

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών
Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή



Χωρο-χρονικές μεταβολές και συσχετίσεις της
βροχόπτωσης και της βλάστησης στον Ελλαδικό χώρο με τη
χρήση δορυφορικών προϊόντων

Αντώνιος Ζουλιανίτης

Επιβλέπων Καθηγητής
Σταύρος Κολιός

Μάϊος 2018

Ανοικτό Πανεπιστήμιο Κύπρου

Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών

Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος

Μεταπτυχιακή Διατριβή

**Χωρο-χρονικές μεταβολές και συσχετίσεις της
βροχόπτωσης και της βλάστησης στον Ελλαδικό χώρο με τη
χρήση δορυφορικών προϊόντων**

Αντώνιος Ζουλιανίτης

**Επιβλέπων Καθηγητής
Σταύρος Κολιός**

Η παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή υποβλήθηκε προς μερική εκπλήρωση των απαιτήσεων για απόκτηση μεταπτυχιακού τίτλου σπουδών στο Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών Διαχείριση και Προστασία Περιβάλλοντος από τη Σχολή Θετικών και Εφαρμοσμένων Επιστημών του Ανοικτού Πανεπιστημίου Κύπρου.

Μάϊος 2018

Περίληψη

Πλήθος μελετών έχουν εκπονηθεί προκειμένου να μελετηθεί η σχέση βροχόπτωσης και βλάστησης στα πλαίσια υδρολογικών μελετών ή σχεδίων διαχείρισης της κλιματικής αλλαγής ή και της αγροτικής παραγωγής. Στα πλαίσια της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν χωροχρονικές διακυμάνσεις της βροχόπτωσης και της βλάστησης στον ελλαδικό χώρο καθώς και πιθανή συσχέτισή τους με την βοήθεια Γεωγραφικών Πληροφοριακών συστημάτων (GIS).

Το σύνολο των δεδομένων που αφορούν την βροχόπτωση συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων του δορυφόρου TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) ενώ τα δεδομένα που αφορούν τη βλάστηση και είναι εκφρασμένα ως τιμές του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (EVI) προήλθαν από τον αισθητήρα MODIS των δορυφόρων Terra και Aqua. Τα αρχικά δεδομένα μετατράπηκαν σε αρχεία τύπου raster σε ημερήσια και μηνιαία βάση με χωρική ανάλυση 0.25X0.25 και 0.05X0.05 για την βροχόπτωση και για τον δείκτη EVI αντίστοιχα. Στη συνέχεια υπολογίστηκαν η μηνιαία βροχόπτωση, η αθροιστική εποχική και ετήσια βροχόπτωση καθώς και ο μέση μηνιαία, εποχική και ετήσια τιμή του EVI για τον ελλαδικό χώρο.

Η στατιστική ανάλυση (ANOVA) έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο εποχικό ύψος της βροχόπτωσης την άνοιξη και το καλοκαίρι σε σχέση με το φθινόπωρο και το χειμώνα. Αντίθετα διαφορές δεν εντοπίστηκαν ανάμεσα στις φθινοπωρινές και χειμερινές τιμές της βροχόπτωσης. Η τιμές του δείκτη EVI δεν εμφανίζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις σε εποχικό επίπεδο.

Οι τιμές της βροχόπτωσης παρά την εμφανή εποχική περιοδικότητά τους εμφανίζουν μεγαλύτερες διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του έτους αλλά και μεταξύ των ετών. Οι τιμές του δείκτη EVI έχουν σταθερή εποχική περιοδικότητα αν και οι τιμές του δείκτη εμφανίζουν μια απότομη αύξηση μεταξύ των ετών 2010 και 2014. Ενδιαφέρον εύρημα υπήρξε η υστέρηση περίπου ενός μήνα στις αυξομειώσεις των τιμών του EVI ως απόκριση στις διακυμάνσεις της βροχόπτωσης, η οποία πιθανών και να δικαιολογεί τους πολύ χαμηλούς συντελεστές συσχέτισης μεταξύ των δυο παραμέτρων ($R^2 < 0.3$).

Summary

Numerous studies have been conducted to study the rainfall and vegetation relationship in hydrological studies or management plans for climate change and/or agricultural production. In the framework of this dissertation an attempt was made to identify and evaluate spatio-temporal fluctuations of rainfall and vegetation in Greece and their possible correlation with the aid of Geographical Information Systems (GIS).

Rainfall data was collected from the TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) satellite, while vegetation data, expressed as values of the enhanced vegetation index (EVI), came from the MODIS sensor of the satellites Terra and Aqua. The original data was converted to raster files with spatial resolution of 0.25X0.25 on daily and monthly basis. Monthly rainfall, cumulative seasonal and annual rainfall, as well as the average monthly, seasonal and annual EVI values was calculated for Greece.

Statistical analysis (ANOVA) showed that there are statistically significant differences in the seasonal rainfall in the spring and summer compared to autumn and winter. Differences, however, were not found between the autumn and winter rainfall values. EVI index values do not show significant variations at seasonal level.

Rainfall rates, despite their apparent seasonal periodicity, show greater fluctuations both during the year and between the years. EVI index values have a fixed seasonal periodicity although the index's values show a sharp rise between 2010 and 2014. An interesting finding was the one-month lag in the EVI values' fluctuations in response to fluctuations in rainfall, which might justify the very low correlation coefficients between the two parameters ($R^2 < 0.3$).

Ευχαριστίες

Ευχαριστώ τον επιβλέποντα καθηγητή κ. Σταύρο Κολιό για την βοήθεια και την καθοδήγησή του στην εκπόνηση της μεταπτυχιακής διατριβής, την οικογένειά μου και ιδιαίτερα τη σύζυγό μου Χριστίνα για την αμέριστη συμπαράστασή της.

Περιεχόμενα

1	Εισαγωγή	7
1.1	Εισαγωγή	7
1.2	Καταγραφή του προβλήματος	8
1.3	Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης	9
1.4	Σκοποί και στόχοι	10
1.5	Το κλίμα	11
1.5.1	Το κλίμα της Ελλάδας	12
1.5.2	Κλιματικές παράμετροι στον Ελλαδικό χώρο	14
1.5.3	Η βροχόπτωση στον Ελλαδικό χώρο	19
1.5.4	Η μέτρηση της βροχόπτωσης	21
1.6	Η βλάστηση	23
1.6.1	Δείκτες βλάστησης	24
1.7	Τηλεπισκόπηση	27
1.7.1	Δορυφόρος TRMM	28
1.7.2	Ο αισθητήρας MODIS	29
1.7.3	Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS)	30
2	Βιβλιογραφική ανασκόπηση	34
2.1	Εισαγωγή	34
2.2	Ιστορική αναδρομή	34
2.3	Τηλεπισκόπηση και βροχόπτωση	36
2.4	Τηλεπισκόπηση και βλάστηση	37
3	Μεθοδολογία	42
3.1	Σκοπός	42
3.2	Δεδομένα	42
3.3	Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν	43
3.4	Διαδικασία QGIS	43
3.5	Στατιστική ανάλυση των δεδομένων	49
3.6	Συσχετίσεις και συντελεστής συσχέτισης R^2	50
3.7	Γραφική απεικόνιση μεταβλητών της χρονοσειράς	52
4	Αποτελέσματα	53
4.1	Ετήσια μεταβολή βροχόπτωσης και βλάστησης	53
4.2	Εποχική μεταβολή βροχόπτωσης και βλάστησης	55
4.3	Μηνιαίες μεταβολές βροχόπτωσης και βλάστησης	60
4.4	Γραμμική απεικόνιση των μεταβολών βροχόπτωσης και βλάστησης	66
4.5	Ποιοτική σύγκριση βροχόπτωσης και βλάστησης σε ετήσια κλίμακα	71
5	Συμπεράσματα	81
	Βιβλιογραφία	84
	Παράρτημα 1	101
	Παράρτημα 2	106

Κεφάλαιο 1

Εισαγωγή

1.1 Εισαγωγή

Πλήθος μελετών έχουν εκπονηθεί προκειμένου να αξιολογηθεί η σχέση βροχόπτωσης και βλάστησης στα πλαίσια υδρολογικών μελετών ή σχεδίων διαχείρισης της κλιματικής αλλαγής ή της αγροτικής παραγωγής με την βοήθεια της τηλεπισκόπησης και των Γεωγραφικών Πληροφοριακών συστημάτων (GIS). Η τεχνολογία των ΓΠΣ δεν αναφέρεται μόνο στη διαχείριση γεωγραφικών πληροφοριών, αλλά αφορά στο χωρικό σχεδιασμό και «αντιπροσωπεύει ένα ισχυρό σύνολο εργαλείων για τη συλλογή, αποθήκευση, ανάλυση ανά πάσα στιγμή, μετασχηματισμό και απεικόνιση χωρικών στοιχείων του πραγματικού κόσμου». Στα πλαίσια της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής πραγματοποιήθηκε μια προσπάθεια να εντοπιστούν και να αξιολογηθούν χωροχρονικές διακυμάνσεις της βροχόπτωσης και της βλάστησης στον ελλαδικό χώρο. Ο ελλαδικός χώρος είναι μια περιοχή, όπου σημαντικές ατμοσφαιρικές, κλιματικές και ωκεανογραφικές διαδικασίες εξελίσσονται, αλληλοεπιδρούν και ρυθμίζουν περαιτέρω τις καιρικές συνθήκες. Οι κλιματικές αυτοί παράμετροι καθορίζουν επίσης και τον τύπο της βλάστησης στην περιοχή μελέτης αλλά και την χωρική κατανομή της βλάστησης. Συνεπώς, πιθανόν να υπάρχει συσχέτιση μεταξύ των παραμέτρων αυτών που θα αποτελέσει και αντικείμενο της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής.

Σύνολα δεδομένων που αφορούν την βροχόπτωση συλλέχθηκαν από τη βάση δεδομένων του δορυφόρου TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) ενώ τα δεδομένα που αφορούν τη βλάστηση και είναι εκφρασμένα ως τιμές του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (EVI) προήλθαν από τον αισθητήρα MODIS των δορυφόρων Terra και Aqua. Θα χρησιμοποιηθούν αλγόριθμοι όπως οι "3B42" και "3B43» για τη μετατροπή των αρχικών δεδομένων σε αρχεία τύπου raster με χωρική ανάλυση 0.25X0.25 και 0.05X0.05 για την βροχόπτωση και για τον δείκτη EVI αντίστοιχα, σε ημερήσια και μηνιαία βάση. Δεδομένου

ότι τα αρχικά αρχεία θα αφορούν την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου τα δεδομένα μετά από κατάλληλη επεξεργασία θα περιοριστούν στον ελλαδικό χώρο όπου και θα υπολογιστεί η μηνιαία βροχόπτωση, η αθροιστική εποχική και ετήσια βροχόπτωση καθώς και ο μέση μηνιαία, εποχική και ετήσια τιμή του EVI. Η τιμές αυτές των δυο παραμέτρων θα συσχετιστούν μεταξύ τους και θα αναλυθούν στατιστικά προκειμένου να αξιολογηθεί και να γίνει κατανοητή η μεταξύ τους σχέση.

1.2 Καταγραφή του προβλήματος

Η ταχεία πληθυσμιακή ανάπτυξη, η αστικοποίηση και η εκβιομηχάνιση έχουν αυξήσει τη ζήτηση νερού σε παγκόσμιο επίπεδο. Η αυξανόμενη ζήτηση νερού σε συνδυασμό με την υπερθέρμανση που παρατηρείται τα τελευταία χρόνια στον πλανήτη καθιστούν το νερό πολύτιμο και όχι πάντα διαθέσιμο αγαθό (Alcamo, Flörke and Märker, 2007). Το πρόβλημα αυτό επιδεινώνεται από την ολοένα αυξανόμενη συχνότητα ακραίων κλιματολογικών συνθηκών και καιρικών φαινομένων που παρατηρείται σε συνδυασμό μάλιστα με την έλλειψη υποδομής (φράγματα και έργα μεταφοράς νερού) από τη μία και την πλήρη απουσία σχεδιασμού διαχείρισης των υδάτων από την άλλη (Kazakis et al., 2008). Η λειψυδρία είναι σημαντικός περιοριστικός παράγοντας για οποιαδήποτε εξέλιξη σε πολλά μέρη του κόσμου, ειδικά σε άγονες και ημι-άγονες περιοχές, όπως η Ελλάδα (Jazim, 2006; Nastos and Zerefos, 2009). Για την αποτίμηση της κατάστασης και για να εκτιμηθεί η πιθανότητα αντιστροφής της θα πρέπει να γίνει μια πλήρης επισκόπηση του κύκλου του νερού στον ελλαδικό χώρο και ο καταλληλότερος τρόπος για να γίνει αυτό είναι να εξεταστούν οι μακροπρόθεσμες χωροχρονικές διακυμάνσεις των συστατικών του ισοζυγίου υδάτων (Mavromatis and Stathis, 2011).

Επίσης, ολοένα και μεγαλύτερη προσοχή δίνεται στις δυναμικές μεταβολές της βλάστησης και της βλαστικής ανάπτυξης ως συνέπεια των κλιματικών αλλαγών που παρατηρούνται σε εθνικό, ηπειρωτικό αλλά και παγκόσμιο επίπεδο δεδομένου ότι η βλάστηση αποτελεί ακρογωνιαίο λίθο που καθορίζει την κατανομή των έμβιων όντων στον πλανήτη και διαδραματίζει ουσιαστικό ρόλο στην αντιμετώπιση της παγκόσμιας αλλαγής του κλίματος (Jackson et al., 2008; Anderson et al., 2010; Verbesselt et al., 2010; Guo et al., 2014)

Πλήθος μελετών έχουν εκπονηθεί προκειμένου να αξιολογηθεί η σχέση βροχόπτωσης και βλάστησης, ωστόσο η πρόσβαση σε απομακρυσμένες ή δύσβατες περιοχές δυσχεραίνει τη συλλογή και αξιοποίηση δεδομένων που θα μπορούσαν να αξιοποιηθούν για την αξιολόγηση και την εξεύρεση λύσεων στα παραπάνω προβλήματα (Kolios and Kalimeris, 2017). Η τηλεπισκόπηση και η αξιοποίηση των δυνατοτήτων που προσφέρουν τα Γεωγραφικά Πληροφοριακά Συστήματα (GIS) μπορούν να συμβάλουν στο να ξεπεραστούν τα παραπάνω προβλήματα μέσα από την εκπόνηση υδρολογικών μελετών ή σχεδίων διαχείρισης των υδάτινων πόρων, της κλιματικής αλλαγής, της αγροτικής παραγωγής και άλλων.

