα σε ένα συγκεκριμένο εικονοστοιχείο. (Bauer 1976)

Υπολογισμός του δείκτη κατάστασης βλάστησης (VCI). Ο VCI υπολογίστηκε για 19 ολόκληρα υδρολογικά έτη (2000-2019) με 16 ημέρες περίοδο. Τονίζεται πως εφαρμόστηκαν ειδικές μάσκες για τα σύννεφα έτσι ώστε να υπάρχει επεξεργασία της μέγιστης δυνατής πληροφορίας από κάθε δορυφορική εικόνα.

Οι εικόνες NDVI ανακτήθηκαν απευθείας από την ανάλογη μπάντα του ραδιομέτρου MODIS και έχουν ανάλυση 1χλμ.

Έπειτα, οι ανά 16 ημερών NDVI, χρησιμοποιήθηκαν για τον υπολογισμό του 16ημερου VCI βάσει της εξίσωσης (). Ο VCI εξάχθηκε για όλη την Θεσσαλία (εξαιρουμένων των νήσων), με την χρήση διανύσματος (shapefile). Η πράξη για την εξαγωγή του δείκτη είναι η ακόλουθη:

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} * 100$$

Όπου όπου NDVI, NDVImin και NDVImax είναι η τιμή για έναν συγκεκριμένο μήνα αλλά και για ένα pixel και η ελάχιστη / μέγιστη τιμή αναφέρεται στον ίδιο μήνα αλλά και pixel κατά την κλιματολογική περίοδο της μελέτης

ΥΠΟΛΟΓΙΜΟΣ TCI

Ο δείκτης TCI χαρακτηρίζει την θερμική κατάσταση της περιοχής σε μία συγκεκριμένη περίοδο και βασίζεται σε πληροφορίες από το θερμικό υπέρυθρο φάσμα (Carlson 1972).

Όμοια με τον VCI, ο TCI εξάχθηκε και αυτός σε 16ήμερη περίοδο, για όλο το σετ δεδομένων. Τα βήματα υπολογισμού του δείκτη είναι παρόμοια με αυτά του VCI μόνο που αυτή την φορά χρησιμοποιήθηκε η μπαντα του θερμικού καναλιού του MODIS όπου παρέχει δεδομένα ανά 8 ημέρες και έχει ανάλυση 1 χλμ. Και ακραίες τιμές 7500 και 65535 αντίστοιχα. (τροποποιήθηκαν ύστερα στη κλίμακα του 100)

Τα δεδομένα επεξεργάστηκαν ώστε να υπάρχουν εικόνες ανά 16 ημέρες και ύστερα η θερμοκρασία μετατράπηκε από βαθμούς Kelvin σε βαθμούς Celsius. Εν συνεχεία παραγματοποιήθηκε η παρκάτω πράξη για τα δεδομένα ως έχουν:

$$TCI = \frac{T_{c_{max}} - T_c}{T_{c_{max}} - T_{c_{min}}} * 100$$

Όπου όπου Tc, Tcmax και Tcmin είναι η τιμή για έναν συγκεκριμένο μήνα αλλά και για ένα pixel και η ελάχιστη / μέγιστη τιμή αναφέρεται στον ίδιο μήνα αλλά και pixel κατά την κλιματολογική περίοδο της μελέτης

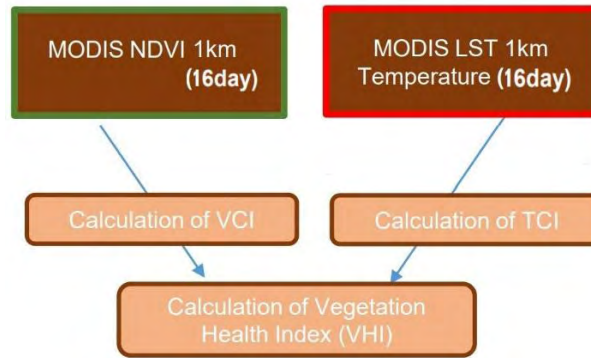
ΕΞΑΓΩΓΗ VHI

Το VHI είναι ένας ευρέως χρησιμοποιούμενος δείκτης ξηρασίας της τηλεπισκόπησης που έχει σχεδιαστεί ως το σταθμισμένο άθροισμα των δύο συστατικών: του δείκτη κατάστασης βλάστησης (VCI) και του δείκτη θερμικής κατάστασης (TCI). Ο πρώτος δείκτης χαρακτηρίζει τις συνθήκες υγρασίας και βασίζεται συνήθως σε πληροφορίες από το ορατό και κοντά σε υπέρυθρα φάσμα, ενώ ο δεύτερος χαρακτηρίζει τη θερμική κατάσταση και βασίζεται σε πληροφορίες από το θερμικό υπέρυθρο φάσμα.

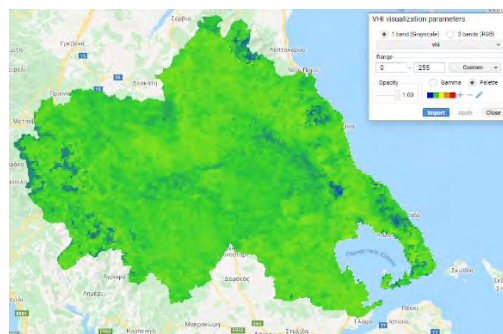
Η αγρομετεωρολογική ή γεωργική ξηρασία αναφέρεται στην απώλεια παραγωγής και εμφανίζεται όταν μειώνεται η υγρασία του εδάφους, τόσο ώστε να περιορίζεται σημαντικά η συγκομιδή των καλλιεργειών. Στην εφαρμογή αυτή χρησιμοποιείται ο δείκτης υγιούς βλάστησης (Vegetation Health Index/VHI) (Kogan, 2001· Dalezios, 2013).

Ο τρόπος με τον οποίο εξάχθηκε ο VHI φαίνεται παρακάτω στην σχέση και το σχήμα που ακολουθεί:

$$VHI = 0,5 * (VCI) + 0,5 * (TCI)$$



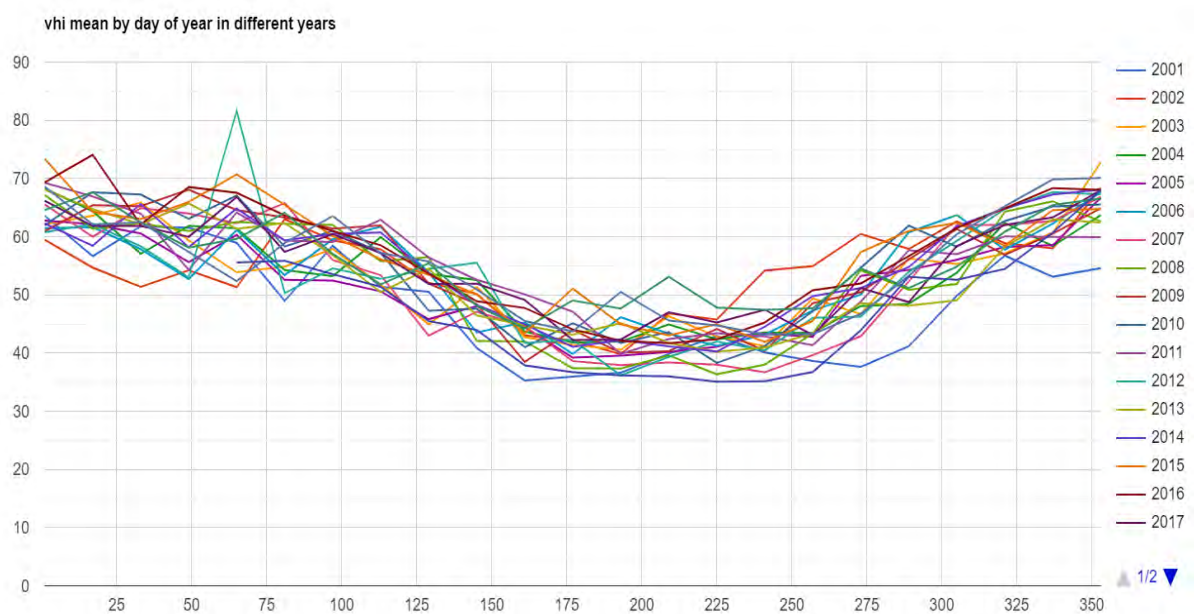
Εικόνα Ε.5.6: Μεθοδολογία εξαγωγής VHI



Εικόνα Ε.5.7: Παράδειγμα υπολογισμένης εικόνας VHI

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5: ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΕΠΙΣΗΜΑΝΣΕΙΣ

ΑΝΑΛΥΣΗ ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΩΝ

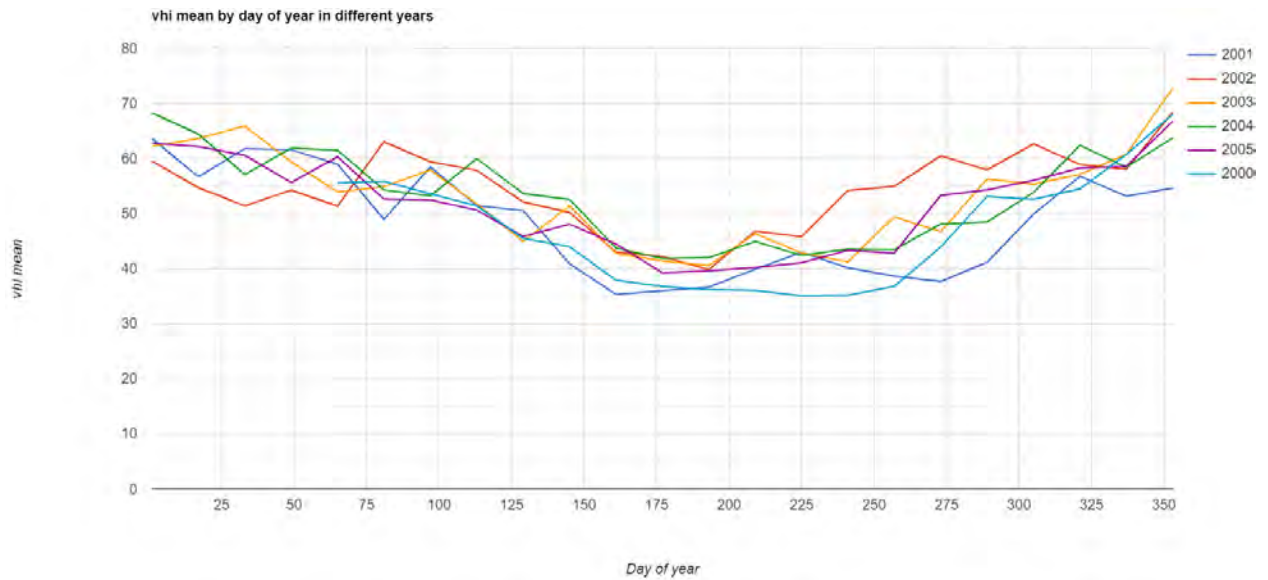


Γράφημα Π2.3 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2000-2019

Όπως φαίνεται από το συγκεντρωτικό διάγραμμα του Γραφήματος Π2.3 εμφανίζονται ορισμένες ακραίες τιμές του δείκτη VHI για την χρονοσειρά 2000-2019. Θα γίνει εστίαση σε αυτά τα έτη, έτσι ώστε να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα για την ξηρασία στον Θεσσαλικό κάμπο. Οι πιο ακραίες τιμές που εντοπίζονται σε αυτό το διάγραμμα εστιάζονται στα έτη 2000, 2001, 2003, 2012 και το 2016. Οι βασικές τιμές κατωφλίου για τις οποίες προτιμήθηκε να γίνει αναφορά των αποτελεσμάτων είναι, για τις μεγαλύτερες τιμές του αγροκλιματικού δείκτη VHI 75% και για τις μικρότερες τιμές 35%.

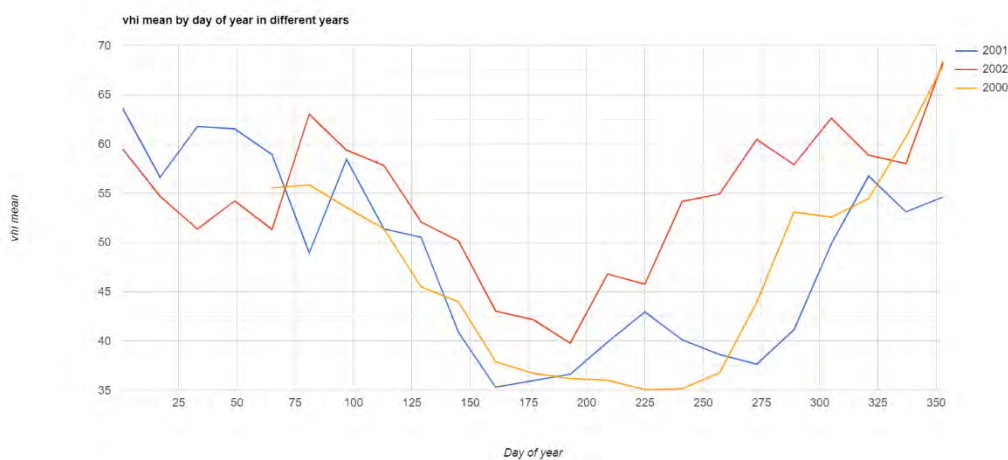
Αναφορά στα έτη υψηλού ενδιαφέροντος της μελέτης

Έτη 2000, 2001, 2003:

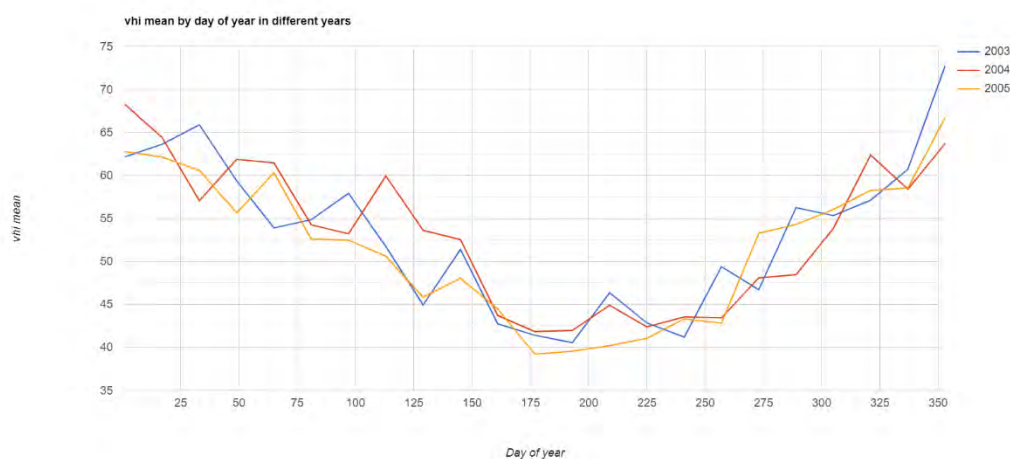


Γράφημα Π1.8 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2000-2005

Στο διάγραμμα πενταετίας του γραφήματος Π1.8 φαίνεται πως τις πιο ακραίες τιμές εμφανίζουν τα έτη 2000, 2001 και 2003. Πιο συγκεκριμένα το έτος 2000 εμφανίζει μεγάλη πτώση του δείκτη υγιούς βλάστησης με τιμές να κυμαίνονται στο 35%. Το 2001 αντίστοιχα με το 2000 εμφανίζει και αυτό πτώση του δείκτη VHI της ίδια τάξεως. Το έτος 2003 εμφανίζεται μολτατά υψηλή τιμή του δείκτη υγιούς βλάστησης με τιμή που κυμαίνεται ελαφρώς ανώτερη από την μέγιστη επιλεγμένη τιμή κατωφλίου.



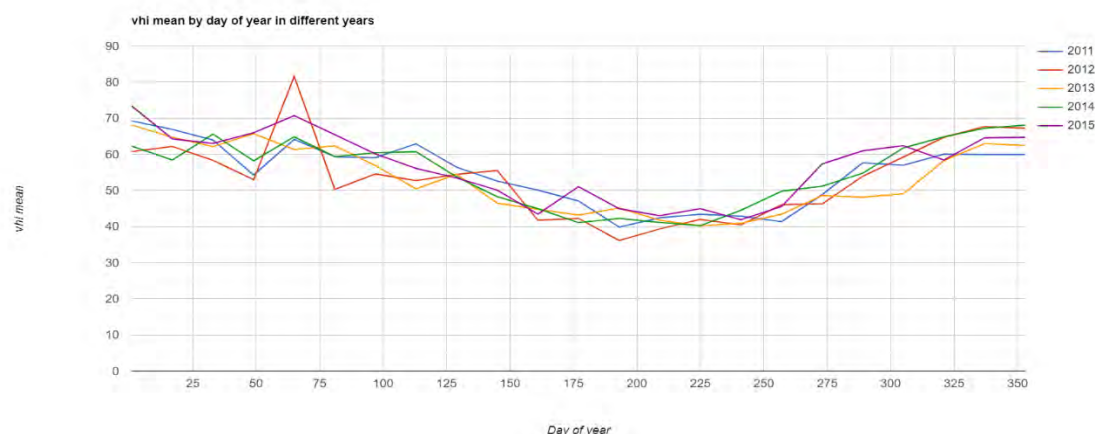
Γράφημα Π1.1 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2000-2002



Γράφημα Π2.1 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2003-2005

Στις αναλύσεις τριετίας του VHI στα γραφήματα Π1.1 και Π1.2 φαίνονται ακόμη πιο καθαρά οι ακραίες τιμές των ετών για τα οποία έγινε αναφορά προηγουμένως.

