



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΙΑΣ

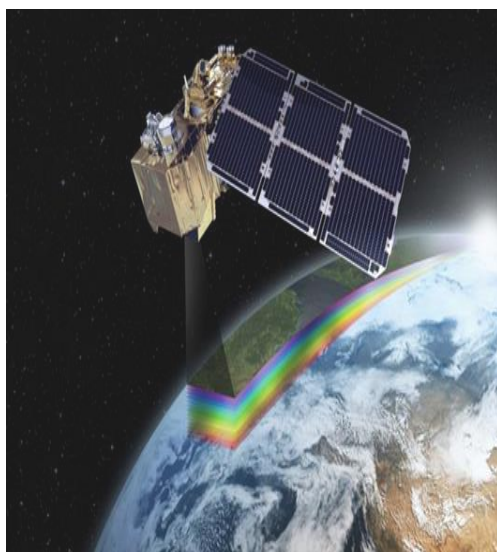
ΣΧΟΛΗ ΓΕΩΠΟΝΙΚΩΝ ΕΠΙΣΤΗΜΩΝ

ΤΜΗΜΑ ΓΕΩΠΟΝΙΑΣ, ΦΥΤΙΚΗΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΚΑΙ ΑΓΡΟΤΙΚΟΥ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

Θέμα Πτυχιακής Εργασίας:

Φαινολογία της καστανιάς (*Castanea sativa*) στην Ευρώπη και συσχέτιση με
κλιματικές παραμέτρους

Μαρκάκη Μαρία



Επιβλέπων Καθηγητής: Άρης Κυπαρίσσης (Αναπληρωτής Καθηγητής)

Ιούνιος 2023

Βόλος

Θέμα Πτυχιακής Εργασίας:

Φαινολογία της καστανιάς (*Castanea sativa*) στην Ευρώπη και συσχέτιση με κλιματικές παραμέτρους

Αγγλικός Τίτλος: Phenology of chestnut (*Castanea sativa*) and relationships with climatic variables

Μαρκάκη Μαρία

Τριμελής Συμβουλευτική Επιτροπή:

1. Άρης Κυπαρίσσης, Αναπληρωτής Καθηγητής, επιβλέπων
2. Αθανάσιος Σφουγγάρης, Καθηγητής, μέλος
3. Περσεφόνη Μαλέτσικα, Επίκουρη Καθηγήτρια, μέλος

Βόλος, 2023

Πρόλογος-Ευχαριστίες

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των φαινολογικών γεγονότων της καστανιάς με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων για την διαπίστωση της τυχόν χρονικής μεταβολής τους στο διάστημα 2000-2021 και την συσχέτιση τους με κλιματικούς παράγοντες.

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ. Άρη Κυπαρίσση που ανέλαβε την επίβλεψη της πτυχιακής μου εργασίας και μου ανέθεσε το θέμα της παρούσας διατριβής, καθώς και για την καθοδήγηση για την εκπόνηση της.

ΥΠΕΥΘΥΝΗ ΔΗΛΩΣΗ

Βεβαιώνω ότι είμαι συγγραφέας αυτής της πτυχιακής εργασίας, η οποία εκπονήθηκε σύμφωνα με τον Κανονισμό Εκπόνησης Πτυχιακής Εργασίας του Τμήματος Γεωπονίας, Φυτικής Παραγωγής και Αγροτικού Περιβάλλοντος.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΕΡΙΛΗΨΗ.....	1
ABSTRACT.....	2
ΕΙΣΑΓΩΓΗ.....	3
ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΦΥΛΛΟΒΟΛΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ	3
ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	4
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ.....	5
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ.....	6
ΧΑΡΑΚΤΗΡΗΣΤΙΚΑ ΕΙΚΟΝΩΝ	8
ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	10
ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ.....	11
ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ MODIS- ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ TERRA-AQUA.....	13
ΣΚΟΠΟΣ	14
ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ.....	15
ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ	15
ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ.....	15
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ	16
ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ	17
ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ.....	19
ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ	19
ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	20
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ	20
SOS.....	20
EOS	24
LOS	28
ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ.....	32
SOS.....	32
EOS	34
LOS	35
ΣΥΖΗΤΗΣΗ	37
ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	40
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	41

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:	43
ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ NDVI:.....	43
Διαγράμματα συσχέτισης Φαινολογικές – Μετεωρολογικές παράμετροι.....	44
Διαγράμματα συσχέτισης WorldClim – Power:	50
Ομβροθερμικά διαγράμματα	52

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Στην παρούσα μελέτη χρησιμοποιήθηκαν εικόνες από τον αισθητήρα MODIS των δορυφόρων TERRA και AQUA για την παρακολούθηση των φαινολογικών παραμέτρων του φυλλοβόλου δέντρου της ευρωπαϊκής καστανιάς και την επίδραση των κλιματικών παραγόντων. Εξετάσθηκαν 13 περιοχές στην Ευρώπη σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και από τα δορυφορικά δεδομένα εξήχθησαν χρονοσειρές του δείκτη βλάστησης NDVI για το διάστημα 2000-2020, μέσω των οποίων αποτυπώνεται η φαινολογία του φυλλοβόλου. Από τις χρονοσειρές του NDVI προσδιορίστηκαν για κάθε περιοχή μελέτης οι ημερομηνίες έναρξης της έκπτυξης και της πτώσης των φύλλων, καθώς επίσης και η διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου. Έπειτα, εξετάστηκε η συσχέτιση αυτών των φαινολογικών δεδομένων με τους κλιματικούς παράγοντες της κάθε περιοχής (μέση, ελάχιστη, μέγιστη μηνιαία θερμοκρασία και συνολική μηνιαία βροχόπτωση), ώστε να βρεθεί αν υπάρχει επίδραση αυτών στη φαινολογία. Η μελέτη των φαινολογικών γεγονότων έδειξε ότι η διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου παρουσιάζει αυξητική τάση, ως συνδυασμένο αποτέλεσμα μετατόπισης της έκπτυξης των φύλλων νωρίτερα την άνοιξη και της πτώσης των φύλλων αργότερα το φθινόπωρο. Διαπιστώθηκε ότι οι κλιματικοί παράγοντες έχουν ισχυρή επιρροή στη φαινολογία του φυτού, πιο συγκεκριμένα όσο αυξάνεται η θερμοκρασία (ελάχιστη, μέγιστη και μέση) η έκπτυξη πραγματοποιείται νωρίτερα, η πτώση αργότερα ενώ η αναπτυξιακή περίοδος επιμηκύνεται και το αντίστροφο. Όσον αφορά την βροχόπτωση η επίδραση της δεν είναι τόσο ξεκάθαρη όσο της θερμοκρασίας, ωστόσο φαίνεται ότι έχει θετική συσχέτιση με την έκπτυξη, αρνητική με την πτώση και με την αναπτυξιακή περίοδο.

ABSTRACT

In the present study, images from the MODIS sensor of the TERRA and AQUA satellites were used to monitor the phenological parameters of the deciduous European chestnut tree and the influence of climatic factors. Firstly, 13 regions in Europe at different latitudes were determined and NDVI time series for the period 2000-2020 were created from satellite data, capturing the deciduous phenology. Subsequently, the start of season, end of season and length of the growing season were determined for each study area from the NDVI time series. Then, the correlations of these phenological data with the climatic factors of each region (average, minimum, maximum monthly temperature, and total monthly precipitation) were examined, in order to detect if there is any effect of them on phenology. The study of phenological events revealed that the length of the growing season shows an increasing trend, as a combined result of earlier leaf burst in spring and later leaf senescence in autumn. It was demonstrated that the climatic factors have a strong influence on the phenology of the plant: as the temperature (minimum, maximum and average) increases the start of season commences earlier, the end of season is transposed later in autumn and the growing period lengthens and vice versa. Regarding precipitation its effect is not as clear as that of temperature, however it appears to be positively correlated with SOS, negatively with EOS and with LOS.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ ΤΩΝ ΦΥΛΛΟΒΟΛΩΝ ΔΕΝΤΡΩΝ ΚΑΙ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΚΛΙΜΑΤΙΚΗΣ ΑΛΛΑΓΗΣ

Φαινολογία είναι η μελέτη των επαναλαμβανόμενων βιολογικών γεγονότων ενός φυτού και του τρόπου που επηρεάζονται από τις εποχιακές αλλαγές και τα χαρακτηριστικά του οικοσυστήματος, όπως είναι το γεωγραφικό πλάτος και το υψόμετρο. Τα φυλλοβόλα δέντρα συναντιούνται κυρίως σε εύκρατα και τροπικά κλίματα διαφέρουν από τα άλλα δέντρα όσον αφορά την φαινολογία καθώς έχουν την ιδιότητα να σταματούν και να ξεκινούν την ανάπτυξή τους ανάλογα με τις περιβαλλοντικές και εποχιακές συνθήκες (έκπτυξη των φύλλων την άνοιξη και πτώση τέλος Φθινοπώρου). Αυτό είναι μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία που συμβαίνει κάθε χρόνο διότι το φυτό χρειάζεται να πέσει σε λήθαργο για ένα μικρό διάστημα ώστε να προσαρμοστεί στις χειμερινές συνθήκες όπου επικρατούν συνθήκες χαμηλής θερμοκρασίας και λίγου ηλιακού φωτός. Το δέντρο για να μπορέσει να βγει από τον λήθαργο πρέπει να έχει δεχθεί συγκεκριμένη περίοδο χαμηλών θερμοκρασιών και έπειτα τη βέλτιστη θερμοκρασία για να πραγματοποιηθεί η έκπτυξη των οφθαλμών. Έτσι επειδή τα φυτά βασίζονται στις περιβαλλοντικές ενδείξεις για να ρυθμίσουν αυτές τις περιόδους ανάπτυξης και ληθάργου, με την υπερθέρμανση του πλανήτη είναι επικείμενη η αλλαγή της διάρκειας της αναπτυξιακής περιόδου και παρουσιάζει αυξητική τάση (Santamaría et al. 2011).

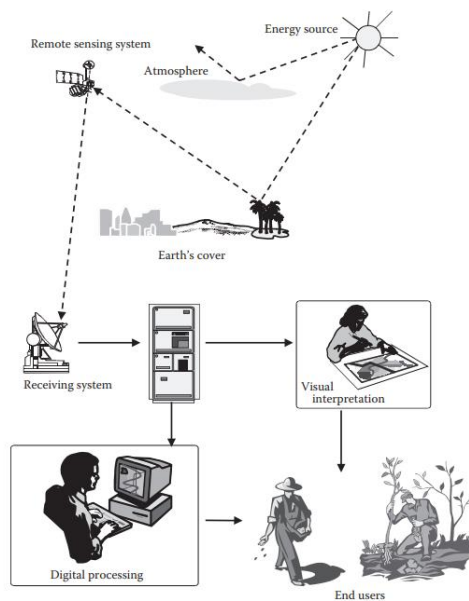
Στην παρούσα πτυχιακή εργασία μελετάται το φυλλοβόλο δέντρο του είδους *Castanea sativa*, το οποίο μπορεί να έχει ανάπτυξη έως 30-35 m, τα φύλλα του είναι επιμήκη λογχοειδή με οδοντωτή κατάληξη. Στην Ευρώπη συναντάται κυρίως στις Νοτιότερες περιοχές και σε υψόμετρο που κυμαίνεται από 200m έως 1800m, καθώς προτιμά τα χαμηλότερα υψόμετρα για τα μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη και αντίστροφα. Επίσης αξίζει να σημειωθεί ότι ευδοκμεί σε μέση ετήσια θερμοκρασία μεταξύ 8 - 15°C και μέση μηνιαία θερμοκρασία πάνω από 10°C για 6 μήνες, απαιτεί ελάχιστη βροχόπτωση 600 - 800mm για την ανάπτυξή του που εξαρτάται από την κατανομή της και την αλληλεπίδραση της με την θερμοκρασία. Παρουσιάζει ευαισθησία όταν οι υψηλές θερμοκρασίες συνδυάζονται με έλλειψη βροχοπτώσεων (Caudullo et al. 2016).

ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Τηλεπισκόπηση ονομάζεται η συλλογή πληροφοριών για μια επιφάνεια στη γη, με μετρήσεις από απόσταση. Ουσιαστικά πραγματοποιείται ανίχνευση και καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται ή απορροφάται από τη γη και την ατμόσφαιρα (Καρτάλης 2012).

Η τηλεπισκόπηση αποτελείται από τους εξής παράγοντες (Σχήμα 1):

1. Πηγή ενέργειας ή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, με σημαντικότερη τον ήλιο, η οποία καταγράφεται από τους αισθητήρες.
2. Επιφάνεια της γης όπου συναντάται βλάστηση, έδαφος, νερό και άλλες δομές. Αυτή αλληλεπιδρά με την προσπίπτουσα ακτινοβολία και ανακλά ή εκπέμπει μέρος της, την οποία ανιχνεύει ο αισθητήρας.
3. Τα όργανα των αισθητήρων και τον δορυφόρο, τα οποία καταγράφουν και αποτυπώνουν την ακτινοβολία που εξέρχεται από την επιφάνεια μελέτης, ενώ ο δορυφόρος ρυθμίζει τα λειτουργικά χαρακτηριστικά του συστήματος όπως είναι η τροχιά και η στάση του.
4. Τον σταθμό λήψης που είναι επίγειος και παραλαμβάνει όλα τα ακατέργαστα δεδομένα, εκτελεί επεξεργασία και διορθώσεις ώστε να μετατραπούν στην κατάλληλη μορφή και να γίνει διανομή της εικόνας.
5. Τον αναλυτή ο οποίος μετατρέπει τα δεδομένα μέσω διορθώσεων σε πληροφορίες ενδιαφέροντος, όπως τη δημιουργία χρονοσειρών και την παρακολούθηση του περιβάλλοντος



Σχήμα 1: Σχηματική απεικόνιση του συστήματος τηλεπισκόπησης (Chuvieco and Huete 2009).

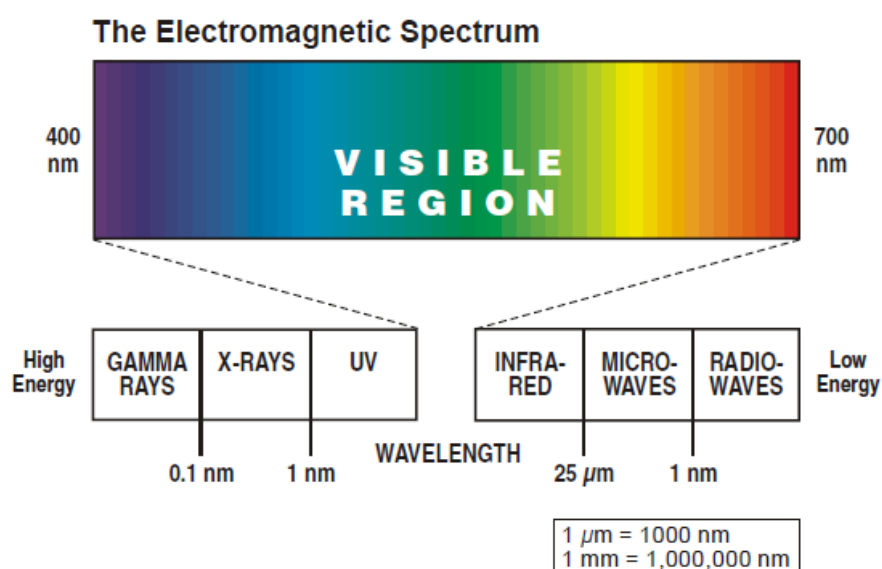
Μερικά πλεονεκτήματα της τηλεπισκόπησης σε σχέση με άλλες μεθόδους παρακολούθησης οικοσυστημάτων είναι ότι δίνει τη δυνατότητα παγκόσμιας παροχής δεδομένων, παρέχοντας εξοικονόμηση χρόνου και κόστους. Επιπλέον μπορεί να πραγματοποιηθεί ανίχνευση και καταγραφή ακτινοβολίας που ανήκει σε περιοχές του φάσματος που δεν μπορούν να γίνουν αντιληπτές με την ανθρώπινη όραση και παρέχουν σημαντικές πληροφορίες για την κατάσταση της βλάστησης (Chuvieco and Huete 2009).

ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Η ακτινοβολία διαδίδεται με τη μορφή ηλεκτρομαγνητικού κύματος, δηλαδή έχει κυματική και σωματιδιακή μορφή και διαδίδεται στον χώρο ως 2 κάθετα κύματα. Έτσι χαρακτηρίζεται από το μήκος κύματος (λ) και από τη συχνότητα (ν). Επίσης διακρίνεται σε περιοχές όσον αφορά το μήκος κύματος, ακτίνες γ (μήκος κύματος $<0,01\text{nm}$), ακτίνες x (μήκος κύματος $0,01-10\text{nm}$), υπεριώδης ακτινοβολία (μήκος κύματος $10-400\text{nm}$), ορατό φάσμα (μήκος κύματος $400-700\text{nm}$), υπέρυθρη ακτινοβολία (μήκος κύματος $1\mu\text{m}-1\text{mm}$), μικροκύματα (μήκος κύματος $1\text{mm}-1\text{m}$), ραδιοκύματα (μήκος κύματος $>1\text{m}$) και το άθροισμα αυτών των περιοχών (ακτίνες x, ακτίνες γ, υπεριώδης ακτινοβολία, ορατή ακτινοβολία, υπέρυθρη ακτινοβολία και

μικροκύματα) αποτελεί το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (Σχήμα 2). Γενικά τα συστήματα τηλεπισκόπησης δραστηριοποιούνται κυρίως στην περιοχή του ορατού και υπέρυθρου φάσματος καθώς και στην περιοχή των μικροκυμάτων (Καρτάλης 2012).

Για την παρακολούθηση της βλάστησης χρησιμοποιείται μια μικρή περιοχή του φάσματος που εκτείνεται από το ορατό, το οποίο γίνεται αντιληπτό και από την ανθρώπινη όραση, έως το εγγύς υπέρυθρο. Γενικά τα μήκη κύματος μετρούνται είτε σε μικρόμετρα (μm) είτε σε νανόμετρα (nm), η ορατή περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας αντιστοιχεί στα 400-700nm, ενώ το εγγύς υπέρυθρο 700-1500 nm (Kyllo and Andres 2004).

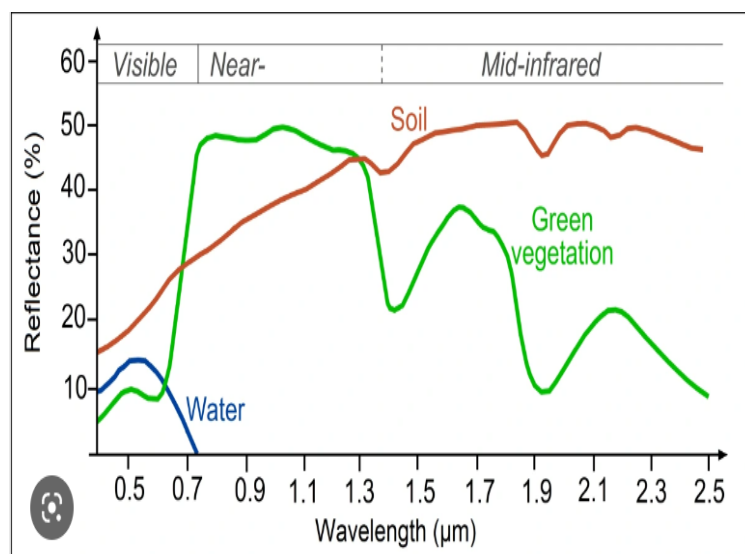


Σχήμα 2: Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα (John Nowatzki K Kyllo & Robert Andres 2004).