1.3 Σημασία και αναγκαιότητα της μελέτης

Οι μεταβολές της βροχόπτωσης αποτελούν μια παράμετρο που μπορεί να λειτουργήσει ως δείκτης της κλιματικής αλλαγής αλλά και του προσδιορισμού της διαθεσιμότητας νερού. Επηρεάζεται από μεγάλης κλίμακας δυναμικές της ατμόσφαιρας και κυκλωνικές διαταραχές αλλά και από τοπικούς παράγοντες, όπως η τοπογραφία, η βλάστηση κλπ. Ως εκ τούτου, η μελέτη της χωροχρονικής κατανομής των βροχοπτώσεων τόσο σε εποχική όσο και σε ετήσια κλίμακα είναι ζωτικής σημασίας. Η χρήση δορυφορικών προϊόντων για αυτό το σκοπό έχει ήδη αποδειχθεί μείζονος σημασίας, ιδίως για απομακρυσμένες περιφέρειες και περιοχές εκτός δικτύου μετεωρολογικών σταθμών (Kolios and Kalimeris, 2017). Ομοίως, η παρακολούθηση της βλάστησης είναι χρήσιμη για διεθνείς και εθνικές υπηρεσίες οι οποίες συντάσσουν σχέδια πρόληψης πυρκαγιών (Πολιτική Προστασία), που αποζημιώνουν για ζημιές στην παραγωγή και αναπτύσσουν και εφαρμόζουν πολιτικές σε εθνικό επίπεδο. Στην Ευρώπη, η παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης καθοδηγείται από κανονισμούς, όπως το Forest Focus (2003/2452/EC), συστήματα υποστήριξης για παραγωγούς συγκεκριμένων καλλιεργειών (1999/1251/EC) και υποστήριξη για αγροτική ανάπτυξη από την European Agricultural Guidance and Guarantee Fund (1999/1257/EC). Η παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης σε εθνικό επίπεδο για τους προαναφερθέντες σκοπούς, μπορεί να είναι πολύ δαπανηρή αν βασίζεται και σε επίγειες έρευνες και παρατηρήσεις, ή μπορεί να είναι μεροληπτική αν

βασίζεται σε δευτερογενείς στατιστικές επεξεργασίες (Biggs et al. 2006). Επιπλέον, η χρήση δορυφορικών προϊόντων για τον προσδιορισμό του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (EVI) έχει βρει ήδη ευρεία εφαρμογή για την εκτίμηση της υποβάθμισης γαιών, την πρόβλεψη κατολισθήσεων και αλλού (Pradhan and Youssef, 2010; Holm, Cridland and Roderick, 2003).

Με βάση τα παραπάνω γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι η εκπόνηση μιας μελέτης που θα εντοπίζει χωροχρονικές μεταβολές της βροχόπτωσης και της βλάστησης αλλά και θα κατανοεί και θα περιγράφει τη μεταξύ τους συσχέτιση είναι μείζονος σημασίας (Di, Rundquist and Han, 1994; Wang, Rich and Price, 2003). Ιδιαίτερα σε μια χώρα με τη γεωμορφολογία, την βιοποικιλότητα και την ποικιλία κλιματικών παραλλαγών όπως αυτή της Ελλάδας, η συνεισφορά μιας τέτοιας μελέτης μπορεί να αξιοποιηθεί σε πολλαπλά επίπεδα όπως περιγράφεται παραπάνω.

1.4 Σκοποί και στόχοι

Στόχος της παρούσας μελέτης είναι να εντοπίσει με τη χρήση δορυφορικών προϊόντων εάν υπάρχουν αξιοσημείωτες χρονικές και χωρικές μεταβολές της βροχόπτωσης και εάν αυτές συσχετίζονται με αντίστοιχες αυξομειώσεις στην βλάστηση, μέσα από τις αυξομειώσεις των τιμών του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (EVI). Σε αυτό το πλαίσιο θα γίνει προσπάθεια να απαντηθούν ερωτήματα σχετικά με το εάν υπάρχουν σημαντικές διαφορές στην κατανομή της βροχόπτωσης σε μηνιαίο και εποχικό επίπεδο, εάν απαντούνται σημαντικές μεταβολές κατά τη διάρκεια του έτους αλλά και σε βάθος χρόνου και κατά πόσο υπάρχουν σαφείς μεταβάσεις από μια υγρή σε μια ξηρή περίοδο και αντίστροφα κατά τη διάρκεια του έτους. Κατ' αντιστοιχία θα διερευνηθεί εάν υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στις τιμές του δείκτη EVI σε μηνιαίο και εποχικό επίπεδο, εάν απαντούνται σημαντικές μεταβολές κατά τη διάρκεια του έτους αλλά και μεταξύ των ετών της χρονοσειράς που μελετήθηκε (2003-2016) και κατά πόσο υπάρχει σαφής μετάβαση μεταξύ της βλαστικής περιόδου και της φάσης του λήθαργου/διαχείμασης. Τέλος, σκοπός αυτής της μεταπτυχιακής διατριβής είναι να μελετήσει τις συσχετίσεις στις μεταβολές της

βροχόπτωσης με τις αντίστοιχες μεταβολές στις τιμές του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (EVI)

Τα αποτελέσματα της μελέτης αναμένεται να αναδείξουν αξιοσημείωτες χρονικές και χωρικές μεταβολές της βροχόπτωσης σε ετήσια, εποχική και μηνιαία βάση καθώς και την επίδραση που μπορεί να έχουν οι μεταβολές αυτές στην βλάστηση της περιοχής μελέτης. Επίσης θα αξιολογηθούν τα αποτελέσματα που θα προκύψουν ως προς τη συσχέτιση, σε ετήσια και εποχική κλίμακα, των δεδομένων της βροχόπτωσης και της βλάστησης προκειμένου να γίνει κατανοητή η μεταξύ τους σχέση.

1.5 Το κλίμα

Ως κλίμα ορίζεται ο μέσος καιρός που επικρατεί σε μια περιοχή, όπως αυτός προκύπτει μέσα από μακροχρόνιες παρατηρήσεις των διάφορων μετεωρολογικών στοιχείων. Δεδομένου ότι το κλίμα καθορίζει την κατανομή της χλωρίδας και της πανίδας της γης, συνηθίζεται ο τύπος ενός κλίματος να προσδιορίζεται σύμφωνα με την ταξινόμηση κατά Köppen, που υιοθετεί διαφορετικές κλιματικές ζώνες με βάση τις υφιστάμενες ζώνες βλάστησης (NASA, 2017). Το κλίμα διαμορφώνεται από μία σειρά παραγόντων που συμπεριλαμβάνουν α) τις τροχιακές παραμέτρους Γης-Ήλιου, οι οποίες συνίστανται στην εκκεντρότητα, στη λοξότητα του άξονα περιστροφής και στη μετάπτωση των ισημεριών, β) τις διεργασίες ανάδρασης του συστήματος υδρόσφαιρα – ατμόσφαιρα – λιθόσφαιρα – βιόσφαιρα με βασικά στοιχεία τον υετό, τα σύννεφα και τον ρυθμό ανάπτυξης των δασών (Bar-Matthews et al., 1999) γ) τις διακυμάνσεις του όγκου των παγετώνων, δ) τις μεταβολές στην ταχύτητα και την κυκλοφορία των θαλάσσιων ρευμάτων (Labeyrie, Alverson and Stocker, 2003) ε) την ηφαιστειακή και ηλιακή δραστηριότητα (Crowley, 2000) στ) τις μεταβολές των αερίων του θερμοκηπίου της ατμόσφαιρας (π.χ. CO₂, CH₄) και τη συνεπαγόμενη επίδρασή τους στην εισερχόμενη και εξερχόμενη ακτινοβολία και ζ) στις ανθρωπογενείς επιδράσεις (Crowley, 2000; EMEKA, 2011).

Για την αξιολόγηση των κλιματικών διακυμάνσεων σε σύγκριση με το παρελθόν αλλά και την κατασκευή μοντέλων πρόβλεψης των μελλοντικών αλλαγών είναι κρίσιμη μια κατά το

δυνατόν λεπτομερής χωροχρονική ανάλυση. Μια ανάλυση αυτού του τύπου δύναται να εκτιμήσει την τάση αλλαγής των διαφόρων κλιματικών παραμέτρων, το εύρος και την ταχύτητα των διακυμάνσεων που παρατηρούνται (Gibelin and Déqué, 2003; Labeyrie, Alverson and Stocker, 2003). Τους τελευταίους δύο αιώνες ενόργανες μετρήσεις έχουν εξασφαλίσει υψηλής ανάλυσης καταγραφές παραμέτρων του κλίματος συμπεριλαμβανομένης της θερμοκρασίας, της βροχόπτωσης, της αλατότητας, των συγκεντρώσεων του CO₂, των επιπέδων του οξυγόνου και άλλων. Πολλοί από αυτούς τους παράγοντες μπορούν να προσδιοριστούν -σε βάθος χιλιετιών μάλιστα- και έμμεσα από καταγραφές ιζημάτων, με χρήση βιοδεικτών (π.χ. γυρεόκοκοι, διάτομα, χειρονομίδες) και ισοτόπων. Τα δεδομένα αυτά καταδεικνύουν μια μεταβλητότητα μεγάλης έντασης σε επίπεδο δεκαετιών και εκατονταετιών (Alverson et al., 2001) με έντονη χωρική διαφοροποίηση. Η διαφοροποίηση αυτή υποδηλώνει την επίδραση των τοπικών συνθηκών στην εσωτερική διαμόρφωση του κλίματος κάθε περιοχής (Bar-Matthewsa et al., 1999, ΕΜΕΚΑ, 2011).

1.5.1 Το κλίμα της Ελλάδας

Οι περιοχές που περιβάλλουν τη Μεσόγειο παρουσιάζουν ιδιαίτερο τύπο κλίματος, το λεγόμενο “μεσογειακό τύπο”. Χαρακτηριστικά αυτού του κλίματος αποτελούν, σε γενικές γραμμές, οι συνήθως ήπιοι και βροχεροί χειμώνες και τα θερμά και ξηρά καλοκαίρια. Το μεσογειακό κλίμα απαντά και στα δύο ημισφαίρια, γεωγραφικό πλάτος 30 έως 40 μοιρών, στα δυτικά των Ηπείρων και σε περιοχές κοντά σε μεγάλους υδάτινους όγκους.



Εικόνα 1. Απεικόνιση σε χάρτη των περιοχών με Μεσογειακό κλίμα (πράσινο χρώμα) με βάση την ταξινόμηση κατά Köppen, (πηγή: Maphobbyist, 2011).

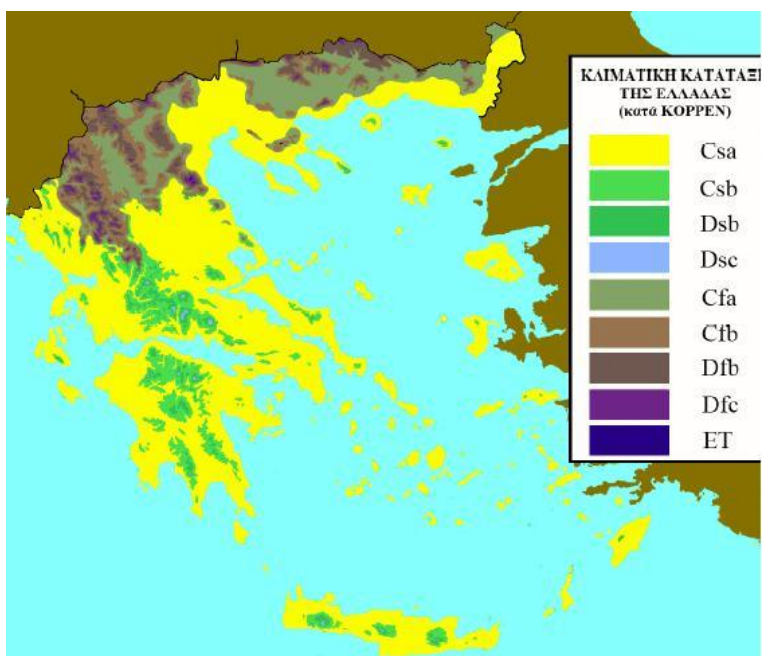
Στη Νότια Βαλκανική χερσόνησο και στην Ανατολική Μεσόγειο επικρατούν μόνιμα ή και παροδικά-εποχικά κέντρα δράσης όπως αντικυκλώνες και υφέσεις που καθορίζουν τις κινήσεις των αερίων μαζών επηρεάζοντας τις επικρατούσες καιρικές συνθήκες. Τέτοια κέντρα δράσης όπως είναι ο αντικυκλώνας των Αζορών, ο σιβηρικός αντικυκλώνας και οι πρωτογενείς και δευτερογενείς υφέσεις της Μεσογείου διαμορφώνονται από τους τοπικούς παράγοντες αποκτώντας κατ'αυτόν τον τρόπο ιδιαίτερα χαρακτηριστικά σε κάθε περιοχή, διαμορφώνοντας κατ' ακολουθία και τα κλιματικά χαρακτηριστικά της (Karaca, Deniz and Tayanç, 2000; Krichak, Tsidulko and Alpert, 2000).