Έτος 2012:



Γράφημα Π2.1 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2011-2015

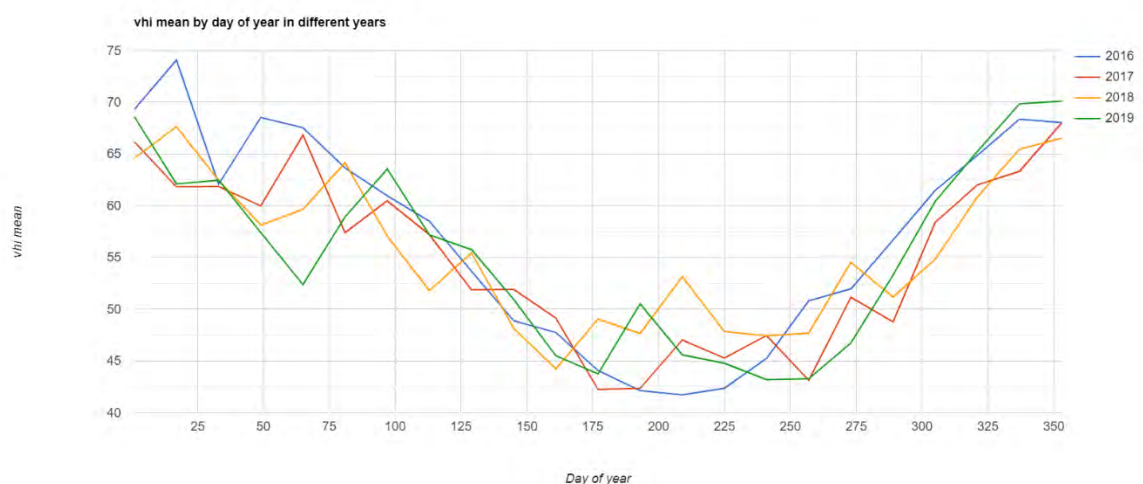
Στο διάγραμμα πενταετίας του γραφήματος Π2.1 φαίνεται πως τις πιο ακραίες τιμές εμφανίζει το έτος 2012. Πιο συγκεκριμένα το έτος 2012 εμφανίζει πτώση του δείκτη υγειούς βλάστησης με τιμές να κυμαίνονται ελαφρώς πάνω από την ελάχιστη τιμή επιλεγμένου μικρότερου κατωφλίου (35%) αλλά ταυτόχρονα εμφανίζεται και η μεγαλύτερης τάξης άνοδος του VHI με τιμές που ξεπερνάνε το μέγιστο επιλεγμένο κατώφλι και μάλιστα ξεπερνούν το ποσοστό υγείας βλάστησης 80%.



Γράφημα 1.4: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2009-2011

Στις αναλύσεις τριετίας του VHI στο γράφημα Π1.4 φαίνονται ακόμη πιο καθαρά οι ακραίες τιμές του ετους για το οποίο έγινε αναφορά προηγουμένως.

Έτος 2016:



Γράφημα 2.2: Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2016-2019

Στο διάγραμμα τετραετίας του γραφήματος Π2.1 φαίνεται πως τις πιο ακραίες τιμές εμφανίζει το έτος 2016. Πιο συγκεκριμένα το έτος 2016 εμφανίζει άνοδο του δείκτη υγειούς βλάστησης με τιμές να κυμαίνονται ελαφρώς χαμηλότερα από την μέγιστη τιμή επιλεγμένου ανώτερου κατωφλίου(75%) αλλά ταυτόχρονα εμφανίζεται και η μεγαλύτερης τάξης πτώση του VHI με τιμές που ξεπερνάνε το ελάχιστο επιλεγμένο κατώφλι και μάλιστα το ξεπερνούν καθοδικά .

Αναλυτικότερα οι ακραίες διακυμάνσεις του δείκτη VHI για τα χρόνια για τα οποία έγινε αναφορά όσον αφορά τα κατώφλια που επιλέχθηκαν φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Επιλεγμένα έτη με ακραίες τιμές	Ελάχιστο επιλεγμένο κατώφλι (35% VHI)	Μέγιστο επιλεγμένο κατώφλι (75% VHI)
2000	35	-
2001	35	-
2003	-	75 [↓]
2012	35 [↑]	75 ^{↑↑}
2016	35 [↓]	75 [↓]

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6: ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΚΑΙ ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Όσον αφορά την επεξεργασία των δορυφορικών δεδομένων με την πρωταρχική τους μορφή, η χρήση φίλτρων και κατάλληλων μασκών χρήζει απαραίτητη διότι τα πρωταρχικά δεδομένα μπορούν με άμεσο υπολογισμό να παράγουν λανθασμένα αποτελέσματα για την επιθυμητή μελέτη. Είναι λοιπόν δεδομένο πως έπρεπε να γίνει απαλοιφή των εκάστοτε θορύβων για την καλύτερη ποιότητα της μελέτης.

Ο αγρομετεωρολογικός δείκτης VHI είναι κατάλληλος για την διαμόρφωση μιας γενικότερης εικόνας, όσον αφορά την εξέλιξη της βλάστησης διαχρονικά. Ο VHI προσδιορίζει τις συνθήκες γεωργικής ξηρασίας και χρήζει αναπόσπαστο κομμάτι μιας ολοκληρωμένης μελέτης του αγροκλίματος, εφόσον παρέχει δεδομένα τα οποία σχετίζονται με την περιοδικότητα της γεωργικής ξηρασίας στην εκάστοτε περιοχή μελέτης, στην προκειμένη περίπτωση, στον Θεσσαλικό κάμπο.

Από την παραπάνω μελέτη φαίνεται πως εντοπίστηκαν ορισμένες ημερομηνίες όπου δείκτης υγείας της βλάστησης VHI υποδεικνύει την ύπαρξη γεωργικής ξηρασίας, πιο συγκεκριμένα για τα έτη 2000, 2001, 2012 και το 2016. Η παρούσα διπλωματική αποσκοπεί στον εντοπισμό τυχόν ελλειμάτων νερού στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας για την χρονοσειρά 2000- 2012 των δεδομένων του ραδιόμετρου MODIS.

Το αποτέλεσμα στο οποίο οδηγείται η έρευνα αυτή υποδεικνύει πως στον Θεσσαλικό κάμπο:

- Υπάρχουν συγκεκριμένες περιόδους υψηλής ξηρασίας όπου η βλάστηση είναι ισχνή.
- Παρατηρούνται έτη όπου η βλάστηση είναι υψηλότερη χωρίς αυτό να σημαίνει την απαραίτητη ύπαρξη βλάστησης όλο το έτος.
- Συναντώνται περισσότερες σε πλήθος περιπτώσεις όπου υπήρξε ακραία ξηρασία έναντι των φαινομένων έντονης βλάστησης.
- Η all time χαμηλότερη τιμή του δείκτη VHI εντοπίζεται το 2016, δηλαδή σχετικά κοντινή στο παρόν, ημερομηνία, γεγονός που δεν προμηνύει ικανοποιητικά ποσά υδατικών αποθεμάτων για το εγγύς μέλλον στον Θεσσαλικό κάμπο.

Αν υπάρχει κάτι το οποίο αξίζει να αποκομηθεί από την μελέτη αυτή, εκείνο θα ήτανε ότι η ξηρασία αποτέλεσε έναν παράγοντα που δεν έπαψε να εμφανίζεται στην χρονοσειρά των δεδομένων που αναλύθηκαν.

Επίσης ιδιαίτερης σημασίας χρήζει η εμφάνιση ταυτόχρονα υψηλών και χαμηλών τιμών υγείας της βλάστησης, γεγονός που δείχνει πως κατά την πάροδο των χρόνων εμφανίζονται πολύ υγρές και πολύ ξηρές περιόδους στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας.

Το παραπάνω αποτέλεσμα αποτελεί μια ανησυχητική διαπίστωση για την ανισορροπία της λειτουργίας των εποχών όπως εκείνες είναι γνωστές. Αυτή η ανισορροπία δύναται να δυσκολέψει ακόμα περισσότερο τα εγχειρήματα των αγροτών για την εφαρμογή μεθόδων γεωργίας ακριβείας με σκοπό την βελτιστοποίηση της παραγωγής.

Σε περίπτωση μεταφοράς και εφαρμογής της συγκεκριμένης μεθοδολογίας σε άλλες περιοχές μελέτης, σημαντική κρίνεται η εμπειριστατωμένη μελέτη της περιοχής τόσο σε βαθμό εμφάνισης παρόμοιων φαινομένων σε χρονοσειρά δεδομένων (ή διαμόρφωση των εκάστοτε παραμέτρων υπολογισμού) όσο και στην τοπογραφική ανάλυση η οποία πιθανόν να συμβάλει σε βελτίωση των αποτελεσμάτων.

Η συγκεκριμένη μεθοδολογία μολαταύτα αξιοποιεί έμπιστους δείκτες και είναι ανεξάρτητη από την περιοχή μελέτης. Έτσι, μπορεί να είναι εφικτή μεταφορά της και σε άλλες περιοχές μελέτης. Ακόμα, η αξιοποίηση των δορυφορικών δεδομένων συντελεί στον σαφή προσδιορισμό των προβλημάτων, χωρίς την ύπαρξη αοριστιών όσον αφορά τα όρια επέκτασης αυτών.

Τέλος, αποτελεί αναμφισβήτητη ανάγκη η επέκταση της μεθοδολογίας σε ολόκληρο τον χώρο της Ελλάδας για την μελέτη της βλάστησης και κατ' επέκτασιν της γεωργίας, και σημαντικών καλλιεργειών για την ελληνική οικονομία (π.χ. σιτάρι, βαμβάκι κ.α.), με σκοπό τον προσδιορισμό των αγροκλιματικών ιδιοτήτων των περιοχών, έτσι ώστε να επιτευχθεί μια συνολική μελέτης αγροκλιματικής ζωνοποίησης, τουλάχιστον στις βασικότερες, καλλιεργήσιμες σημασίας, εκτάσεις της Ελλάδας.

Φαίνεται ύστερα από ολόκληρη αυτή την ανάλυση πόσο σημαντική αποτελεί εν τέλει η ανάλυση των δεδομένων βλάστησης για την διάγνωση των προβλημάτων στις καλλιέργειες και των αναγκών τους σε νερό.

Το επόμενο βήμα που θα μπορούσε να πραγματοποιηθεί ύστερα από αυτή την μελέτη θα ήταν η περαιτέρω έρευνα δεικτών, όπως αυτός της δυνητικής εξατμισοδιαπνοής για τον διαχωρισμό του υδατικού διαμερίσματος της Θεσσαλίας σε αγροκλιματικές ζώνες με σκοπό την κατασκευή μαθηματικών μοντέλων πρόβλεψης της εξέλιξης των αποθεμάτων νερού στον κάμπο της Θεσσαλίας. Τα μαθηματικά αυτά μοντέλα θα μπορούσαν να συμπεριλάβουν:

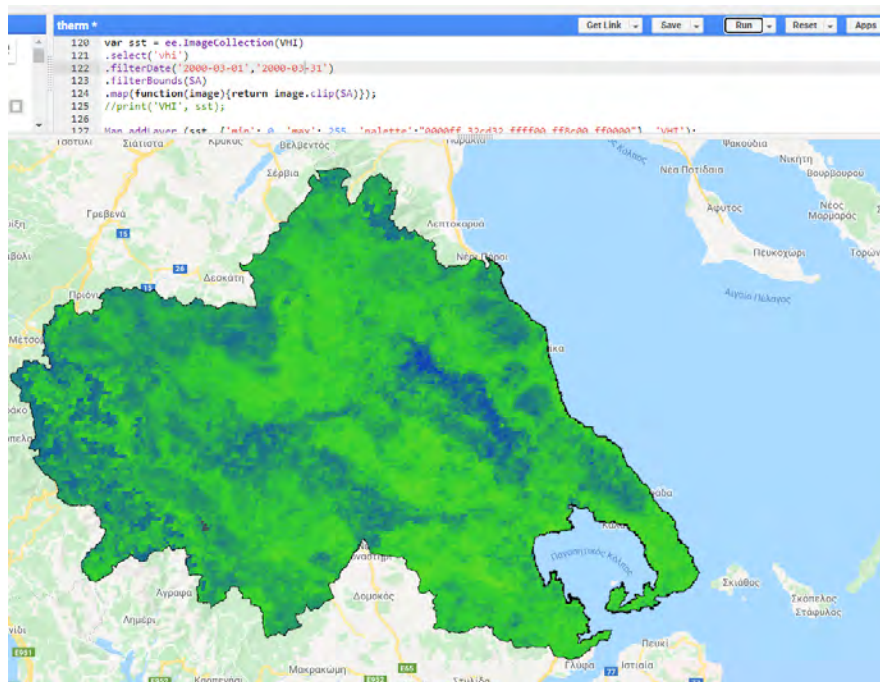
- Μοντέλα τεχνητής νοημοσύνης για την πρόβλεψη των αποθεμάτων σε νερό με την χρήση training data τα οποία θα αντλούνται από μια χρονοσειρά. (Neural Networks)
- Η δημιουργία μοντέλων black box για την πρόβλεψη του νερού, μέσω του συνδυασμού του VHI με άλλους δείκτες ξηρασίας όπως ο AI(Aridity Index) και ο SPI(Standardized Precipitation Index).
- Την εφαρμογή ημιεμπειρικών μοντέλων για περιοδική εφαρμογή στον θεσσαλικό κάμπο. Δηλαδή η χρήση των ήδη υπολογισμένων δεικτών και ο συνδυασμός τους με δεδομένα που μπορούν να αντληθούν με μετεωρολογικά και αγρονομικά μέσα.
- Κατασκευή απλών μοντέλων παλινδρόμησης με πολλαπλές μεταβλητές οι οποίες θα έχουν υπολογιστεί όπως στην παρούσα μελέτη υπολογίστηκε ο VHI.

Ακόμα ιδιαίτερα σημαντική, πρέπει να τονισθεί πως είναι η τοπογραφία της περιοχής μελέτης. Η κατανόηση των υψομέτρων θα μπορούσε να αποδώσει μετέπειτα μια ορθότερη εικόνα όσον αφορά αποκλειστικά την καλλιεργήσιμη γη. Η παρούσα διπλωματική είχε σκοπό την γενική παρατήρηση και ανάλυση της βλάστησης στο υδατικό διαμέρισμα της Θεσσαλίας. Μέσω της προσθήκης ψηφιακών μοντέλων εδάφους η αγροκλιματική ζωνοποίηση θα μπορούσε να γίνει ακόμα πιο αποτελεσματικά, αποκλείοντας περιοχές οι οποίες δεν έχουν γεωργικό ενδιαφέρον.

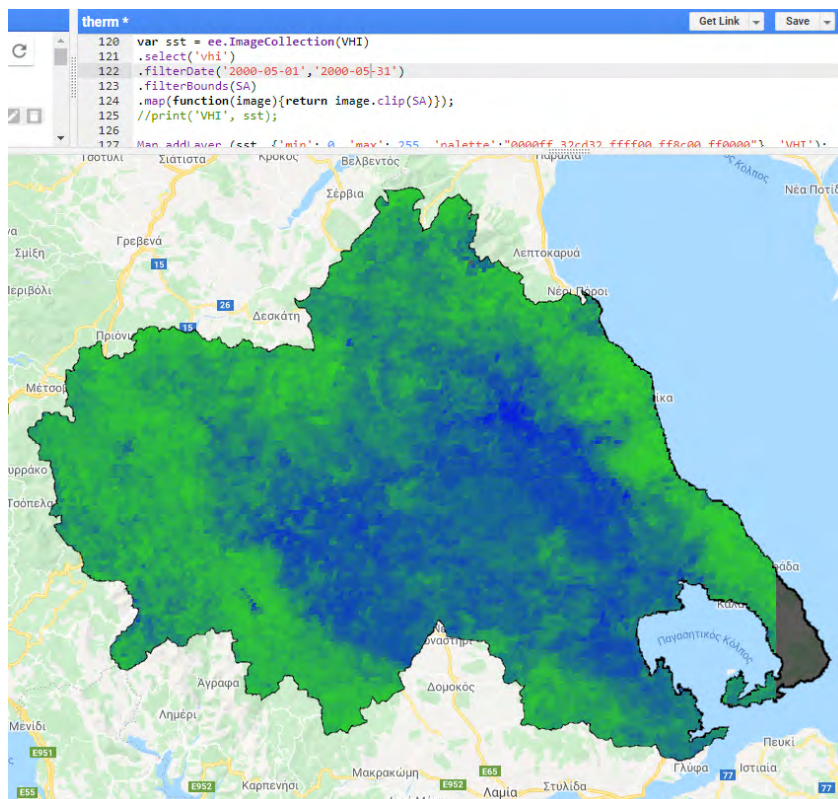
Επίσης χρήσιμη θα ήταν η άντληση δεδομένων καλλιέργειας και δεικτών ανάπτυξης των φυτών για την μελέτη της εξατμισοδιαπνοής σε συγκεκριμένες ποικιλίες φυτών. Μιας και ο βασικότερος στόχος της γεωργίας ακριβείας είναι η απομόνωση συγκεκριμένων καλλιεργήσιμων φυτών με σκοπό την μελέτη πάνω σε αυτά για την βελτιστοποίηση της παραγωγής.

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑΤΑ

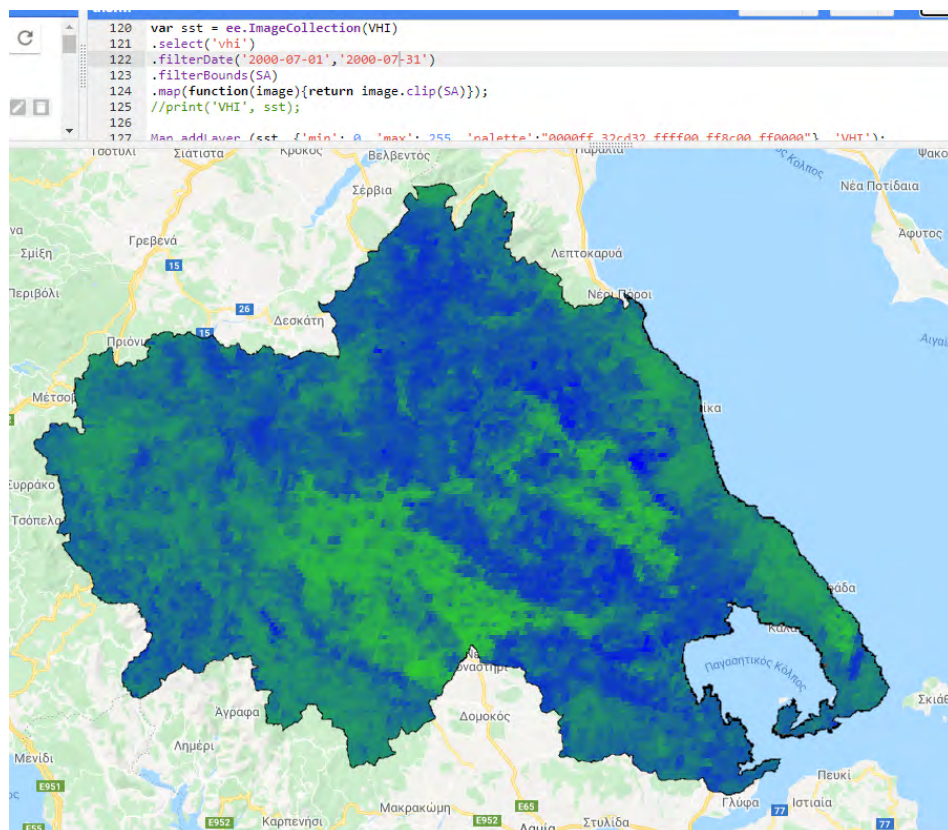
Τα Παραρτήματα περιέχουν τις υπολογισμένες εικόνες VHI με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον και διαγράμματα σύγκρισης μεταξύ των τιμών του VHI σε κλίμακα 0-100 για τα 19 χρόνια της μελέτης.