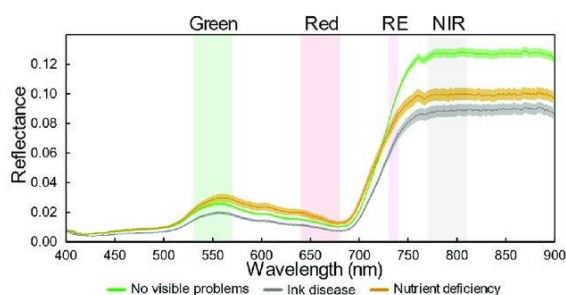
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑ ΚΑΙ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΜΕ ΤΗ ΒΛΑΣΤΗΣΗ

Καθώς η ηλιακή ηλεκτρομαγνητική ενέργεια αλληλεπιδρά με τη βλάστηση ανακλάται, απορροφάται ή διαπερνάει τα φύλλα, ανάλογα με το μήκος κύματος και τα χαρακτηριστικά του φυτού. Τα φυτά λόγω της χλωροφύλλης που περιέχουν απορροφούν περισσότερο στο μπλε και στο κόκκινο τμήμα του ορατού φάσματος και ανακλούν το πράσινο και γι' αυτόν τον λόγο φαίνονται πράσινα στο ανθρώπινο μάτι.

Οι διαφορές των φύλλων όσον αφορά το χρώμα, την υφή και το σχήμα καθορίζουν τη συμπεριφορά της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας όταν προσπίπτει σε αυτά. Η τηλεπισκόπηση μπορεί να εντοπίσει την ακτινοβολία που αλληλεπιδρά με το αντικείμενο μελέτης και έτσι αυτές οι σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον προσδιορισμό των φασματικών υπογραφών (Σχήμα 3), οι οποίες είναι μοναδικές για κάθε είδος και έτσι μπορούν να δώσουν πολλές πληροφορίες γι' αυτό (Σχήμα 4) (Kyllo and Andres 2004).



Σχήμα 3: Φασματικές υπογραφές της βλάστησης, του εδάφους και του νερού.



Σχήμα 4: Φασματική υπογραφή της καστανιάς. (Pádua et al. 2020)

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΕΙΚΟΝΩΝ

Όταν μελετώνται εικόνες τηλεπισκόπισης πρέπει οπωσδήποτε να λαμβάνονται υπ' όψη οι αναλύσεις τις εικόνας που αποτελούν τα τέσσερα χαρακτηριστικά της:

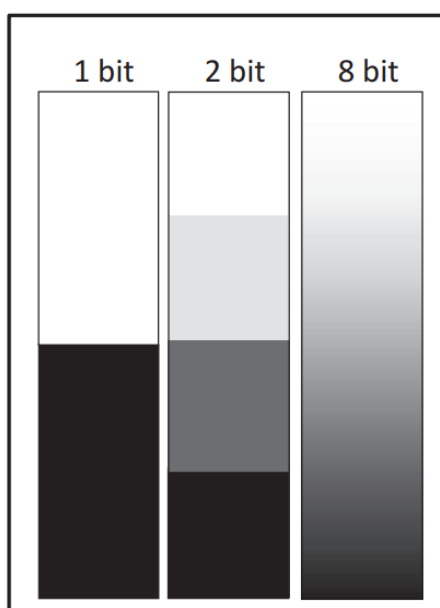
1. Χωρική ανάλυση ονομάζεται ο ικανότητα του αισθητήρα να διακρίνει δύο κοντινά αντικείμενα ως ξεχωριστά μεταξύ τους. Επομένως ένας αισθητήρας με χωρική ανάλυση 1 m παρέχει λεπτομερέστερη αναπαράσταση της εικόνας από την μελετώμενη περιοχή σχετικά με ένα αισθητήρα που έχει χωρική ανάλυση ίση με 10m (Joseph 2003). Συνήθως οι αισθητήρες που βρίσκονται σε πολύ μακρινή απόσταση από την επιφάνεια έχουν μικρή χωρική διακριτική ικανότητα και υφίσταται μεγαλύτερη παραμόρφωση στα άκρα. Η στερεά γωνία με την οποία ο δορυφόρος μελετά μια συγκεκριμένη περιοχή στη γη ονομάζεται στιγμιαίο πεδίο κατόπτρευσης (IFOV), η περιοχή που αντιστοιχεί στο στιγμιαίο πεδίο κατόπτρευσης ονομάζεται κελί ανάλυσης (resolution cell) και αυτό διατυπώνει τη χωρική διακριτική ικανότητα του αισθητήρα (Καρτάλης 2012).

2. Η φασματική ανάλυση αφορά τον αριθμό, πλάτος και τη θέση των περιοχών του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος στις οποίες παρέχεται δυνατότητα καταγραφής από τον αισθητήρα. Οι αισθητήρες που καταγράφουν μόνο σε μια φασματική περιοχή (κανάλι) παρέχουν ασπρόμαυρες φωτογραφίες και ονομάζονται παγχρωματικοί, εκείνοι που διαθέτουν πολλά κανάλια για να ξεχωρίζουν τα χρώματα του ορατού καθώς και την περιοχή του υπέρυθρου ονομάζονται πολυφασματικοί, ενώ αυτοί που διαθέτουν εκατοντάδες κανάλια ονομάζονται υπερφασματικοί. Γενικά όσο περισσότερα και πιο στενά είναι τα κανάλια που πραγματοποιεί καταγραφές ο αισθητήρας τόσο καλύτερη είναι η φασματική ανάλυση (Gergel & Turner 2017).

3. Η ραδιομετρική ανάλυση αφορά την ευαισθησία του ανιχνευτή να εντοπίζει διαφορές στην ένταση της ανακλώμενης από την επιφάνεια ακτινοβολίας. Οι τιμές που ανιχνεύει ο αισθητήρας μετατρέπονται σε ψηφιακές

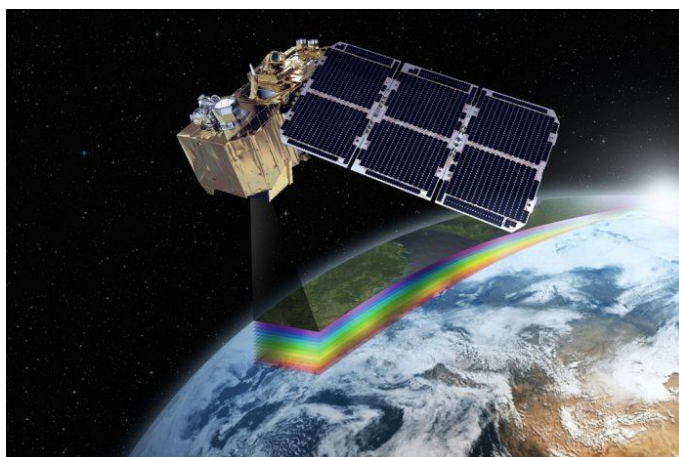
τιμές που αποτελούν μια δύναμη του 2, οι δυνάμεις καθορίζονται από τον αριθμό των bits που χρησιμοποιεί ο αισθητήρας (Καρτάλης 2012).

Στο Σχήμα 5 φαίνεται ένα παράδειγμα ραδιομετρικής ανάλυσης όπου στην περίπτωση του 1bit φαίνεται η εικόνα να αποτελείται από μόνο δυο χρώματα και όσο αυξάνονται τα bit φαίνεται να είναι μεγαλύτερη η διαβάθμιση των χρωμάτων με αποτέλεσμα την καλύτερη ραδιομετρική ανάλυση της εικόνας (Gergel & Turner 2017).



Σχήμα 5: Απεικόνιση ραδιομετρικής ανάλυσης στα 1 bit, 2 bit και 8 bit (Gergel & Turner 2017).

4. Η χρονική ανάλυση καθορίζεται από τον χρόνο που χρειάζεται ένας αισθητήρας για να ξαναπεράσει από την ίδια περιοχή στην γήινη επιφάνεια. Έτσι εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά της τροχιάς και από το πλάτος σάρωσης του αισθητήρα (SWATH, Σχήμα 6), το οποίο όσο πιο μεγάλο είναι, τόσο καλύτερη είναι και η επισκεψιμότητα του αισθητήρα στην ίδια περιοχή με αποτέλεσμα την καλύτερη χρονική ανάλυση (Καρτάλης 2012).

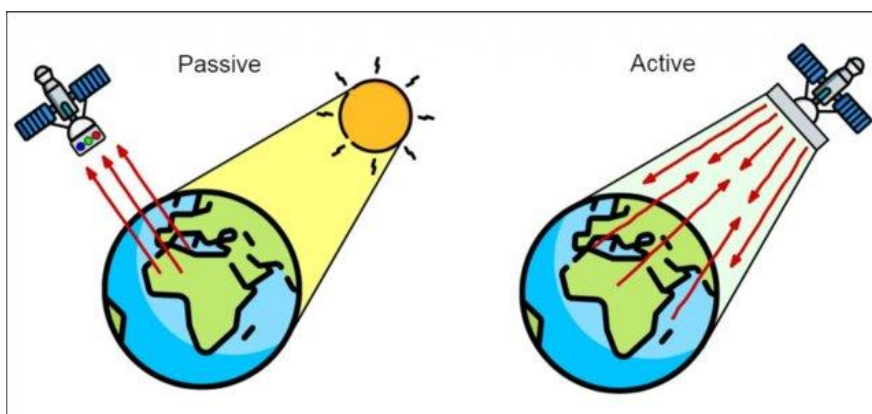


Σχήμα 6: Απεικόνιση της λωρίδας σάρωσης ενός αισθητήρα.

ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Οι αισθητήρες διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, στους παθητικούς και τους ενεργητικούς.

1. Οι παθητικοί αισθητήρες καταγράφουν την ακτινοβολία που είναι φυσικά διαθέσιμη στο περιβάλλον (Σχήμα 7), δηλαδή προέρχεται από τον ήλιο. Αυτό σημαίνει ότι κατά την διάρκεια της νύχτας δεν υπάρχει διαθέσιμη ανακλώμενη ακτινοβολία από τον ήλιο για να καταγραφεί, ωστόσο η ενέργεια που εκπέμπεται φυσικά από τη γη όπως είναι η θερμική ενέργεια μπορεί να ανιχνευθεί και μέρα και νύχτα.
2. Από την άλλη υπάρχουν οι ενεργητικοί αισθητήρες όπως είναι τα RADAR, οι οποίοι διαθέτουν την δική τους πηγή ακτινοβολίας που κατευθύνεται προς την επιφάνεια προς μελέτη (Σχήμα 7). Έτσι η ενέργεια αλληλεπιδρά με την περιοχή και ύστερα καταγράφεται από τον αισθητήρα η ανακλώμενη ακτινοβολία. Αυτοί οι αισθητήρες πλεονεκτούν στο γεγονός ότι μπορούν να καταγράφουν μετρήσεις καθ' όλη τη διάρκεια της ημέρας (“Fundamentals of Remote Sensing”).



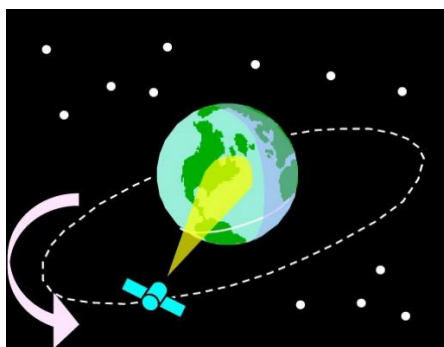
Σχήμα 7: Απεικόνιση ενός παθητικού και ενός ενεργητικού αισθητήρα (Abdul-Hameed 2022).

ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ

Οι αισθητήρες είναι δυνατόν να τοποθετηθούν σε διάφορες πλατφόρμες για την επίτευξη της τηλεπισκόπησης, όπως επίγειες πλατφόρμες ή αεροσκάφη αλλά και δορυφόροι οι οποίοι χρησιμοποιούνται ευρέως στην τηλεπισκόπηση.

Οι δορυφόροι προορίζονται για διαφορετικές χρήσεις ανάλογα με την τροχιά που ακολουθούν. Τροχιά ονομάζεται η πορεία που πραγματοποιεί ένας δορυφόρος γύρω από τη γη και μπορεί να διαφέρει ως προς την απόσταση που έχει ο δορυφόρος από την επιφάνεια της, ως προς τον προσανατολισμό του και την περιστροφή του σχετικά με την υδρόγειο.

Γεωστατική τροχιά: αναφέρεται σε δορυφόρους που βρίσκονται σε πολύ μεγάλο υψόμετρο (περίπου 36.000 km) σχετικά με την επιφάνεια της γης και συνεχώς παρακολουθούν την ίδια επιφάνεια (Σχήμα 8). Αυτό επιτυγχάνεται καθώς περιστρέφονται σε ταχύτητα που αντιστοιχεί με αυτήν της περιστροφής της γης. Τέτοιου είδους δορυφόροι χρησιμοποιούνται κυρίως για διερεύνηση μοτίβων καιρού και νεφών.



Σχήμα8: Απεικόνιση γεωστατικής τροχιάς.

Σχεδόν πολική τροχιά: αποκαλείται έτσι εξαιτίας της κλίσης της τροχιάς σε σχέση με μία γραμμή μεταξύ βόρειου και νότιου πόλου (Σχήμα 9). Αναφέρεται στους δορυφόρους οι οποίοι κατευθύνονται σε πορεία βορρά-νότου και έτσι σε συνδυασμό με την περιστροφή της γης δύση-ανατολή καλύπτουν αρκετή επιφάνεια της γης σε συγκεκριμένο χρόνο. Επίσης για να αποφευχθούν επιπλέον διορθώσεις πολλές δορυφορικές τροχιές έχουν συγχρονιστεί με τον ήλιο με αποτέλεσμα να υπάρχουν οι ίδιες συνθήκες φωτισμού σε κάθε παρατήρησή για κάθε περιοχή. Οι περισσότεροι δορυφόροι που υπάρχουν στην γη ανήκουν σε αυτήν την κατηγορία.

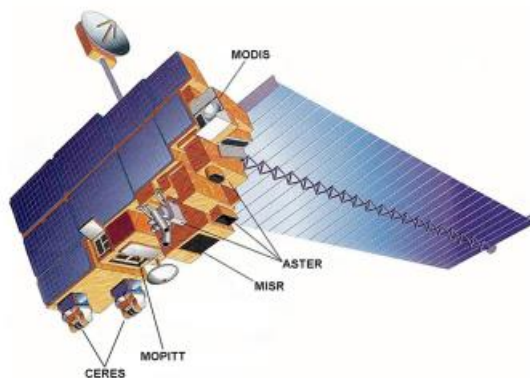


Σχήμα 9: Απεικόνιση σχεδόν πολικής τροχιάς (“Fundamentals of Remote Sensing”).

Όσοι δορυφόροι περιστρέφονται γύρω από τη γη σαρώνουν μια ορισμένη επιφάνεια της και αυτή η περιοχή ονομάζεται λωρίδα (swath) η οποία καθορίζει και την χρονική ανάλυση. Αυτές οι λωρίδες διαφέρουν σε πλάτος σε κάθε δορυφόρο ανάλογα με τα χαρακτηριστικά του (“Fundamentals of Remote Sensing”).

ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ MODIS- ΔΟΡΥΦΟΡΟΙ TERRA-AQUA

Ο αισθητήρας MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) βρίσκεται στους δορυφόρους TERRA (Σχήμα 10) και AQUA και καταγράφει εικόνες της γήινης επιφάνειας με λωρίδα σάρωσης 2300km, έτσι του επιτρέπεται να παρέχει σχεδόν καθημερινή παγκόσμια επανάληψη. Καταγράφει δεδομένα σε 36 φασματικά κανάλια, ή ομάδες μηκών κύματος, με εύρος 0,4-14,4nm, δημιουργεί εικόνες σε 7 ζώνες (bands), 2 στο ορατό και κοντά στο υπέρυθρο με ανάλυση 250m, σε 5 ζώνες στο ορατό, στο κοντινό υπέρυθρο και στο μέσο υπέρυθρο με χωρική ανάλυση 500m. Ο αισθητήρας έχει την δυνατότητα να παρέχει παγκόσμια εικόνα όσον αφορά τις αλλαγές που λαμβάνουν μέρος στην ξηρά, στους ωκεανούς και στην χαμηλότερη ατμόσφαιρα. Δίνεται η δυνατότητα παροχής αυτών των δεδομένων δωρεάν στην διεύθυνση: <https://modis.gsfc.nasa.gov/data/> (Dovgyi et al. 2019).



Σχήμα 10: Απεικόνιση δορυφόρου NASA sketch of SV Terra (Dovgyi et al. 2019).

ΣΚΟΠΟΣ

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη των φαινολογικών γεγονότων της καστανιάς με τη χρήση δορυφορικών δεδομένων για την διαπίστωση της τυχόν χρονικής μεταβολής τους στο διάστημα 2000-2021 και την συσχέτιση τους με κλιματικούς παράγοντες. Συγκεκριμένα, χρησιμοποιούνται δεδομένα από τον αισθητήρα MODIS (TERRA & AQUA) για την κατασκευή χρονοσειρών του δείκτη βλάστησης NDVI και τον προσδιορισμό των ημερομηνιών έναρξης έκπτυξης των φύλλων την άνοιξη, πτώσης των φύλλων το φθινόπωρο, καθώς επίσης και της διάρκειας της αναπτυξιακής περιόδου. Όσον αφορά τους κλιματικούς παράγοντες γίνεται συσχέτιση με τη θερμοκρασία (ελάχιστη, μέγιστη και μέση μηνιαία) και την βροχόπτωση (συνολική μηνιαία). Μελετήθηκαν 13 περιοχές στην Ευρώπη σε διαφορετικά γεωγραφικά πλάτη και υψόμετρα, με στόχο την ευρύτερη αποτύπωση της φαινολογίας της καστανιάς και του πως επηρεάζεται από τους κλιματικούς παράγοντες και τις πιθανές επιδράσεις της τρέχουσας κλιματικής αλλαγής.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΙ ΜΕΘΟΔΟΙ

ΠΕΡΙΟΧΕΣ ΚΑΙ ΕΙΔΟΣ ΜΕΛΕΤΗΣ

Το είδος που μελετήθηκε είναι το φυλλοβόλο δέντρο *Castanea sativa*. Η επιλογή των σημείων προς μελέτη έγινε με εφαρμογή ειδικού ευρωπαϊκού χάρτη απεικόνισης των δασών καστανιάς (<https://efi.int/knowledge/maps/treespecies>) στο πρόγραμμα QGIS, απ' όπου επιλέχθηκαν οι περιοχές στις οποίες η παρουσία του είδους ήταν εντονότερη και σημειώθηκαν οι συντεταγμένες των σημείων ώστε να προστεθούν στην πλατφόρμα της NASA για την παροχή των δορυφορικών δεδομένων.

Πιο συγκεκριμένα η ευρωπαϊκή καστανιά μελετήθηκε σε 13 διαφορετικές περιοχές, όπως φαίνονται στον Πίνακα 1.