Χαρακτηριστικό της Ελλάδας αποτελεί η πολύπλοκη τοπογραφία της, η οποία σε συνδυασμό με την μεγάλη ακτογραμμή της χώρας και τα επικρατούντα καιρικά συστήματα δημιουργεί έντονες κλιματικές αντιθέσεις. Ως συνέπεια αυτών, ακόμα και σε μικρές αποστάσεις, διαμορφώνεται μια ποικιλία τοπικών κλιμάτων, που μπορεί να διαφοροποιηθούν από το συνήθη μεσογειακό τύπο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι το μέσο υψόμετρο της ηπειρωτικής ενδοχώρας είναι περίπου 600 μ., οι τυπικές βαθμίδες του ανάγλυφου είναι 100-200 μ. ανά χλμ. και η συνολική ακτογραμμή της χώρας είναι περίπου 16.300 χλμ. (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Στον Ελλαδικό χώρο απαντούν τέσσερις βασικοί κλιματικοί τύποι (Εικόνα 2):

- α) Ο Θαλάσσιος Μεσογειακός Τύπος, με χαρακτηριστικά εύκρατου κλίματος, στα δυτικά παράλια και στα νησιά του Ιονίου.
- β) Ο Χερσαίος Μεσογειακός Τύπος, που παρατηρείται στα νοτιοανατολικά δηλαδή σε ένα μέρος της Στερεάς Ελλάδας καθώς και σε τμήματα της Ανατολικής Πελοποννήσου, στα νησιά και στα παράλια του Κεντρικού Αιγαίου και στην Κρήτη, με ξηρότερα καλοκαίρια και ψυχρότερους χειμώνες.
- γ) Ο Ηπειρωτικός Τύπος, που απαντά κυρίως στη Θράκη και στο μεγαλύτερο μέρος της Μακεδονίας και της Ηπείρου και σε μέρος της Θεσσαλίας. Ο τύπος αυτός παρουσιάζει χαρακτηριστικά ηπειρωτικού κλίματος των βορειότερων περιοχών των Βαλκανίων.
- δ) Ο Ορεινός Τύπος, που συναντάται στους ορεινούς όγκους που διασχίζουν την Ελλάδα, ενώ στις δασώδεις περιοχές των ορεινών όγκων μεταβάλλεται σε κλίμα δάσους.

Ένας μεταβατικός τύπος ηπειρωτικού κλίματος προς χερσαίο παρατηρείται στα νησιά του Β. Αιγαίου ενώ στα Δωδεκάνησα παρατηρείται ο εύκρατος θαλάσσιος τύπος (ΕΜΕΚΑ, 2011).



Εικόνα 2. Κλιματικοί τύποι στην Ελλάδα με βάση την ταξινόμηση κατά Köppen, (πογή:meteoclub, 2010)

1.5.2 Κλιματικές παράμετροι στον Ελλαδικό χώρο

Οι κλιματικές παράμετροι μιας χώρας και οι μεταβολές αυτών έχουν σαφείς κοινωνικο-οικονομικές επιδράσεις, δεδομένου ότι καθορίζουν μεταξύ άλλων την αγροτική παραγωγή της, την κοινωνική της σύσταση και το βιοτικό της επίπεδο (Meehl et al., 2000; Arnell et al., 2004; Voudouris, Manrommatis and Antonakos, 2007). Οι κύριοι κλιματικοί παράγοντες συνίστανται στην ηλιακή ακτινοβολία, στην νέφωση και την ηλιοφάνεια, στην θερμοκρασία του αέρα, στην υγρασία του αέρα, στους επικρατούντες ανέμους, τη βροχή και τα λοιπά κατακρημνίσματα (ΕΜΕΚΑ, 2011; Gouvas and Sakellariou, 2011).

Το ποσό της ηλιακής ακτινοβολίας που δέχεται η επιφάνεια του εδάφους σε ένα τόπο εξαρτάται από το γεωγραφικό πλάτος του τόπου, την εποχή του έτους ακολουθώντας την ετήσια πορεία της απόκλισης του ήλιου. Κλιματικοί και τοπογραφικοί παράγοντες όπως η απόλυτη υγρασία της ατμόσφαιρας, η νέφωση, τα αιωρούμενα σωματίδια, το ανάγλυφο του εδάφους και η εδαφοκάλυψη με βλάστηση επηρεάζουν την τιμή της προκαλώντας

μεγάλες αποκλίσεις από τη θεωρητική τιμή της (ΕΜΕΚΑ, 2011; Gouvas and Sakellariou, 2011).

Όσο αφορά την νέφωση και την ηλιοφάνεια, ενδεικτικά αναφέρετε ότι στην Ελλάδα καταγράφονται τιμές ηλιοφάνειας που μπορεί να κυμαίνονται από 2250 έως 3082 ωρών ετησίως στα Ιωάννινα και στην Ιεράπετρα αντίστοιχα. Οι μέγιστες τιμές ετήσιας νέφωσης καταγράφονται στο εσωτερικό της χώρας με ποσοστά υψηλότερα του 50%, όπου λόγω των ορεινών όγκων οι ατμοσφαιρικές αέριες μάζες αναγκάζονται σε ανοδικές κινήσεις με συνέπεια να λαμβάνει χώρα σύγκλιση και συμπύκνωση των υδρατμών. Η νέφωση ελαττώνεται προς τα παράλια, όπου η μέγιστη νεφοκάλυψη εμφανίζει ποσοστά μικρότερα από 40%. Η ετήσια διακύμανση της νέφωσης είναι συνήθως παράλληλη με εκείνη της βροχής, με μέγιστο ύψος το χειμώνα και ελάχιστο το καλοκαίρι (ΕΜΕΚΑ, 2011; Gouvas and Sakellariou, 2011).

Κατ' αναλογία, και η θερμοκρασία του αέρα, εκτός από τη μεταβολή της ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος, παρουσιάζει και μεγάλες διαφοροποιήσεις σε χωρικό επίπεδο λόγω του ανάγλυφου της περιοχής. Στην Ελλάδα η μέγιστη ημερήσια θερμοκρασία του αέρα κατά τους κυρίως θερινούς μήνες, Ιούλιο-Αύγουστο, κυμαίνεται μεταξύ 32°C και 36°C ενώ η ετήσια πορεία της θερμοκρασίας του αέρα εμφανίζει ελάχιστο σε όλη σχεδόν τη χώρα κατά τα τέλη Ιανουαρίου με Φεβρουάριο (Ισόθερμες) (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Η ετήσια πορεία της απόλυτης υγρασίας του αέρα ακολουθεί την αντίστοιχη πορεία της θερμοκρασίας με μέγιστο το θέρος και ελάχιστο το χειμώνα σε αντίθεση με τη σχετική υγρασία της οποίας η μεταβολή, τόσο σε ημερήσια όσο και σε ετήσια βάση είναι αντιστρόφως ανάλογη με αυτή της θερμοκρασίας. Περίπου το 50% της ατμοσφαιρικής υγρασίας βρίσκεται στα πρώτα 1500m από την επιφάνεια του εδάφους (Maris, n.d., ΕΜΕΚΑ, 2011; Gouvas and Sakellariou, 2011). Η υγρασία της ατμόσφαιρας προέρχεται κυρίως είτε από την εξάτμιση νερού από υγρές επιφάνειες είτε από τη διαπνοή των φυτών. Ως εκ τούτου, μεγάλοι και θερμοί όγκοι νερού καθώς και εκτεταμένες ζώνες όπου η εδαφοκάλυψη αποτελείται από πυκνή βλάστηση αποτελούν σημαντικές πηγές εμπλουτισμού της ατμόσφαιρας σε υγρασία. Στη Ελλάδα η κυριότερη πηγή εμπλουτισμού

της ατμόσφαιρας σε υγρασία είναι η κεντρική και δυτική λεκάνη της Μεσογείου. Σε ολόκληρη τη χώρα, η μέση ετήσια σχετική υγρασία κυμαίνεται μεταξύ 60% και 75% περίπου (ΕΜΕΚΑ, 2011; Gouvas and Sakellariou, 2011). Να σημειωθεί ότι δεν είναι απαραίτητο να υπάρχει συσχέτιση ανάμεσα στην ποσότητα υδρατμών πάνω από μία περιοχή και των κατακρημνισμάτων της περιοχής (Maris, n.d.).

Όπως προαναφέρθηκε, λόγω των συστημάτων υψηλών πιέσεων του ευρασιατικού αντικυκλώνα και της ταλάντωσης του Βόρειου Ατλαντικού που επικρατούν το χειμώνα στην περιοχή της Μεσογείου, κατευθύνονται προς τη Μεσόγειο ψυχρές-ξηρές και θερμές-υγρές αέριες μάζες αντίστοιχα. Ως εκ τούτου, δημιουργούνται στη θάλασσα της Μεσογείου κέντρα κυκλογένεσης ή αναζωογόνησης διερχόμενων υφέσεων με συνέπεια η διεύθυνση και η ένταση των ανέμων να μεταβάλλονται συνεχώς κατά τους χειμερινούς μήνες (Karaca, Deniz and Tayanç, 2000; Krichak, Tsidulko and Alpert, 2000). Συνεπώς, κατά την ψυχρή περίοδο του έτους τα συστήματα των ανέμων εμφανίζονται πολύπλοκα και μεταβαλλόμενα ενώ παρόμοιες συνθήκες επικρατούν το φθινόπωρο και την άνοιξη. Εν' αντιθέση, κατά τους θερινούς μήνες επικρατούν κυρίως άνεμοι του βόρειου τομέα, οι γνωστοί Ετησίες ή μελέμια, των οποίων η μεγαλύτερη ένταση και συχνότητα παρατηρείται τον Ιούλιο και τον Αύγουστο (Bartzokas, Metaxas and Ganas, 1994). Στην ενδοχώρα, κατά τους θερινούς μήνες επικρατεί νηνεμία με ελαφρές αύρες ορέων και πεδιάδων. Ομοίως στα νησιά και στις παράκτιες περιοχές πνέουν την ημέρα θαλάσσιες αύρες, οι οποίες τη νύκτα εναλλάσσονται με απόγειες αύρες (ΕΜΕΚΑ, 2011).

Ως κατακρημνίσματα ορίζεται κάθε μορφή υγρασίας που πέφτει από την ατμόσφαιρα στην επιφάνεια της γης και περιλαμβάνουν τη βροχή, το χιόνι, το χαλάζι, καθώς και τις παραλλαγές αυτών (χιονόβροχο, δρόσος, πάχνη και ομίχλη). Η μορφή και η ποσότητα των κατακρημνισμάτων εξαρτάται από κλιματικούς παράγοντες όπως ο άνεμος, η θερμοκρασία και η ατμοσφαιρική πίεση, ενώ η ατμοσφαιρική υγρασία είναι απαραίτητη αλλά όχι αρκετή για την πρόκληση κατακρήμνισης (Maris, n.d.).

Για τη δημιουργία βροχοπτώσεων απαιτείται μια διαδικασία που συνδέεται με τη σταδιακή συμπύκνωση των υδρατμών και τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου, τη

θερμοκρασία, δηλαδή, για την οποία επιτυγχάνεται κορεσμός, εάν οι υδρατμοί ψυχθούν χωρίς μεταβολή της πίεσης και του λόγου ανάμιξης. Ο υγρός αέρας ψύχεται είτε με ακτινοβολία, είτε με μεταφορά σε ψυχρότερη περιοχή, είτε με αδιαβατική εκτόνωση. Όταν η θερμοκρασία του μειωθεί κάτω από τη θερμοκρασία του σημείου δρόσου, τότε μέρος των υπάρχοντων σε αυτόν υδρατμών συμπυκνώνονται (Stathis, 2015). Κατά τη συμπύκνωση οι υδρατμοί μεταβαίνουν από την αέρια κατάσταση στην υγρή ή στερεή σχηματίζοντας λεπτότατα σταγονίδια ενδεικτικής μέσης διαμέτρου 10 ως 30 μm ή μικροί παγοκρύσταλλοι, ανάλογα με τη θερμοκρασία που επικρατεί. Το ορατό αιωρούμενο σύνολο υδροσταγονιδίων ή παγοκρυστάλλων λέγεται νέφος. Η αύξηση της μάζας των σταγονιδίων πέρα από ένα μέγεθος ικανό ώστε οι δυνάμεις βαρύτητας να υπερνικήσουν το καθεστώς αιώρησης που δημιουργεί η τυρβώδης διάχυση εντός του νέφους, έχει ως συνέπεια τη δημιουργία του φαινομένου της βροχόπτωσης (Makrogiannis and Sahsamanoğlu, 2004; Koutsogiannis, 2002). Καθώς σε μία περιοχή ο εφοδιασμός του αέρα με υγρασία και οι μηχανισμοί ανυψώσεως μεταβάλλονται εποχιακά, ομοίως αλλάζει και ο χαρακτήρας των κατακρημνισμάτων που πέφτουν στην περιοχή αυτή (Mimikou, 1990).