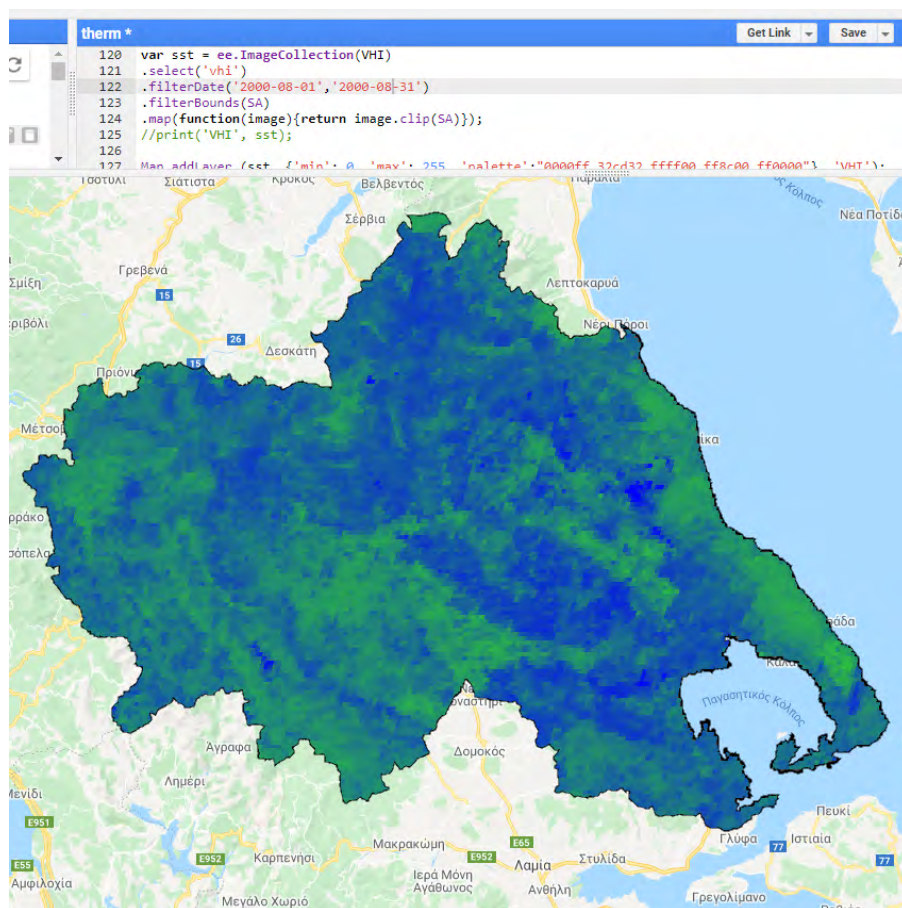
Εικόνα Ε.1.1: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάρτιο του 2000



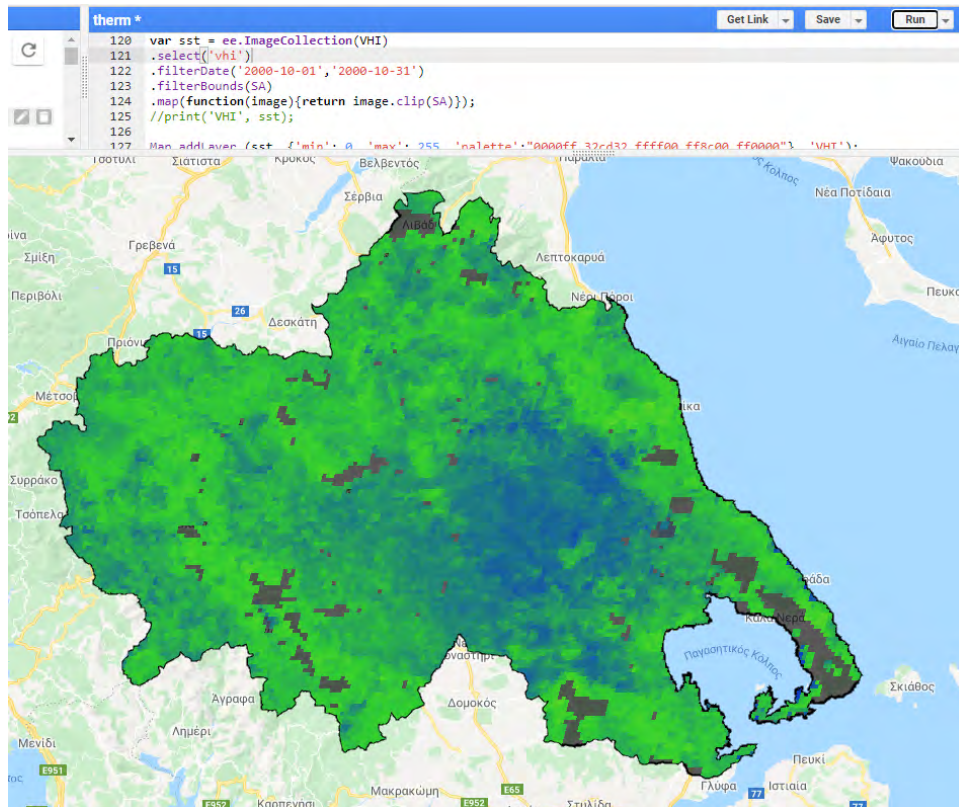
Εικόνα Ε.1.2: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάη του 2000



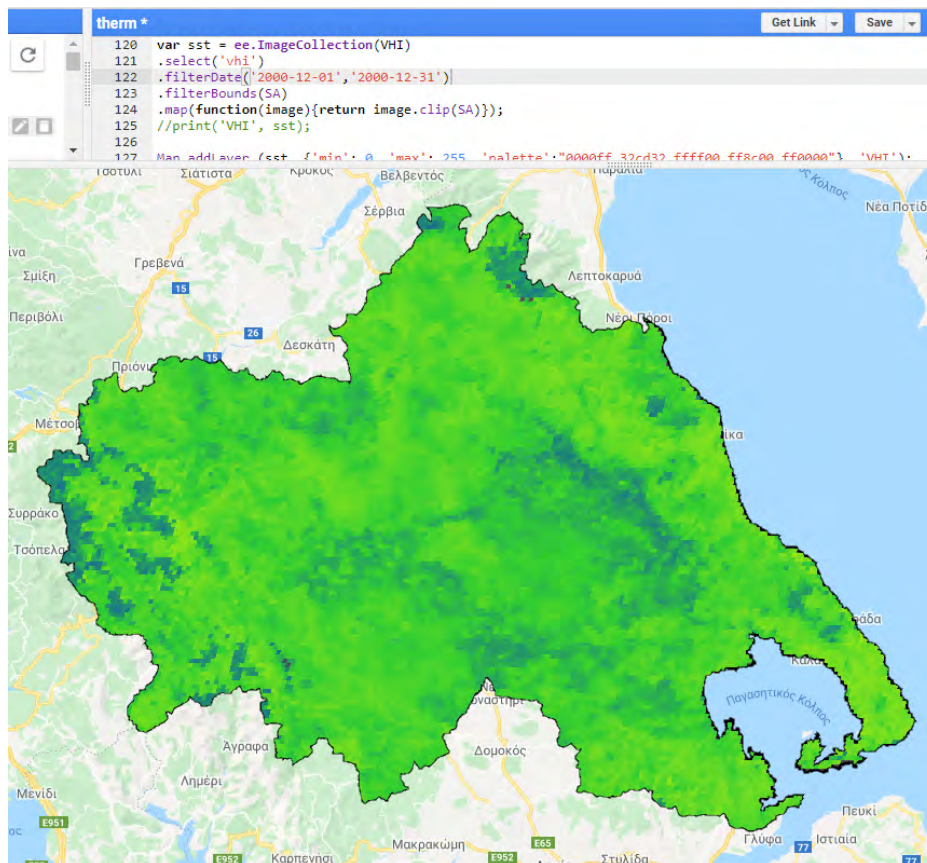
Εικόνα Ε.1.3: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιούλιο του 2000



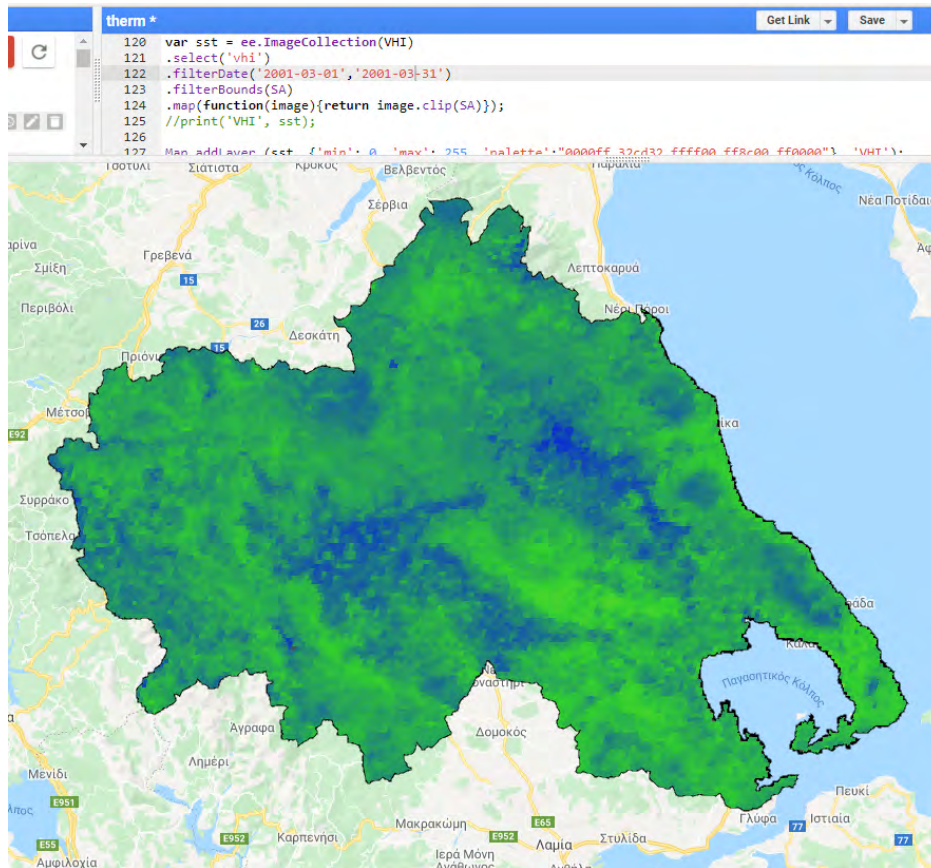
Εικόνα Ε.1.4: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2000



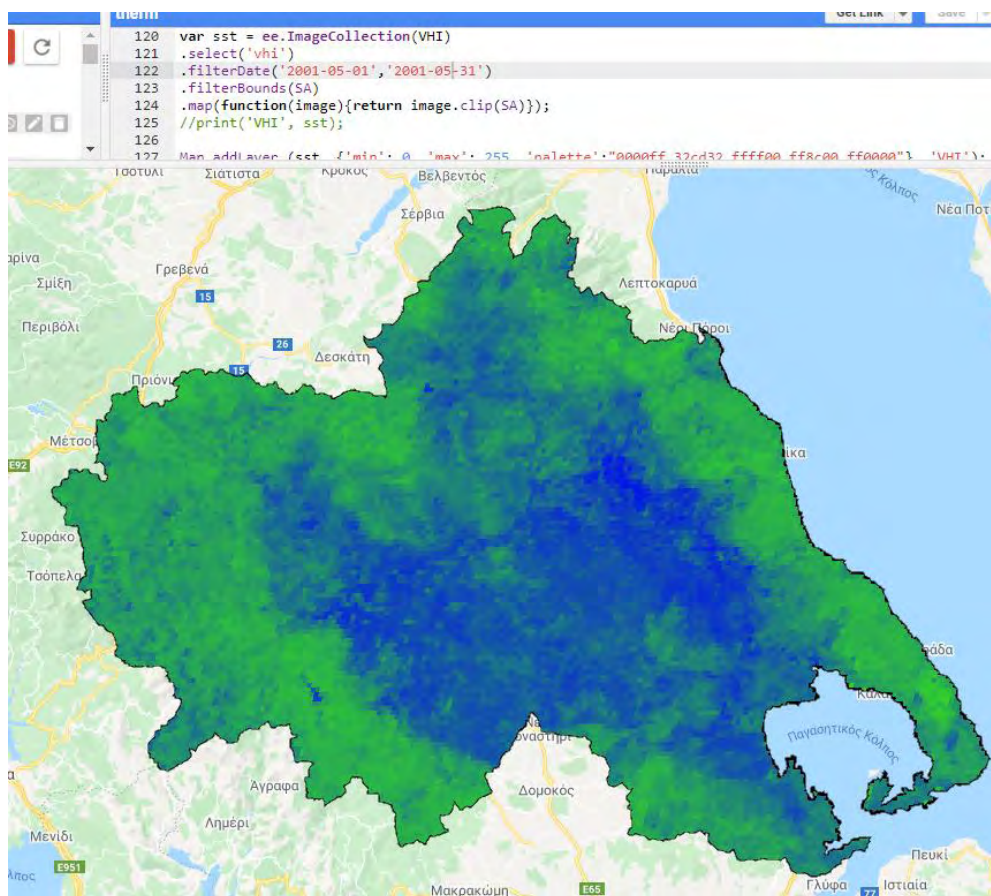
Εικόνα Ε.1.5: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Οκτώβριο του 2000



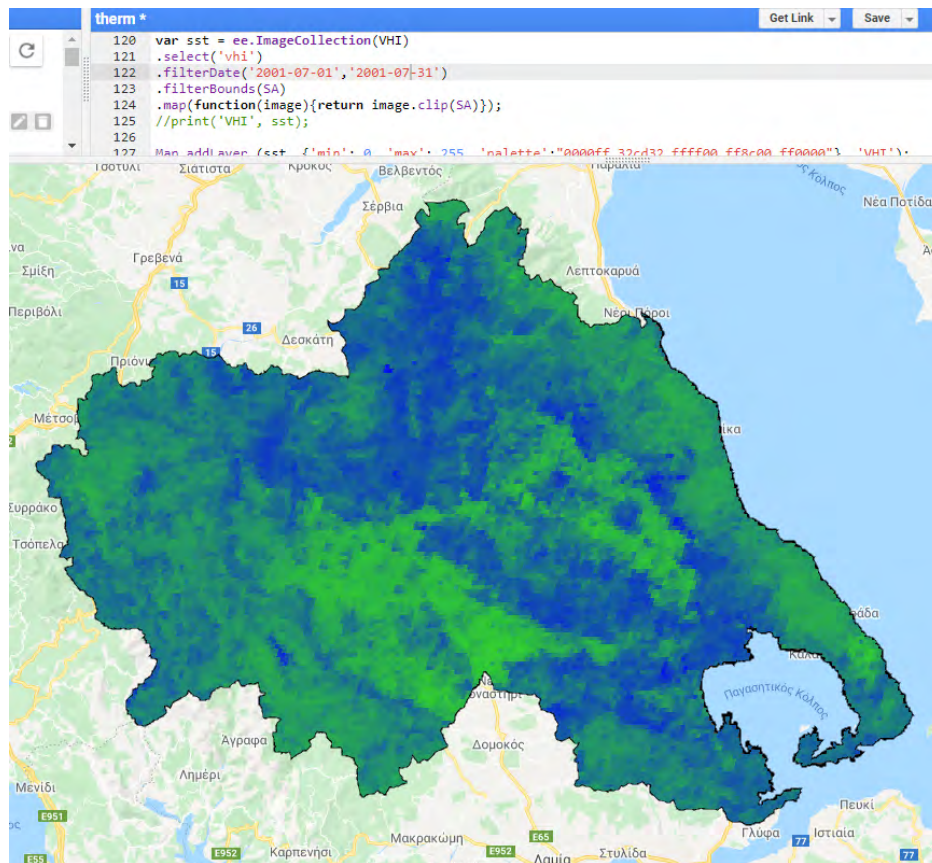
Εικόνα Ε.1.6: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Δεκέμβριο του 2000