Πίνακας 1. Περιοχές μελέτης

Σημεία	Τοποθεσία	Γεωγραφικό πλάτος	Γεωγραφικό μήκος	Υψόμετρο
1	ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	40.18138	24.32853	770
2	ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	40.18618	24.34474	360
3	ΠΕΛΟΠΟΝΝΗΣΟΣ	37.08947	22.75001	1010
4	ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	40.18418	24.33204	480
5	ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	40.1926	24.3107	500
6	ΙΤΑΛΙΑ	43.9338	10.6696	640
7	ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	40.2058	24.3045	580
8	ΓΕΡΜΑΝΙΑ	49.181	8.0041	430
9	ΑΓΙΟ ΟΡΟΣ	40.18149	24.3351	600
10	ΓΑΛΛΙΑ	44.6442	2.3794	420
11	ΙΣΠΑΝΙΑ	42.5974	-7.0793	1.111
12	ΓΑΛΛΙΑ	44.7449	4.3292	840
13	ΙΣΠΑΝΙΑ	42.6107	-7.1194	1025

ΔΕΙΚΤΕΣ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ

Για την πειραματική διαδικασία χρησιμοποιήθηκε ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένης Διαφοράς NDVI (Normalized Difference Vegetation Index). Ο δείκτης μπορεί να πάρει τιμές από -1 έως +1, μεγαλύτερη τιμή υποδηλώνει περισσότερη βλάστηση. Η βάση του βρίσκεται στο φαινόμενο ότι οι χλωροφύλλες απορροφούν περισσότερο στην ερυθρή περιοχή και το μεσόφυλλο σκεδιάζει την εγγύς

υπέρυθρη ακτινοβολία. Έτσι σχετίζεται άμεσα με την παραγωγικότητα της βλάστησης και την φυλλική επιφάνεια.

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

Όπου NIR: η ανακλαστικότητα στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (871–876 nm),

Όπου Red: η ανακλαστικότητα στην ερυθρή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος (620–670 nm)

Όσον αφορά τον υπολογισμό για το NIR χρησιμοποιήθηκε η band 2 ενώ για το Red η band 1 από τα δορυφορικά δεδομένα του MODIS (Συλλαίος 2000).

ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Στην παρούσα έρευνα για να εξαχθεί ο δείκτης βλάστης NDVI χρησιμοποιήθηκαν 2 προϊόντα από τον αισθητήρα MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer) τα οποία ανακτήθηκαν από την ιστοσελίδα της NASA <https://modis.ornl.gov/globalsubset/> :

1. MOD09A1 (Surface Reflectance (Terra), 8-Day, 500m)

Το προϊόν MOD09A1 παρέχεται από τον αισθητήρα του δορυφόρου Terra

2. MYD09A1 (Surface Reflectance (Aqua), 8-Day, 500m)

Το προϊόν MOD09A1 παρέχεται από τον αισθητήρα του δορυφόρου Aqua

Τα προϊόντα είναι σχεδόν πανομοιότυπα ως προς τα δεδομένα που παρέχουν με κύρια διαφορά τον δορυφόρο που συνέλλεξε τα δεδομένα. Επιπρόσθετα έχουν χωρική ανάλυση 500m, 7 κανάλια που μετρούν την γήινη ανακλαστικότητα και παρέχουν δεδομένα κάθε 8 μέρες. Τα προϊόντα είναι επιπέδου 2, δηλαδή περιέχουν δεδομένα ακτινοβολίας που χαρτογραφούνται σε ένα γεωγραφικό πλέγμα, έχουν μεγαλύτερη χωρική ανάλυση και επίσης έχουν υποστεί διόρθωση όσον αφορά τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις και γεωγραφικές παραμορφώσεις, έτσι σε κάθε pixel που μελετάται αποδίδεται γεωγραφικό πλάτος, γεωγραφικό μήκος και χρονικό στίγμα. Επίσης περιλαμβάνουν πληροφορίες ποιοτικού ελέγχου όπως αν υπάρχει παρουσία νεφών, σκιές νεφών και άλλες ατμοσφαιρικές συνθήκες που μπορεί να επηρεάσουν την

ποιότητα των δεδομένων τα οποία χρησιμοποιήθηκαν για περαιτέρω διόρθωση όπου χρειαζόταν.

Στην πλατφόρμα παραγγελίας στο site που αναφέρθηκε επιλέχθηκαν τα δυο προϊόντα που χρειάστηκαν για την έρευνα καθώς και οι συντεταγμένες του σημείου ενδιαφέροντος. Αυτή η διαδικασία πραγματοποιήθηκε και για τα 13 σημεία που εξετάζονται σε αυτή την έρευνα και στη συνέχεια αποθηκεύτηκαν τα δεδομένα σε μορφή csv και τέλος σε αρχείο στο excel. Οι τιμές που εξάχθηκαν για κάθε μπάντα αντιστοιχούσαν στις τιμές ανακλαστικότητας πολλαπλασιασμένες επί 10^4 . Επομένως η τιμή κάθε μπάντας πολλαπλασιάστηκε επί 10^{-4} για να βρεθεί η ανακλαστικότητα που μετρήθηκε για το συγκεκριμένο μήκος κύματος ή εύρος μηκών κύματος. Στη συνέχεια αυτά τα δεδομένα χρησιμοποιήθηκαν για να παραχθεί ο δείκτης βλάστης NDVI, έπειτα λαμβάνοντας υπ' όψη τις ατμοσφαιρικές συνθήκες που παρέχονται για κάθε μέτρηση, πραγματοποιήθηκε ποιοτικός έλεγχος και αφαιρέθηκαν οι τιμές του NDVI που αντιστοιχούσαν σε μετρήσεις με ανεπιθύμητες ατμοσφαιρικές συνθήκες.

Τα 2 προϊόντα συνδυάστηκαν για την δημιουργία υψηλότερης χρονικής ανάλυσης ώστε να παρέχεται καλύτερη πληροφορία για την έρευνα και χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία χρονοσειρών.

ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΑ ΔΕΙΚΤΩΝ ΒΛΑΣΤΗΣΗΣ ΚΑΙ ΦΑΙΝΟΛΟΓΙΑ

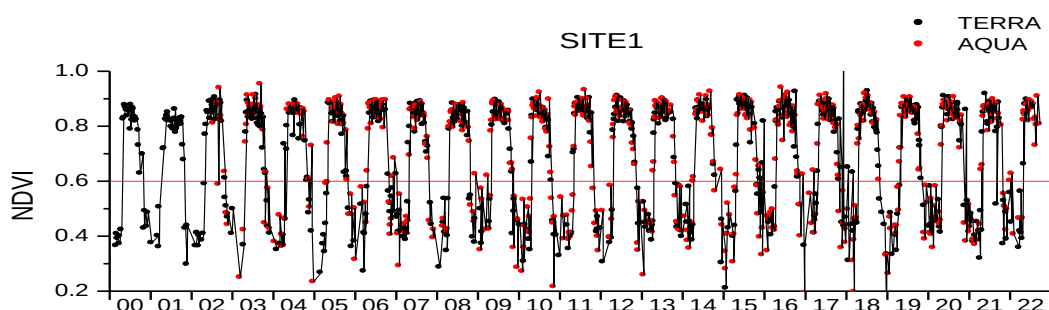
Οι χρονοσειρές είναι η συλλογή των μετρήσεων του NDVI όπου υποδηλώνεται η κάλυψη βλάστησης στο σημείο που μελετάται για ορισμένο χρονικό διάστημα, στη συγκεκριμένη έρευνα το χρονικό διάστημα είναι από το 2000-2021 και για τα 13 σημεία που προαναφέρθηκαν. Έτσι παρουσιάζονται σε διάγραμμα ώστε να είναι διακριτή η ετήσια διακύμανση, η οποία οφείλεται σε αναπτυξιακά γεγονότα του φυτού. Όσον αφορά την περίπτωση των φυλλοβόλων δέντρων δίνεται η δυνατότητα αναγνώρισης της περιόδου έναρξης της έκπτυξης των φύλλων καθώς και της περιόδου πτώσης τους από την απότομη αύξηση του NDVI και των απότομη πτώση του αντίστοιχα.

Πιο συγκεκριμένα, σημειώνεται μια έντονη αύξηση του δείκτη βλάστησης τους αρχικούς μήνες της άνοιξης που υποδηλώνει την έκπτυξη των φύλλων, ακολουθεί η σταθεροποίηση του το καλοκαίρι καθώς ολοκληρώνεται η έκπτυξη και στη συνέχεια ακολουθεί πτώση του το Φθινόπωρο όπου επάγεται η πτώση των φύλλων. Τέλος στους χειμερινούς μήνες παρατηρείται σταθεροποίηση του δείκτη σε πολύ χαμηλή τιμή

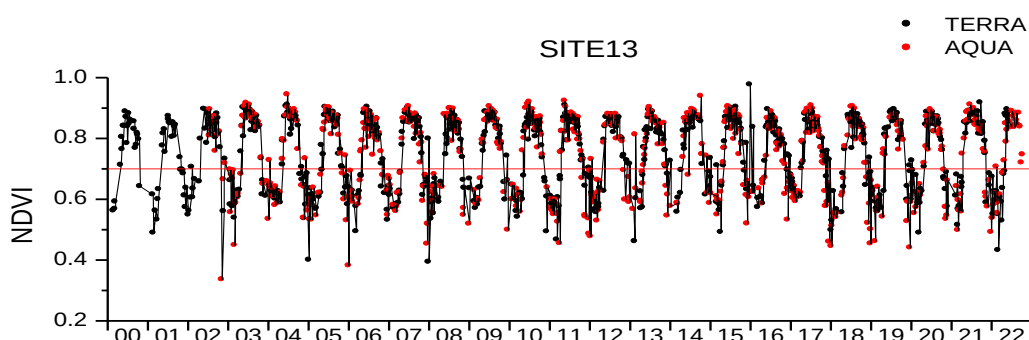
καθώς έχει τερματιστεί η Φθινοπωρινή πτώση των φύλλων. Αυτή η διαδοχή γίνεται αντιληπτή στις χρονοσειρές στα πλαίσια κάθε έτους.

Από τις χρονοσειρές εξάχθηκαν τα δεδομένα ημερομηνίας έκπτυξης των φύλλων (start of season: SOS), πτώσης (end of season: EOS) και της διάρκειας της αναπτυξιακής περιόδου (length of season: LOS) με τον εξής τρόπο:

Δημιουργία οριζόντιας γραμμής η οποία τέμνει το διάγραμμα στο ύψος 0.6 του NDVI για τα περισσότερα σημεία με εξαίρεση τα σημεία 8,11,12 και 13 τα οποία είχαν υψηλότερους δείκτες NDVI και η γραμμή έγινε στο ύψος 0.7. Στη συνέχεια εντοπίστηκε για κάθε χρόνο το σημείο τομής της γραμμής με το την περιοχή του διαγράμματος όπου παρουσιάζεται ραγδαία αύξηση του NDVI για τις ημερομηνίες του SOS και με την περιοχή του διαγράμματος όπου παρουσιάζεται ραγδαία μείωση του NDVI για τις ημερομηνίες του EOS. Τέλος οι τιμές αυτές προστέθηκαν σε ένα excel και το LOS προέκυψε από την αφαίρεση του SOS από το EOS καθώς η αναπτυξιακή περίοδος (LOS) αποτελεί το διάστημα από την έκπτυξη των φύλλων έως την πτώση τους. Στα Σχήματα 11 και 12 παρατίθενται 2 παραδείγματα χρονοσειρών των 2 σημείων 1 και 13. Τα σχήματα για όλα τα σημεία παρουσιάζονται στο Παράρτημα 1.



Σχήμα 11: Χρονοσειρά NDVI του σημείου 1 για το διάστημα 2000-2021



Σχήμα 12: Χρονοσειρά NDVI του σημείου 13 για το διάστημα 2000-2021

ΜΕΤΕΩΡΟΛΟΓΙΚΑ ΔΕΔΟΜΕΝΑ

Τα μετεωρολογικά δεδομένα που χρησιμοποιήθηκαν στην παρούσα έρευνα αποκτήθηκαν από δύο πλατφόρμες στο διαδίκτυο οι οποίες στην συνέχεια συσχετίστηκαν ώστε να παραχθούν καλύτερα και πιο ολοκληρωμένα δεδομένα όσον αφορά τη μέση, μέγιστη και ελάχιστη θερμοκρασία καθώς και την βροχόπτωση στα σημεία μελέτης κατά τη διάρκεια 2000-2021.

Πιο ειδικά χρησιμοποιήθηκε η πλατφόρμα <https://www.worldclim.org/> που παρέχει παγκόσμια κλιματικά δεδομένα από το 1980 έως το 2018 με χωρική ανάλυση από 30 δευτερόλεπτα ($\sim 1\text{km}^2$) έως 10 λεπτά ($\sim 340\text{km}^2$), αφού λήφθηκαν τα δεδομένα επεξεργάστηκαν στο πρόγραμμα snap και εξάχθηκαν τα δεδομένα για κάθε σημείο σε μορφή excel για την περαιτέρω χρήση τους. Χρησιμοποιήθηκαν επίσης τα δεδομένα από την πλατφόρμα <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/> η οποία παρέχει επίσης παγκόσμια δεδομένα από 1981 έως 2021 με χωρική ανάλυση γεωγραφικού πλάτους/μήκους $\frac{1}{2}^\circ \times \frac{5}{8}^\circ$, στην συνέχεια έγινε συσχέτιση των δεδομένων με regression για το κάθε site ώστε να υπάρχει ολοκληρωμένη εικόνα για τα κλιματικά γεγονότα της περιόδου μελέτης. Στα Παραρτήματα 5 και 6 παρουσιάζονται τα διαγράμματα συσχέτισης των δεδομένων του WorldClim και του Power για την βροχή και την μέση θερμοκρασία αντίστοιχα.

Επιπλέον με τα δεδομένα της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας δημιουργήθηκαν τα ομβροθερμικά διαγράμματα για κάθε σημείο τα οποία παρατίθενται στο Παράρτημα 7.

ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ

Σε αυτό το σημείο ουσιαστικά συσχετίζονται τα κλιματικά δεδομένα με το κάθε φαινολογικό γεγονός ώστε να διαπιστωθεί το κατά πόσο οι κλιματικές παράμετροι που συνέβησαν σε κάθε σημείο έχουν επηρεάσει τη φαινολογία του είδους. Για το σκοπό αυτό μελετήθηκε η επιρροή των κλιματικών παραγόντων από όλους του πιθανούς συνδυασμούς μηνών σε βάθος 2 χρόνων πριν από το γεγονός για κάθε έτος. Έτσι για την επιρροή των κλιματικών δεδομένων στο SOS μελετήθηκαν όλοι οι πιθανοί συνδυασμοί μηνών από τον Μάιο και πίσω ενώ για το SOS και το LOS από Νοέμβριο και πίσω. Η μέθοδος που χρησιμοποιήθηκε ονομάζεται γραμμική παλινδρόμηση (linear regression) και εξετάστηκε το επίπεδο σημαντικότητας μέσω των παραμέτρων P και R^2 .

ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

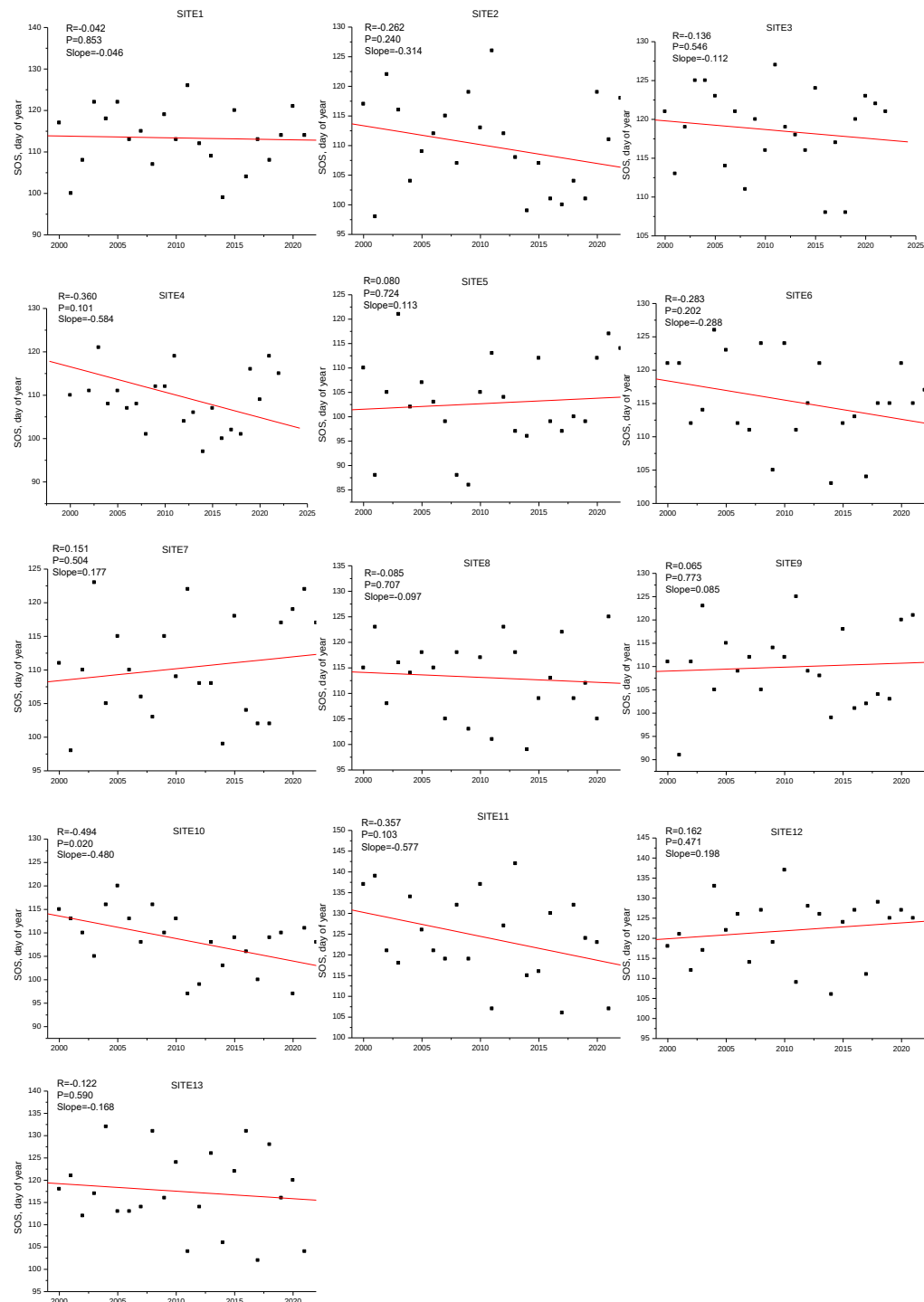
ΜΕΛΕΤΗ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΑΝΑΠΤΥΞΙΑΚΗΣ ΠΕΡΙΟΔΟΥ

SOS

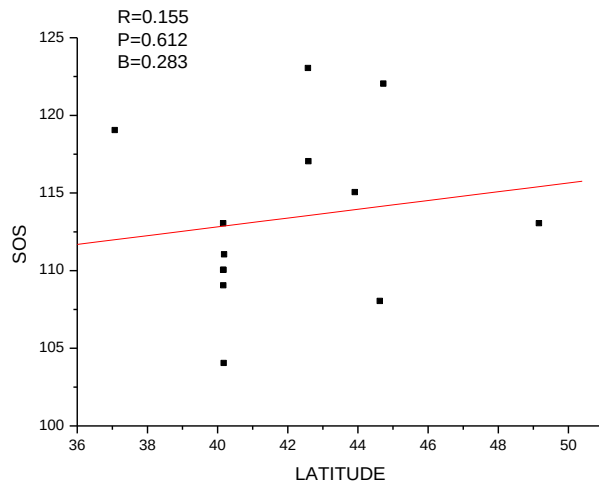
Όπως φαίνεται στον Πίνακα 2, παρατηρείται η τάση να μετατοπίζεται νωρίτερα στο έτος η έναρξη έκπτυξης των φύλλων για τα περισσότερα σημεία εκτός από τα site 5, 7, 9 και 12 όπου παρατηρείται το αντίθετο φαινόμενο. Ωστόσο, μόνο το site 10 εμφανίζει στατιστικά σημαντική μεταβολή της περιόδου αυτής μετατοπίζοντας την 0,480 ημέρες ανά έτος. Στο Σχήμα 13 παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα όλων των σημείων.