Η βροχόπτωση αποτελεί μια από τις σπουδαιότερες μετεωρολογικές παραμέτρους δεδομένου ότι παρουσιάζει όχι μόνο θεωρητικό αλλά και μεγάλο πρακτικό ενδιαφέρον. Αποτελεί την ατμοσφαιρική κατακρήμνιση υδρογονοσταγονιδίων, και συγκεκριμένα αποτελείται από τις σταγόνες νερού με διάμετρο από 0.5 mm έως 7 mm που σχηματίζονται και μεγαλώνουν σε όγκο μέσα στα νέφη και μόλις το μέγεθος και το βάρος τους ξεπεράσει συγκεκριμένα όρια αρχίζουν να κατακρημνίζονται και καταλήγουν στο έδαφος. Τα χαρακτηριστικά ενός κατακρημνίσματος είναι συνάρτηση των χαρακτηριστικών του ανερχόμενου αέρα και του μηχανισμού ανυψώσεως (Eagleson, 1970). Κατά την πτώση μιας σταγόνας, η αντίσταση του αέρα αντισταθμίζει το βάρος οπότε και αποκτά μια μέγιστη ταχύτητα που ονομάζεται οριακή ταχύτητα. Μέχρι τη διάμετρο των 5.5 mm η οριακή ταχύτητα αυξάνει με το μέγεθος της σταγόνας ενώ μετά μειώνεται πάλι, γιατί οι σταγόνες αρχίζουν να πλαταίνουν, αυξάνοντας έτσι την αντίσταση στον αέρα. Οι μεγάλες σταγόνες έχουν την τάση να παραμορφώνονται ευκολότερα και να διασπώνται, πριν φτάσουν στην οριακή τους ταχύτητα. Ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζει

η ποσότητα του νερού που φθάνει στην επιφάνεια του εδάφους, το οποίο εκφράζεται με το ύψος βροχής. Ύψος βροχής (RA) ορίζεται το ύψος που θα έφθανε η στάθμη του νερού της βροχής πάνω σε μια οριζόντια επιφάνεια ή σε ένα σωλήνα, αποκλείοντας τους παράγοντες της διαπνοής, της απορρόφησης και της εξάτμισης και εκφράζεται σε mm βροχής. Το ύψος βροχής προσδιορίζεται από τα βροχόμετρα και τους βροχογράφους. Ως ένταση βροχόπτωσης (R) ορίζεται το μέγεθος που δείχνει την ποσότητα της κατακρήμνισης στη μονάδα του χρόνου και ως εκ τούτου έχει μονάδες mm/h (Makrogiannis and Sahsamanoğlu, 2004; Koutsogiannis, 2002). Ανάλογα με το ύψος της, η βροχή χαρακτηρίζεται ως ασθενής για ύψος μέχρι 2.5 mm/hr, μέτρια για ύψος από 2.5 mm/hr έως 7.5 mm/hr και ισχυρή για ύψος από 7.5 mm/hr και πάνω. Βροχή που πέφτει με ομοιόμορφο ρυθμό, έχει σταγόνες με διάμετρο μικρότερη από 0.5 mm και ένταση μικρότερη από 1.0 mm/hr αναφέρεται ως ψιχάλα. Αν η βροχή εναλλάσσεται με διαστήματα παύσης τότε ονομάζεται παροδική βροχή (Maris, n.d.; EMEKA, 2011; Gouvas and Sakellariou, 2011).

Ανάλογα με τα αίτια σχηματισμού και τον τρόπο εκδήλωσής της η βροχόπτωση διακρίνεται σε τρία βασικά είδη, την ορογραφική (orographic), την κυκλωνική (stratiform), και την σύγκλισης (convective):

Ορογραφική (Orographic): Η ορογραφική βροχόπτωση προκαλείται όταν υγρό ρεύμα αέρα, συνήθως θαλάσσιας προέλευσης, συναντάει ορεινούς όγκους. Ο ορεινός φραγμός μπορεί (α) να ενεργοποιήσει μια κατά συνθήκη αστάθεια, προκαλώντας εξαναγκασμένη ανοδική κίνηση ή να θερμάνει την αέρια μάζα, (β) να αυξήσει την κυκλωνική βροχόπτωση, επιβραδύνοντας την κίνηση του υφειακού συστήματος και (γ) να προκαλέσει σύγκλιση και ανύψωση μέσα από τον καναλισμό των κοιλάδων. Η ένταση, η έκταση και η διάρκεια της ορογραφικής βροχόπτωσης ποικίλουν και εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, μεταξύ των οποίων το ανάγλυφο (ύψος- προσανατολισμός του βουνού κ.λ.π.), η ένταση και η περιεκτικότητα σε υδρατμούς του ρεύματος αέρα και η συνύπαρξη κάθετης μεταφοράς.

Κυκλωνική (Stratiform): Τα χαρακτηριστικά της βροχής ποικίλλουν ανάλογα με τον τύπο του συστήματος και το στάδιο της ανάπτυξής του. Όμως, ο κύριος μηχανισμός είναι η ανύψωση του αέρα που οφείλεται στην οριζόντια σύγκλιση του αέρα προς ένα κέντρο χαμηλής πίεσης. Συνήθως έχει μεγάλη διάρκεια και έκταση, αλλά μικρές ή μέτριες εντάσεις. Σε αντίθεση με τους άλλους δύο τύπους, δεν εξαρτάται ιδιαίτερα από το ανάγλυφο, και τα ύψη βροχόπτωσης που δίνει είναι σχετικά ισοκατανεμημένα στις περιοχές που επηρεάζονται.

Βροχόπτωση σύγκλισης (Convective): όταν υπάρχει μεγάλη διαφορά θερμοκρασίας στα διάφορα στρώματα της ατμόσφαιρας, με τα υψηλότερα στρώματα να είναι σημαντικά ψυχρότερα, παρατηρείται κάθετη μεταφορά θερμότητας. Η κάθετη μεταφορά μπορεί να προκύψει είτε από θερμικά αίτια, δηλαδή την θέρμανση των χαμηλότερων στρωμάτων της ατμόσφαιρας από την ηλιακή ακτινοβολία που φτάνει στο έδαφος την ημέρα ή από την θερμή θάλασσα τη νύχτα, είτε από δυναμικά αίτια, λόγω οργανωμένων μετωπικών διαταραχών. Η διαφορά πυκνότητας δημιουργεί ανοδικές κινήσεις του αέρα, που ψύχεται αδιαβατικά, με συνέπεια να συμπυκνώνονται οι υδρατμοί που περιέχει σε νέφη κατακόρυφης ανάπτυξης όπως οι πυργοειδείς σωρείτες και σωρειτομελανίτες. Αυτός ο τύπος βροχόπτωσης είναι συνήθως μεγάλης ή μέτριας έντασης, αλλά μικρής έκτασης (<50km²) και διάρκειας (0.5-1h) (Stathis, 2015).

1.5.3 Η βροχόπτωση στον ελλαδικό χώρο

Στον ελλαδικό χώρο, η μέση ετήσια βροχόπτωση υπολογίζεται περίπου στα 800 mm. Ωστόσο, η γεωγραφική κατανομή του ετήσιου ύψους βροχής και το ύψος βροχής, κατά την βροχερή περίοδο του έτους, ακολουθεί κατά γενικό κανόνα το ανάγλυφο της χώρας. Όπως και σε άλλες Μεσογειακές χώρες (π.χ. Ιταλία, Ισπανία), το ετήσιο ύψος βροχής παρουσιάζει μείωση από τα βόρεια προς τα νότια και από τα δυτικά προς τα ανατολικά (Rodriguez-Puebla et al., 1998; Brunetti et al., 2006). Οι βροχοφόρες θερμές και υγρές αέριες μάζες των υφέσεων, οι οποίες κινούνται από τα δυτικά προς τα ανατολικά, καθώς και οι θερμές και υγρές αέριες μάζες του νότιου τομέα προσκρούουν στις οροσειρές που έχουν κατεύθυνση σχεδόν κάθετη ως προς τη ροή των ανέμων.

Ως συνέπεια αυτού, στην πλευρά των ορέων, οι αέριες μάζες αναγκάζονται σε ανύψωση οπότε και ψύχονται απελευθερώνοντας τα μεγαλύτερα ποσοστά βροχής στις προσήνεμες περιοχές των ορέων. Εν αντιθέσει, μετά τις κορυφογραμμές σταματάει η ανύψωση των αερίων μαζών, οι οποίες κατολισθαίνοντας θερμαίνονται, με αποτέλεσμα λιγότερες βροχές στα υπήνεμα μέρη. Ως εκ τούτου, οι σημαντικότερες βροχές συμβαίνουν όταν οι υγρές αέριες μάζες από την κεντρική και δυτική λεκάνη της Μεσογείου μεταφέρονται με δυτικούς ανέμους κυρίως στη Δυτική Ελλάδα (Metaxas et al., 1999; Maris, n.d.). Στην Βόρεια Ελλάδα, η κατανομή της βροχής τείνει να είναι ομαλότερη μέσα στο έτος.

Η διανομή του αριθμού των ετήσιων ημερών βροχής ακολουθεί, σε γενικές γραμμές, τη διανομή του ύψους βροχής. Παρατηρείται αύξηση από τα δυτικά παράλια της χώρας (άνω των 110 ημερών) προς το εσωτερικό, με μέγιστο στις κεντρικές οροσειρές και μείωση προς τα παράλια του Αιγαίου και κατόπιν νέα αύξηση του αριθμού των ημερών βροχής στα μικρασιατικά παράλια. Ο ελάχιστος ετήσιος αριθμός ημερών βροχής (κάτω των 80 ημερών ετησίως) παρατηρείται στην περιοχή του ελάχιστου ετήσιου ύψους βροχής, δηλαδή στις Κυκλάδες και στην περιοχή του Αργοσαρωνικού.

Οι μετεωρολογικές συνθήκες για την δημιουργία καταιγίδων έχουν όμοια χαρακτηριστικά με αυτές των βροχών, ωστόσο απαραίτητη προϋπόθεση είναι ο μεγάλος βαθμός ατμοσφαιρικής αστάθειας. Στον Μεσογειακό χώρο, οι καταιγίδες είναι αποτέλεσμα της εισβολής πολικών ψυχρών αερίων μαζών σε ψυχρά μέτωπα, ιδιαίτερα το φθινόπωρο που η θάλασσα είναι σχετικά θερμή, καθώς και σε περιοχές σύγκλισης τροπικών υγρών και θερμών αερίων μαζών σε θερμά μέτωπα.

Το ανάγλυφο, με την παρουσία οροσειρών, παίζει σημαντικό ρόλο, καθώς οι αέριες μάζες υποχρεώνονται σε ανύψωση, με αποτέλεσμα να ψύχονται κατά την εκτόνωση και να συμπυκνώνουν τους υδρατμούς τους. Στον ελλαδικό χώρο, οι καταιγίδες είναι πιο διαδεδομένες το φθινόπωρο και το χειμώνα στις παράκτιες περιοχές, που η θάλασσα είναι θερμότερη του αέρα. Στις ηπειρωτικές περιοχές, το καλοκαίρι, παρατηρούνται οι λεγόμενες θερμικές καταιγίδες, όταν το έδαφος υπερθερμαίνεται και οι συνθήκες είναι

ευνοϊκές για αστάθεια στην ελεύθερη ατμόσφαιρα. Αντιθέτως, στις παράκτιες περιοχές η αστάθεια είναι αμελητέα, καθώς η θάλασσα είναι ψυχρότερη από την ξηρά.

1.5.4 Η μέτρηση της βροχόπτωσης

Η μέτρηση της βροχόπτωσης αφορά στην ποσότητα της βροχής που προσπίπτει στην επιφάνεια της Γης και μετριέται σε χιλιοστά (mm) ύψους ενός υδάτινου στρώματος, που θα σχηματιστεί σε μια οριζόντια επιφάνεια. Συνεπώς, το 1 χιλιοστό ύδατος σε επιφάνεια 1 τετραγωνικού μέτρου ισοδυναμεί με 1 λίτρο ύδατος ($1 \text{ mm} = 1 \text{ lt/m}^2$) (Stathis, 2015).

Για τη μέτρηση των κατακρημνισμάτων χρησιμοποιούνται ειδικά όργανα ανάλογα με τον επιθυμητό στόχο. Για απλή παρατήρηση η μέτρηση γίνεται με βροχόμετρα, ενώ αυτόματη μηχανική καταγραφή μπορεί να γίνει με έναν βροχογράφο. Με τη χρήση αισθητήρων (dataloggers) μπορεί να γίνει λήψη στοιχείων σε μεγάλα χρονικά διαστήματα και ηλεκτρονική καταχώρησή τους ενώ με τηλεμετάδοση είναι εφικτή και η σύγχρονη καταχώρηση. Τέλος, η μέτρηση των ατμοσφαιρικών κατακρημνισμάτων γίνεται πλέον και με βοήθεια ραντάρ και δορυφόρων (Stathis, 2015).

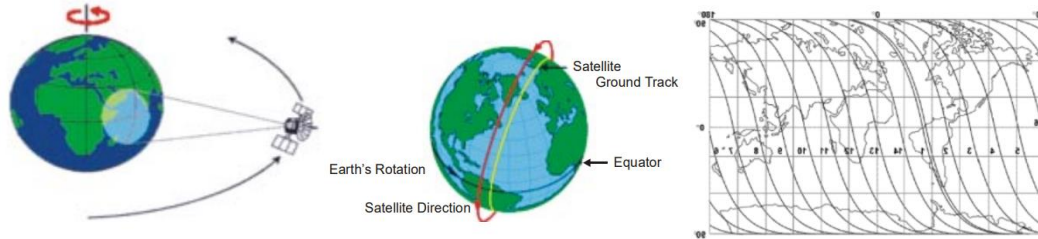
Ο πιο διαδεδομένος και εύκολος τρόπος μέτρησης της βροχόπτωσης είναι τα βροχόμετρα που αφού εγκατασταθούν σε κατάλληλες θέσεις, που συλλέγουν κυρίως τη βροχόπτωση, και βοηθητικά τη χιονόπτωση δίνοντας την αντίστοιχη σημειακή μέτρηση. Δίνουν την ολική σημειακή βροχόπτωση, με την ανάγνωση της ένδειξης από έναν παρατηρητή. Ο κλασικός τύπος βροχομέτρου είναι κυλινδρικός σε σχήμα και αποτελείται από το συλλέκτη, το χωνί και τον αποδέκτη. Οι πιο συνηθισμένοι τύποι βροχομέτρων είναι το ογκομετρικό και το δεκαπλασιαστικό βροχόμετρο (Maris, n.d.).