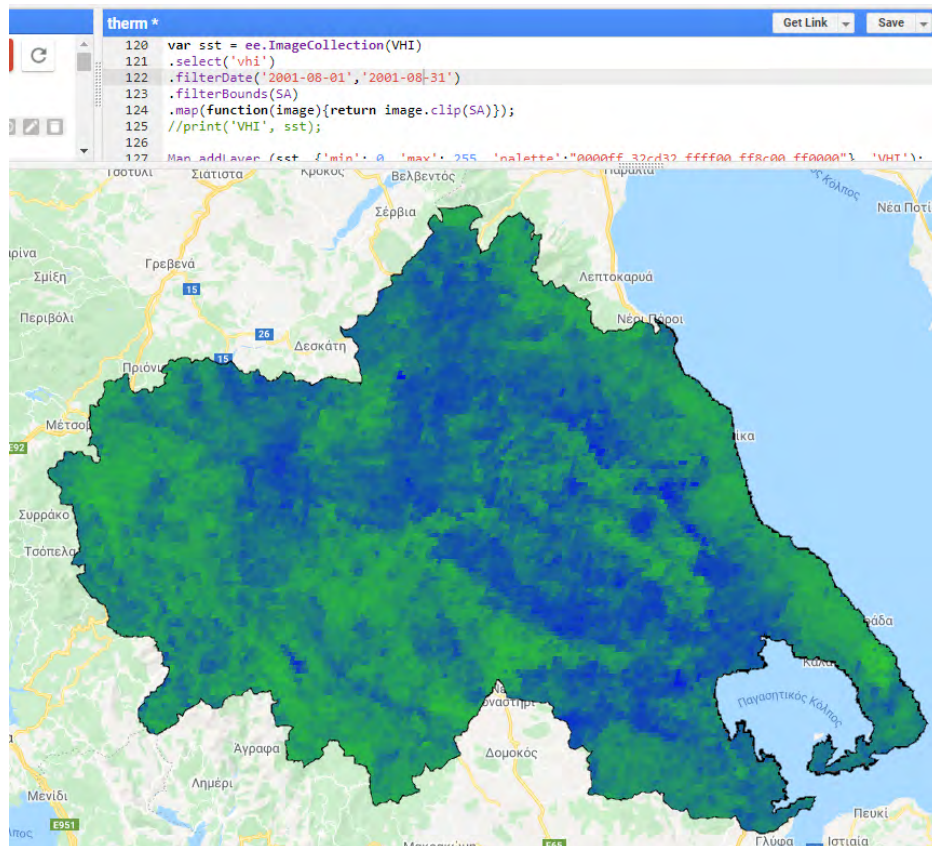
Εικόνα Ε.2.1: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάρτιο του 2001



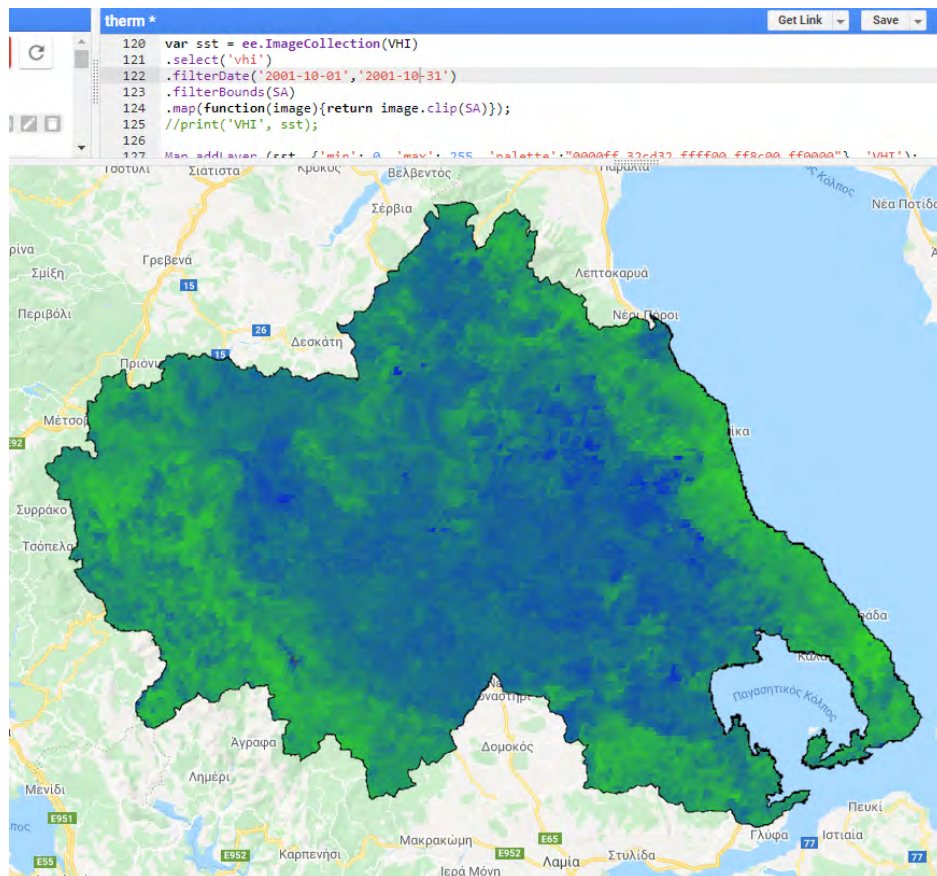
Εικόνα Ε.2.2: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάη του 2001



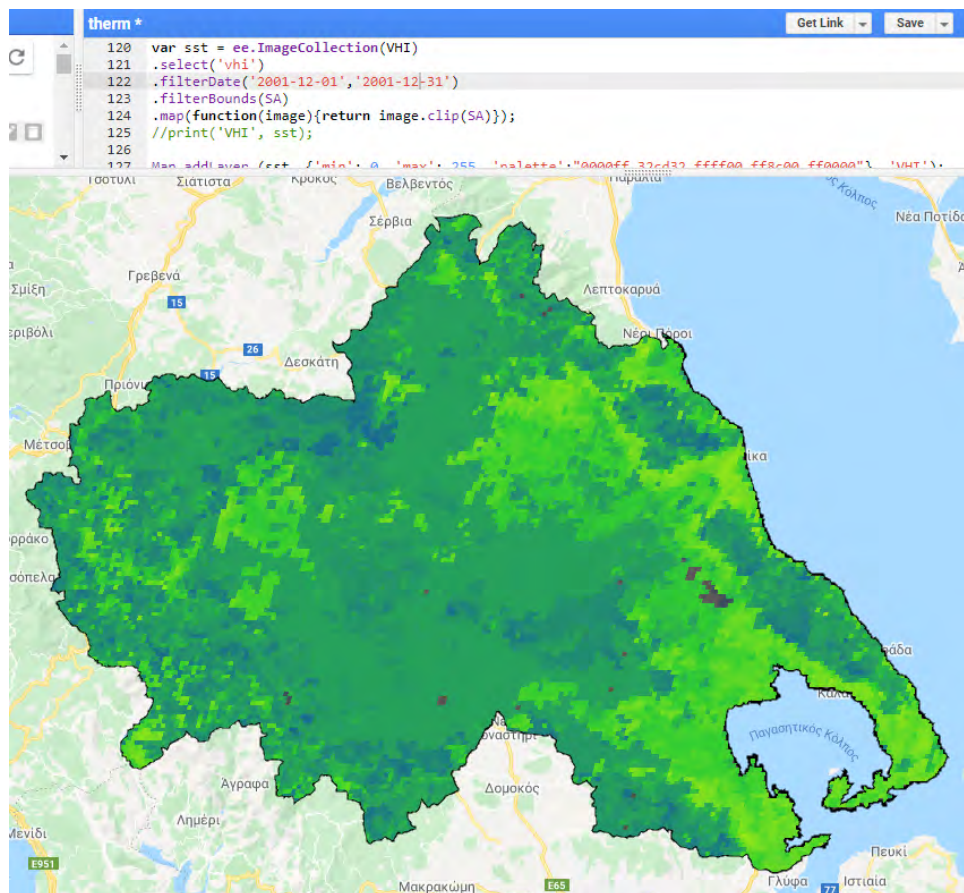
Εικόνα Ε.2.3: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2001



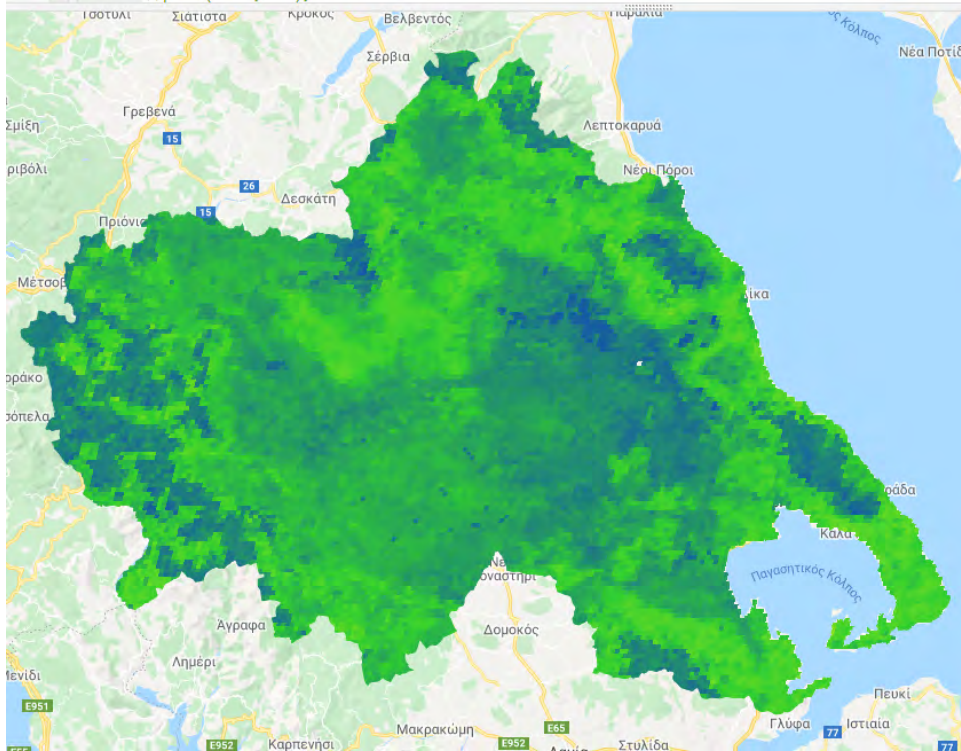
Εικόνα Ε.2.4: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2001



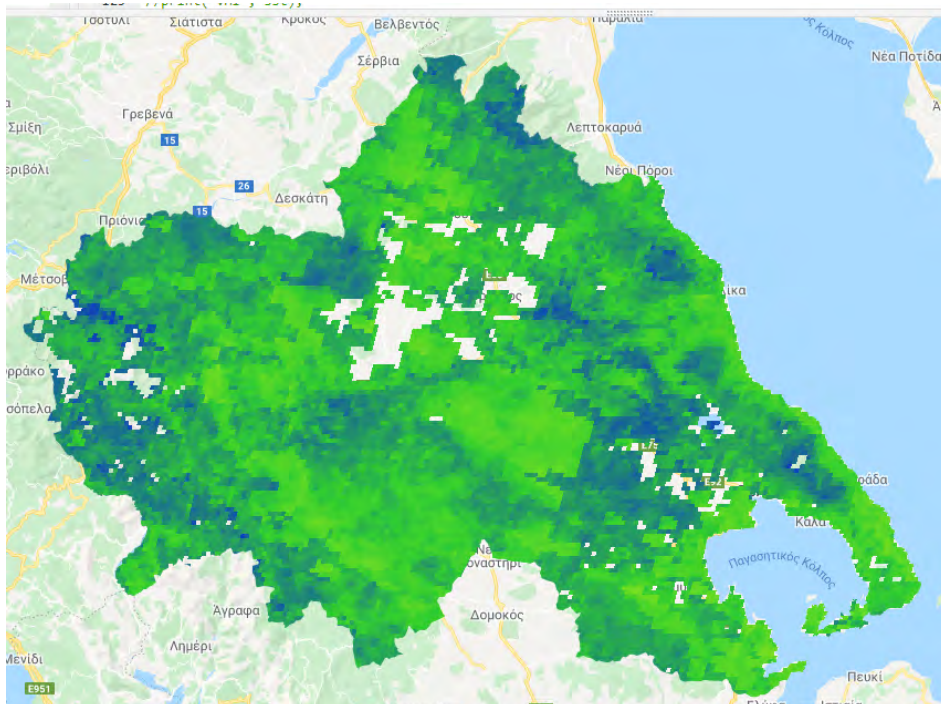
Εικόνα Ε.2.5: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Οκτώβριο του 2000



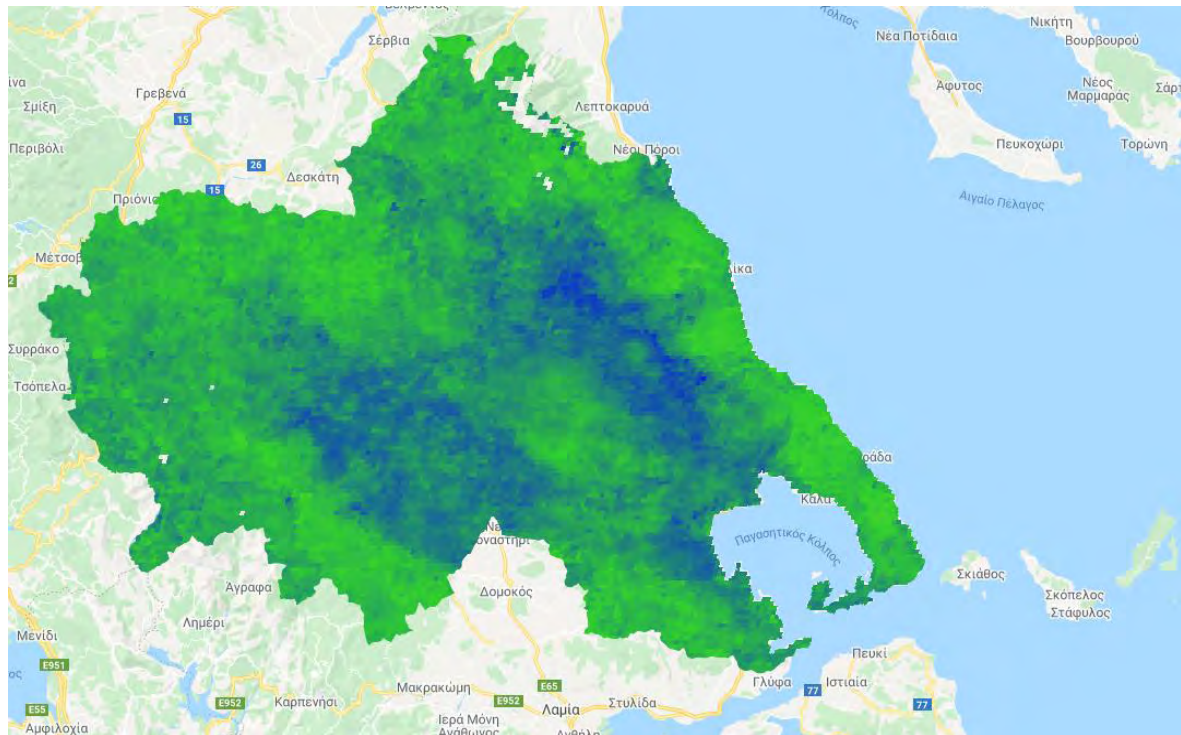
Εικόνα Ε.2.6: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Δεκέμβριο του 2001



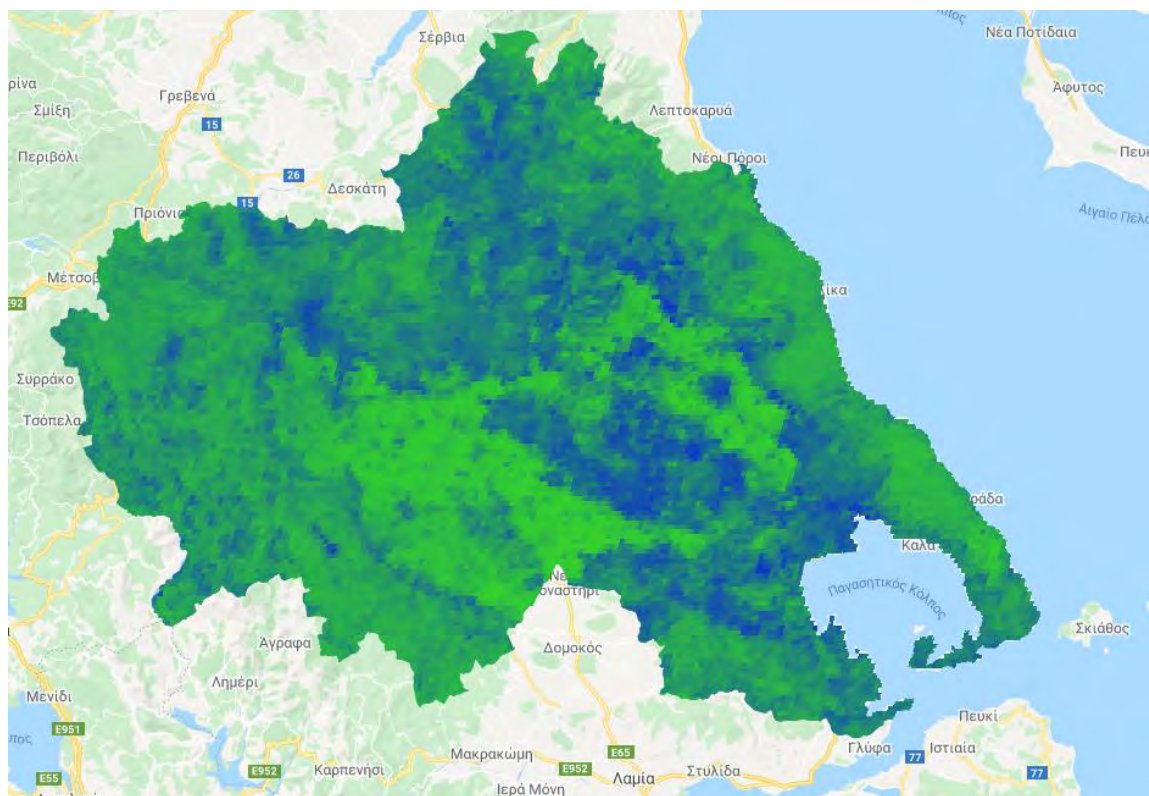
Εικόνα Ε.3.1: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιανουάριο του 2003