Πίνακας 2. Αποτελέσματα της μέσης ημερομηνίας έναρξης έκπτυξης των φύλλων όπως υπολογίστηκε στην παρούσα μελέτη (SOS) και όπως παρέχεται από τα δεδομένα του MODIS (SOS MODIS) για τις διάφορες περιοχές μελέτης. R, ο συντελεστής συσχέτισης του SOS στο χρόνο, P, το επίπεδο σημαντικότητας, B, η μεταβολή στο χρόνο (ημέρες ανά έτος) και Line, η τιμή του NDVI βάση της οποίας προσδιορίστηκε το SOS.

Σημείο	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο	SOS	SOS MODIS	R	P	B	Line
3	37.090	1010	119±5	95±7	-0.136	0.546	-0.112	0.6
1	40.181	770	113±7	97±8	-0.042	0.853	-0.046	0.6
9	40.182	600	110±8	87±8	0.065	0.773	0.085	0.6
4	40.184	480	109±7	88±8	-0.360	0.111	-0.584	0.6
2	40.186	360	110±8	73±11	-0.262	0.240	0.314	0.6
5	40.193	500	104±9	78±12	0.080	0.724	0.113	0.6
7	40.206	580	111±7	93±7	0.151	0.504	0.177	0.6
11	42.597	1111	123±10	94±12	-0.357	0.103	-0.577	0.7
13	42.611	1025	117±9	320±4	-0.122	0.590	-0.168	0.7
6	43.934	640	115±7	100±5	-0.283	0.202	-0.288	0.6
10	44.644	420	108±6	80±6	-0.494	0.020	-0.480	0.6
12	44.745	840	122±8	98±5	0.162	0.471	0.198	0.7
8	49.181	430	113±7	82±7	-0.085	0.707	-0.097	0.7

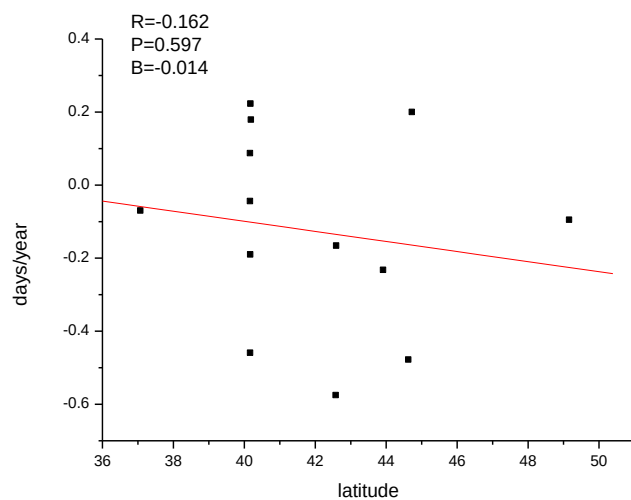


Σχήμα 13: Διαγράμματα με ημερομηνίες έναρξης της αναπτυξιακής περιόδου για όλα τα σημεία για το χρονικό διάστημα 2000-2021. Όπου Slope είναι η κλίση της ευθείας που υποδηλώνει το πόσες μέρες έχει μεταβληθεί το SOS ανά χρόνο, όπου R ο συντελεστής συσχέτισης του SOS στο χρόνο και το P υποδηλώνει αν αυτή η μεταβολή είναι στατιστικά σημαντική ($P < 0.05$).



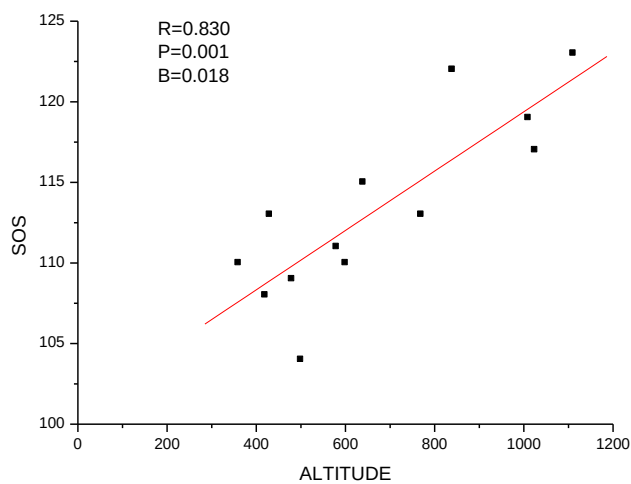
Σχήμα 14: Συσχέτιση έναρξης της έκπτυξης των φύλλων με το γεωγραφικό πλάτος

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος η έναρξη έκπτυξης των φύλλων πραγματοποιείται αργότερα.



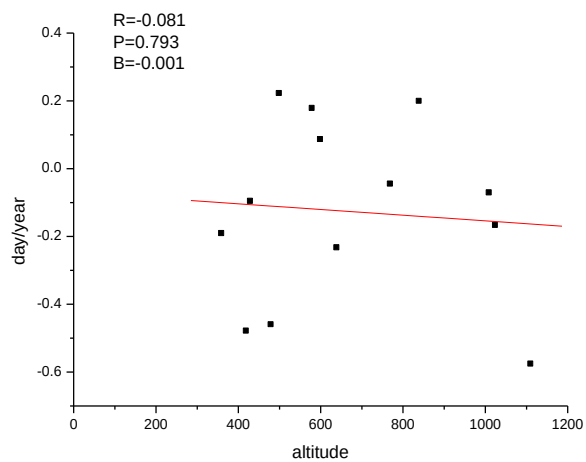
Σχήμα 15: Συσχέτιση μεταβολής ημερών έναρξης της έκπτυξης των φύλλων με το γεωγραφικό πλάτος για το διάστημα 2000-2021

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος η έναρξη έκπτυξης των φύλλων μεταβάλλεται λιγότερες μέρες/χρόνο



Σχήμα 16: Συσχέτιση έναρξης της έκπτυξης των φύλλων με το υψόμετρο

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο η έναρξη έκπτυξης των φύλλων πραγματοποιείται αργότερα.



Σχήμα 17: Συσχέτιση μεταβολής ημερών έναρξης της έκπτυξης των φύλλων με το υψόμετρο για το διάστημα 2000-2021

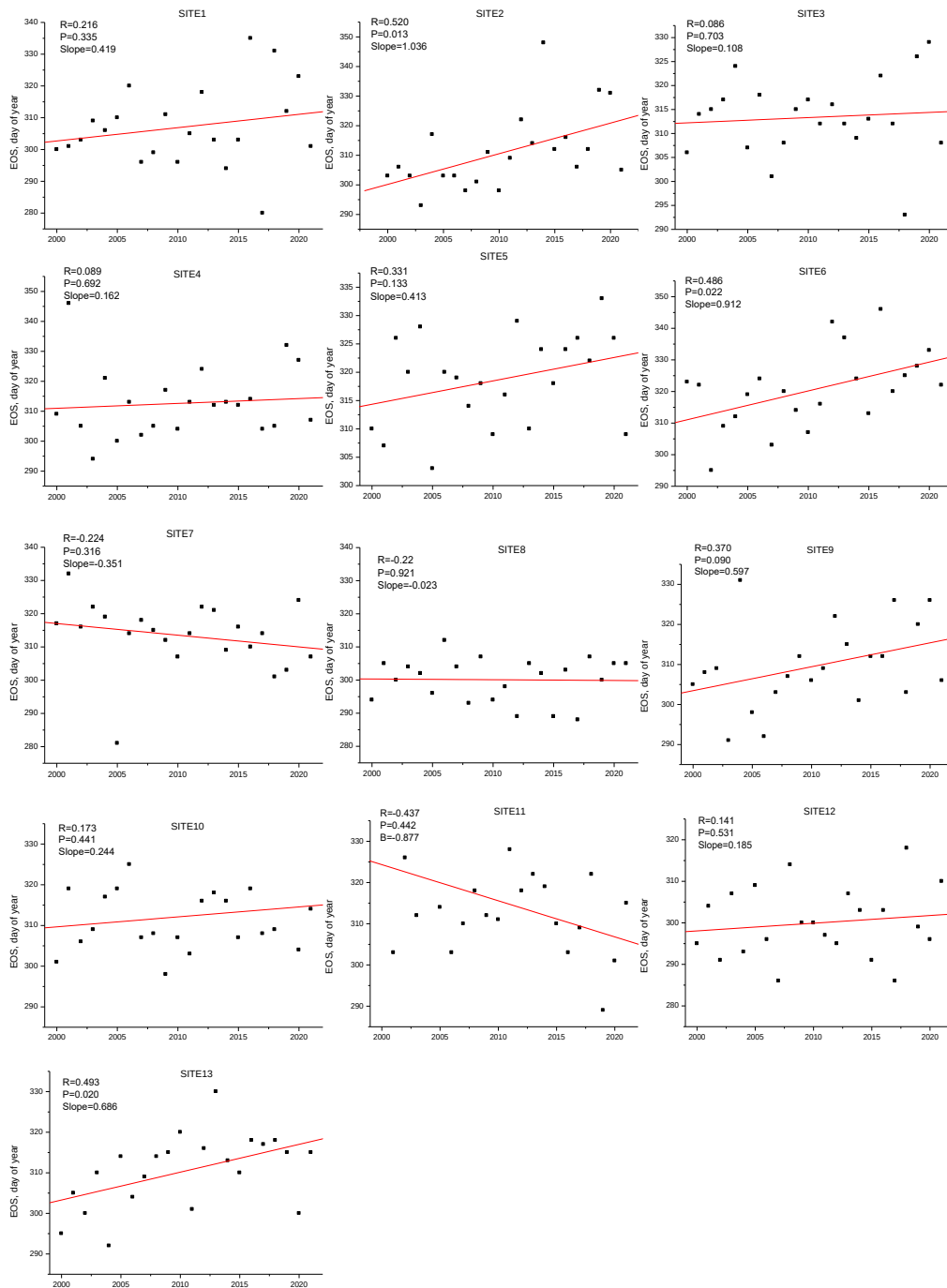
Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο η έναρξη έκπτυξης των φύλλων μεταβάλλεται λιγότερες μέρες/χρόνο.

EOS

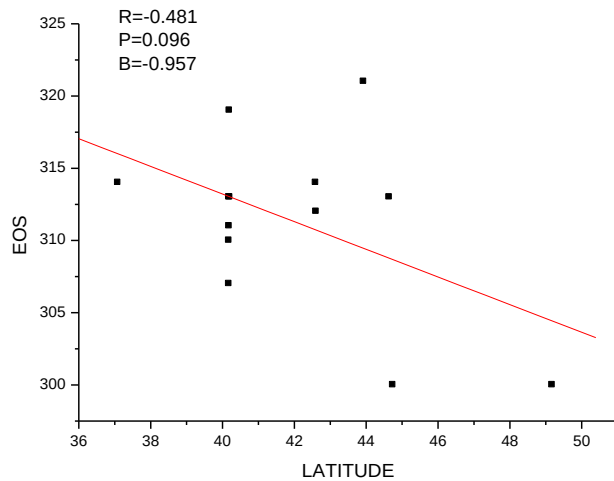
Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 3, παρατηρείται η τάση να μετατοπίζεται αργότερα στο έτος η έναρξη πτώσης των φύλλων για τα περισσότερα σημεία εκτός από τα site 7,8 και 11 όπου παρατηρείται το αντίθετο φαινόμενο. Τα site 2,6 και 13 εμφανίζουν στατιστικά σημαντική μεταβολή της περιόδου αυτής μετατοπίζοντας την 1.036, 0.912 και 0.696 days/year αντίστοιχα. Στο Σχήμα 14 παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα όλων των σημείων.

Πίνακας 3. Αποτελέσματα της μέσης ημερομηνίας έναρξης πτώσης των φύλλων όπως υπολογίστηκε στην παρούσα μελέτη (EOS) και όπως παρέχεται από τα δεδομένα του MODIS (EOS MODIS) για τις διάφορες περιοχές μελέτης. R, ο συντελεστής συσχέτισης του EOS στο χρόνο, P, το επίπεδο σημαντικότητας, B, η μεταβολή στο χρόνο (ημέρες ανά έτος) και Line, η τιμή του NDVI βάση της οποίας προσδιορίστηκε το EOS

Σημείο	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο	EOS	EOS MODIS	R	P	B	Line
3	37.090	1010	314±8	328±4	0.086	0.703	0.108	0.6
1	40.181	770	307±13	309±7	0.216	0.335	0.419	0.6
9	40.182	600	310±10	321±7	0.370	0.090	0.597	0.6
4	40.184	480	313±9	318±7	0.089	0.692	0.162	0.6
2	40.186	360	311±13	326±6	0.520	0.013	1.036	0.6
5	40.193	500	319±8	325±6	0.331	0.133	0.413	0.6
7	40.206	580	313±10	324±6	-0.224	0.316	-0.351	0.6
11	42.597	1.111	314±11	322±7	-0.437	0.442	-0.877	0.7
13	42.611	1025	312±9	64±15	0.493	0.020	0.686	0.7
6	43.934	640	321±13	326±8	0.486	0.022	0.912	0.6
10	44.644	420	313±9	316±6	0.173	0.441	0.244	0.6
12	44.745	840	300±9	319±5	0.141	0.531	0.185	0.7
8	49.181	430	300±7	316±5	-0.220	0.921	-0.023	0.7

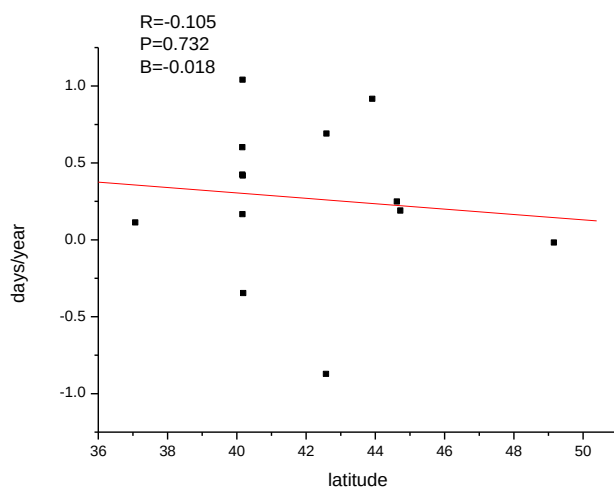


Σχήμα 18: Διάγραμματα με ημερομηνίες λήξης της αναπτυξιακής περιόδου για όλα τα σημεία για το χρονικό διάστημα 2000-2021. Όπου Slope είναι η κλίση της ευθείας που υποδηλώνει το πόσες μέρες έχει μεταβληθεί το EOS ανά χρόνο, όπου R ο συντελεστής συσχέτισης του SOS στο χρόνο και το P υποδηλώνει αν αυτή η μεταβολή είναι στατιστικά σημαντική ($P < 0.05$).



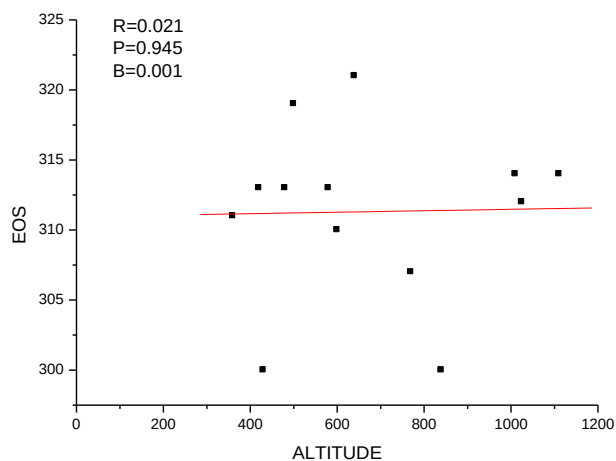
Σχήμα 19: Συσχέτιση έναρξης της πτώσης των φύλλων με το γεωγραφικό πλάτος

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος η έναρξη πτώσης των φύλλων πραγματοποιείται νωρίτερα.



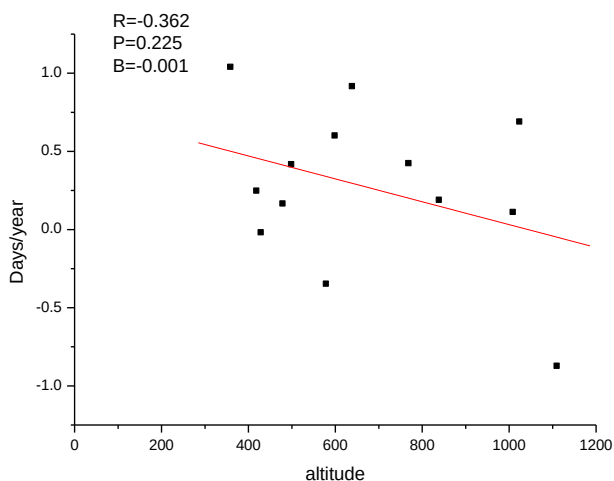
Σχήμα 20: Συσχέτιση μεταβολής ημερών έναρξης της πτώσης των φύλλων με το γεωγραφικό πλάτος για το διάστημα 2000-2021

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος η έναρξη πτώσης των φύλλων μεταβάλλεται λιγότερες μέρες/χρόνο



Σχήμα 21: Συσχέτιση έναρξης της πτώσης των φύλλων με το υψόμετρο

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο η έναρξη πτώσης των φύλλων πραγματοποιείται αργότερα.