Οι βροχογράφοι είναι επίσης όργανα σημειακής μέτρησης της βροχής, εγκατεστημένα σε κατάλληλες θέσεις, που συλλέγουν κυρίως τη βροχόπτωση και καταγράφουν με απλό ωρολογιακό μηχανισμό τη μεταβολή του ύψους βροχής στο χρόνο, περιγράφοντας έτσι τη χρονική κατανομή της σημειακής βροχόπτωσης (Maris, n.d.).

Ένας άλλος τρόπος μέτρησης της βροχοπτώσης είναι τα μετεωρολογικά ραντάρ Doppler, που συλλέγουν πληροφορίες για την κίνηση, τις περιοχές και την ένταση των βροχοπτώσεων. Η αρχή λειτουργίας των μετεωρολογικών ραντάρ βασίζεται στην μετάδοση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα και τη σύγκρουσή τους με τα υδροσταγονίδια. Ο αριθμός των υδροσταγονιδίων μέσα στον παλμικό όγκο της δέσμης του ραντάρ, το μέγεθος, η σύνθεση, η σχετική θέση, το σχήμα και ο προσανατολισμός τους καθορίζουν και το ποσό της επιστρεφόμενης ενέργειας. Το μέρος της δέσμης που ανακλάται πάνω στα υδρομετέωρα συγκεντρώνεται σε γωνία 1° ή 2° στην κεραία.

Οι μετεωρολογικοί δορυφόροι έχοντας ως κριτήριο την τροχιά που ακολουθούν κατά τη λειτουργία τους χωρίζονται σε δορυφόρους με πολική τροχιά, σε δορυφόρους με γεωστατική τροχιά και οι δορυφόροι με τροχιές που είναι συγχρονισμένες με τον ήλιο. Οι γεωστατικοί δορυφόροι είναι συγχρονισμένοι με την περιστροφή της γης γύρω από τον άξονά της σε ένα ορισμένο γεωγραφικό μήκος και σε υψόμετρο περίπου 36000 km. Ως συνέπεια, οι δορυφόροι αυτού του τύπου ακολουθούν μια συγκεκριμένη τροχιά, οι οποία ονομάζεται γεωστατική αφού ανά πάσα στιγμή ο δορυφόρος βρίσκεται πάνω από το ίδιο σημείο της Γης. Οι γεωστατικοί δορυφόροι πλεονεκτούν λόγω της υψηλής κλίμακας χρονικής ανάλυσης των δεδομένων τους έχοντας κατά μέσο όρο χρόνο ανανέωσης της εικόνας 30 λεπτά. Αντίθετα, μειονέκτημα των συγκεκριμένων δορυφόρων είναι η περιορισμένη χωρική ανάλυση συγκριτικά με τους πολικούς δορυφόρους λόγω του μεγάλου τους υψομέτρου. Ως εκ τούτου, είναι κατάλληλοι για την παρακολούθηση καιρικών συνθηκών που απαιτούν κρίσιμες πληροφορίες για τη δυναμική της ατμόσφαιρας και την βραχυπρόθεσμη πρόγνωση του καιρού. Οι δημιουργία δικτύων γεωστατικών δορυφόρων καθιστά εφικτή την παρακολούθηση του καιρού σε όλη τη γη (Aggarwal, 2004; Sivakumar et al., 2004).

Σε αντίθεση με τους δορυφόρους γεωστατικής τροχιάς, οι μετεωρολογικοί δορυφόροι πολικής τροχιάς ακολουθούν τροχιές σχεδόν σταθερές στο διάστημα ενώ η γη περιστρέφεται κάτω από αυτούς. Γενικά οι δορυφόροι πολικής τροχιάς καλύπτουν όλη την επιφάνεια της γης και οι τροχιές περνάνε προσεγγιστικά από τους πόλους σε ύψος περίπου 850 km (Aggarwal, 2004; Sivakumar et al., 2004).



Εικόνα 3. Σχηματική απεικόνιση της τροχιάς γεωστατικών δορυφόρων (αριστερά), πολικών δορυφόρων (κέντρο) και της πλήρης κάλυψης της γήινης επιφάνειας από δορυφόρο με τροχιά συγχρονισμένη στον ήλιο (πηγή: Aggarwal, 2004).

Τέλος, οι δορυφόροι με τροχιές συγχρονισμένες στον ήλιο, έχουν σχεδόν κυκλική τροχιά και καλύπτουν κάθε περιοχή της γης σε σταθερό τοπικό χρόνο που ονομάζεται ηλιακός χρόνος. Γνώμονας για την επιλογή της κλίσης αυτών των δορυφόρων είναι το να παραμένει όλο το χρόνο το τροχιακό επίπεδο γύρω από τη γη υπό σταθερή γωνία σε σχέση με μια νοητή γραμμή μεταξύ γης και ήλιου. Το υψόμετρο και η εκκεντρικότητα της τροχιάς ευθύνονται για αυτό το αποτέλεσμα καθιστώντας την τροχιά των δορυφόρων ανάδρομη. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να εξασφαλίζεται απόκτηση εικόνων υπό σταθερές συνθήκες φωτισμού για μια συγκεκριμένη περίοδο κατά τη διάρκεια διαδοχικών ετών (Aggarwal, 2004).

1.6 Η βλάστηση

Ως χλωρίδα ορίζεται ο συνολικός αριθμός των φυτικών ειδών μιας περιοχής ενώ ως βλάστηση νοείται το σύνολο των φυτών που φύονται σε αυτή προσδίδοντάς της μια συγκεκριμένη φυσιογνωμία όπως παραδείγματος χάριν δάσος, λιβάδι και άλλα. Ένα πυκνό δάσος δύναται να συνίσταται από λίγα μόνο είδη οπότε η χλωρίδα του μπορεί να είναι πτωχή και το αντίθετο. Η βλάστηση ανάλογα από τους παράγοντες που την επηρεάζουν μπορεί να διαχωριστεί σε ζωνική βλάστηση και αζωνική ή εδαφικά καθορισμένη. Η ζωνική βλάστηση καθορίζεται και εξαρτάται από το κλίμα μιας περιοχής με συνέπεια οι ζώνες βλάστησης να αλλάζουν κατά την οριζόντια διεύθυνση και καθέτως ανάλογα με το υψόμετρο, οπότε και να δημιουργούνται όροφοι βλάστησης. Αντίθετα, στην εδαφικά

καθορισμένη βλάστηση, οι οποία δεν εξαρτάται από το κλίμα, καθοριστικοί παράγοντες είναι οι τοπικές εδαφικές και υδρολογικές συνθήκες. Εδαφικά καθορισμένη βλάστηση απαντά στους υγροτόπους, όπου η βλάστηση είναι παρόμοια ανεξαρτήτως του υψομέτρου και του γεωγραφικού πλάτους (ΤΕΙΙΝ, 2018).

Στην Ελλάδα διακρίνονται πέντε οικολογικώς, φυσιογνωμικώς και χλωριδικώς διακριτές ζώνες βλάστησης:

1. Η Θερμομεσογειακή ζώνη ή ζώνη της ελιάς-χαρουπιάς που εμφανίζεται κατά μήκος των ακτών της Νότιας και Ανατολικής Ελλάδας. Η φυσική βλάστηση της ζώνης κυριαρχείται από θερμόφιλους θάμνους, αγριελιά (*Olea europaea*) και σχίνο (*Pistacia lentiscus*)
2. Η Μεσο-μεσογειακή ζώνη που απαντά βορειότερα ή σε υψηλότερα υψόμετρα. Στη ζώνη αυτή κυριαρχούν σκληρόφυλλοι, αείφυλλοι θάμνοι όπως το πουρνάρι (*Quercus coccifera*), η κουμαριά (*Arbutus unedo*), το ρείκι (*Erica arborea*) κλπ.
3. Η Υπερμεσογειακή ζώνη ή ζώνη των φυλλοβόλων δρυών που εντοπίζεται σε μεγαλύτερα υψόμετρα και στο εσωτερικό της χώρας και κυριαρχείται από δύο διαπλάσεις, την ψευδομακκία και τα φυλλοβόλα δάση με βελανιδιές (*Quercus cerris*, *Q. frainetto*, *Q. pubescens* κλπ.)
4. Η Ορειομεσογειακή ζώνη όπου απαντώνται οι σημαντικότερες δασικές διαπλάσεις της χώρας όπως π.χ δάση με κυπαρίσσι (*Cupressus sempervirens*) στην Κρήτη, κεφαλληνιακής ελάτης (*Abies cephalonica*) και μαύρης πεύκης στη Ν. Ελλάδα (*Pinus nigra*) ενώ στην Κεντρική και Β. Ελλάδα, ευδοκιμούν δάση μαύρης πεύκης, δάση υβριδογενούς ελάτης (*Abies borisii-regis*), δάση οξιάς (*Fagus spp.*) και δάση με ρόμπολο (*Pinus heldreichii*).
5. Η Ανωδασική ζώνη που εμφανίζεται στα ψηλά βουνά, όπου η βλάστηση που κυριαρχεί συνίσταται σε χαμηλούς θάμνους και ποώδη φυτά.

1.6.1 Δείκτες βλάστησης

Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται στην έρευνα για τη χαρτογράφηση περιοχών με διαφοροποιημένη πυκνότητα φυτοκάλυψης. Οι δείκτες αυτοί είναι ποσοτικές εκφράσεις

που υπολογίζονται με βάση απλούς αλγεβρικούς τύπους, οι οποίοι στηρίζονται στις τιμές ανακλαστικότητας του κάθε εικονοστοιχείου στα βασικά κανάλια του ερυθρού και του εγγύς υπέρυθρου. Οι διαφορές της ανακλαστικότητας συσχετίζονται με διάφορα χαρακτηριστικά της βλάστησης όπως για παράδειγμα η πυκνότητα βιομάζας, υγρασία βλάστησης, υγιής βλάστηση (Karteris, 2004). Οι δείκτες βλάστησης έχουν διάφορα χαρακτηριστικά ανάλογα με το σκοπό για τον οποίο έχουν δημιουργηθεί. Κάποιοι έχουν δημιουργηθεί για να αντιστέκονται σε διαφόρους παράγοντες που μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα της πληροφορίας που καταγράφεται από τον αισθητήρα, όπως μεταξύ άλλων την επιρροή από το έδαφος και την ατμόσφαιρα. Ιδανικά, ένας δείκτης βλάστησης πρέπει να: μεγιστοποιεί την ευαισθησία στις βιοφυσικές παραμέτρους των φυτών. Αυτό είναι εφικτό μέσω μιας γραμμικής συσχέτισης με τις βιοφυσικές παραμέτρους σε ένα μεγάλο εύρος από καταστάσεις βλάστησης ώστε να διευκολύνεται η επικύρωση και βαθμονόμησή του. Επίσης, θα πρέπει να κανονικοποιεί τόσο εξωτερικές επιρροές (πχ γωνία του ήλιου, γωνία του αισθητήρα, ατμόσφαιρα) όσο και εσωτερικές επιρροές (πχ ποικιλομορφία των κομών των δέντρων, τοπογραφία) ώστε να διασφαλίζει συνεπείς χωρικές και χρονικές συγκρίσεις. Τέλος, θα πρέπει να είναι συνδεδεμένος με κάποιες ειδικές μετρήσιμες βιοφυσικές παραμέτρους όπως η βιομάζα ή ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας ώστε οι τιμές του να μπορούν να ελεγχθούν ποιοτικά και ποσοτικά μέσω σύγκρισης με επίγειες μετρήσεις (Jensen, 2005).

Οι δείκτες βλάστησης βρίσκουν εφαρμογή κυρίως σε τρία ερευνητικά πεδία: α) στον καθορισμό βιολογικών ιδιοτήτων των φυτών, β) ως χαρτογραφικά εργαλεία στο διαχωρισμό περιοχών με βλάστηση από άλλες χωρίς βλάστηση και γ) στη βελτίωση των μαθηματικών μοντέλων σε διαφορετικά περιβάλλοντα (Gibson and Power, 2000). Ανάμεσα στους πολυάριθμους δείκτες βλάστησης που υπάρχουν, αυτός που έχει χρησιμοποιηθεί περισσότερο στην παρακολούθηση της βλάστησης (Huete et al., 1985; Baret and Guyot, 1991) είναι ο Δείκτης Βλάστησης Κανονικοποιημένων Διαφορών (NDVI). Οι διαχρονικές εικόνες του δείκτη βλάστησης NDVI απεικονίζουν τις περιοχές με έντονη, αραιή ή καθόλου βλάστηση, χωρίς να διακρίνεται το είδος της βλάστησης και η ακριβής μεταβολή που επήλθε. Μαθηματικά ορίζεται ως ο λόγος της διαφοράς της ανάκλασης στο κοντινό υπέρυθρο και στο κόκκινο, προς το άθροισμα αυτών και παίρνει τιμές από -1

(καθόλου βλάστηση) μέχρι +1 (πλούσια βλάστηση). Υψηλές τιμές σχετίζονται με βλάστηση με μεγάλη φωτοσυνθετική δραστηριότητα, ενώ χαμηλές με μικρή δραστηριότητα. Έχει βρει πολλαπλές εφαρμογές στη διαχείριση περιβάλλοντος για την παρακολούθηση της δυναμικής της βλάστησης στο χρόνο, την παραγωγή βιομάζας, την επίδραση της βόσκησης σε σχέση με συστήματα βοσκής, στην ταξινόμηση της βλάστησης και των τύπων κάλυψης, στην εδαφική υγρασία, στη δέσμευση του άνθρακα και αλλού. Ανάμεσα στις αδυναμίες του NDVI είναι η επίδραση που μπορεί να έχουν οι ατμοσφαιρικές συνθήκες (πχ λεπτά σύννεφα) και η ατελής εδαφοκάλυψη στον υπολογισμό του. Τέλος, η σχέση του NDVI με τη βιομάζα είναι μη γραμμική σε περιοχές και αδυνατεί να ερμηνεύει το δείκτη φυλλικής επιφάνειας (LAI) πέρα από μια καθορισμένη τιμή (Huete et al., 1985). Γι' αυτό το λόγο έχουν προστεθεί τροποποιημένες μορφές του NDVI όπως ο Δείκτης Βλάστησης SAVI (Huete, 1988) και ο MSAVI, όπου μέσω της παραμέτρου L, υπεισέρχεται μια διορθωτική τιμή ως προς τον τύπο του εδάφους και την πυκνότητα της βλάστησης. Ο SAVI λαμβάνει τιμές στο ίδιο φάσμα όπως και ο NDVI από -1 ως +1 και για L=0, οι δύο δείκτες ταυτίζονται. Αυτός ο δείκτης έχει καλύτερη χρήση σε περιοχές με αραιή βλάστηση, όπου το έδαφος είναι ορατό από την κόμη.