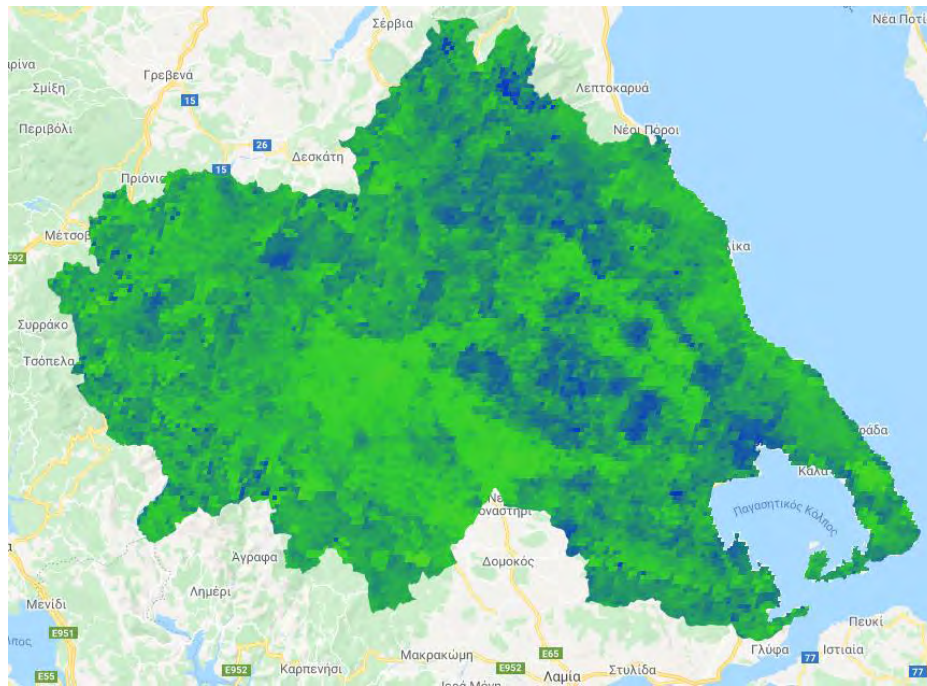
Εικόνα Ε.3.2: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάρτιο του 2003



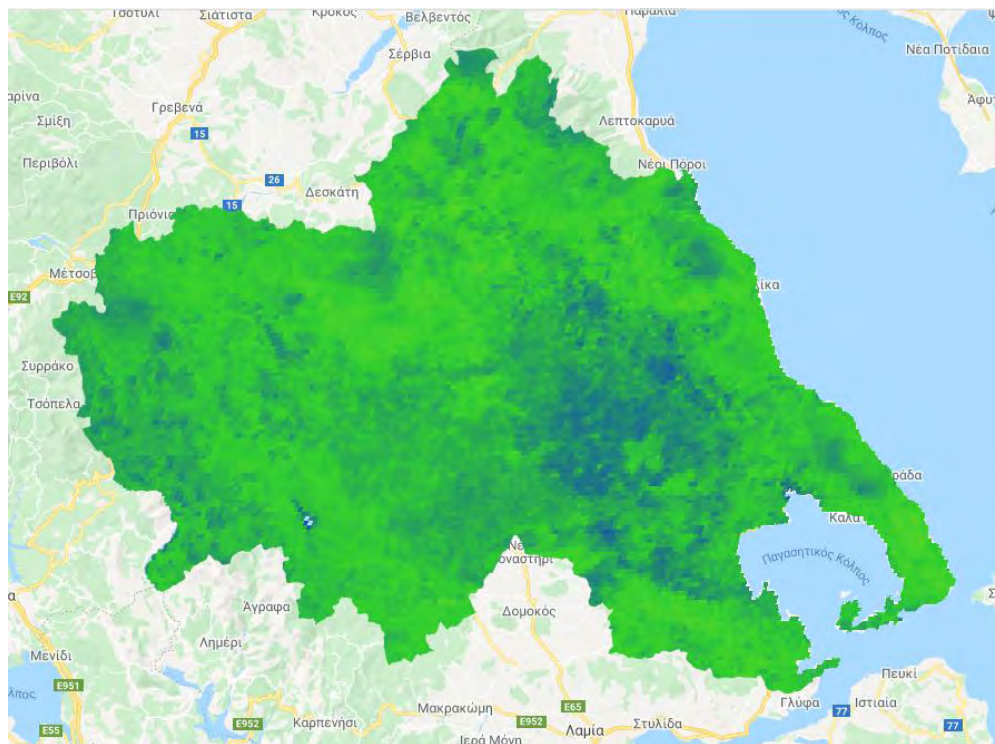
Εικόνα Ε.3.3: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάη του 2003



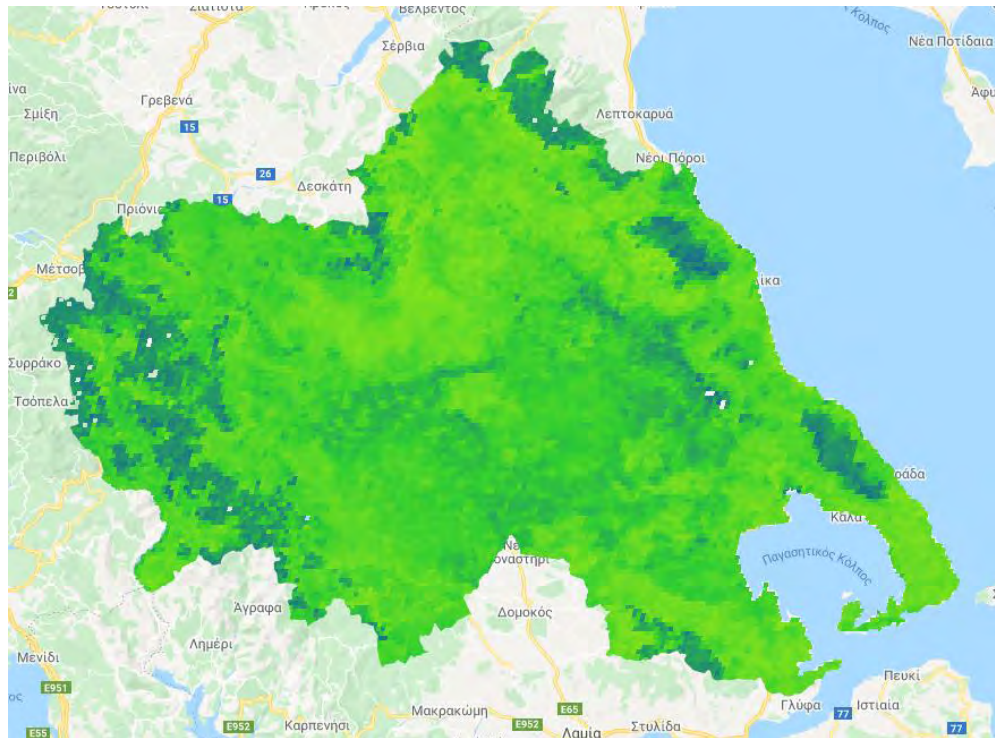
Εικόνα Ε.3.4: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιούλιο του 2003



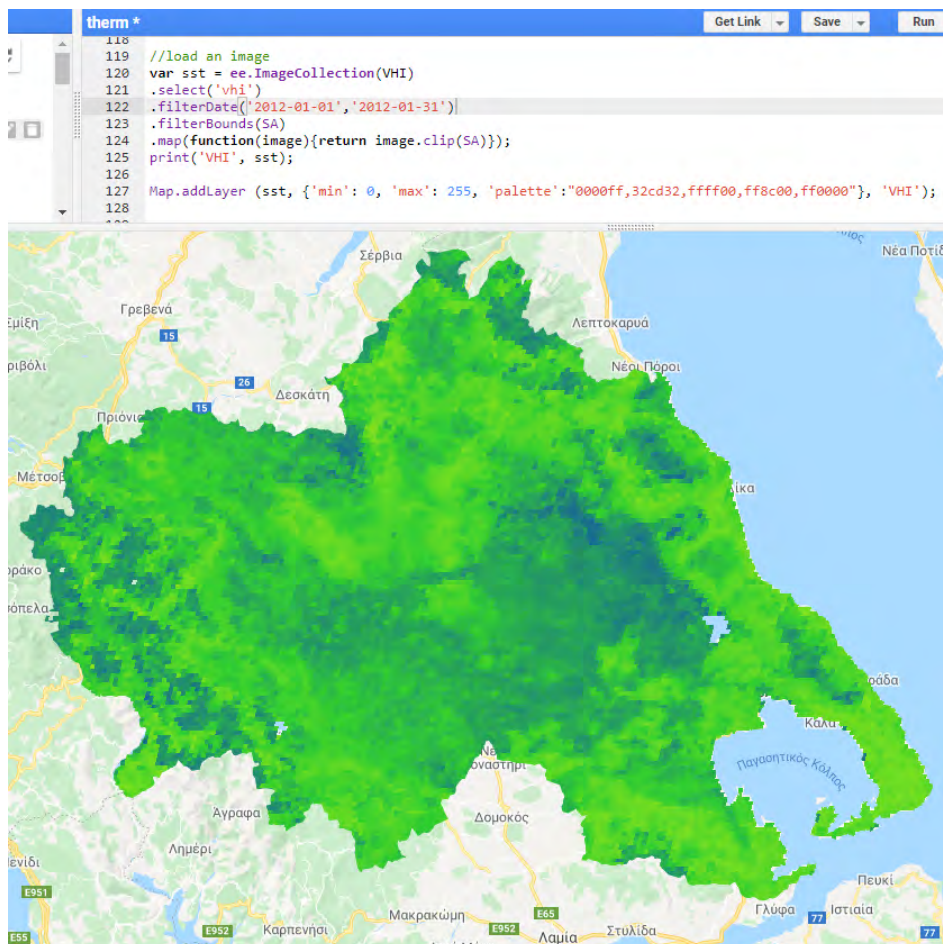
Εικόνα Ε.3.5: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2003



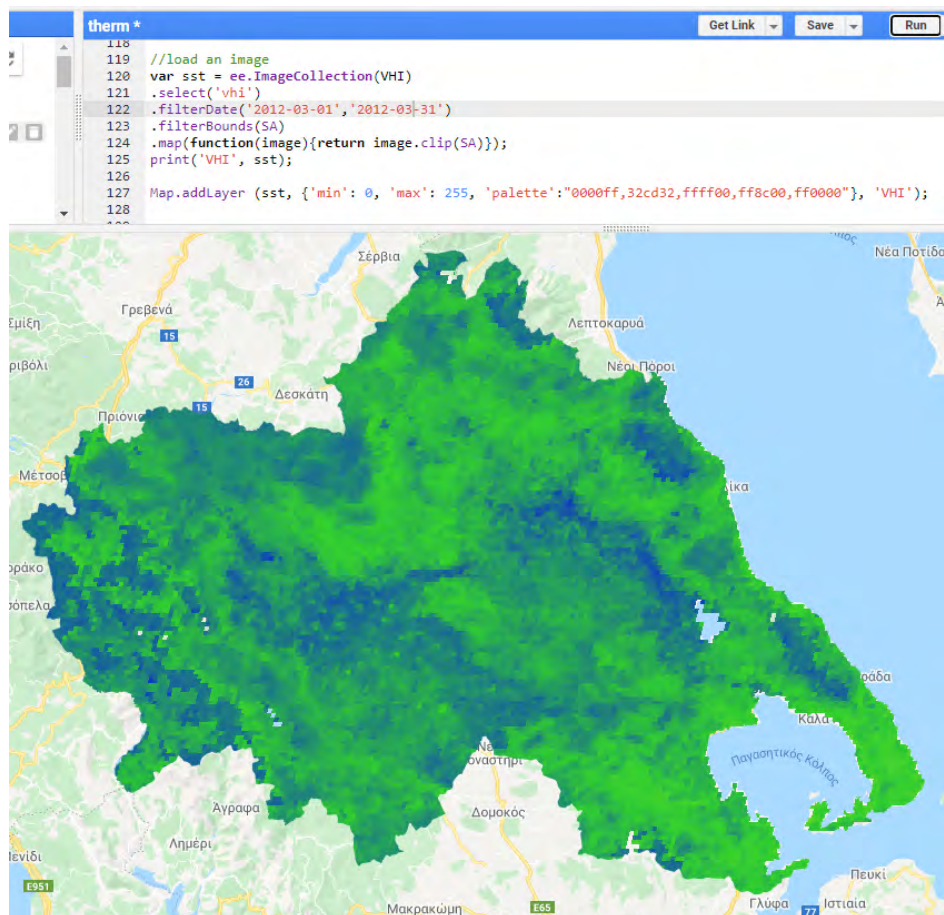
Εικόνα Ε.3.6: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Οκτώβριο του 2003



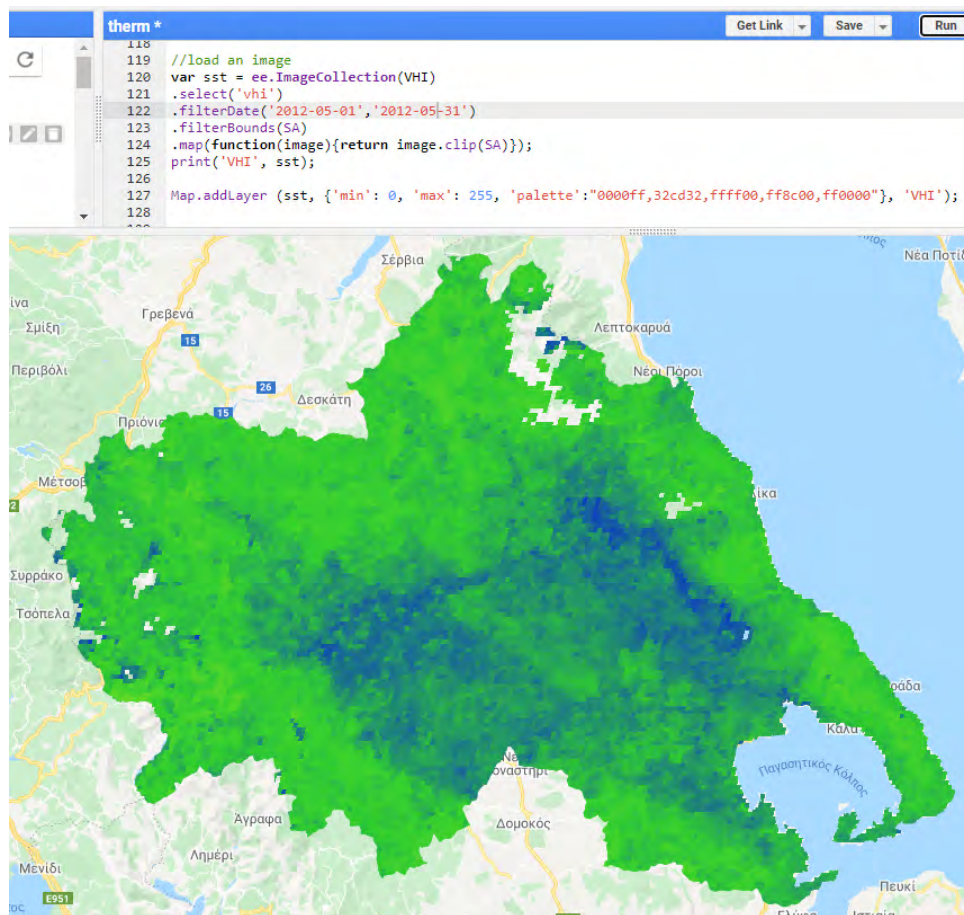
Εικόνα Ε.3.7: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Δεκέμβριο του 2003



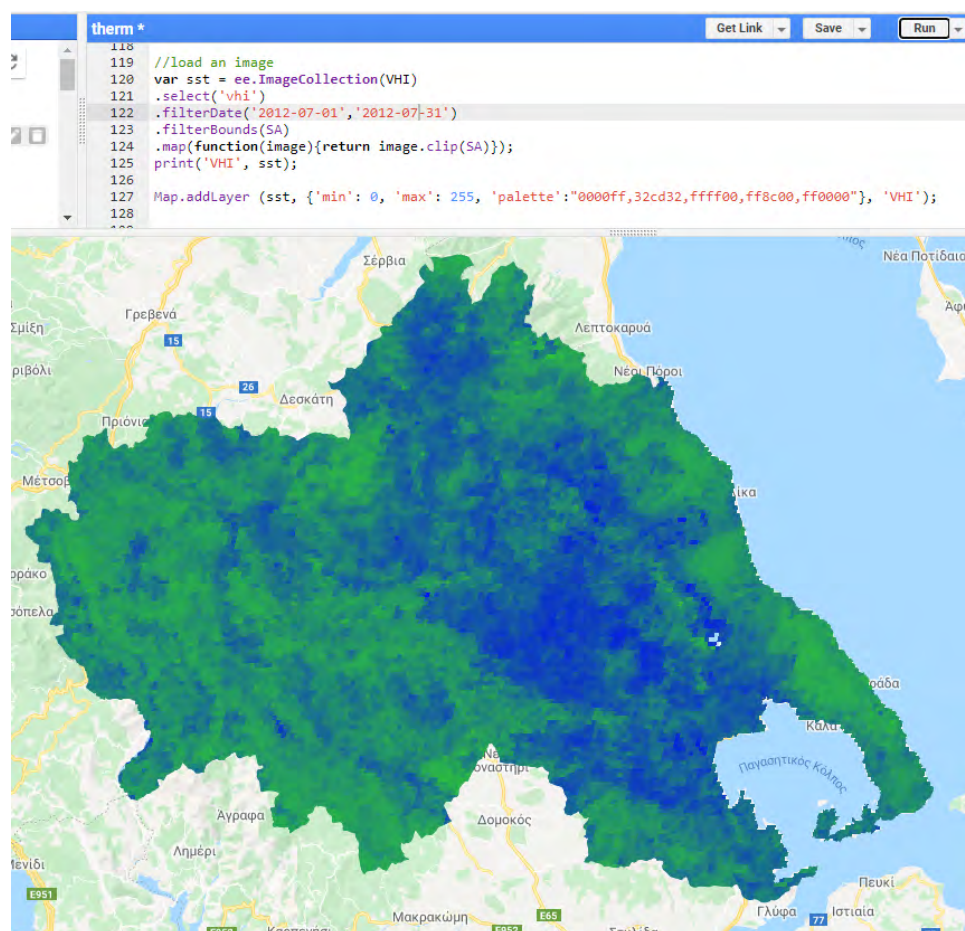
Εικόνα Ε.4.1: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιανουάριο του 2012