Σχήμα 22: Συσχέτιση μεταβολής ημερών έναρξης της πτώσης των φύλλων με το υψόμετρο για το διάστημα 2000-2021

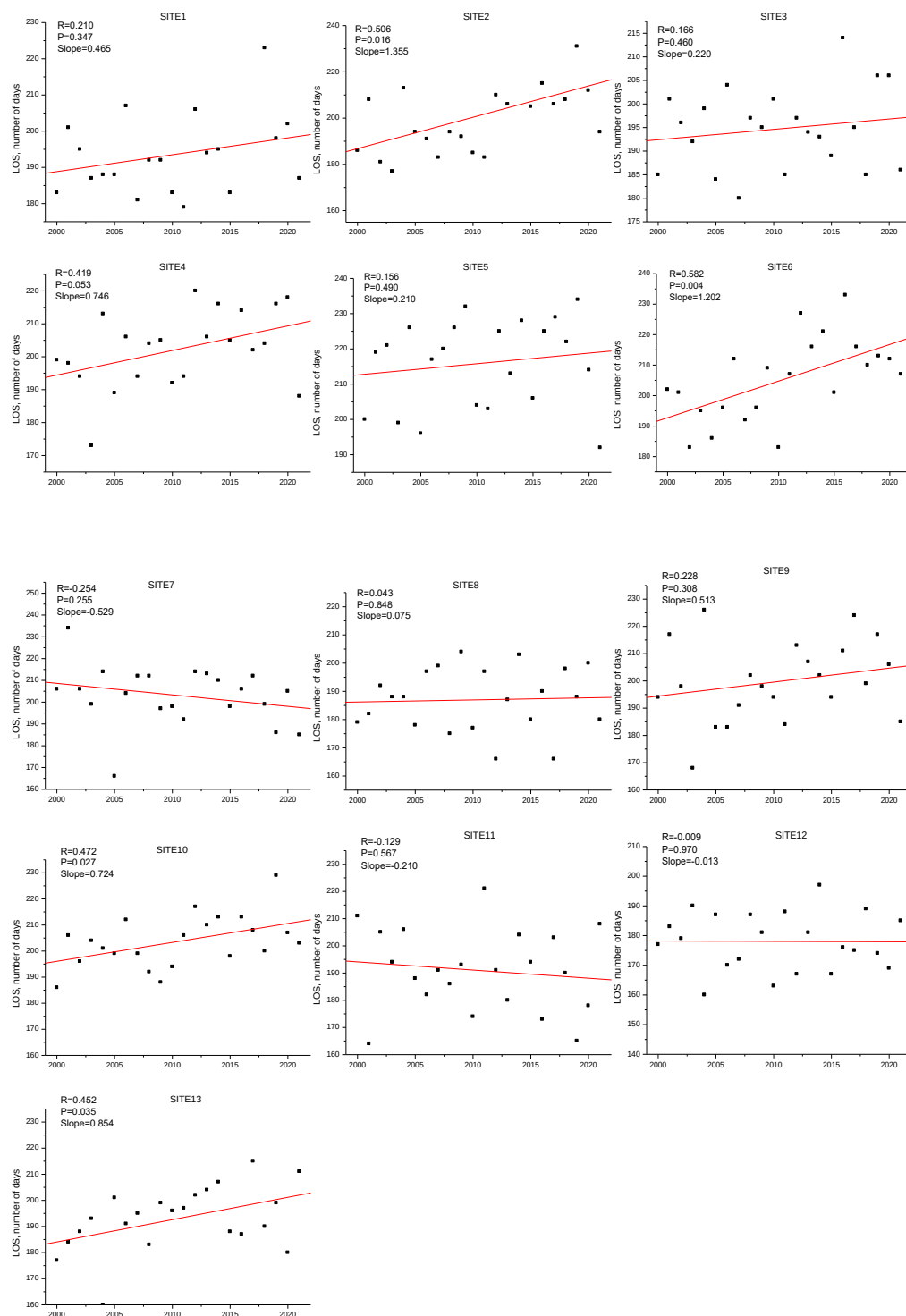
Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο η έναρξη πτώσης των φύλλων μεταβάλλεται λιγότερες μέρες/χρόνο

LOS

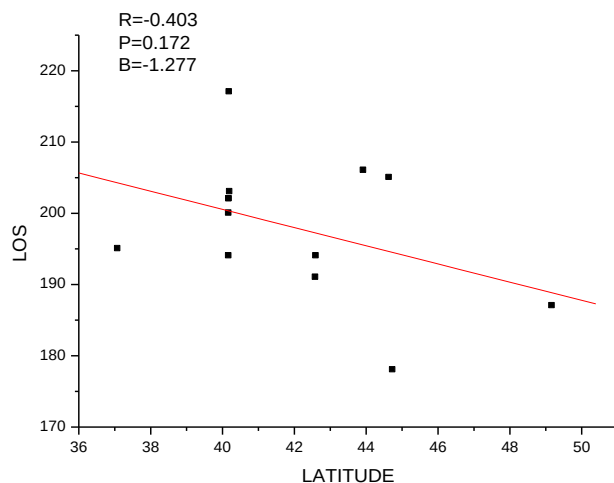
Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 4 παρατηρείται η τάση να επιμηκύνεται η αναπτυξιακή περίοδος για τα περισσότερα σημεία εκτός από τα site 7,11 και 12 όπου παρατηρείται το αντίθετο φαινόμενο από τα οποία στατιστικά σημαντική μεταβολή παρατηρείται μόνο στο site12. Τα site 2,6,10 και 13 εμφανίζουν στατιστικά σημαντική μεταβολή της περιόδου αυτής μετατοπίζοντας την 1.355, 1.202, 0.724και 0.854 days/year αντίστοιχα. Στο Σχήμα 15 παρατίθενται τα σχετικά διαγράμματα όλων των σημείων.

Πίνακας 4. Αποτελέσματα της μέσης διάρκειας της αναπτυξιακής περιόδου των φύλλων όπως υπολογίστηκε στην παρούσα μελέτη (LOS) και όπως παρέχεται από τα δεδομένα του MODIS (LOS MODIS) για τις διάφορες περιοχές μελέτης. R, ο συντελεστής συσχέτισης του LOS στο χρόνο, P, το επίπεδο σημαντικότητας, B, η μεταβολή στο χρόνο (ημέρες ανά έτος) και Line, η τιμή του NDVI βάση της οποίας προσδιορίστηκε το LOS

Σημείο	Γεωγραφικό πλάτος	Υψόμετρο	LOS	LOS MODIS	R	P	B	Line
3	37.090	1010	195±9	234±8	0.166	0.460	0.220	0.6
1	40.181	770	194±15	212±11	0.210	0.347	0.465	0.6
9	40.182	600	200±14	234±12	0.228	0.308	0.513	0.6
4	40.184	480	202±12	230±11	0.419	0.053	0.746	0.6
2	40.186	360	202±18	253±15	0.506	0.016	1.355	0.6
5	40.193	500	217±13	247±13	0.156	0.490	0.210	0.6
7	40.206	580	203±14	212±11	-0.254	0.255	-0.529	0.6
11	42.597	1.111	191±14	229±15	-0.129	0.567	-0.210	0.7
13	42.611	1025	194±12	255±14	0.452	0.035	0.854	0.7
6	43.934	640	206±14	226±9	0.582	0.004	1.202	0.6
10	44.644	420	205±9	236±8	0.472	0.027	0.724	0.6
12	44.745	840	178±10	221±6	-0.009	0.970	-0.013	0.7
8	49.181	430	187±11	234±9	0.043	0.848	0.075	0.7

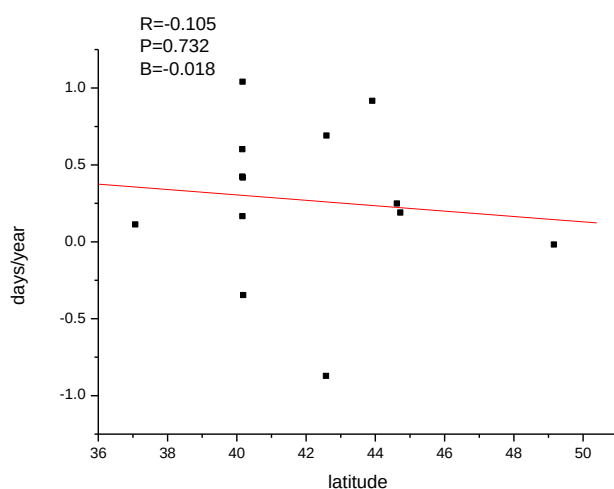


Σχήμα 23: Διάγραμματα αριθμών των ημερών αναπτυξιακής περιόδου για όλα τα σημεία για το χρονικό διάστημα 2000-2021. Όπου Slope είναι η κλίση της ευθείας που υποδηλώνει το πόσες μέρες έχει μεταβληθεί το LOS ανά χρόνο, όπου R ο συντελεστής συσχέτισης του SOS στο χρόνο και το P υποδηλώνει αν αυτή η μεταβολή είναι στατιστικά σημαντική ($P < 0.05$).



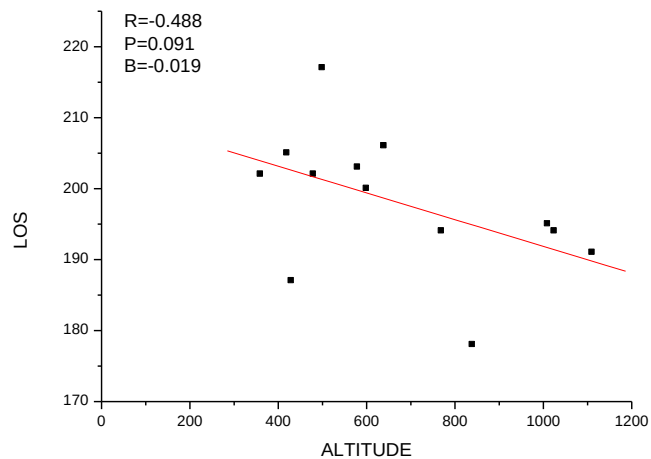
Σχήμα 24: Συσχέτιση διάρκειας αναπτυξιακής περιόδου με το γεωγραφικό πλάτος

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος είναι μικρότερη η αναπτυξιακή περίοδος.



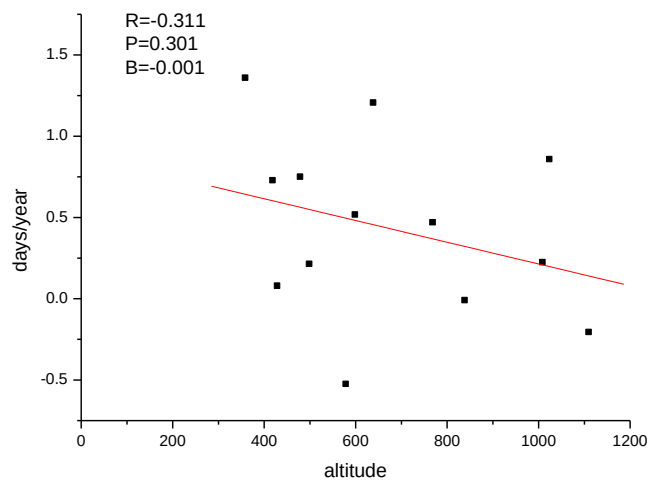
Σχήμα 25: Συσχέτιση μεταβολής ημερών αναπτυξιακής περιόδου με το γεωγραφικό πλάτος για το διάστημα 2000-2021

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος η αναπτυξιακή περίοδος μεταβάλλεται λιγότερες μέρες/χρόνο.



Σχήμα 26: Συσχέτιση διάρκειας αναπτυξιακής περιόδου με το υψόμετρο

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο είναι μικρότερη η αναπτυξιακή περίοδος.



Σχήμα 27: Συσχέτιση μεταβολής ημερών αναπτυξιακής περιόδου με το υψόμετρο για το διάστημα 2000-2021

Παρατηρείται ότι όσο αυξάνεται το υψόμετρο η αναπτυξιακή περίοδος μεταβάλλεται λιγότερες μέρες/χρόνο.

ΣΥΣΧΕΤΙΣΕΙΣ

Στη συνέχεια πραγματοποιείται συσχέτιση των κλιματικών παραμέτρων (ελάχιστη θερμοκρασία, μέγιστη θερμοκρασία, μέση θερμοκρασία και βροχόπτωση) με τα φαινολογικά γεγονότα (έναρξη έκπτυξης των φύλλων, έναρξη πτώσης των φύλλων και διάρκεια αναπτυξιακής περιόδου των φύλλων). Στόχος είναι η παρατήρηση της επίδρασης των κλιματικών φαινομένων στη φαινολογία της κασταριάς. Κάθε Πίνακας αναφέρεται σε διαφορετικό φαινολογικό γεγονός. Με κίτρινο επισημαίνονται οι συσχετίσεις που αποκλίνουν από την γενική τάση και με κόκκινο οι συσχετίσεις οι οποίες δεν θεωρούνται στατιστικά σημαντικές ($P > 0.05$).

SOS

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 5 όσον αφορά την ελάχιστη θερμοκρασία παρουσιάζεται η τάση να έχει αρνητική συσχέτιση στην έναρξη έκπτυξης των φύλλων σε όλα τα σημεία εκτός από το site 4. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η ελάχιστη θερμοκρασία η έκπτυξη γίνεται νωρίτερα στο έτος και αντίστροφα. Όσον αφορά τη μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο σε όλα τα σημεία και το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει για την μέση θερμοκρασία με εξαίρεση να αποτελούν τα site 3, 4. Τέλος, όσον αφορά τη βροχόπτωση φαίνεται να έχει θετική συσχέτιση με την έναρξη έκπτυξης των φύλλων στα περισσότερα σημεία, το οποίο σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η βροχόπτωση καθυστερεί η έκπτυξη και αντίστροφα. Όλες οι συσχετίσεις φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικές εκτός από τη συσχέτιση με τη βροχή για το site 1.

Πίνακας 5. Αποτελέσματα των σημαντικότερων συσχετίσεων που εντοπίστηκαν μεταξύ του σταδίου έναρξης έκπτυξης των φύλλων με τις κλιματικές παραμέτρους της κάθε περιοχής, γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν και τα διαγράμματα συσχέτισης SOS με τις κλιματικές παραμέτρους της κάθε περιοχής (Παράρτημα 4). R, ο συντελεστής συσχέτισης, P, το επίπεδο σημαντικότητας (στατιστικά σημαντικό εύρημα $P < 0,05$). Lag, ο αριθμός των μηνών πριν από τον Μάιο που δεν συμπεριλαμβάνονται στους μήνες των οποίων οι κλιματικοί παράμετροι βρέθηκε ότι επηρεάζουν ισχυρότερα το φαινολογικό γεγονός. Nom, το σύνολο των μηνών των οποίων οι κλιματικοί παράγοντες έχουν σημαντική επιρροή στο φαινολογικό γεγονός (π.χ. στο σημείο 3 η σημαντικότερη επιρροή της μέγιστης θερμοκρασίας έχει nom 2 και lag 1 άρα αναφέρεται στις μέγιστες θερμοκρασίες των μηνών Μάρτιου και Απριλίου.)

Site	Lat	Elev	Tmin				Tmax				Tavg				Rain			
			R	P	nom	lag	R	P	nom	lag	R	P	nom	lag	R	P	nom	lag
3	37.090	1010	-0.798	0.000	3	0	-0.813	0.000	2	1	0.845	0.000	2	1	0.556	0.007	6	0
1	40.181	770	-0.708	0.000	3	0	-0.806	0.000	1	2	-0.765	0.000	2	1	0.395	0.068	1	10
9	40.182	600	-0.739	0.000	2	1	-0.824	0.000	1	2	-0.777	0.000	1	2	0.581	0.004	6	5
4	40.184	480	0.433	0.043	2	4	-0.441	0.039	1	1	0.388	0.073	3	4	-0.577	0.005	5	12
2	40.186	360	-0.559	0.006	2	1	-0.563	0.007	1	2	-0.556	0.006	1	2	0.443	0.037	1	5
5	40.193	500	-0.641	0.001	2	1	-0.680	0.000	1	2	-0.684	0.000	1	2	0.609	0.002	6	5
7	40.206	580	-0.670	0.001	3	0	-0.887	0.000	1	2	-0.868	0.000	2	1	0.569	0.005	8	4
11	42.597	1.111	-0.575	0.005	2	0	-0.804	0.000	3	0	-0.728	0.000	3	0	0.677	0.000	3	0
13	42.611	1025	-0.557	0.007	3	0	-0.724	0.000	2	1	-0.694	0.000	2	1	0.605	0.003	3	0
6	43.934	640	-0.645	0.001	2	1	-0.706	0.000	3	0	-0.730	0.000	2	1	0.496	0.018	3	0
10	44.644	420	-0.585	0.004	2	0	-0.585	0.004	2	1	-0.686	0.000	1	1	0.437	0.041	1	1
12	44.745	840	-0.579	0.004	2	1	-0.676	0.000	2	1	-0.676	0.000	4	0	-0.539	0.009	5	12
8	49.181	430	-0.622	0.002	1	1	-0.760	0.000	1	1	-0.808	0.000	1	1	-0.472	0.025	3	7

EOS

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 6 όσον αφορά την ελάχιστη θερμοκρασία παρουσιάζεται η τάση να έχει θετική συσχέτιση στην έναρξη πτώσης των φύλλων στα περισσότερα σημεία εκτός από τα site 3, 11 και 12. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η ελάχιστη θερμοκρασία η πτώση γίνεται αργότερα στο έτος και αντίστροφα. Όσον αφορά τη μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο σε όλα τα σημεία εκτός από το σημείο 11 και το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει για την μέση θερμοκρασία με εξαίρεση να αποτελούν τα site 3 και 11. Τέλος, όσον αφορά τη βροχύπτωση φαίνεται να έχει αρνητική συσχέτιση την έναρξη πτώσης των φύλλων στα περισσότερα σημεία με εξαίρεση τα site 2, 3, 5, το οποίο σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η βροχύπτωση συμβαίνει νωρίτερα η πτώση και αντίστροφα. Όλες οι συσχετίσεις φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικές εκτός από τις συσχετίσεις με την ελάχιστη θερμοκρασία για τα site 7 και 12, με τη μέγιστη θερμοκρασία site 1 και 12, με τη μέση θερμοκρασία τα site 7 και 12 και με τη βροχή για το site 1.

Πίνακας 6. Αποτελέσματα των σημαντικότερων συσχετίσεων που εντοπίστηκαν μεταξύ του σταδίου έναρξης πτώσης των φύλλων με τις κλιματικές παραμέτρους της κάθε περιοχής, γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν και τα διαγράμματα συσχέτισης EOS με τις κλιματικές παραμέτρους της κάθε περιοχής (Παράρτημα 4). R, ο συντελεστής συσχέτισης, P, το επίπεδο σημαντικότητας (στατιστικά σημαντικό εύρημα $P < 0,05$). Lag, ο αριθμός των μηνών πριν από το Νοέμβριο που δεν συμπεριλαμβάνονται στους μήνες των οποίων οι κλιματικοί παράμετροι βρέθηκε ότι επηρεάζουν ισχυρότερα το φαινολογικό γεγονός. Nom, το σύνολο των μηνών των οποίων οι κλιματικοί παράγοντες έχουν σημαντική επιρροή στο φαινολογικό γεγονός (π.χ. στο σημείο 1 η σημαντικότερη επιρροή της μέγιστης θερμοκρασίας έχει nom 2 και lag 1 άρα αναφέρεται στις μέγιστες θερμοκρασίες των μηνών Οκτωβρίου και Σεπτεμβρίου.)