Τέλος, για να αντιμετωπιστούν οι περιορισμοί του NDVI αναπτύχθηκε ως εναλλακτικός δείκτης ο βελτιωμένος δείκτης βλάστησης (Enhanced Vegetation Index (EVI)) με τιμές που κυμαίνονται από 0 έως 1. Ο τύπος υπολογισμού του είναι:

$$EVI = G \times \frac{(NIR - RED)}{(NIR + C1 \times RED - C2 \times Blue + L)}$$

τα NIR/red/blue είναι η διορθωμένη ή μερικώς διορθωμένη ανακλαστικότητα επιφανειών στην ατμόσφαιρα (Rayleigh και απορρόφηση του όζοντος),

L είναι η προσαρμογή ως προς το υπόστρωμα της κόμης που αναφέρεται στη μη γραμμική, διαφορική μεταφορά ακτινοβολίας NIR και red μέσω της κόμης

C1, C2 είναι οι συντελεστές του όρου αντίστασης σε αεροζόλ, ο οποίος χρησιμοποιεί τη μπλε ζώνη για να διορθώσει τις επιδράσεις του αερολύματος στην κόκκινη ζώνη.

Οι συντελεστές που υιοθετούνται στον αλγόριθμο MODIS-EVI είναι: $L = 1$, $C1 = 6$, $C2 = 7,5$ και G (παράγοντας αύξησης) = 2,5.

Στόχος είναι να αυξηθεί η ευαισθησία του δείκτη σε περιοχές με υψηλή βιομάζα, να μειωθούν οι επιδράσεις της ατμόσφαιρας και να διορθωθούν οι επιδράσεις του υποβάθρου της κόμης. Σε αντίθεση με τον NDVI που στηρίζεται κυρίως στην ποσότητα της χλωροφύλλης, ο δείκτης EVI συσχετίζεται περισσότερο με χαρακτηριστικά των φυτών, όπως η δομή της κόμης, η φυλλική επιφάνεια (leaf area index (LAI)) και η φαινολογία των φυτών. Το βασικότερο, ίσως, μειονέκτημα της εφαρμογής του είναι ότι χρειάζεται τον υπολογισμό της φασματικής ζώνης του μπλε, η οποία δεν είναι πάντα διαθέσιμη σε όλα τα δορυφορικά δεδομένα (Huete et al., 1988). Άλλοι δείκτες που έχουν προταθεί είναι ο EVI2, (Jiang et al., 2008), ο δείκτης Normalized Difference Moisture Index (NDMI) (Gao, 1996), ο Simple Vegetation Index (SVI) (Birth and McVey, 1968) και άλλοι.

Η βλάστηση παρακολουθείται από δορυφόρους που δίνουν δορυφορικές εικόνες μικρής κλίμακας για να παρέχουν γνώση για την κατάσταση των φυσικών οικοσυστημάτων, την παραγωγή των καλλιεργειών και την εκτίμηση του κινδύνου πυρκαγιάς (Katagis et al., 2006).

1.7 Τηλεπισκόπηση

Ως τηλεπισκόπηση ορίζεται η επιστήμη απόκτησης εξ' αποστάσεως ποιοτικής και ποσοτικώς μετρήσιμης πληροφορίας ενός αντικειμένου ή ενός φαινομένου, χωρίς δηλαδή να μεσολαβήσει φυσική επαφή με το υπό μελέτη αντικείμενο ή φαινόμενο. Για την τηλεπισκόπηση χρησιμοποιούνται καταγραφείς διαφόρων τεχνολογιών που καλούνται δέκτες μέσω των οποίων συλλέγεται και στην συνέχεια αναλύεται πληροφορία που αφορά αντικείμενα ή περιοχές (Miliarsis, 2003). Ανάλογα με τον τρόπο που τα συστήματα τηλεπισκόπησης συλλέγουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία διακρίνονται σε παθητικά και ενεργητικά. Τα παθητικά συστήματα καταγράφουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία φυσικά ενώ τα ενεργητικά λειτουργούν ταυτόχρονα και ως πηγές εκπέμποντας ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και αναλύοντας αυτήν που επιστρέφει πίσω.

Από τα πλέον διαδεδομένα συστήματα τηλεπισκόπησης είναι οι δορυφόροι. Κύρια χαρακτηριστικά των δορυφορικών εικόνων που παράγονται από τα συστήματα αυτά και αποτελούν ποιοτικά τους κριτήρια είναι:

Η χωρική διακριτική ικανότητα, δηλαδή το μέγεθος του Pixel

Η φασματική διακριτική ικανότητα, που καθορίζεται από το φάσμα του μήκους κύματος που μπορεί να καταγράψει σε bits

Η χρονική διακριτική ικανότητα που περιγράφει τη συχνότητα κάλυψης και συλλογής δεδομένων από ένα συγκεκριμένο τμήμα της γήινης επιφάνειας και

Η ραδιομετρική διακριτική τους ικανότητα, δηλαδή ο αριθμός διαφορετικών εντάσεων της ακτινοβολίας που μπορεί να διαχωρίσει ο καταγραφέας του συστήματος τηλεπισκόπησης.

1.7.1 Δορυφόρος TRMM

Ο δορυφόρος TRMM (Tropical Rainfall Measuring Mission) είναι μια κοινή αποστολή της NASA (National Aeronautics and Space Administration) και JAXA (Japan Aerospace Exploration Agency) που εκτοξεύθηκε στις 27 Νοεμβρίου 1997. Στόχοι της κοινής αυτής προσπάθειας είναι μέσω του TRMM να πραγματοποιηθεί λήψη και ανάλυση επιστημονικών δεδομένων που αφορούν τις τροπικές και τις υποτροπικές βροχές προκειμένου να γίνει κατανοητό πώς οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ του εδάφους, του αέρα και των ωκεανών προξενούν αλλαγές στην βροχόπτωση και το κλίμα σε παγκόσμια κλίμακα. Επιπλέον στόχος είναι η βελτιστοποίηση των μοντέλων που αφορούν στις τροπικές βροχοπτώσεις και στην επίδρασή τους στο παγκόσμιο κλίμα ώστε να διασφαλιστεί η πρόβλεψή τους χωροχρονικά.

Τέλος, στόχος είναι και η συμβολή στην εξέταση, βελτίωση και αξιολόγηση των δορυφορικών τεχνικών μέτρησης βροχόπτωσης.

Η τροχιά του TRMM είναι μια ασύγχρονη, κυκλική τροχιά του ήλιου. Από 22 Αυγούστου 2001 βρίσκεται σε υψόμετρο 402 km, με γωνία κλίσης 35° που του εξασφαλίζει χωρική

κάλυψη στα γεωγραφικά πλάτη από 35° Νότια έως 35° Βόρεια. Έτσι με 16 τροχιές την ημέρα, είναι εφικτή η ημερήσια κάλυψη ολόκληρων των τροπικών ζωνών καθώς και ενός κομματιού των εύκρατων ζωνών. Κάθε σημείο της Γης που καλύπτεται από το δορυφόρο σαρώνεται κάθε μέρα σε διαφορετική τοπική ώρα (TRMM, NASA).

Ο δορυφόρος TRMM φέρει 3 όργανα τα οποία συλλέγουν δεδομένα σχετικά με τις βροχοπτώσεις:

- Το όργανο VIRS (Visible and Infrared Scanner), ένα ραδιόμετρο που παρέχει δεδομένα σχετικά με τη νεφοκάλυψη, το είδος των σύννεφων και την θερμοκρασία σε αυτά
- Το όργανο TMI (TRMM Microwave Imager), ραδιόμετρο που παρέχει πληροφορίες για την ένταση και το είδος των βροχών
- Το όργανο PR (Precipitation Radar), ραντάρ που μετρά την τρισδιάστατη κατανομή της βροχής πάνω από το έδαφος αλλά και από τον ωκεανό
- Ο δορυφόρος TRMM φέρει επίσης δύο επιπλέον όργανα που παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την ενέργεια στην ατμόσφαιρα. Πιο συγκεκριμένα ο TRMM φέρει τα εξής όργανα:
 - Το LIS (Lightning Imaging sensor) που παρατηρεί την κατανομή και το είδος των κεραυνών στην ατμόσφαιρα της Γης
 - Το CERES (Clouds and the Earth's Radiant Energy System) που μετρά την εκλυόμενη και την ανακλώμενη ακτινοβολούμενη ενέργεια από την επιφάνεια της Γης και την ατμόσφαιρα και τα συστατικά της (π.χ. σύννεφα, αερολύματα κλπ.) (Parkinson, Ward and King, 2006)

1.7.2 Ο αισθητήρας MODIS

Το 1999 κατά την αποστολή της NASA Earth Observing System (EOS – Σύστημα παρατήρησης της Γης) τέθηκε σε τροχιά γύρω από τη Γη το διαστημικό σκάφος Terra, το οποίο μεταφέρει τον πρώτο παθητικό αισθητήρα MODIS (Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer) που αποδίδεται ως αισθητήρας Μέτριας Ανάλυσης Απεικονιστικού

Φασματο-ραδιομέτρου. Το δεύτερο όργανο πτήσης MODIS flight 1 είναι ενιαίο με το διαστημικό σκάφος Aqua (EOS OM-1) που εκτοξεύθηκε επιτυχώς στις 4 Μαΐου του 2002.

Ο δορυφόρος Terra έχει τροχιά συγχρονισμένη να περνά από βόρεια προς τα νότια εγκάρσια του Ισημερινού το πρωί, ενώ ο Aqua περνά από νότια προς τα βόρεια εγκάρσια του Ισημερινού το απόγευμα. Από το Φεβρουάριο του 2000 λαμβάνονται ημερησίως δεδομένα για όλη την επιφάνεια της Γης, τους ωκεανούς, την ατμόσφαιρα σε μέση χωρική διακριτική ικανότητα αλλά με υψηλή φασματική διακριτική ικανότητα και επαναληψιμότητα λήψεων. Πλέον με τα ραδιόμετρα MODIS συλλέγονται δεδομένα 4 φορές την ημέρα σε 36 φασματικές ζώνες και καλύπτεται όλη η επιφάνεια της γης σε μία ημέρα, με χωρική διακριτική ικανότητα 250m (VIS φασματικά κανάλια 1 και 2), 500m (NIR φασματικά κανάλια 3-7), 1km (φασματικά κανάλια 8-36) ενώ το εύρος κάλυψής του είναι 2.330 km. Ο αισθητήρας MODIS σαρώνει την γήινη επιφάνεια στη διάρκεια μιας ημέρας. Η υψηλή ακρίβεια του ραδιομέτρου MODIS, το καθιστά σημαντικό επιστημονικό εργαλείο για τη μελέτη της παγκόσμιας κλιματικής αλλαγής, αφού χρησιμοποιείται ευρέως για την αποτύπωση των ειδών κάλυψης γης και των μεταβολών της και ακόμη, επιτρέπει την παρατήρηση βιοφυσικών και βιοχημικών παραμέτρων των ωκεανών. Ιδιαίτερη σημασία για την παρούσα εργασία έχουν τα προϊόντα MOD13C2 και MYD13C2 των δορυφόρων Terra και Aqua αντίστοιχα, που χρησιμοποιούνται για την καταγραφή μηνιαίων τιμών των δεικτών βλάστησης NDVI και EVI (<http://terra.nasa.gov>).

1.7.3 Γεωγραφικό Σύστημα Πληροφοριών (Geographic Information System, GIS)

Τις τελευταίες δεκαετίες γίνεται ολοένα και συχνότερα λόγος για την εφαρμογή και την χρήση των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών σε διάφορους τομείς της καθημερινής ζωής του ανθρώπου.

Κατά τον Stefanakis (2003) πρόκειται για υπολογιστικά συστήματα σχεδιασμένα για να υποστηρίξουν τη διαχείριση, συλλογή, επεξεργασία, μοντελοποίηση, ανάλυση και απεικόνιση δεδομένων που αναφέρονται στο χώρο και μεταβάλλονται στο χρόνο. Είναι

μια συλλογή από λογισμικό και γεωγραφικά δεδομένα για συλλογή, ανάλυση, διαχείριση και οπτικοποίηση όλων των αναφερμένων πληροφοριών.

Ένα ΓΣΠ μπορεί να θεωρηθεί ότι αποτελείται από τα εξής υποσυστήματα:

Συλλογή και κωδικοποίηση των δεδομένων. Τα δεδομένα που αποθηκεύονται σ' ένα ΓΣΠ προέρχονται από διάφορες πηγές (π.χ. χάρτες, αεροφωτογραφίες, δορυφορικές εικόνες, πίνακες, κλπ.), αναφέρονται σε διαφορετικές θέσεις και χρονικές στιγμές και μπορεί να βρίσκονται σε αναλογική ή ψηφιακή μορφή.

Αποθήκευση και ανάκτηση των δεδομένων. Η διοίκηση γενικά των χωροχρονικών δεδομένων ενός ΓΣΠ γίνεται με τη χρήση ενός Συστήματος Διοίκησης Βάσεων Δεδομένων (Data Base Management System, DBMS), που επιτρέπει γρήγορο εντοπισμό τους από το χρήστη για ανάλυση, ακριβή αναβάθμιση και διόρθωση.