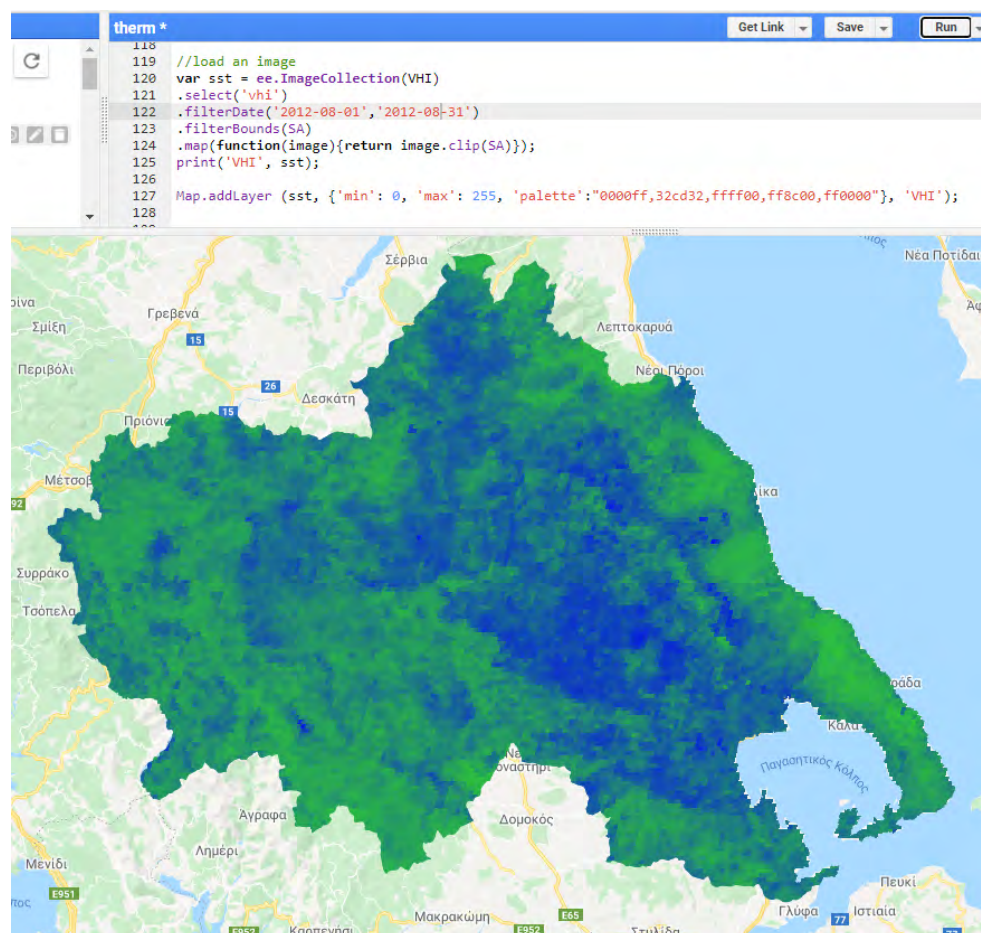
Εικόνα Ε.4.2: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάρτιο του 2012



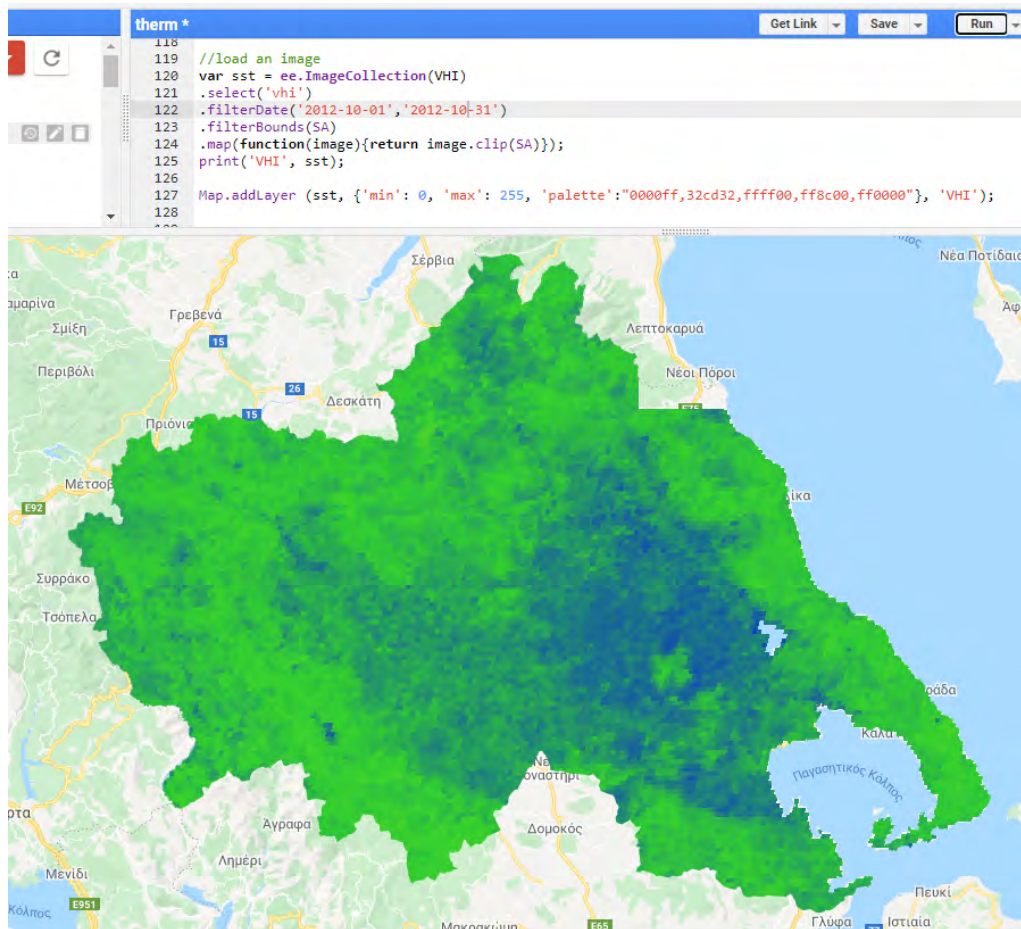
Εικόνα Ε.4.3: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Μάη του 2012



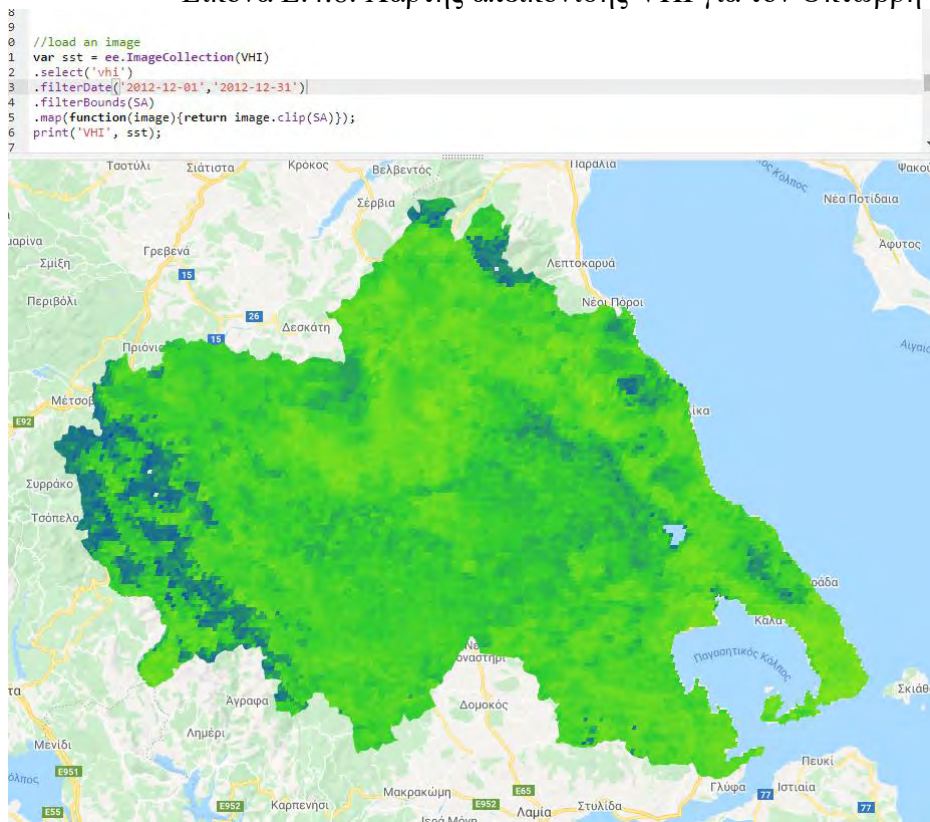
Εικόνα Ε.4.4: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Ιούλιο του 2012



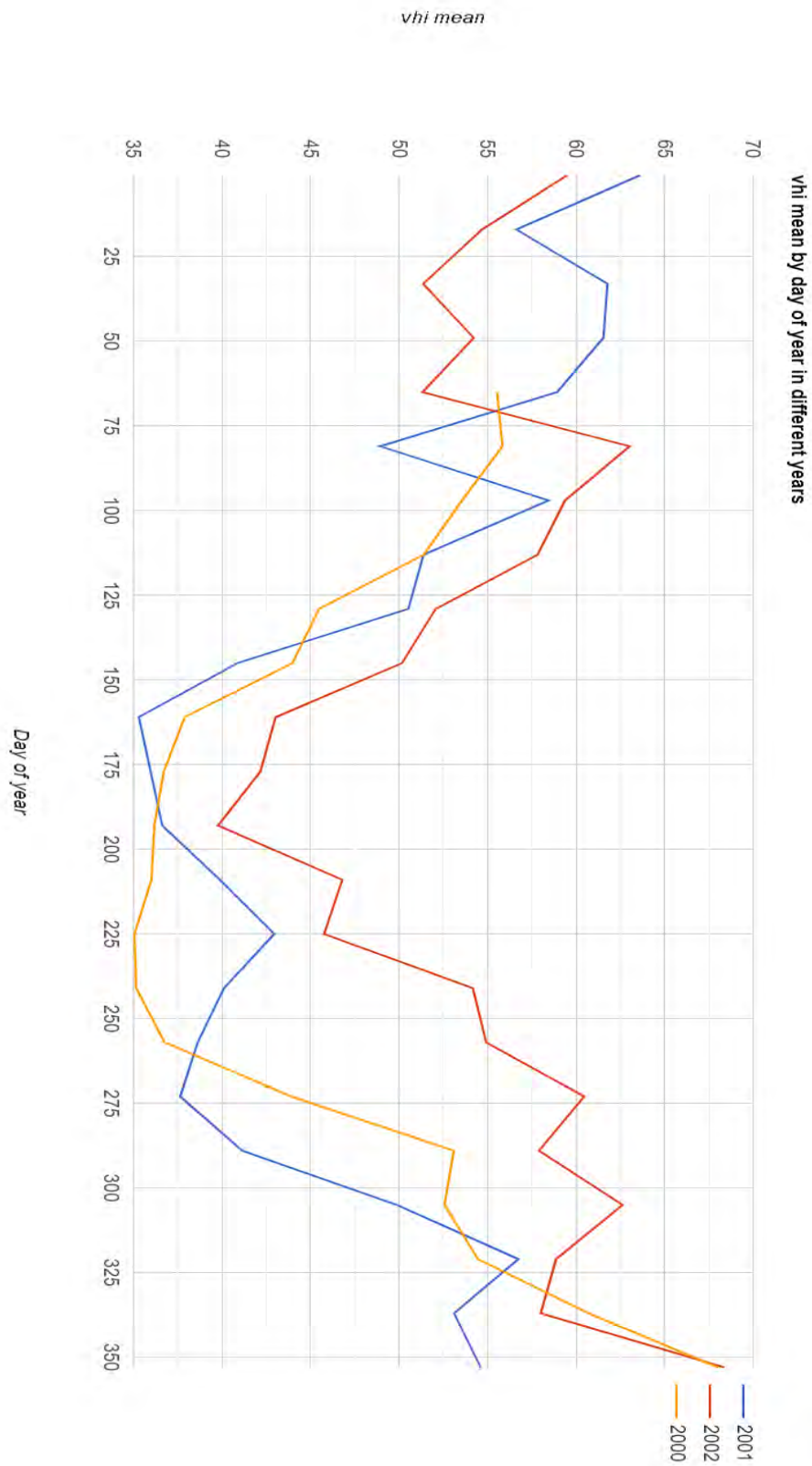
Εικόνα Ε.4.5: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Αύγουστο του 2012



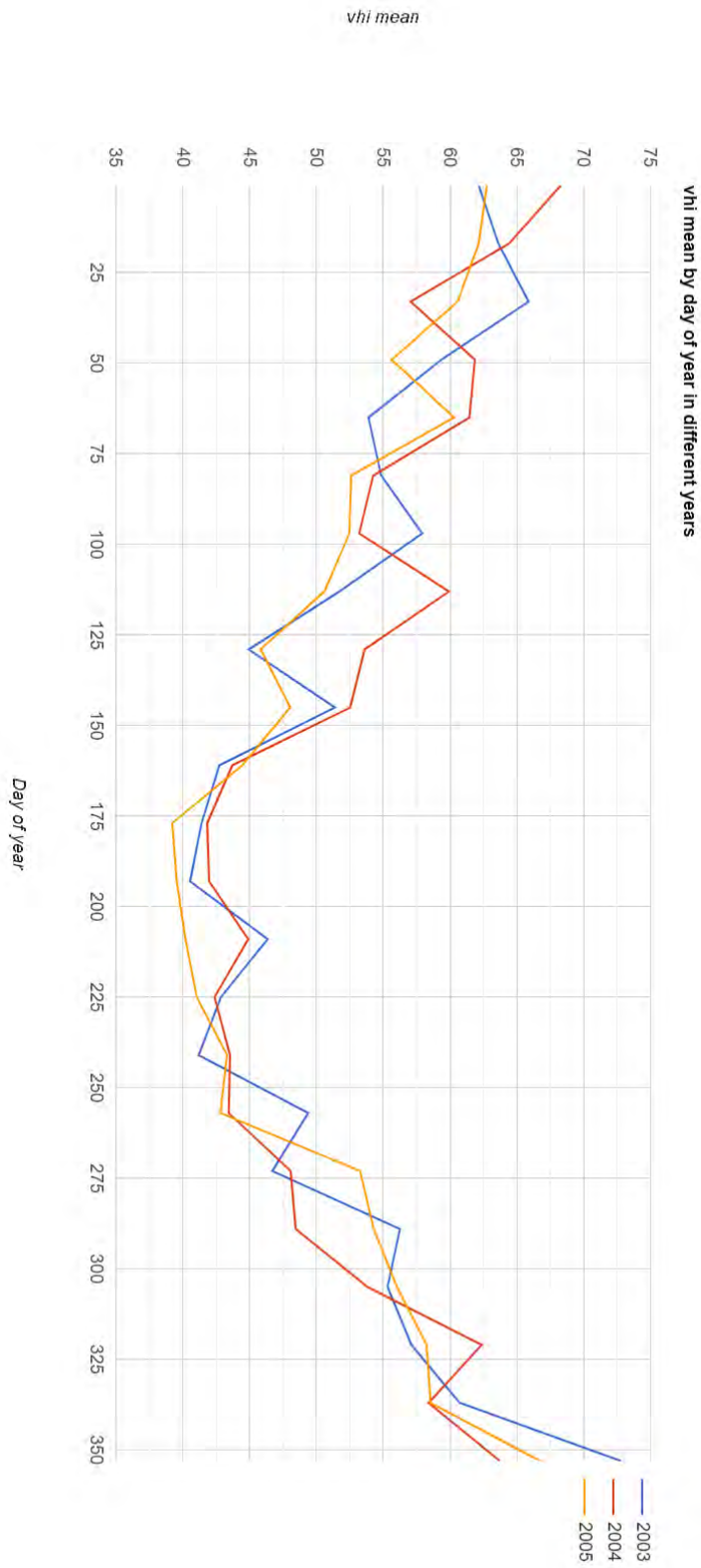
Εικόνα Ε.4.6: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Οκτώβρη του 2012



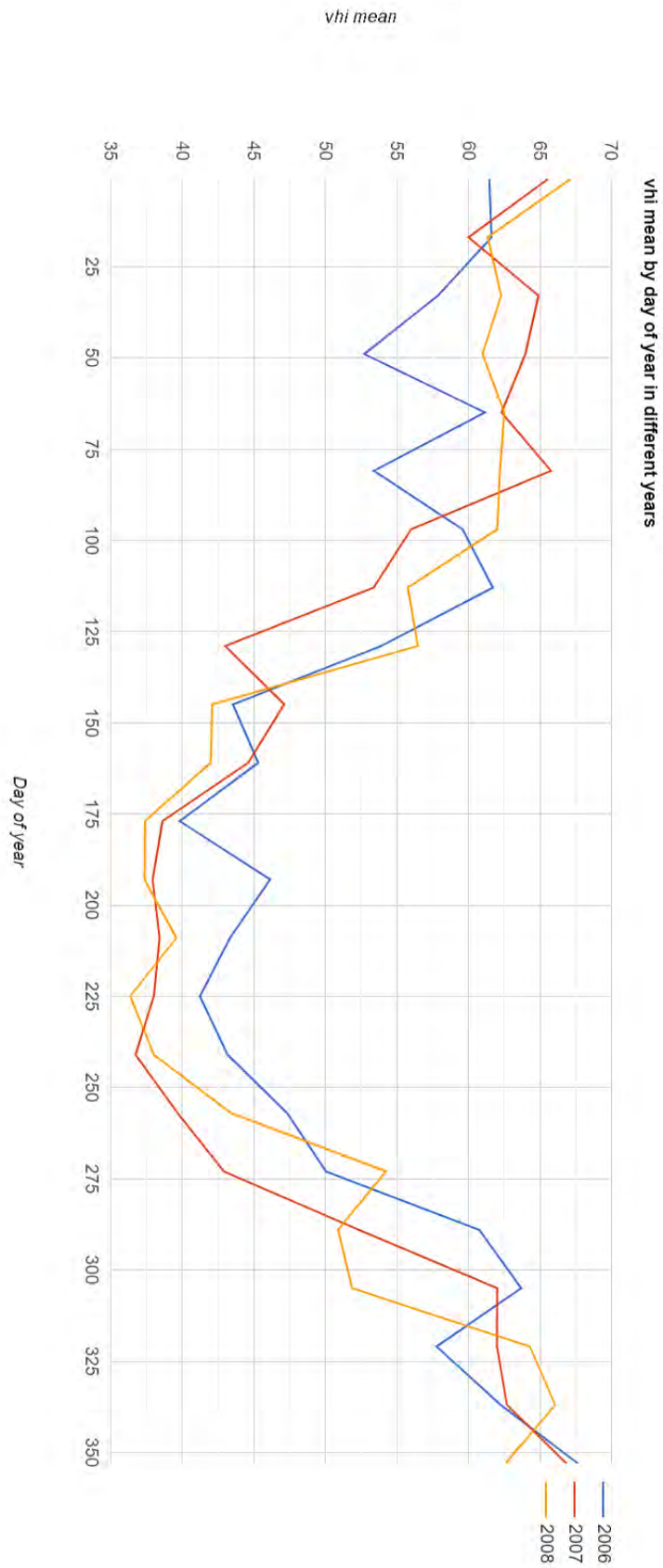
Εικόνα Ε.4.7: Χάρτης απεικόνισης VHI για τον Δεκέμβριο του 2012