Site	Lat	Elev	Tmin				Tmax				Tavg				Rain			
			R	P	nom	lag	R	P	nom	lag	R	P	nom	lag	R	P	nom	lag
3	37.090	1010	-0.697	0.000	1	6	0.547	0.008	1	1	-0.533	0.010	3	5	0.541	0.009	12	10
1	40.181	770	0.532	0.010	2	1	0.378	0.082	2	1	0.441	0.039	2	1	-0.445	0.032	1	18
9	40.182	600	0.432	0.043	2	1	0.695	0.000	3	0	0.590	0.004	2	1	-0.418	0.052	1	2
4	40.184	480	0.549	0.008	1	7	0.677	0.000	2	1	0.537	0.009	1	1	-0.449	0.035	6	1
2	40.186	360	0.562	0.006	2	1	0.497	0.018	2	1	0.551	0.007	2	1	0.545	0.008	6	3
5	40.193	500	0.560	0.006	1	1	0.604	0.003	1	1	0.596	0.003	1	1	0.470	0.026	4	15
7	40.206	580	0.288	0.192	1	5	0.525	0.011	1	4	0.350	0.109	1	6	-0.650	0.001	1	4
11	42.597	1.111	-0.539	0.009	9	4	-0.534	0.010	9	6	-0.589	0.004	11	3	-0.417	0.052	1	12
13	42.611	1025	-0.467	0.027	2	5	0.560	0.006	4	1	0.519	0.013	1	3	-0.685	0.000	1	3
6	43.934	640	0.547	0.008	3	1	0.542	0.009	4	1	0.582	0.004	3	1	-0.531	0.010	14	12
10	44.644	420	0.481	0.023	12	7	0.561	0.006	2	4	0.394	0.068	2	4	-0.540	0.009	1	5
12	44.745	840	0.366	0.092	3	2	0.346	0.116	4	1	0.354	0.104	4	1	0.585	0.004	1	1
8	49.181	430	0.404	0.061	4	1	0.485	0.021	2	1	0.478	0.024	2	1	0.496	0.018	1	14

LOS

Όπως φαίνεται από τον Πίνακα 7 όσον αφορά την ελάχιστη θερμοκρασία παρουσιάζεται η τάση να έχει θετική συσχέτιση με την διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου σε όλα τα σημεία εκτός από το site 3. Αυτό σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η ελάχιστη θερμοκρασία η αναπτυξιακή περίοδος μεγαλώνει και αντίστροφα. Όσον αφορά τη μέγιστη θερμοκρασία παρατηρείται το ίδιο φαινόμενο σε όλα τα σημεία με εξαίρεση το site 12 και το ίδιο φαίνεται να συμβαίνει για την μέση θερμοκρασία με εξαίρεση να αποτελεί το site 12. Τέλος, όσον αφορά τη βροχόπτωση φαίνεται να υπάρχει αρνητική συσχέτιση με την αναπτυξιακή περίοδο στα περισσότερα σημεία, το οποίο σημαίνει ότι όσο αυξάνεται η βροχόπτωση μειώνεται και η αναπτυξιακή περίοδος και το αντίστροφο. Όλες οι συσχετίσεις φαίνεται να είναι στατιστικά σημαντικές εκτός από τις συσχετίσεις με την ελάχιστη θερμοκρασία site 7 και 12, με την μέγιστη θερμοκρασία site 11 και με τη βροχόπτωση site 10.

Πίνακας 7. Αποτελέσματα των σημαντικότερων συσχετίσεων που εντοπίστηκαν μεταξύ της αναπτυξιακής περιόδου των φύλλων με τις κλιματικές παραμέτρους της κάθε περιοχής, γι' αυτό το σκοπό χρησιμοποιήθηκαν χρησιμοποιήθηκαν και τα διαγράμματα συσχέτισης LOS με τις κλιματικές παραμέτρους της κάθε περιοχής (Παράρτημα 4). R, ο συντελεστής συσχέτισης, P, το επίπεδο σημαντικότητας (στατιστικά σημαντικό εύρημα $P < 0,05$). Lag, ο αριθμός των μηνών πριν από το Νοέμβριο που δεν συμπεριλαμβάνονται στους μήνες των οποίων οι κλιματικοί παράμετροι βρέθηκε ότι επηρεάζουν ισχυρότερα το φαινολογικό γεγονός. Nom, το σύνολο των μηνών των οποίων οι κλιματικοί παράγοντες έχουν σημαντική επιρροή στο φαινολογικό γεγονός (π.χ. στο σημείο 2 η σημαντικότερη επιρροή της μέγιστης θερμοκρασίας έχει nom 2 και lag 1 άρα αναφέρεται στις μέγιστες θερμοκρασίες των μηνών Οκτωβρίου και Σεπτεμβρίου.)

Site	Lat	elev	Tmin				Tmax				Tavg				Rain			
			R	P	nom	lag	R	P	nom	lag	R	P	nom	lag	R	P	nom	lag
3	37.009	1010	-0.508	0.015	1	6	0.504	0.016	1	1	0.463	0.029	1	1	-0.469	0.027	1	6
1	40.181	770	0.641	0.001	8	1	0.488	0.020	1	7	0.527	0.011	9	1	-0.641	0.118	8	1
9	40.182	600	0.650	0.001	2	7	0.635	0.001	1	1	0.620	0.002	1	8	-0.536	0.010	2	1
4	40.184	480	0.536	0.010	9	0	0.585	0.004	2	1	0.603	0.003	1	1	-0.450	0.003	1	11
2	40.186	360	0.556	0.007	2	7	0.443	0.038	2	1	0.492	0.019	5	0	0.513	0.014	5	3
5	40.193	500	0.598	0.003	4	5	0.564	0.006	1	1	0.552	0.007	1	8	-0.607	0.002	1	11
7	40.206	580	0.417	0.052	5	4	0.671	0.001	1	8	0.592	0.003	1	8	-0.538	0.009	12	0
11	42.597	1.111	-0.439	0.040	12	3	0.302	0.170	2	7	-0.499	0.017	1	4	0.616	0.002	11	13
13	42.611	1025	0.452	0.034	2	1	0.651	0.001	1	1	0.571	0.005	1	1	-0.554	0.007	1	16
6	43.934	640	0.531	0.010	3	1	0.551	0.007	4	1	0.576	0.005	3	1	-0.432	0.043	7	1
10	44.644	420	0.557	0.007	10	7	0.579	0.004	12	4	0.536	0.010	12	1	0.416	0.053	1	14
12	44.745	840	0.337	0.124	3	0	-0.684	0.000	7	12	-0.482	0.022	12	9	0.559	0.006	1	4
8	49.181	430	0.559	0.006	1	7	0.530	0.004	1	7	0.670	0.001	1	7	0.526	0.011	1	14

ΣΥΖΗΤΗΣΗ

Στην παρούσα έρευνα μελετήθηκε η μεταβολή των φαινολογικών γεγονότων του φυλλοβόλου δέντρου ευρωπαϊκή καστανιά σε σημεία από διάφορα γεωγραφικά πλάτη της Ευρώπης και η συσχέτισή τους με τα κλιματικά δεδομένα της κάθε περιοχής. Αρχικά παρατηρείται ότι υπάρχει γενική μεταβολή σε όλα τα φαινολογικά γεγονότα που μελετήθηκαν. Πιο συγκεκριμένα στα περισσότερα σημεία φαίνεται ότι πραγματοποιείται νωρίτερα η έκπτυξη των φύλλων εκτός από λίγα σημεία που πραγματοποιείται το αντίθετο φαινόμενο. Σχετικά με την έναρξη πτώσης των φύλλων σημειώνεται ότι μετατοπίζεται αργότερα και τέλος η διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου επιμηκύνεται. Ωστόσο μόνο λίγα σημεία παρουσιάζουν στατιστικά σημαντική μεταβολή, τα οποία ακολουθούν τις τάσεις που προαναφέρθηκαν και είναι το site 10 για το SOS, τα site 2, 6, 13 για το EOS και τα site 2, 6, 10, 13 για το LOS. Αξίζει να σημειωθεί ότι η γενική τάση για αύξηση της αναπτυξιακής περιόδου έχει παρατηρηθεί και σε άλλες μελέτες (Zuo et al. 2019), (Stöckli and Vidale 2004).

Αυτά τα σημεία τα οποία αποκλίνουν από την γενική τάση αύξησης της αναπτυξιακής περιόδου, παρουσιάζουν είτε καθυστέρηση έκπτυξης (site 9, 5, 7, 12), είτε νωρίτερη πτώση των φύλλων (site 7, 11, 8) ή συνδυασμό και των δύο φαινομένων. Ωστόσο αυτές οι παρατηρήσεις δημιουργούν ερωτήματα διότι 3 από αυτά τα σημεία που δεν ακολουθούν την γενική τάση (site 9, 5, 7) και βρίσκονται στην περιοχή της Άθου, κ ενώ κανείς θα περίμενε το ίδιο φαινόμενο να παρατηρείται σε όλα τα σημεία της περιοχής αποδείχθηκε ότι σε κάποια σημεία συμβαίνει ακριβώς το αντίθετο φαινόμενο. Πιο συγκεκριμένα στην ίδια περιοχή μελετήθηκαν άλλα 3 σημεία που παρουσιάζουν αύξηση της αναπτυξιακής περιόδου, με το site 2 να εμφανίζει στατιστικά σημαντική μεταβολή του EOS 1,036 μέρες αργότερα και κατά συνέπεια σημαντική αύξηση της αναπτυξιακής περιόδου. Αύτη η διακύμανση μεταξύ των σημείων μπορεί να αποδοθεί στο μικροκλίμα του σημείου όπου είναι δυνατό να υπάρχει καταπόνηση νερού ή κάποια ασθένεια, τα οποία μπορούν να προκαλέσουν αυτό το φαινόμενο, καθώς όπως έχει αποδειχθεί αν υπάρχει ισχυρή ξηρασία το φθινόπωρο η πτώση των φύλλων γίνεται νωρίτερα (Xie et al. 2015) επομένως ασκεί ισχυρή επιρροή στη φαινολογία. Ωστόσο τα αποτελέσματα των σημείων που αποκλίνουν από την γενική τάση δεν θεωρούνται στατιστικώς σημαντικά (P πολύ μεγαλύτερο από 0.05).

Τα σημεία με στατιστικώς σημαντικές μεταβολές είναι για το SOS το site 10 όπου η μεταβολή είναι 0.48 day/year. Για το EOS site 2 με 1.036 day/year, site 6 με 0.912 day/year και site 13 με 0.686 day/year. Για LOS site 2 με 1.355, site 6 με 1.202 day/year, site 10 0.724 day/year και site 13 0.854 day/year. Σε μια αντίστοιχη μελέτη που διεξάχθηκε σε καστανιές της Κίνας βρέθηκε ότι το LOS μεταβλήθηκε αυξητικά λιγότερες ημέρες 0.43 days/year για το διάστημα (1963–2008) (Guo et al. 2013). Σε άλλη μια παρόμοια μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Ευρώπη στη Σλοβενία αλλά σε διαφορετικό είδος (*Fagus sylvatica* L.) βρέθηκε ότι το LOS μεταβλήθηκε αυξητικά 0,35 days/year για το διάστημα (2004-2011) (Vilhar et al. 2013). Ωστόσο αυτές οι διαφορές μπορεί και να οφείλονται στην διαφορετική απόκριση των ειδών στους κλιματικούς παράγοντες, στη διαφορά των χαρακτηριστικών των οικοσυστημάτων των σημείων που μελετήθηκαν, ή και στον διαφορετικό χρόνο διεξαγωγής των παρατηρήσεων.

Από τους πίνακες 5, 6 και 7 μπορούν να εξαχθούν κάποια συμπεράσματα για την επιρροή των κλιματικών παραγόντων στα φαινολογικά γεγονότα, όπου παρατηρείται ότι οι κλιματικοί παράγοντες επηρεάζουν για κάθε γεγονός με τον ίδιο τρόπο την πλειοψηφία των σημείων (θετικά ή αρνητικά) και οι περισσότερες συσχετίσεις είναι στατιστικά σημαντικές ($P < 0.05$). Ειδικότερα, η θερμοκρασία έχει αρνητική συσχέτιση στην έναρξη έκπτυξης των φύλλων ενώ η βροχή έχει θετική συσχέτιση. Αντίθετα για την έναρξη πτώσης των φύλλων και την διάρκεια της αναπτυξιακής περιόδου η θερμοκρασία έχει θετική συσχέτιση και η βροχόπτωση αρνητική. Συμπερασματικά όσο αυξάνεται η θερμοκρασία η έκπτυξη πραγματοποιείται νωρίτερα, η πτώση γίνεται αργότερα και η αναπτυξιακή περίοδος αυξάνεται και το αντίστροφο. Αυτό το φαινόμενο συμφωνεί με τη βιβλιογραφία όπου έχει βρεθεί ότι η αναπτυξιακή περίοδος στην Ευρώπη έχει αυξηθεί περίπου κατά 10.8 μέρες από το 1960 και οφείλεται στην αλλαγή της θερμοκρασίας του αέρα. (Menzel & Fabian 1999)

Επίσης γίνεται αντιληπτό ότι όλα τα φαινολογικά γεγονότα μεταξύ των σημείων δεν δείχνουν να επηρεάζονται από μια συγκεκριμένη περίοδο βροχοπτώσεων. Αντιθέτως το SOS επηρεάζεται περισσότερο από τις θερμοκρασίες των μηνών της άνοιξης του ίδιου έτους και το EOS από τις θερμοκρασίες του Σεπτεμβρίου για τα περισσότερα σημεία, το LOS φαίνεται να μην παρουσιάζει κάποια ξεκάθαρη τάση

όσον αφορά τη θερμοκρασία αν και στα περισσότερα σημεία επηρεάζεται από τους φθινοπωρινούς μήνες. Έτσι σύμφωνα με τα αποτελέσματα φαίνεται να έχουν και οι δύο παράγοντες επιρροή, σε αντίθεση με άλλες έρευνες που αποδεικνύεται ότι η θερμοκρασία έχει την μεγαλύτερη επίδραση (Gordo & Sanz 2010).

Λαμβάνοντας υπ' όψη όλα τα αποτελέσματα φαίνεται ότι η παρούσα κλιματική αλλαγή ευθύνεται για την τάση αύξησης της αναπτυξιακής περιόδου, καθώς όλα τα φαινολογικά γεγονότα έχουν ισχυρή και στατιστικώς σημαντική συσχέτιση με τους κλιματικούς παράγοντες και έτσι όπως αποδείχθηκε όσο αυξάνεται η θερμοκρασία αυξάνεται και η αναπτυξιακή περίοδος.

Τέλος παρατηρήθηκε ότι το γεωγραφικό πλάτος επηρεάζει τα φαινολογικά γεγονότα καθώς όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος σημειώνεται καθυστέρηση της έναρξης της έκπτυξης των φύλλων ενώ παρατηρείται γρηγορότερη έναρξη της πτώσης των φύλλων και μικρότερη αναπτυξιακή περίοδος. Επίσης παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή του κάθε φαινολογικού γεγονότος μεταβάλλεται λιγότερες μέρες τον χρόνο όσο αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος γεγονός που συνάδει με τη βιβλιογραφία (Gill et al. 2015). Επιπλέον παρατηρήθηκε ότι το υψόμετρο επηρεάζει τα φαινολογικά γεγονότα καθώς όσο αυξάνεται το υψόμετρο σημειώνεται καθυστέρηση της έναρξης της έκπτυξης των φύλλων και της έναρξης της πτώσης των φύλλων και μικρότερη αναπτυξιακή περίοδος. Ωστόσο παρατηρήθηκε ότι η μεταβολή του κάθε φαινολογικού γεγονότος μεταβάλλεται λιγότερες μέρες τον χρόνο όσο αυξάνεται το υψόμετρο γεγονός που συνάδει με τη βιβλιογραφία (Jiang et al. 2022).

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα αποτελέσματα της παρούσας μελέτης φαίνεται ότι η αναπτυξιακή περίοδος της καστανιάς έχει αυξηθεί ως αποτέλεσμα νωρίτερης έκπτυξης των φύλλων την άνοιξη και αργότερης πτώσης το φθινόπωρο στις περισσότερες περιοχές που μελετήθηκαν κατά πλάτος της Ευρώπης. Η μετατόπιση των φαινολογικών αυτών παραμέτρων φαίνεται να αποτελεί αποτέλεσμα της επίδρασης των διακυμάνσεων του κλίματος, με την θερμοκρασία και την βροχόπτωση να επηρεάζουν εμφανώς τα φαινολογικά γεγονότα. Οι θερμοκρασίες της άνοιξης ασκούν σημαντική επίδραση στην έκπτυξη των φύλλων και του Σεπτεμβρίου στην πτώση τους, ωστόσο η βροχόπτωση δεν παρουσιάζει κάποιο συγκεκριμένο μοτίβο. Τέλος, σε μικρότερα γεωγραφικά πλάτη η αναπτυξιακή περίοδος είναι μεγαλύτερη και επίσης παρουσιάζεται υψηλότερη μεταβολή καθώς μειώνεται το γεωγραφικό πλάτος, δηλαδή η αναπτυξιακή περίοδος επιμηκώνεται με μεγαλύτερο ρυθμό.

Γενικότερα η χρήση των δορυφορικών δεδομένων για της παρακολούθηση της βλάστησης αποδεικνύεται πολύ χρήσιμη καθώς επιτρέπει την παρακολούθηση μεγάλων εκτάσεων σε όποια περιοχή είναι επιθυμητό ενώ ταυτόχρονα παρέχει αξιόπιστα αποτελέσματα. Για να είναι ακόμα περισσότερο αξιόπιστα τα αποτελέσματα χρειάζεται να συνδυαστεί με επίγειες μετρήσεις και να μελετηθούν περισσότερες περιοχές που ευδοκimeί το συγκεκριμένο είδος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Κωνσταντίνος Καρτάλης, Φ. Χ. (2012). *Αρχές και εφαρμογές της δορυφορικής τηλεπισκόπησης*. ΤΖΙΟΛΑΣ.

Συλλαίος Ν. (2000), ‘Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση και στα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών” τόμος Α’ Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση, Εκδόσεις Γιαχούδη Γιαπούλη

ΞΕΝΟΓΛΩΣΣΗ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ:

Abdul-Hameed, A. N. (2022). *Remote Sensing Optical Images Applications in Vegetation Monitoring and Mapping, Part of Baghdad Supervised by*.

Caudullo, G., C., M. (2016). Castanea sativa in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. *European atlas of forest tree species*, 78–79.

Dovgyi, S.O., Lialko, V.I., Babiichuk, S.M., Kuchma, T.L., Tomchenko, O.V., & Iurkiv, L.Ya. (2019). *Fundamentals of remote sensing: History and practice*. Zenodo.

Emilio Chuvieco & Alfredo Huete. (2009). *FUNDAMENTALS OF SATELLITE REMOTE SENSING*. Taylor & Francis Group, LLC CRC Press is an imprint of Taylor & Francis Group, an Informa business.

‘Fundamentals of Remote Sensing - A Canada Center for Remote Sensing Remote Sensing Tutorial’”, Natural Resources Canada

George Joseph. (2003). *Fundamentals of Remote Sensing*. Universities Press.

Gergel, S. E., & Turner, M. G. (Επιμ.). (2017). *Learning Landscape Ecology*. Springer New York.

Gill, A. L., Gallinat, A. S., Sanders-DeMott, R., Rigden, A. J., Short Gianotti, D. J., Mantooth, J. A., & Templer, P. H. (2015). Changes in autumn senescence in northern hemisphere deciduous trees: A meta-analysis of autumn phenology studies.