Χειρισμός και επεξεργασία των δεδομένων. Μερικές από τις επεξεργασίες είναι: μετατροπές στις δομές των δεδομένων, γεωμετρικές πράξεις στα χωρικά δεδομένα (στροφή υπό κάποια γωνία, αλλαγή της κλίμακας, αλλαγή του συστήματος συντεταγμένων, κλπ.), τοπογραφική ανάλυση των δεδομένων (γειτονικά χαρακτηριστικά, σύνδεσμοι, λανθασμένα χαρακτηριστικά, κλπ.), στατιστική ανάλυση και γεωστατιστική ανάλυση, μετρήσεις γραμμών και τόξων, ανάκτηση χωρικών και μη δεδομένων, κλπ.

Παρουσίαση των δεδομένων. Παρουσίαση των αποτελεσμάτων των επεξεργασιών σε χάρτες ή και πίνακες σε μια ποικιλία από μέσα, όπως χαρτί, διαφάνειες, οθόνες, μαγνητικά μέσα, με χρήση συσκευών όπως εκτυπωτές ακίδων, laser, inkjet, plotters.

Η χωρική πληροφορία διακρίνεται στα εξής τρία βασικά στοιχεία που είναι σημεία, γραμμές και επιφάνειες. Ο τρόπος με τον οποίο τα στοιχεία αυτά αναπαρίστανται καθορίζουν την προσέγγιση που ακολουθείται για την περιγραφή του φυσικού χώρου. Το λογισμικό σύστημα ενός Γ.Σ.Π. έχει δομηθεί με τέτοιο τρόπο ούτως ώστε να επεξεργάζεται με δύο συνιστώσες την χωρική αυτή πληροφορία. Αυτές οι δύο συνιστώσες είναι χωρική επεξεργασία της πληροφορίας σε μορφή διανυσματική (vector) και σε μορφή ψηφιδωτή (raster):

Διανυσματική μορφή: Στη διανυσματική μορφή η βασική λογική μονάδα είναι στο γεωγραφικό χώρο η γραμμή, που εκφράζεται από μια σειρά σημείων χ, ψ, ενώ οι

επιφάνειες εκφράζονται από σύνολο διαδοχικών γραμμικών τμημάτων που τις προσδιορίζουν.

Ψηφιδωτή μορφή: Στην ψηφιδωτή μορφή ο χώρος χωρίζεται σε χωρία κανονικού σχήματος (pixels), το καθένα από τα οποία αποτελεί βασική λογική μονάδα. Τα μοντέλα αυτής της κατηγορίας είναι τα πλέον κατάλληλα για την ψηφιακή καταγραφή μη διακριτών (συνεχών) φαινομένων – οντοτήτων. Η δομή raster είναι συνήθως αποτέλεσμα σάρωσης με τηλεπισκοπικές μεθόδους (δορυφορικές εικόνες).

Η τεχνολογία των Γ.Σ.Π. χρησιμοποιείται σε πλήθος εφαρμογών, για κάθε ζήτημα ανάλυσης και σχεδιασμού, όπου η παράμετρος «γεωγραφικός χώρος» υπεισέρχεται άμεσα ή έμμεσα (ζητήματα χωροταξίας, αστικής και περιφερειακής ανάλυσης και σχεδιασμού, διαχείρισης των φυσικών πόρων, οικολογικών ερευνών, κτηματολογίου κ.α.). Είναι δεδομένο πως ο χώρος, όπως επίσης και η έννοια της πληροφορίας που αναφέρεται σε χωρικά δεδομένα, είναι συνδεδεμένος με ένα μεγάλο κομμάτι των ανθρώπινων δραστηριοτήτων, ενώ σε επίπεδο οργάνωσης και λήψης αποφάσεων, σχεδόν κάθε επιλογή έχει άμεσο ή έμμεσο συσχετισμό με κάποιου είδους χωρική ανάλυση και σχεδιασμό.

Ενδεικτικά αναφέρονται μερικά επιστημονικά πεδία στα οποία τα Γεωγραφικά Συστήματα Πληροφοριών μπορούν να συμβάλλουν ως ολοκληρωμένα εργαλεία χωρικής ανάλυσης και σχεδιασμού:

Περιφερειακός Προγραμματισμός – Σχεδιασμός: χωρική ανάλυση περιφερειακών ανισοτήτων, διαχείριση ολοκληρωμένων αναπτυξιακών προγραμμάτων και βάσεων κοινωνικό-οικονομικών δεδομένων, επενδυτικά σχέδια και εναλλακτικές στρατηγικές, χωροθετήσεις - κατανομές οικονομικών δραστηριοτήτων, αξιολόγηση περιφερειακών και τοπικών αναπτυξιακών προγραμμάτων, συστήματα λήψης αποφάσεων.

Αστικός Προγραμματισμός – Σχεδιασμός: χωρική ανάλυση αστικών περιοχών, δήμων, γειτονιών, διαχείριση ολοκληρωμένων προγραμμάτων αστικής ανάπτυξης, πολιτική αναπλάσεων, πολιτική χρήσεων γης, δόμηση, κτηματολόγιο.

Συγκοινωνίες – Μεταφορές: διαχείριση συστημάτων μεταφορών (οδικών, ακτοπλοϊκών, αεροπορικών), διαχείριση αστικών συγκοινωνιών, πολιτική πρόληψης ατυχημάτων, κ.α.

Τεχνική υποδομή: διαχείριση δικτύων ύδρευσης, αποχέτευσης, ενέργειας, τηλεπικοινωνιών, προσδιορισμός περιοχών εξυπηρέτησης, χωροθετήσεις-κατανομές, κ.α.

Περιβάλλον: διαχείριση οικοσυστημάτων, πολιτικές προστασίας και πρόληψης, συστήματα λήψης αποφάσεων και εκτίμηση επιπτώσεων, υποδείγματα αλληλεπιδράσεων οικονομικών και περιβαλλοντικών συστημάτων, επιχειρησιακή έρευνα.

Φορολογία: φορολογία ακίνητης περιουσίας, διαχείριση φορολογικών στοιχείων.

Εκπαίδευση και Υγεία – Πρόνοια: πολιτική διαχείρισης παροχών εκπαίδευσης, υγείας-πρόνοιας, περιοχές ειδικών χαρακτηριστικών, χωροθετήσεις-κατανομές κέντρων εξυπηρέτησης, περιοχές εξυπηρέτησης κ.α.

Πυροσβεστική, Δασική Υπηρεσία, Αστυνομία: πολιτικές πρόληψης και αντιμετώπισης εκτάκτων αναγκών, ελαχιστοποίηση διαδρομών, κόστους κ.α.

Ανάλυση Αγοράς: Ανάλυση καταναλωτικής συμπεριφοράς, συστήματα λήψης αποφάσεων.

Αγορά Εργασίας: χωρική ανάλυση αγορών εργασίας, σύζευξη προσφοράς – ζήτησης, πολιτικές απασχόλησης, ανεργίας και επαγγελματικής κατάρτισης, κινητικότητα εργατικού δυναμικού, μετακινήσεις τόπου εργασίας-κατοικίας.

Δίκτυα διανομών, πωλήσεων και χωροθετήσεις κατανομών: ανάλυση και διαχείριση δικτύων διανομών προϊόντων και υπηρεσιών, αριστοποίηση διαδρομών, τροφοδοσίας, χωροθετήσεις κέντρων παροχών.

Τα ανωτέρω πεδία εφαρμογών δείχνουν το ευρύ φάσμα δυνατοτήτων ανάπτυξης των Γεωγραφικών Συστημάτων Πληροφοριών. Δεδομένης της συνθετότητας των αναπτυξιακών προβλημάτων στις πόλεις και στις περιφέρειες, τα Γ.Σ.Π. μπορούν να συμβάλλουν στην ενιαία καταγραφή, οργάνωση, διαχείριση και ανάλυση των κοινωνικοοικονομικών δεδομένων, ως προϋποθέσεις για τις διαδικασίες λήψης αποφάσεων στην αστική και περιφερειακή ανάπτυξη.

Κεφάλαιο 2

Βιβλιογραφική ανασκόπηση

2.1 Εισαγωγή

Η βροχή μεταβάλλεται γεωγραφικά, χρονικά και εποχιακά. Αυτή η χωροχρονική μεταβολή της βροχής είναι και η βασική συνιστώσα για όλες τις μελέτες που σχετίζονται με την αξιοποίηση και τη διαχείριση των υδατικών πόρων και τις υδρολογικές μελέτες. Ως εκ τούτου θα πρέπει να υπάρχει κατά το δυνατό σαφέστερη εικόνα ως προς τη χωροχρονική διακύμανση των βροχοπτώσεων στον ελλαδικό χώρο.

Κατ' αναλογία και η κατάσταση της βλάστησης είναι μια χωροχρονικά μεταβαλλόμενη παράμετρος με μεγάλη σημασία, ιδιαίτερα για τον ελλαδικό χώρο, επειδή συνδέεται άμεσα με δύο πολύ σημαντικές παραμέτρους: α) Με τον κίνδυνο έναρξης πυρκαγιάς, καθώς και β) με την παραγωγή των γεωργικών προϊόντων. Η παρακολούθηση της βλάστησης με δορυφορικά δεδομένα πραγματοποιείται συνήθως χρησιμοποιώντας δείκτες βλάστησης, οι οποίοι είναι φασματικοί μετασχηματισμοί από δύο ή περισσότερους διαύλους. Η χρησιμότητα των δεικτών βλάστησης είναι πολύ μεγάλη, καθώς επιτρέπουν εύκολο υπολογισμό και ερμηνεία των αποτελεσμάτων και ταυτόχρονα ελαχιστοποιούνε ραδιομετρικές, ατμοσφαιρικές και τοπογραφικές επιρροές.

Σκοπός του κεφαλαίου αυτού είναι να γίνει μια ιστορική και βιβλιογραφική ανασκόπηση των εργασιών που έχουν πραγματοποιηθεί σε αυτό το πεδίο μελέτης.

2.2 Ιστορική αναδρομή

Ήδη από τη δεκαετία του 1960 πραγματοποιήθηκαν αρκετές προσπάθειες με σκοπό την διερεύνηση της δυνατότητας χρήσης των ηλεκτρονικών υπολογιστών για τον χειρισμό και

την αξιοποίηση των γεωγραφικών δεδομένων προκειμένου να αυτοματοποιηθούν διαδικασίες που ο άνθρωπος έκανε έως τότε χειροκίνητα. Δεδομένου ότι η επεξεργασία και η ανάλυση των χαρτών ιδιοχείρως είναι μια επίπονη εργασία, τα Γ.Π.Σ. αναγνωρίστηκαν ως ένα εργαλείο που θα επέτρεπε στους γεωγράφους να υλοποιούν μεθόδους που παλιότερα ήταν αρκετά κουραστικοί, σύνθετοι, και δαπανηροί για να επιτευχθούν. Με την εφαρμογή τους ο υπολογισμός αποστάσεων μπορεί πλέον να πραγματοποιηθεί εύκολα και γρήγορα με την εισαγωγή των κατάλληλων δεδομένων εισόδου (Bernherdson, 1992). Τα Γ.Π.Σ. εμφανίστηκαν για πρώτη φορά ως βιώσιμο εμπορικό λογισμικό προϊόν στα τέλη της δεκαετίας του 1970. Σήμερα, σχεδόν κάθε ερευνητής που ασχολείται με θέματα που σχετίζονται με γεωγραφικές πληροφορίες, έχει εξοικειωθεί με την έννοια των Γ.Π.Σ. και τα χαρακτηριστικά τους. Τα Γ.Π.Σ. υιοθετήθηκαν και χρησιμοποιήθηκαν ευρέως σαν ερευνητικά εργαλεία σε πολλούς τομείς, όπως στην αρχαιολογία, την εγκληματολογία, την επιδημιολογία, την οικολογία, αλλά και σε άλλες δραστηριότητες της καθημερινότητας. Τα Συστήματα Γεωγραφικών Πληροφοριών (Geographical Information System – GIS) παρουσιάζουν τεράστια ανάπτυξη τα τελευταία χρόνια και χρησιμοποιούνται ολοένα και περισσότερο (Zisou, 2007) για να εξυπηρετήσουν τις απαιτήσεις που προέκυψαν από τον μεγάλο όγκο στοιχείων που ήταν διαθέσιμα και έπρεπε να επεξεργαστούν και να τροποποιηθούν με πολλές, διαφορετικές και σύνθετες διαδικασίες (Maniatis, 1996).

Κατά την τελευταία δεκαετία, η έρευνα έχει αυξηθεί σημαντικά στη χρήση των GIS σε μια ποικιλία από εφαρμογές που αφορούν την επεξεργασία κλιματολογικών και μετεωρολογικών δεδομένων (Kolios et al., 2017).

Η παρακολούθηση και εκτίμηση των διαχρονικών αλλαγών της κατάστασης της βλάστησης άρχισε από τις πρώτες εκτοξεύσεις των δορυφόρων της σειράς Landsat. Από το 1960 οι επιστήμονες εξάγουν και μοντελοποιούν ποικίλες βιοφυσικές παραμέτρους χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικά δεδομένα (Houborg et al., 2015). Στη δασοπονία, στη γεωργία και την οικολογία, τα ΓΠΣ έχουν χρησιμοποιηθεί για τον καθορισμό κλιματικών ζωνών, για την επιλογή του καταλληλότερου τόπου για αναδάσωση, για την πρόβλεψη των αποδόσεων και αλλού (Ellis et al., 2000; Chapman and Thornes, 2003).