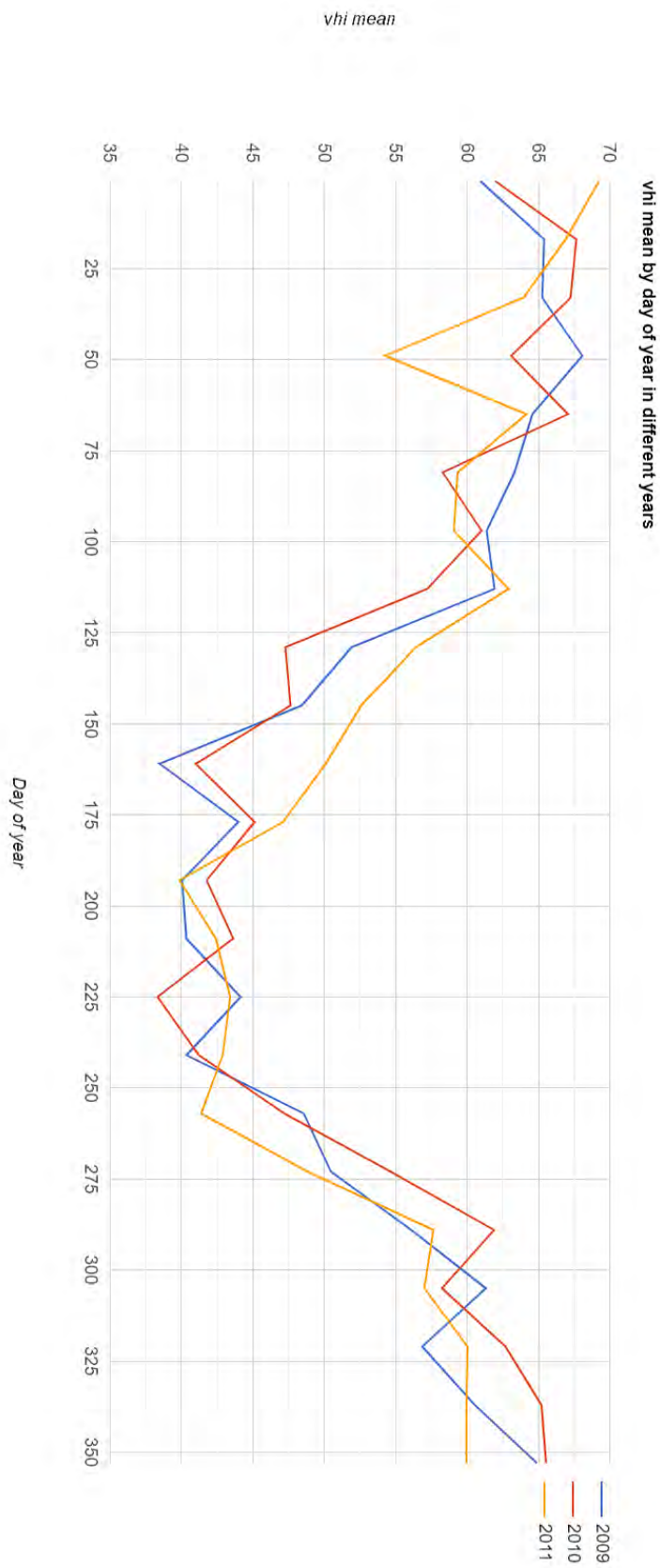
Γράφημα Π1.1 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2000-2002



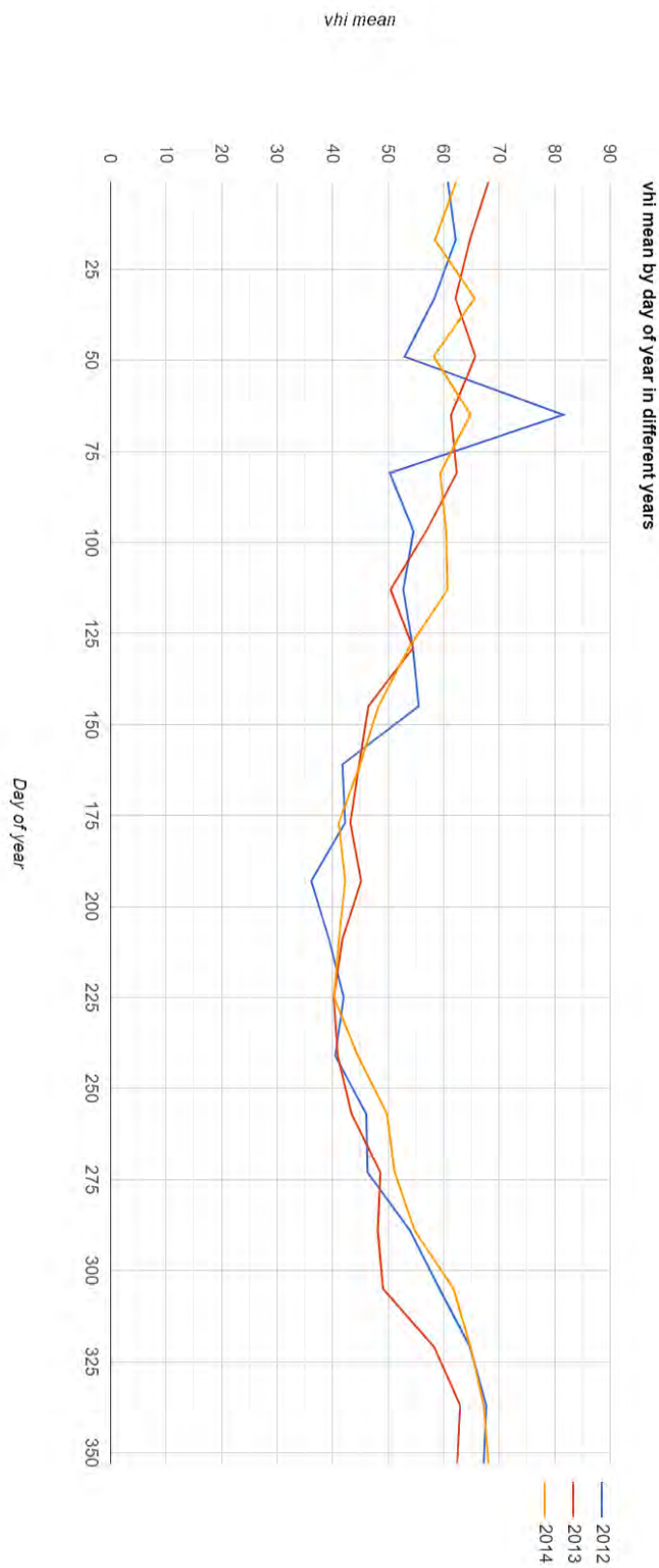
Γράφημα Π1.2 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2003-2005



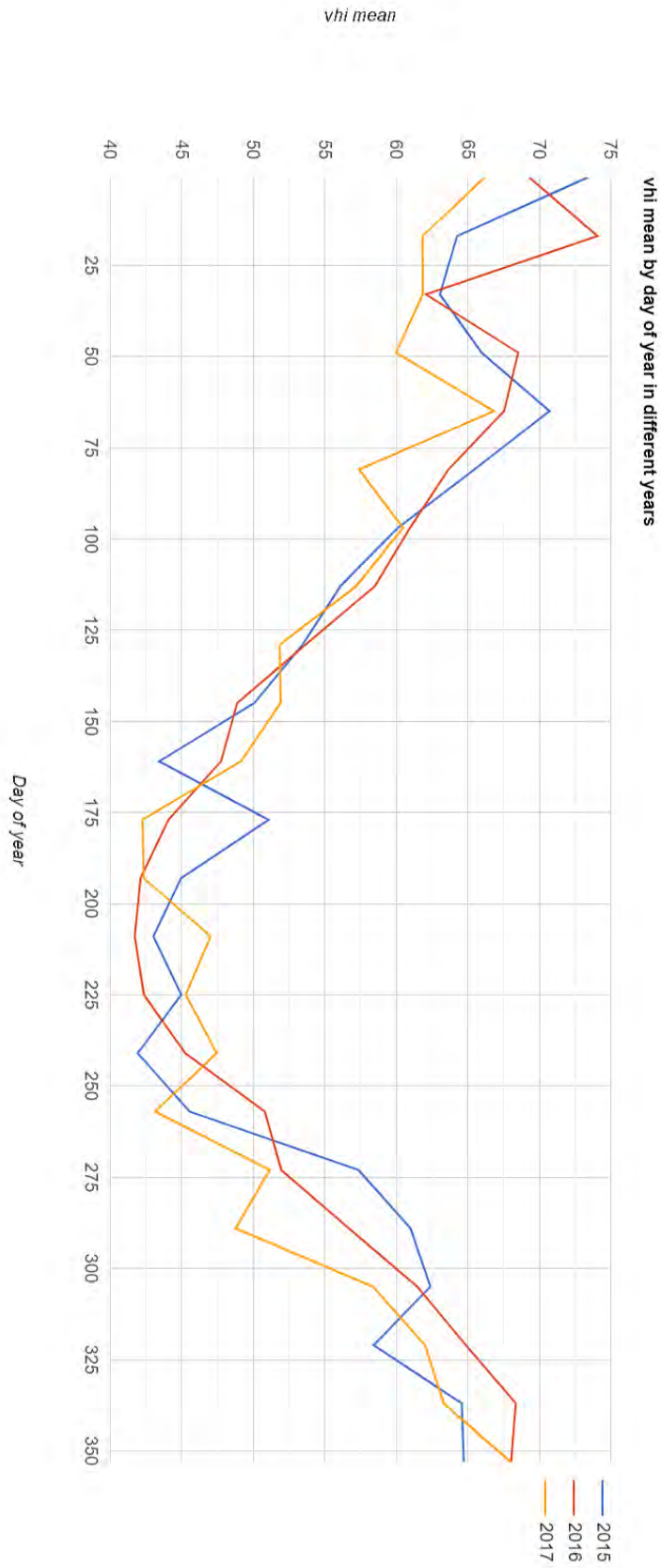
Γράφημα Π1.3 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2006-2008



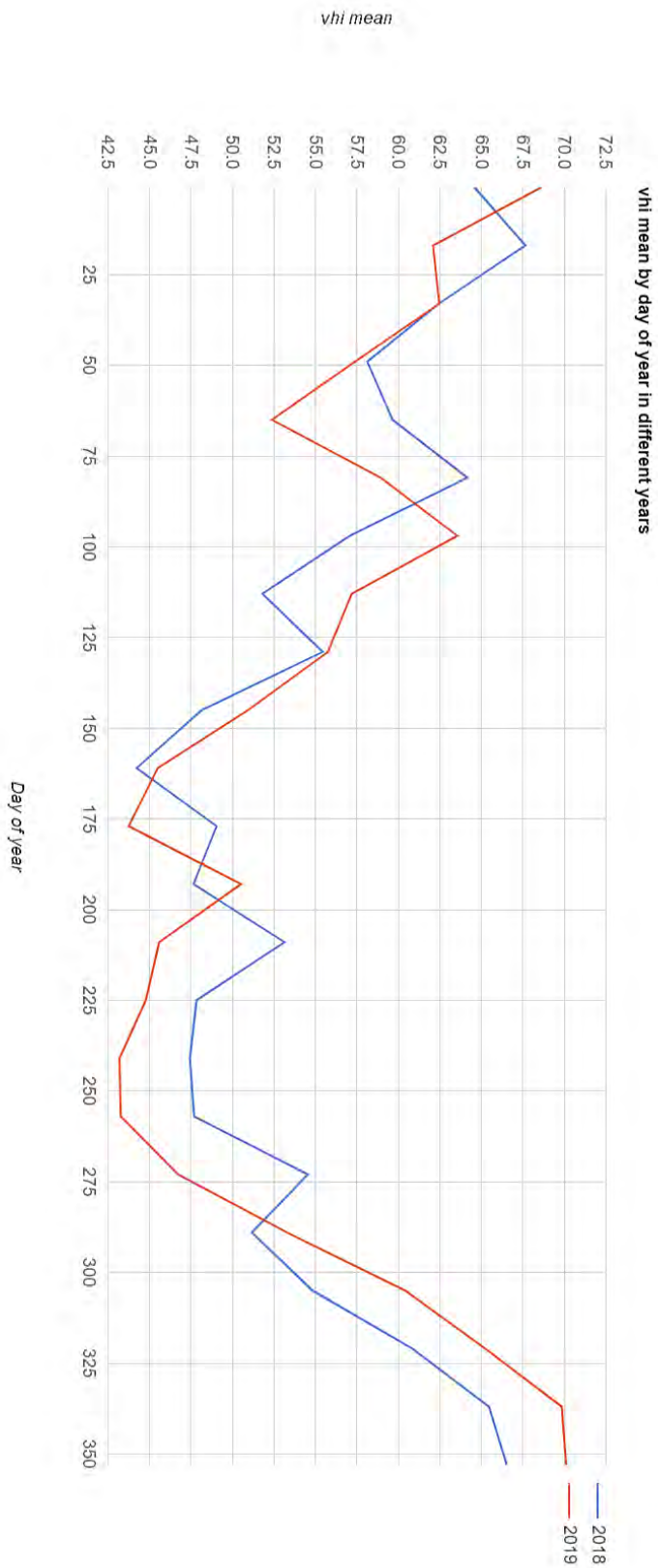
Γράφημα Π1.4 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2009-2011



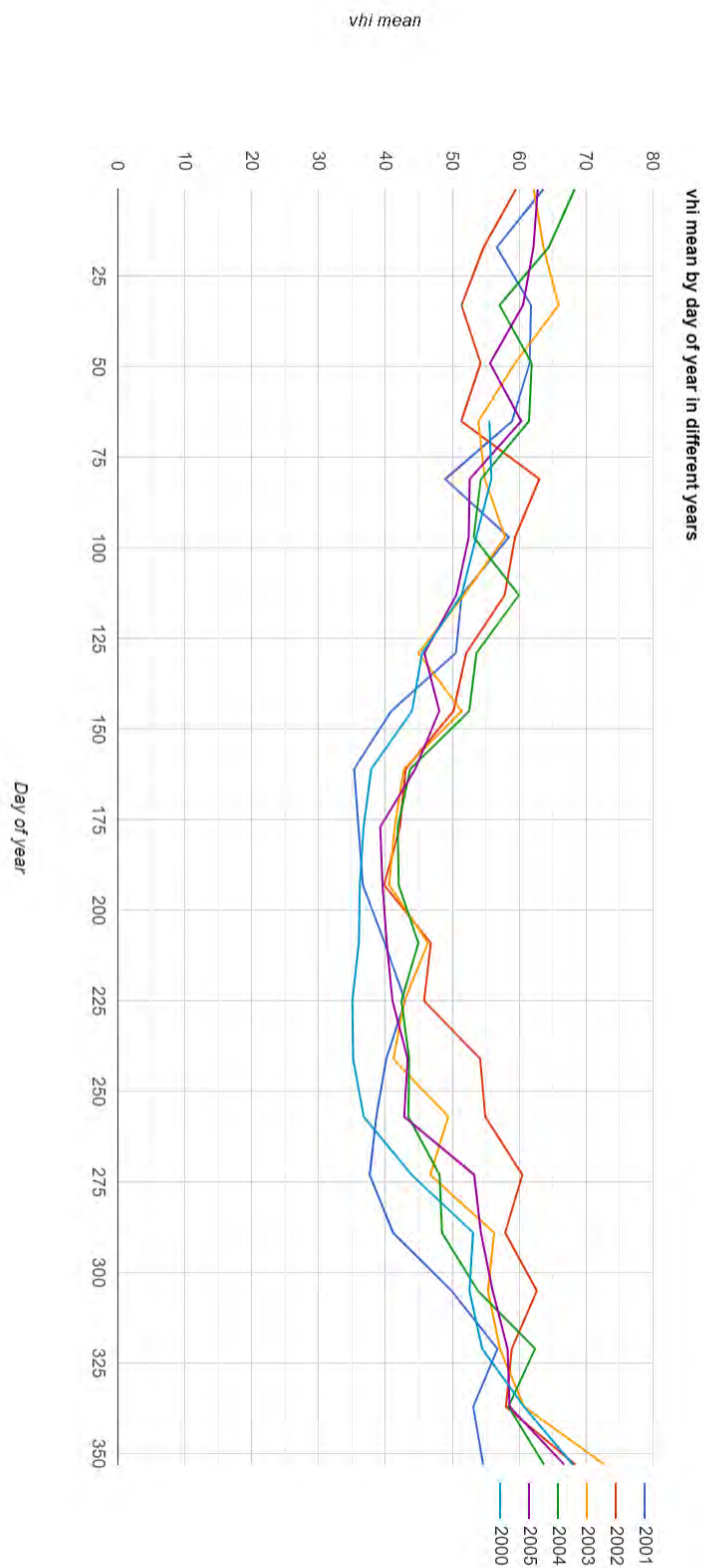
Γράφημα Π1.5 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2012-2014