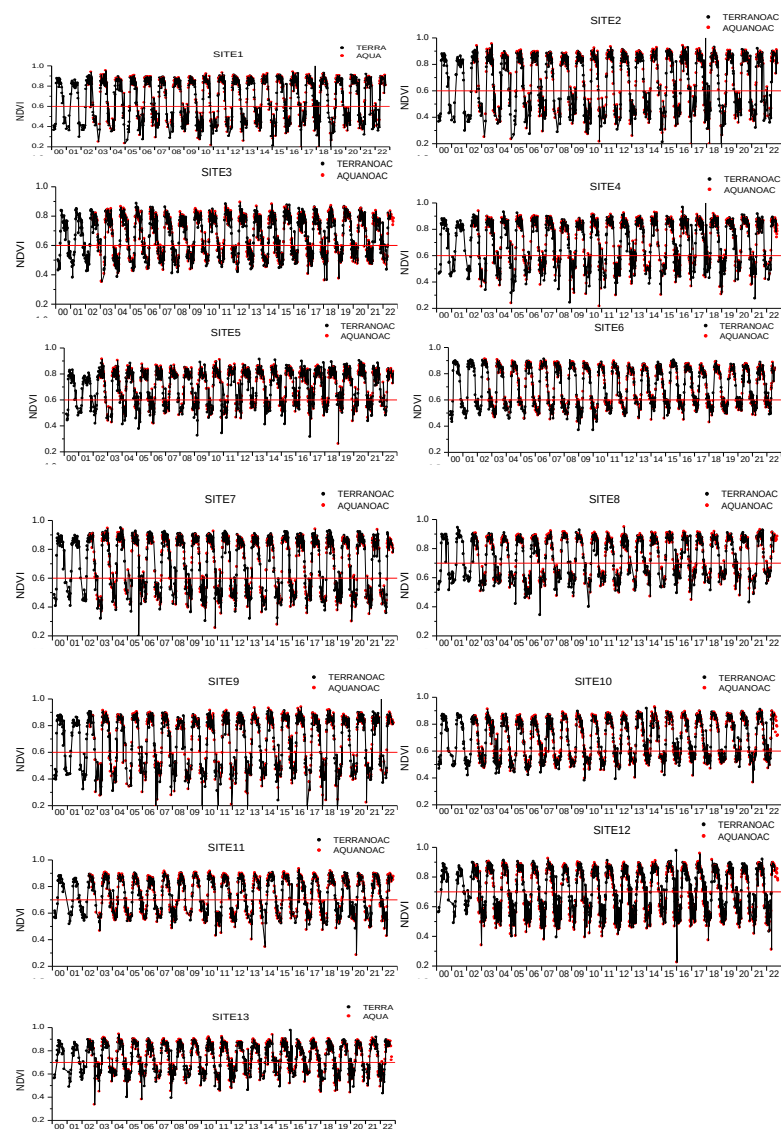
Gordo, O., & Sanz, J. J. (2010). Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*, 16(3), 1082–1106.

Guo, L., Dai, J., Ranjitkar, S., Xu, J., & Luedeling, E. (2013). Response of chestnut phenology in China to climate variation and change. *Agricultural and Forest Meteorology*, 180, 164–172.

- Jiang, S., Chen, X., Huang, R., Wang, T., & Smettem, K. (2022). Effect of the altitudinal climate change on growing season length for deciduous broadleaved forest in southwest China. *Science of The Total Environment*, 828, 154306.
- John Nowatzki K Kylo & Robert Andres. (2004). Agricultural Remote Sensing Basics. *North Dakota State University*.
- Menzel, A., & Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*, 397(6721), 659–659.
- Pádua, L., Marques, P., Martins, L., Sousa, A., Peres, E., & Sousa, J. J. (2020). Monitoring of Chestnut Trees Using Machine Learning Techniques Applied to UAV-Based Multispectral Data. *Remote Sensing*, 12(18), 3032.
- Santamaría, M. E., Rodríguez, R., Cañal, M. J., & Toorop, P. E. (2011). Transcriptome analysis of chestnut (*Castanea sativa*) tree buds suggests a putative role for epigenetic control of bud dormancy. *Annals of Botany*, 108(3), 485–498.
- Stöckli, R., & Vidale, P. L. (2004). European plant phenology and climate as seen in a 20-year AVHRR land-surface parameter dataset. *International Journal of Remote Sensing*, 25(17), 3303–3330.
- Vilhar, U., Beuker, E., Mizunuma, T., Skudnik, M., Lebourgeois, F., Soudani, K., & Wilkinson, M. (2013). Tree Phenology. Στο *Developments in Environmental Science* (page. 12, 169–182).
- Xie, Y., Wang, X., & Silander, J. A. (2015). Deciduous forest responses to temperature, precipitation, and drought imply complex climate change impacts. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(44), 13585–13590.
- Zuo, L., Liu, R., Liu, Y., & Shang, R. (2019). Effect of Mathematical Expression of Vegetation Indices on the Estimation of Phenology Trends from Satellite Data. *Chinese Geographical Science*,

ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ:

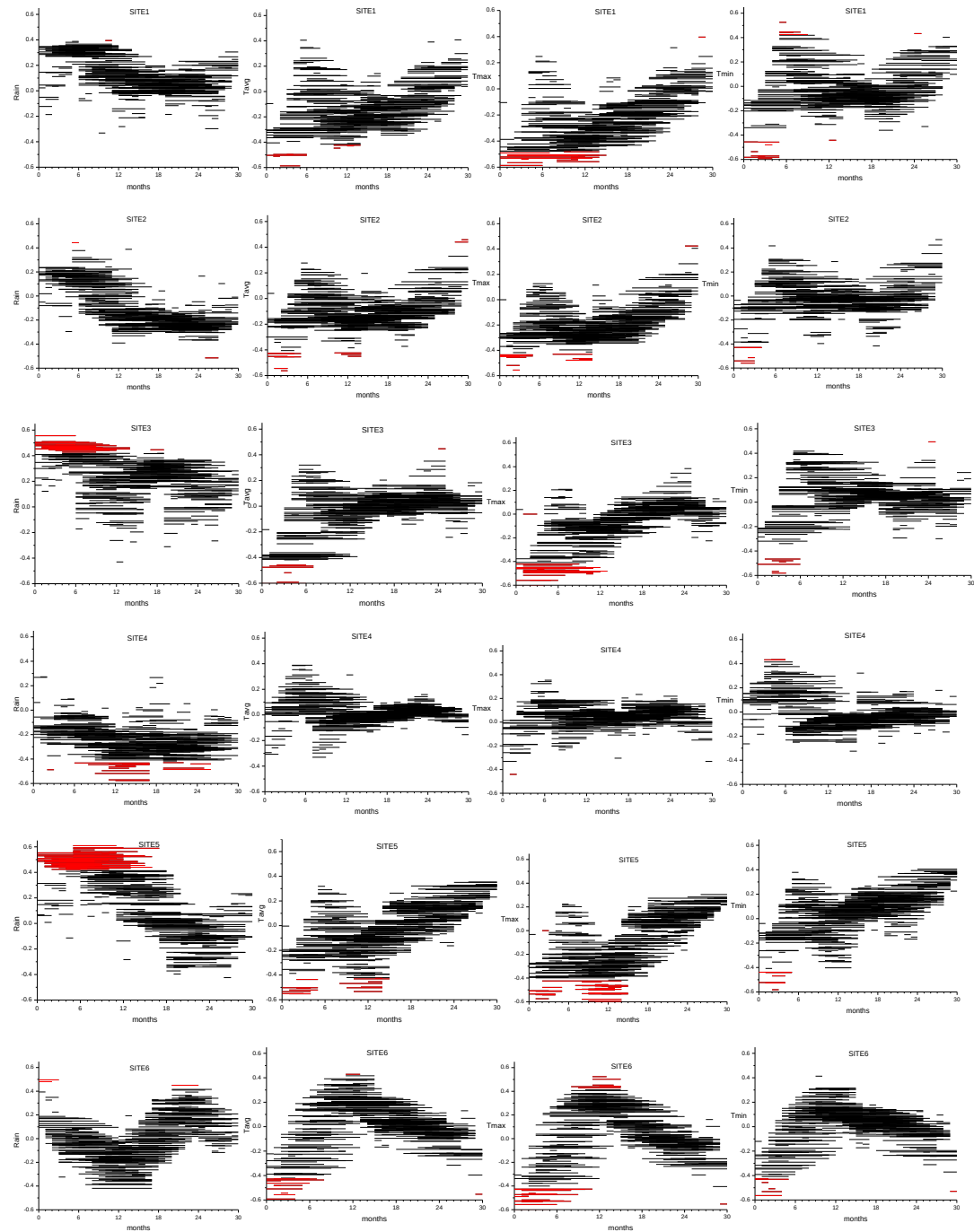
ΧΡΟΝΟΣΕΙΡΕΣ NDVI:

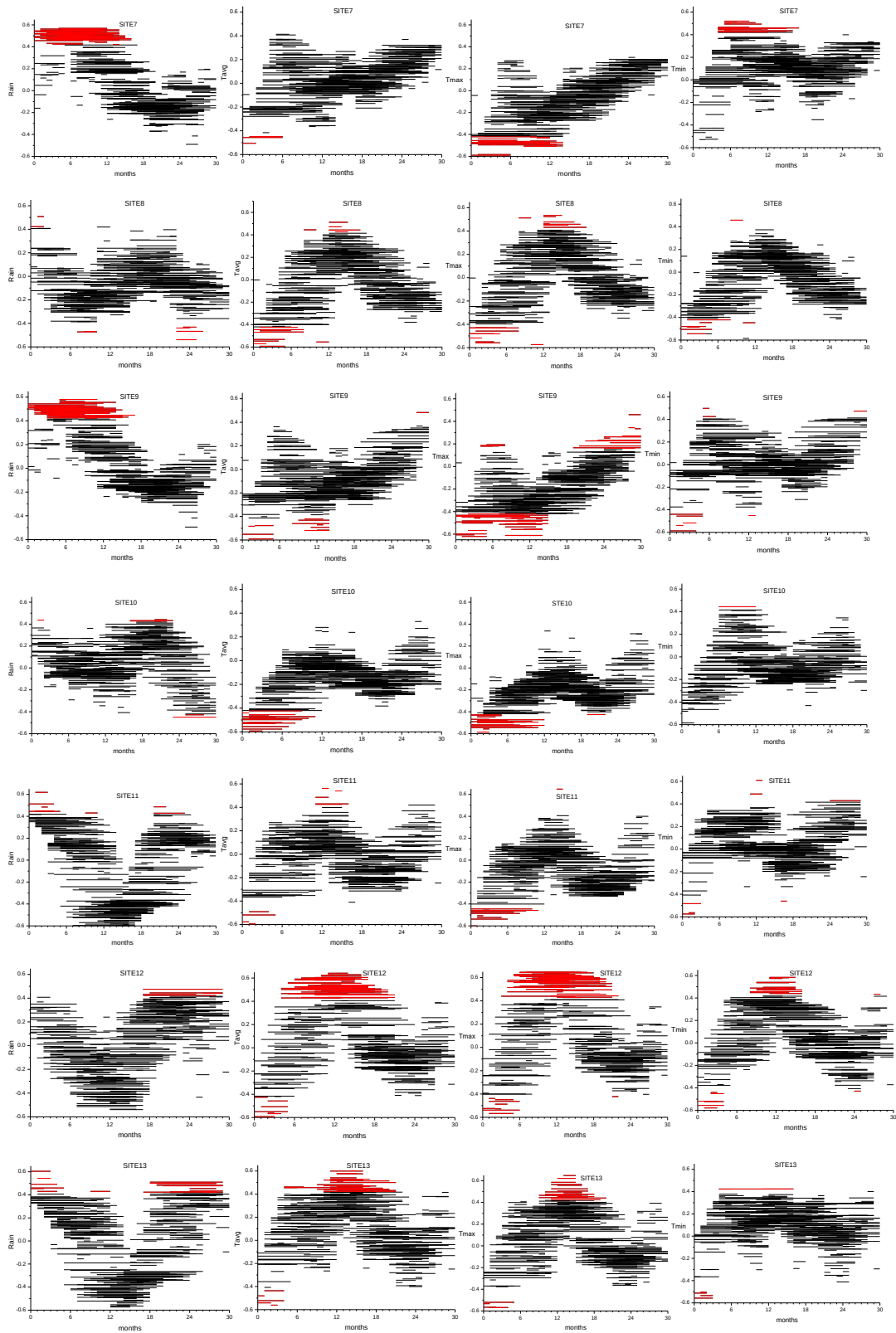


Παράρτημα 1: Διαγράμματα με χρονοσειρές NDVI όλων των σημείων για το διάστημα 2000-2021

Διαγράμματα συσχέτισης Φαινολογικές – Μετεωρολογικές παράμετροι

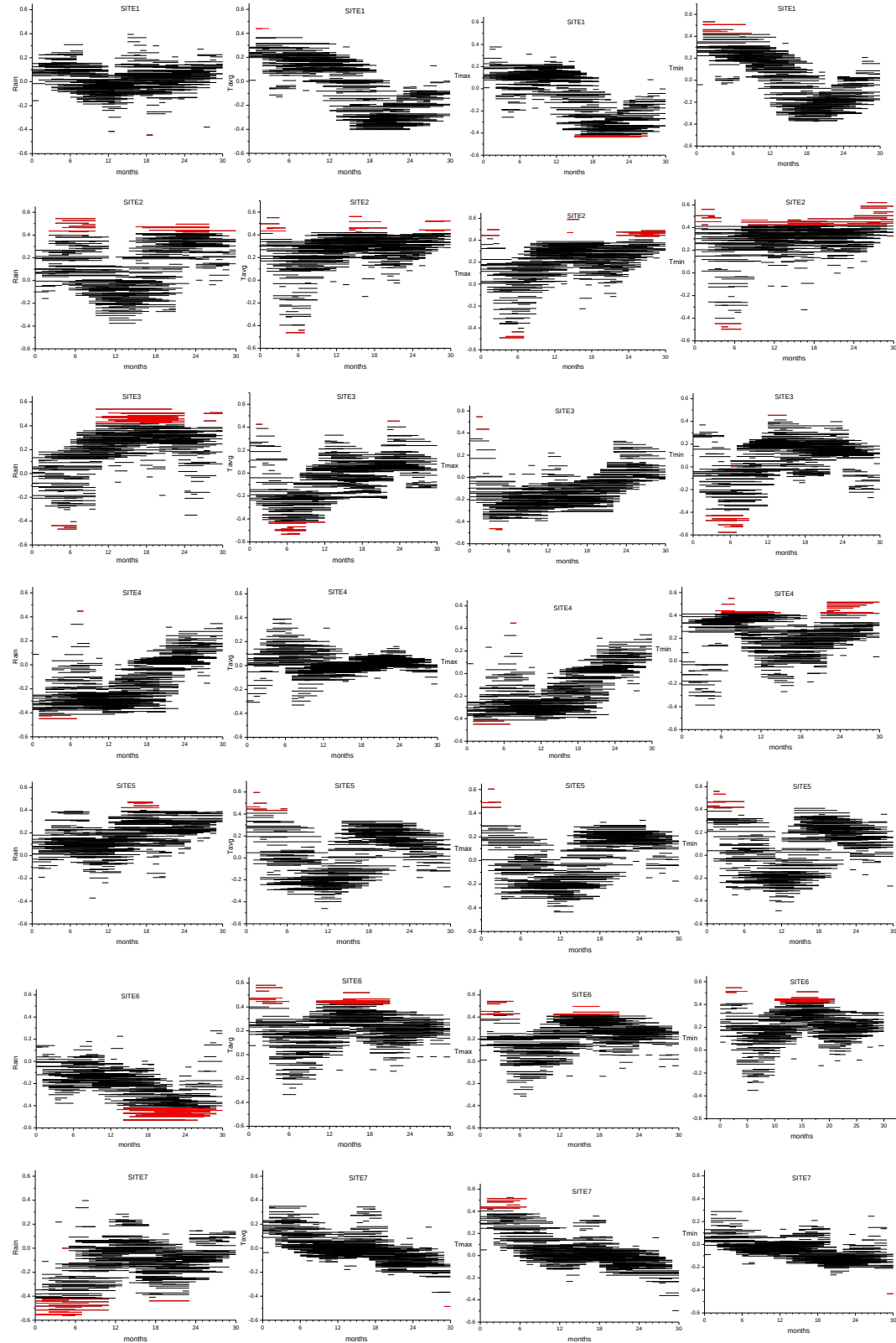
SOS

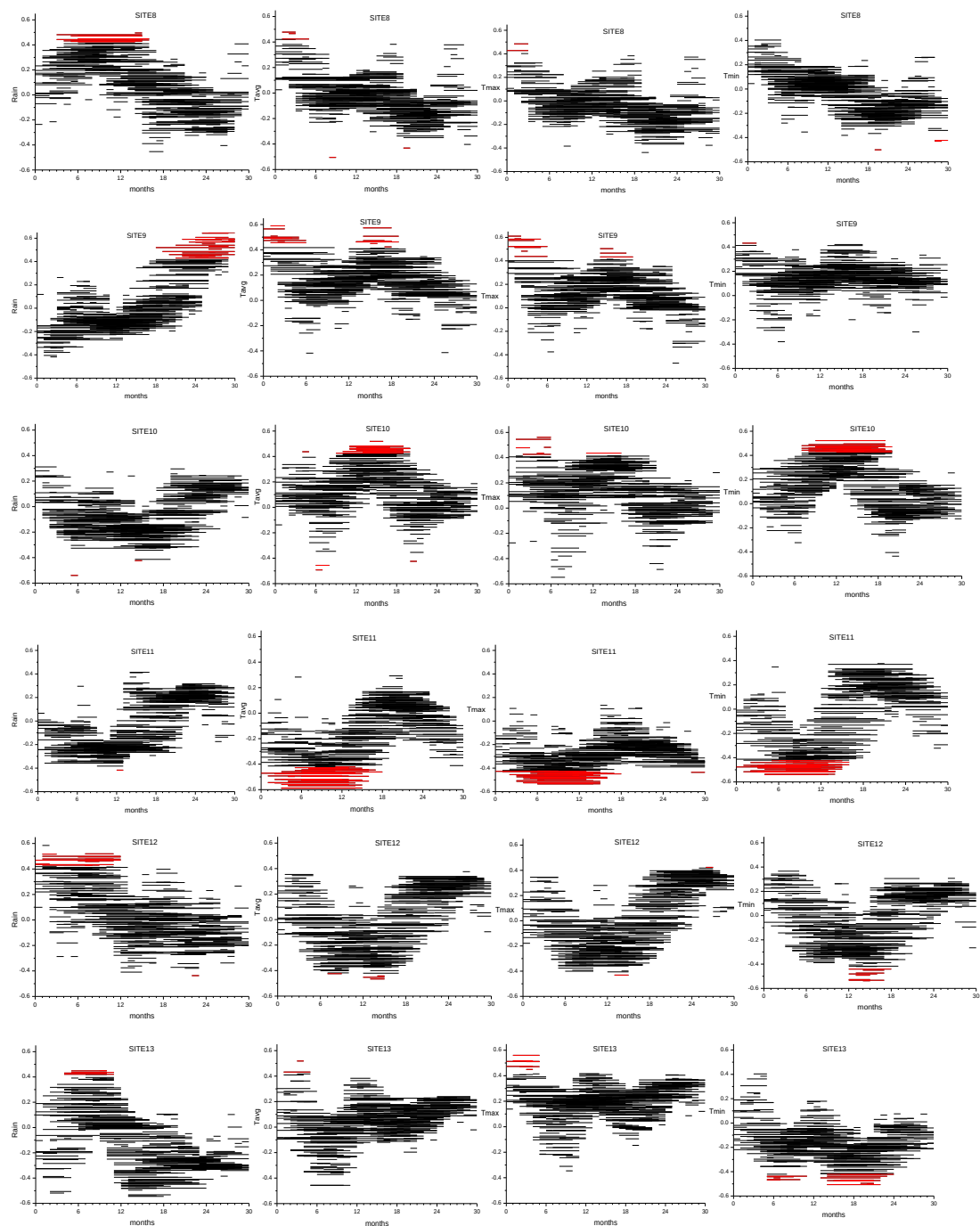




Παράρτημα 2: Διαγράμματα συσχέτισης του SOS με τις κλιματικές παραμέτρους Rain, Tavg, Tmax και Tmin, για όλα τα σημεία.