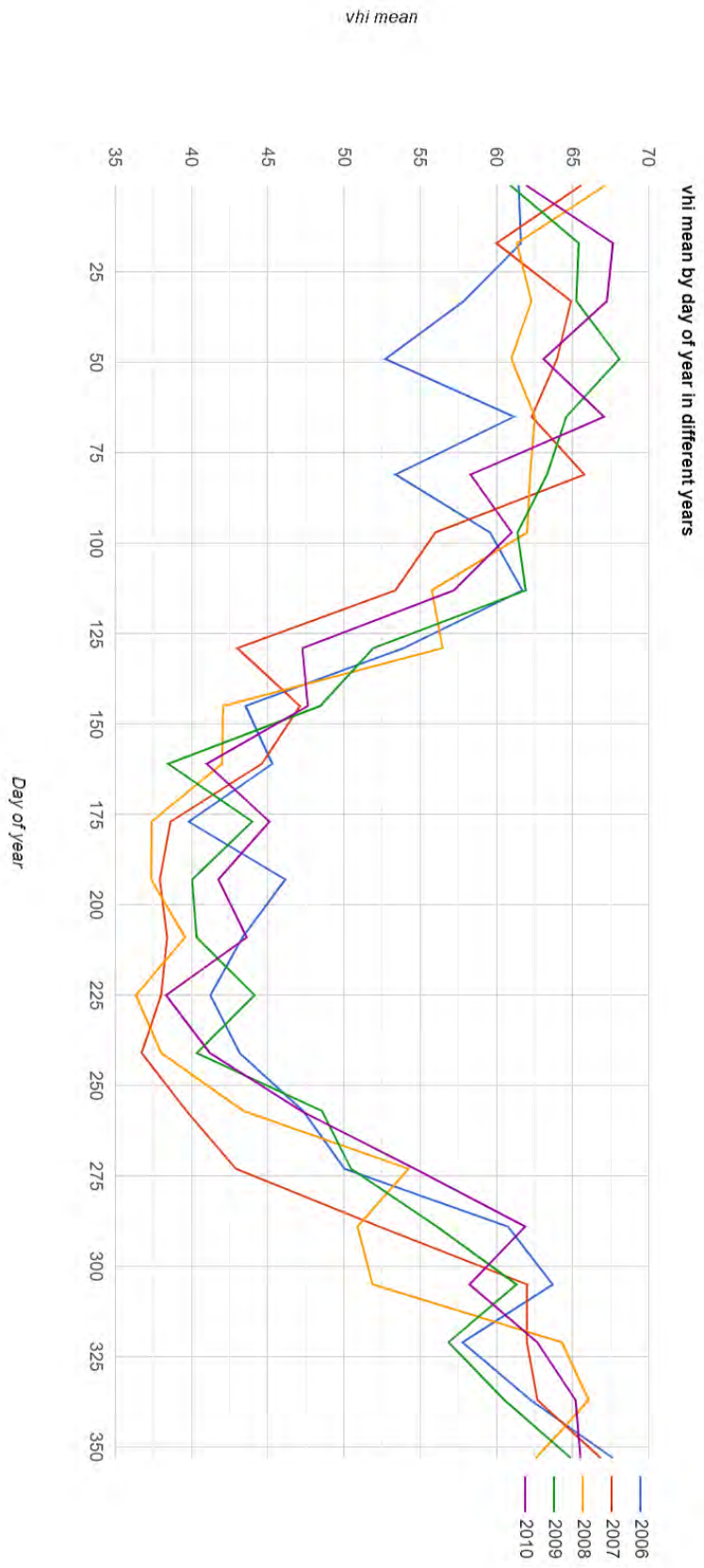
Γράφημα Π1.6 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2015-2017



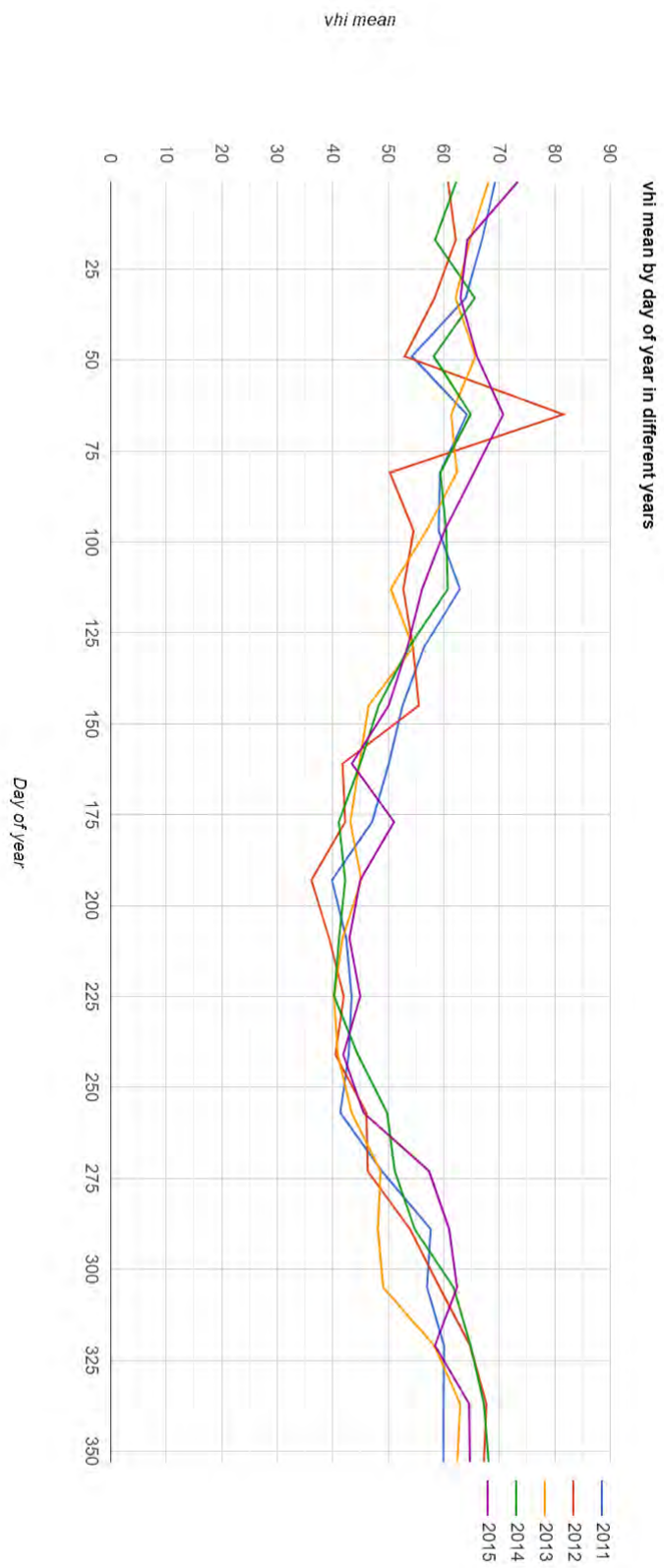
Γράφημα Π1.7 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2018-2019



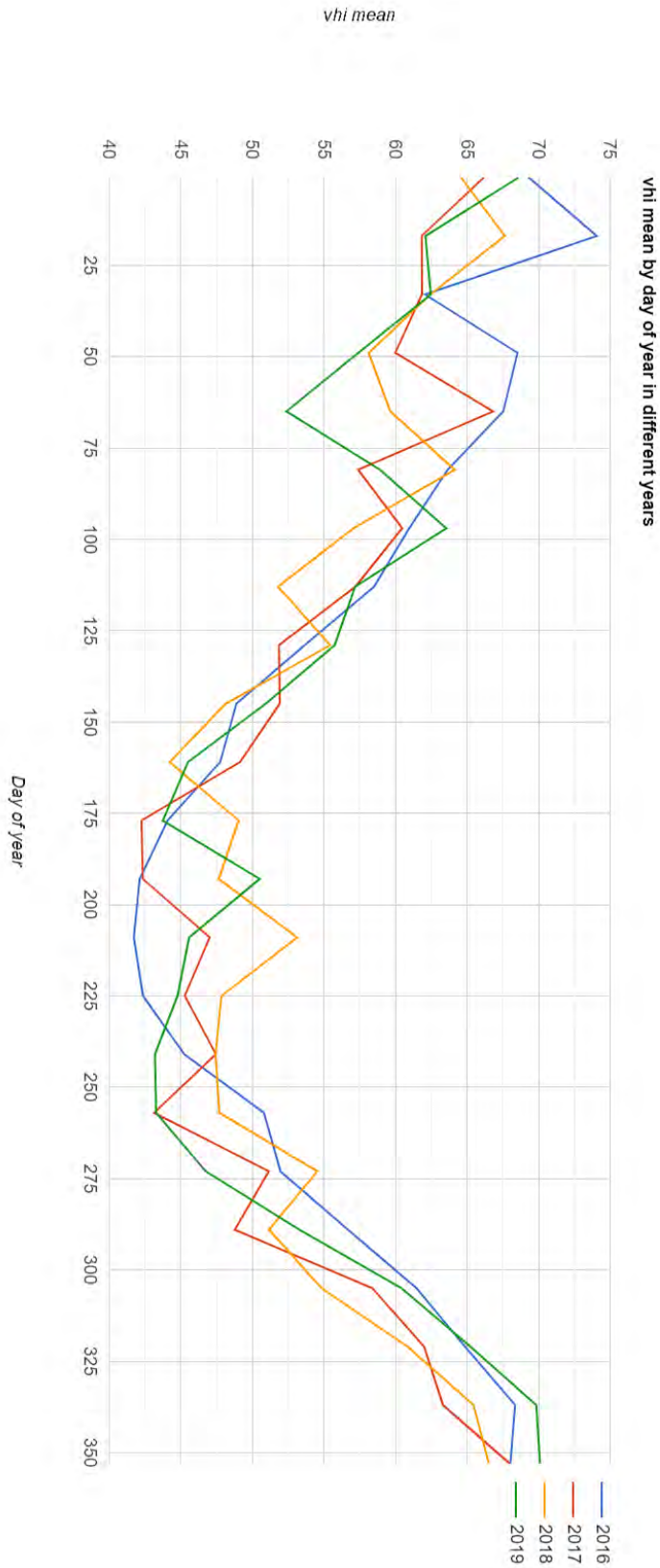
Γράφημα Π1.8 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2000-2005



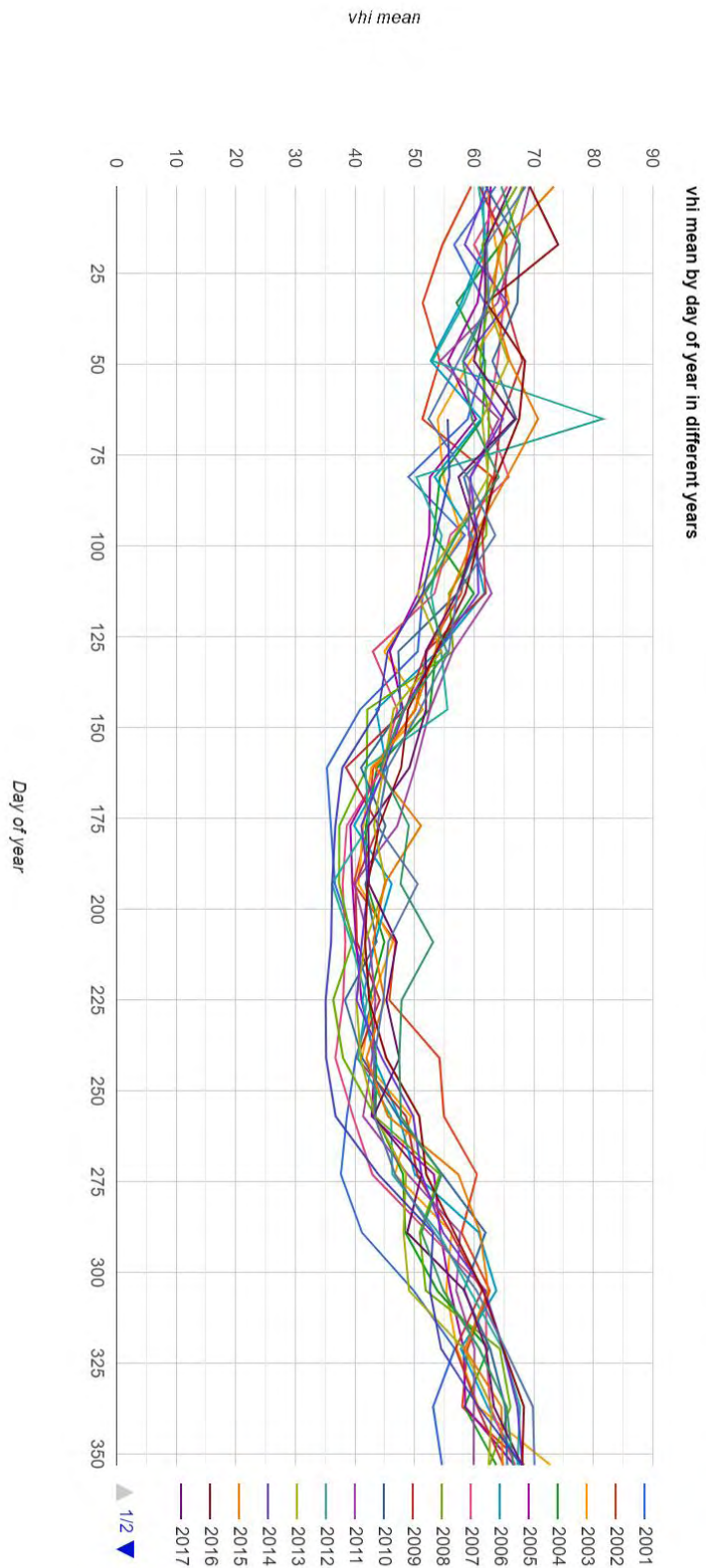
Γράφημα Π1.9 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2006-2010



Γράφημα Π2.1 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2011-2015



Γράφημα Π2.2 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2016-2019



Γράφημα Π2.3 Γράφημα σύγκρισης VHI για τα έτη 2000-2019

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Δαλέζιος, Ν.Ρ. (2002). Περιβαλλοντική Τηλεπισκόπηση. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 127 σελ.
- Δανάτατος, Ν.Ρ. (2004). Φυσικοί Περιβαλλοντικοί Κίνδυνοι. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 247 σελ.
- Πέππας, Ν.Γ. (2003). Διάβρωση Εδαφών. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας.
- Πέππας, Α. (2001). Προσομοίωση υδατικών πόρων και χρήσεων νερού στη Θεσσαλία. Πτυχιακή Διατριβή, Τμήμα Πολιτικών Μηχανικών, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο.
- Μέρτικας, Σ.Π. (1999). Τηλεπισκόπηση και Ψηφιακή ανάλυση εικόνας. Εκδόσεις Ίων, Στέλλα Παρίκου και ΣΙΑ Ο.Ε
- Τσίρος, Ε. (2006). Ο δείκτης βλάστησης κανονικοποιημένης διαφοράς (NDVI) και άλλοι δείκτες στην παρακολούθηση της υδρολογικής ξηρασίας. Μεταπτυχιακή Διατριβή. Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, 107 σελ.
- Δαλέζιος, Ν.Ρ. (2002). ΑΓΡΟΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΑ ΑΝΑΛΥΣΗ ΚΑΙ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗ. Πανεπιστημιακές Εκδόσεις, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος, 127 σελ 331
- Τσίρος, Ε (2009). Δορυφορικές Μεθοδολογίες Αγροκλιματικής-Υδροκλιματικής Ζωνοποίησης για Γεωργική Παραγωγή, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Βόλος

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Bauer, M.E. (1976), Technological Basis and Applications of Remote Sensing of the Earth's Resources. IEEE Transactions on Geoscience Electronics. GE-14(1):3-18
- Carlson, T.N. & Gillies, R.R. (1991). Remote sensing of soil moisture over vegetation. Sensitivity and limitations of the infrared temperature method, Preprint from 20th Conference on Agricultural and Forest Meteorology, Salt Lake City, 10-13 Sep. 1991
- Dalezios, N.R. & Papamanolis, N.K. (1991). Objective Assessment of Instability Indices for Operational Hail Forecasting in Greece. Meteorology and Atmosphere Physics. 45:87-100.
- Dalezios, N.R. (2008). Agrometeorology. Volos: University of Thessaly Press (in greek)
- Thomas (1992). Remote Sensing in Water Resources. Version 2, 248 (in english)
- Dalezios, N.R. (2013): The Role of Remotely Sensed Vegetation Indices in Contemporary Agrometeorology. Invited paper in Honorary Special Volume in

memory of late Prof. A. Flokas. Publisher: Hellenic Meteorological Society, 33-44

- Dalezios, N.R. (2014). Remote Sensing Potential in Hydrological Simulation. Invited paper in 20-year Anniversary Special Volume of Dept. of Civil Engineering, University of Thessaly, Volos, Greece entitled “Advances in Civil Engineering Research” by A. Liakopoulos, E. Mistaskidis and A. Giannakopoulos (Ed.), 253-264
- Niemeyer, (2008) Draught Indices Study and the Global Effect of Draught. University of Iowa, pp.13
- Thomas, A. (1992). Agricultural water balance of Yunnan Province. Agroclimatic zoning with a Geographical Information System. Agricultural Water Management, 21: pp. 249-263.
- Domenikiotis, C., Spiliotopoulos, M., Tsiros, E. and Dalezios, N.R. (2004). Early Cotton Yield Assessment by The Use Of The NOAA/AVHRR Derived Drought Vegetation Condition Index In Greece, International Journal of Remote Sensing, 25(14):2807-2819
- Hurtado and Sobrino, (2001)Drought monitoring in cultivated areas of Central America using multi temporal MODIS data.
- National Draught Mitigation Center: types of drought
- Badini, O., Stöcle C.O. and Franz E.H. (1997). Application of crop simulation modeling and GIS to agroclimatic assessment in Burkina Faso. Agriculture, Ecosystems and Environment, 64: pp. 233-244.
- Moran, M.S., Clarke T. R., Inoue Y. and Vidal A. (1994). Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. Remote Sensing Environment, 49: pp. 246-263.