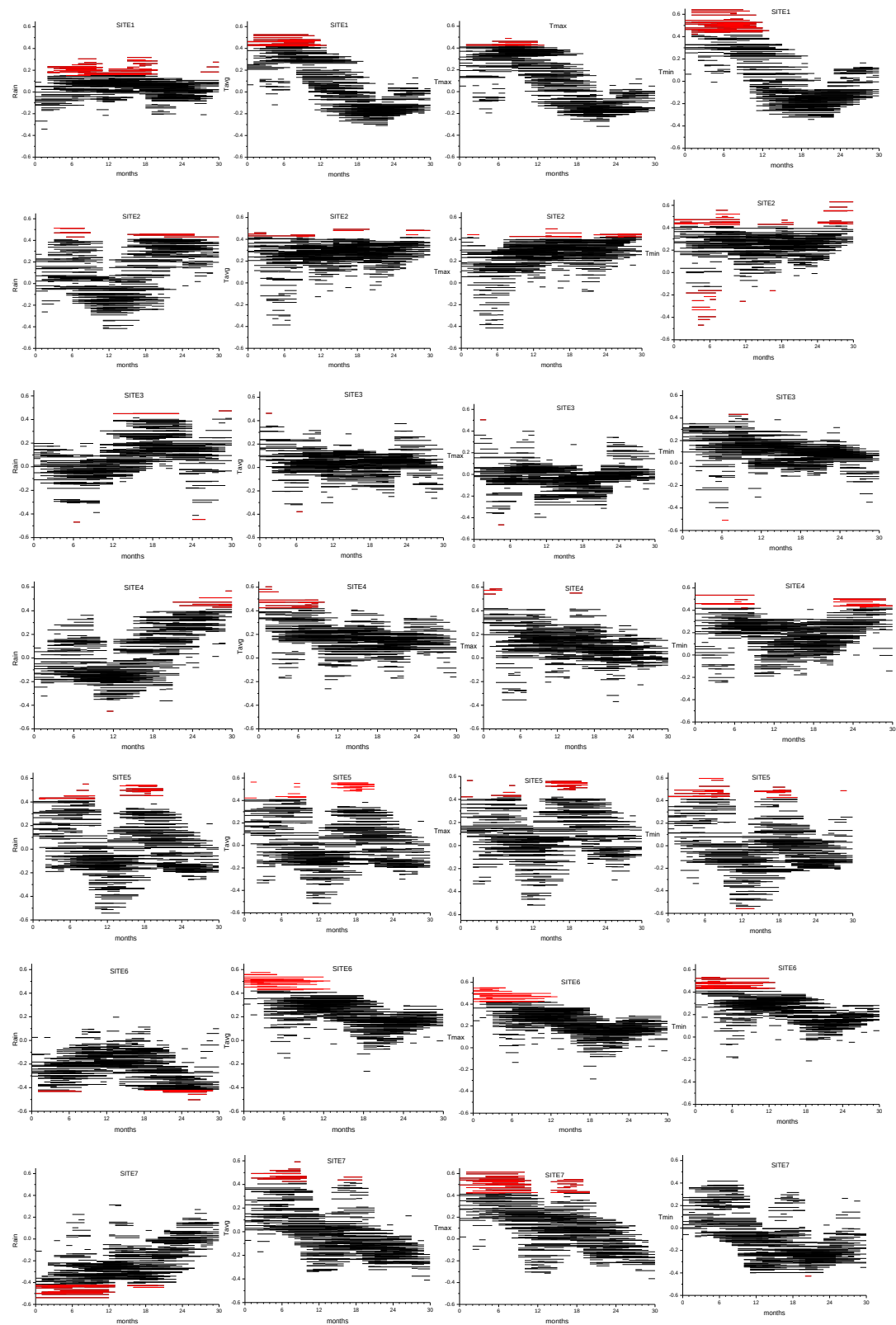
EOS

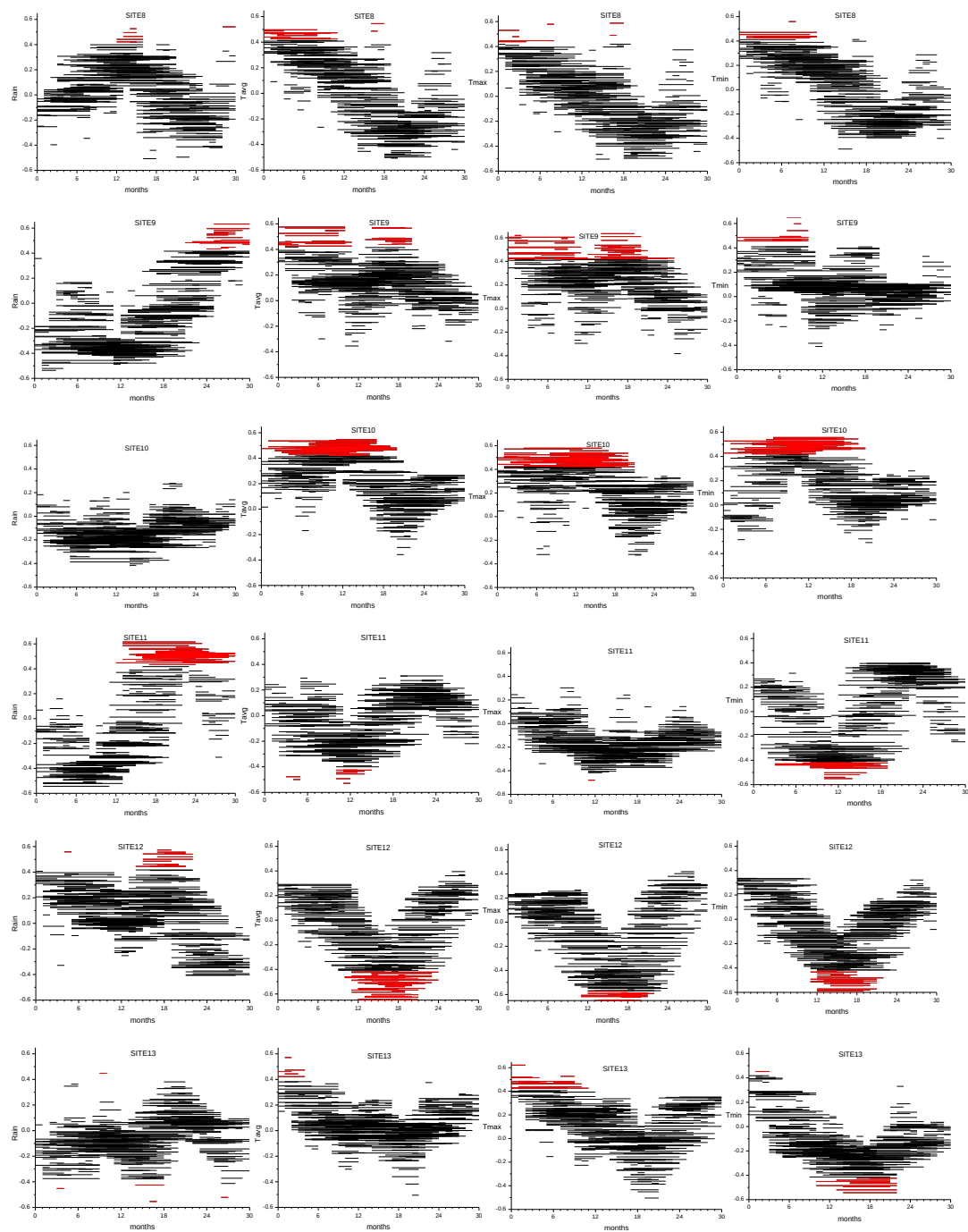




Παράρτημα3: Διαγράμματα συσχέτισης του EOS με τις κλιματικές παραμέτρους Rain, Tavg, Tmax και Tmin, για όλα τα σημεία.

LOS

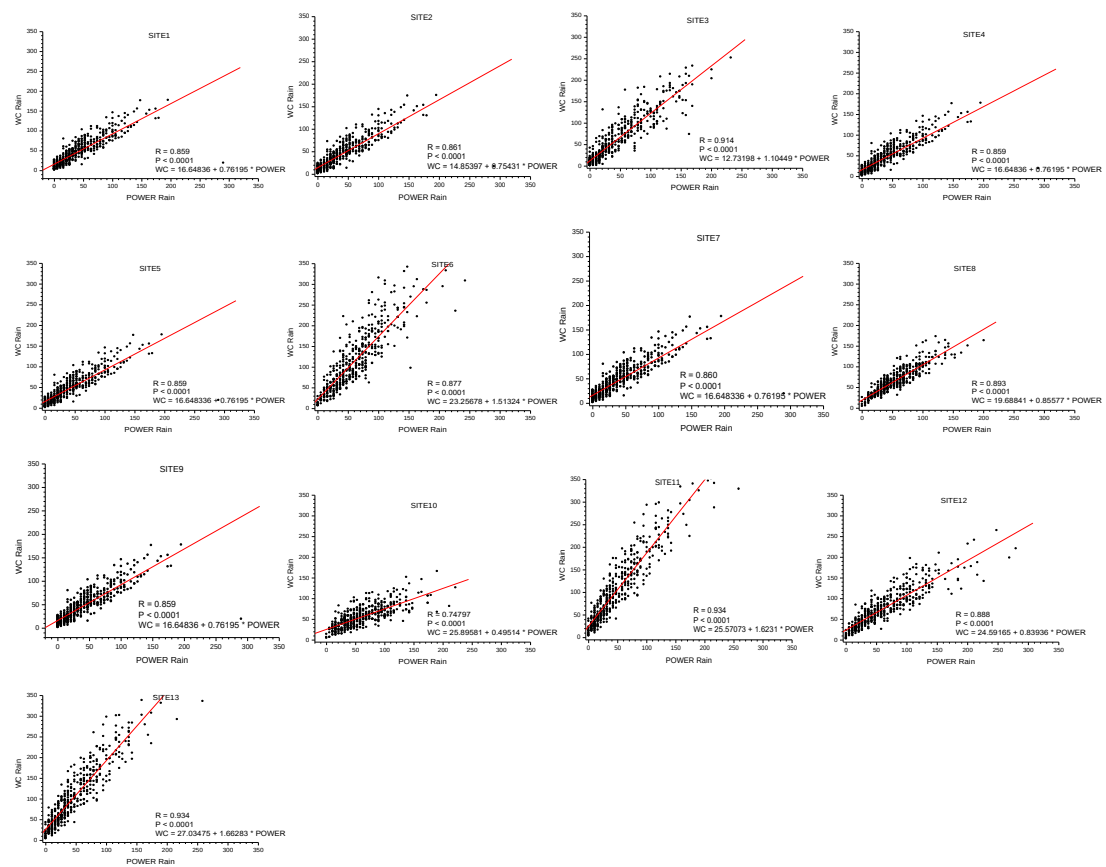




Παράρτημα 4: Διαγράμματα συσχέτισης του LOS με τις κλιματικές παραμέτρους Rain, Tavg, Tmax και Tmin, για όλα τα σημεία.

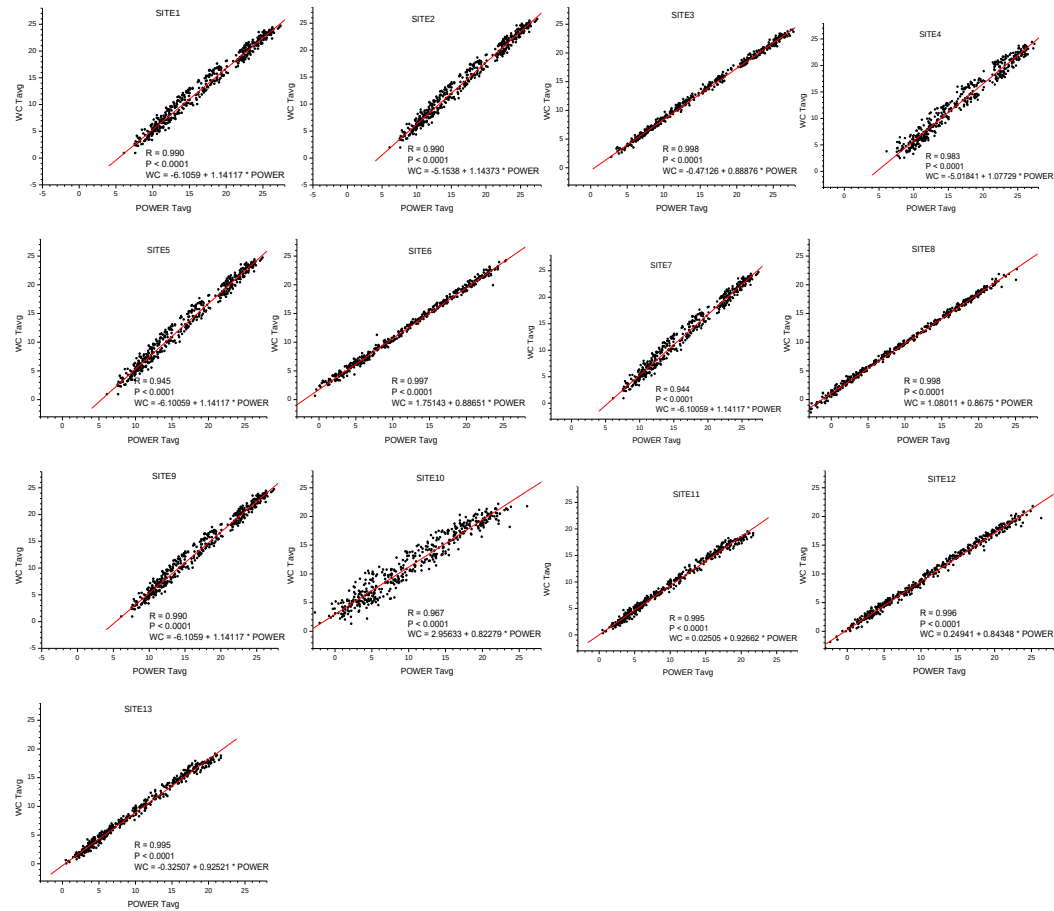
Διαγράμματα συσχέτισης WorldClim – Power:

ΒΡΟΧΟΠΤΩΣΗ



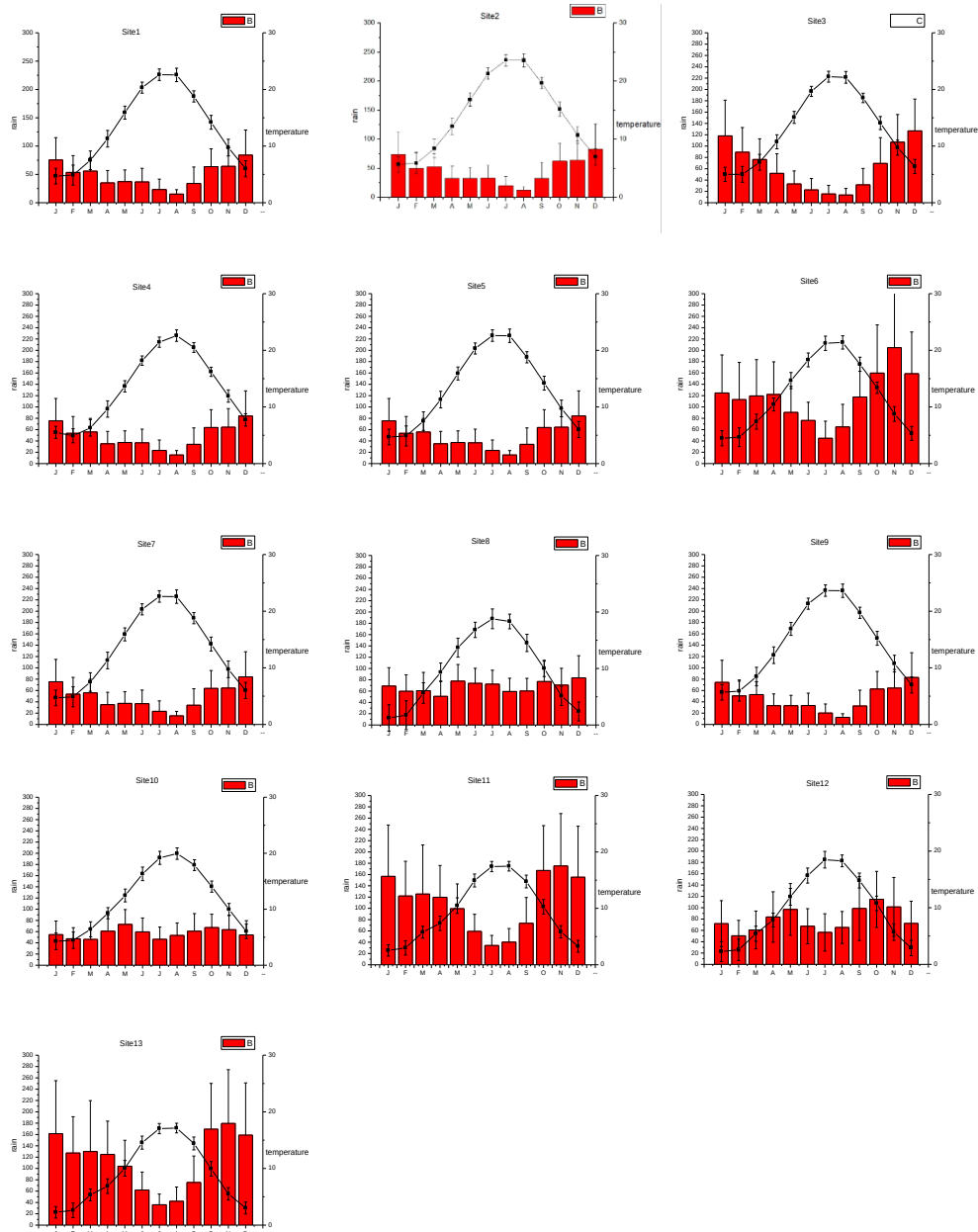
Παράρτημα 5: Διαγράμματα συσχέτισης των δεδομένων του WorldClim με του POWER για την βροχόπτωση

Tavg



Παράρτημα 6: Διαγράμματα συσχέτισης των δεδομένων του WorldClim με του POWER για την μέση θερμοκρασία.

Ομβροθερμικά διαγράμματα



Παράρτημα 7: Ομβροθερμικά διαγράμματα για όλα τα σημεία.