2.3 Τηλεπισκόπηση και βροχόπτωση

Ο εντοπισμός τάσεων στις χρονοσειρές των βροχοπτώσεων είναι ζωτικής σημασίας για τον σχεδιασμό της διαχείρισης των περιφερειακών υδάτινων πόρων αλλά και των επιπτώσεων της κλιματικής αλλαγής (Charman and Thornes, 2003; Karpouzos, Kavalieratou and Babajimopoulos, 2010). Η τηλεπισκόπηση έχει βρει πολυάριθμες εφαρμογές σε μελέτες που αφορούν τον υπολογισμό και τις επιδράσεις της βροχόπτωσης. Μια μεθοδολογία που συμβάλει στη δημιουργία ακριβέστερων και αντικειμενικότερων μηνιαίων και ετήσιων κλιματολογικών χαρτών της θερμοκρασίας του αέρα και της βροχόπτωσης, προτείνεται από τους Ninyerola, Pons και Roure (2000) στην Καταλονία. Η προτεινόμενη μεθοδολογία ενσωματώνει τεχνικές στατιστικής και GIS και οι ψηφιακοί χάρτες που μπορούν να ενημερώνονται αυτόματα με βάση τα νέα μετεωρολογικά δεδομένα. Ομοίως, οι Zhang και Srinivasan (2010), στις ΗΠΑ προτείνουν νέα μέθοδο εκτίμησης της χωρικής κατακρημνίσεως με βάση το GIS χρησιμοποιώντας δεδομένα ραντάρ επόμενης γενιάς και δεδομένα rain gauge.

Τα γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών έχουν βρει εφαρμογή σε ερευνητικές εργασίες που έχουν μελετήσει τη συσχέτιση της βροχόπτωσης και της τοπογραφίας μιας περιοχής στην Ιταλία (Diodato, 2005), στην Ισπανία και στο Άνω Πακιστάν για γεωγραφικές μελέτες επιπτώσεων στην κλιματική αλλαγή (Marquínez, Lastra and García, 2003; Ashiq et al., 2010).

Η συσχέτιση της βροχόπτωσης και του ρυθμού διάβρωσης του εδάφους με τη χρήση GIS έχει μελετηθεί στη λεκάνη απορροής του «Γιαλιάς» στην Κύπρο (Alexakis, Hadjimitsis and Agariou, 2013).

Στον Καναδά, οι Tsanis και Gad (2001) μοντελοποίησαν τα δεδομένα βροχόπτωσης που συλλέχθηκαν με GIS ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αναγνώριση χαρακτηριστικών καταιγίδας από ένα σύνολο βροχοπτώσεων μέσω οπτικοποίησης. Αναπτύχθηκε μια αυτοματοποιημένη διαδικασία που χρησιμοποιεί την τεχνολογία Mpeg

και εμφανίζει τις καταιγίδες ως μια ακολουθία ταινιών προκειμένου να αναλύσει τα χαρακτηριστικά της καταιγίδας, δηλαδή την ταχύτητα και την κατεύθυνσή της.

Στον Ελλαδικό χώρο, οι Naoum και Tsanis (2004) επιχείρησαν να μοντελοποιήσουν την ορογραφική βροχόπτωση στην Ν. Κρήτη με βάση των GIS και μια τεχνική πολλαπλής γραμμικής παλινδρόμησης. Οι Kargrouzos, Kavalieratou και Babajimopoulos (2010) διερεύνησαν τη χρονική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης στη Βόρεια Ελλάδα, στο νομό Πιερίας, προκειμένου να συμβάλουν στην καλύτερη ερμηνεία της υδρολογικής κατάστασης της περιοχής μελέτης με δεδομένα της βροχόπτωσης να αναφέρονται στην περίοδο 1974-2007 και εντόπισαν αξιοσημείωτη μείωση της βροχόπτωσης την άνοιξη. Ανάλογη μελέτη έχει γίνει και στο νομό Κορινθίας (Ν.Α. Ελλάδα) με στόχο τον προσδιορισμό των παραμέτρων της υδρολογικής ισορροπίας σε διάφορες λεκάνες του νομού. Οι μεγαλύτερες ποσότητες βροχοπτώσεων εμφανίζονται στο Ν.Δ. τμήμα της περιοχής και μειώνονται προς τα ανατολικά και βόρεια παράκτια τμήματα με αποτέλεσμα το πλεόνασμα του νερού στο δυτικό τμήμα του νομού Κορινθίας και το έλλειμμα νερού στα ανατολικά (Voudouris, Mavrommatis and Antonakos, 2007).

Οι Kolios και Kalimeris (2017) μελέτησαν τη χωροχρονική διακύμανση των μοντέλων βροχοπτώσεων στο ελληνικό τμήμα του Ιονίου και της παράκτιας ζώνης της Δυτικής Ελλάδας, για την περίοδο 1998- 2013. Τα αποτελέσματα υπογραμμίζουν αξιοσημείωτη γεωγραφική συμπεριφορά σε ετήσια βάση με τη βροχόπτωση να έχει σημαντικά μεγαλύτερα ύψη στα βορειότερα τμήματα. Εν γένη η ετήσια βροχόπτωση βαίνει μειούμενη.

2.4 Τηλεπισκόπηση και βλάστηση

Η τηλεπισκόπηση έχει καταστεί ένα σημαντικό εργαλείο για την παρακολούθηση της κατάστασης της βλάστησης (Xinmei et al., 1993; Guillevic et al., 2002; Bounoua et al., 2000; Wang et al., 2006) και έχει βρει σημαντικές εφαρμογές όπως παραδείγματος χάριν η παρακολούθηση και εκτίμηση των διαχρονικών αλλαγών και εξελίξεων στη χαρτογράφηση της καύσιμης ύλης και των καμένων εκτάσεων (Ellis et al, 2000; Chapman

and Thornes, 2003). Πολλές από αυτές τις προσπάθειες οδήγησαν στην παραγωγή δεικτών βλάστησης και σε μεταξύ τους συγκρίσεις (Vaioroulos et al., 2004; Ji and Peters, 2007). Οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται για να ποσοτικοποιήσουν τη χωρική κατανομή της βλάστησης, να ανιχνεύσουν διάφορα γεγονότα (π.χ. ξηρασία, διασπορά ασθένειας, αύξηση της βλαστητικής δραστηριότητας μετά από βροχοπτώσεις) ή να μετρήσουν χαρακτηριστικά της βλάστησης όπως ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index), το ποσοστό κάλυψης της υγιούς βλάστησης (Fractional Vegetation Cover), το κλάσμα της ενεργού φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας που απορροφάται από τη βλάστηση (fAPAR), τα αποθέματα και τη ροή του άνθρακα και άλλα (Gibson and Power, 2000).

Η χρήση των δεικτών βλάστησης στην τηλεπισκόπηση βασίζεται στο εξής γεγονός: Όταν το φύλλωμα που περιέχει χλωροφύλλη καταστρέφεται, τότε η αναλογία κόκκινης και της κοντινής υπέρυθρης ακτινοβολίας αλλάζει (Tucker, 1979; Gong and Xu, 2003). Η συσχέτιση της φωτοσυνθετικής δραστηριότητας και των δεικτών βλάστησης έχει μελετηθεί ευρέως στα πλαίσια της παρακολούθησης του περιβάλλοντος με τηλεπισκόπηση (Tucker et al., 1991). Στην τηλεπισκόπηση οι δείκτες βλάστησης χρησιμοποιούνται συχνά ως ποιοτικά εργαλεία για τη χαρτογράφηση της βλάστησης, ως ποσοτικά εργαλεία στην ταξινόμηση μίας εικόνας για το διαχωρισμό των εκτάσεων με βλάστηση και χωρίς αλλά και ως βοηθητικά εργαλεία για τον ακριβέστερο καθορισμό των διαφόρων τύπων και πυκνοτήτων βλάστησης (Campbell, 1996). Επιπλέον, σημαντική είναι και η χρησιμοποίησή τους σε διάφορα χρονικά διαστήματα για την παρακολούθηση της βλάστησης στις εποχές του χρόνου ή στις συγκρίσεις μεταξύ διαφορετικών ετών όσον αφορά την υγεία της βλάστησης, την ποσότητα και την κατανομή της (Gibson and Power, 2000). Οι δείκτες βλάστησης έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην παρακολούθηση της βλάστησης, επειδή συσχετίζονται με διάφορες παραμέτρους που περιγράφουν την κατάσταση της βλάστησης, όπως: Ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (LAI), η φαινολογία της βλάστησης, το κλάσμα της ενεργού φωτοσυνθετικής ακτινοβολίας που απορροφάται από τη βλάστηση (fAPAR), την πυκνότητα της βλάστησης, την ξηρότητα και την υγεία της φυσικής και διαχειριζόμενης βλάστησης (Moran et al., 1994; Silleos et al., 2002; Zhang et al., 2003; Alexandridis, Gitas and Silleos, 2008). Συμφωνα με τη βιβλιογραφία ο βελτιωμένος δείκτης βλάστησης πλεονεκτεί έναντι του κανονικοποιημένου δείκτη

βλάστησης δεδομένου ότι λαμβάνει υπόψη του τα σήματα υποβάθρου στα περισσότερα οικοσυστήματα (Salinas-Zavala et al., 2002; Deng, Su and Liu, 2007)

Πλήθος μελετών έχουν εκπονηθεί προκειμένου να μελετηθεί η σχέση βροχόπτωσης και βλάστησης (Knapp et al., 2002; Weltzin et al., 2003; Fang et al., 2005; Brunsell, 2006; Pennington and Collins, 2007). Ο Ainong και η ερευνητική του ομάδα (2004), αξιοποίησαν τα δεδομένα βλάστησης (EVI) και βροχόπτωσης προκειμένου να αναλυθεί η οικολογική και περιβαλλοντική ευπάθεια στην κοιλάδα του ποταμού Minjiang, στην Κίνα. Ομοίως, συσχέτιση της βλάστησης και βροχόπτωσης με τη βοήθεια GPS αξιολογήθηκε στα πλαίσια οικολογικής μελέτης που έγινε στην περιοχή των μουσώνων της Βόρειας Αμερικής, στο βορειοδυτικό Μεξικό. Η μελέτη αυτή έδειξε ότι στην περιοχή, η εποχική βροχόπτωση κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού συνοδεύεται από σημαντικές μεταβολές του δείκτη EVI που συνεπάγεται και σημαντική μεταστροφή στις διαδικασίες των υφιστάμενων οικοσυστημάτων (Méndez-Barroso et al., 2009).

Στην Ινδονησία πραγματοποιήθηκε μελέτη με στόχο να διερευνήσει την εποχική μεταβλητότητα της βροχόπτωσης, της ξηρασίας και του δείκτη βλάστησης στους ορυζώνες με βάση δεδομένα τηλεπισκόπησης. Η εποχική μεταβλητότητα των βροχοπτώσεων και ξηρασίας σε συνδυασμό με τις αιχμές που εμφανίζει ο EVI μπορεί να συμβάλουν στην αύξηση της παραγωγής ρυζιού (Darmawan et al., 2014). Σε έρευνα που έγινε στην Κίνα χρησιμοποιώντας τα δεδομένα MODIS/NDVI και EVI έδειξε καλύτερη συσχέτιση μεταξύ του NDVI και της ετήσιας βροχόπτωσης (Hongbo et al., 2010).

Στην ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, πραγματοποιείται μελέτη για την αξιολόγηση των επιπτώσεων της ξηρασίας, λαμβάνοντας υπόψη τις επιπτώσεις της στη βλάστηση. Οι χωρικές και εποχιακές διαφορές που εντοπίζονται θα πρέπει να ληφθούν υπόψη για τη διαχείριση της φυσικής βλάστησης και των καλλιεργειών προκειμένου να αναπτυχθούν στρατηγικές που θα αμβλύνουν το πρόβλημα της ξηρασίας (Vicente-Serrano, 2007). Ανάλογη μελέτη συνεκτίμησε με τη χρήση δεικτών βλάστησης την εξαμυσοδιαπνοή και υδατική ισορροπία σε κλιματικές βαθμίδες στη Μεσόγειο (Anderson, Jin and Goulden, 2012).

Στην Ελλάδα οι Koutsias και Karteris (2003), αξιοποίησαν δεδομένα βλάστησης και βροχόπτωσης για την διαχείριση της βλάστησης σε δασικά οικοσυστήματα στη Χαλκιδική προκειμένου να μειωθούν οι πιθανότητες εκδήλωσης πυρκαγιάς. Στα πλαίσια μελέτης που πραγματοποιήθηκε στην Κρήτη αξιοποιήθηκαν μεταξύ άλλων και δεδομένα βροχόπτωσης και κάλυψης του εδάφους με βλάστηση προκειμένου να υπολογιστεί ο ρυθμός διάβρωσης των εδαφών στο Νομό Χανίων (Kouli, Soupios and Vallianatos, 2009).

Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στη Λίμνη Πλαστήρα και αφορούσε τις αλλαγές στη χρήση της γης, καταγεγραμμένες αλλαγές της βλάστησης συσχετίστηκαν με μια σειρά περιβαλλοντικών και ανθρώπινων παραμέτρων όπως η βροχόπτωση, η θερμοκρασία, οι ειδικές χρήσεις γης και η τοπογραφία για τον εντοπισμό των κυρίαρχων παραγόντων των προαναφερθεισών αλλαγών. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι οι διακυμάνσεις της βροχόπτωσης και της θερμοκρασίας συσχετίζονται έντονα με τις συνθήκες βλάστησης, ενώ όσον αφορά τις τοπογραφικές παραμέτρους, η όψη και η κλίση επηρεάζουν κυρίως τον συγκεκριμένο δείκτη βλάστησης (NDVI) στην περιοχή μελέτης (Markogianni, Dimitriou and Kalivas, 2013).

Τέλος, οι Feidas et al. (2014) παρουσίασαν στη μελέτη τους μια μεθοδολογία για τη μοντελοποίηση και χαρτογράφηση των εποχικών και ετήσιων κλιματικών συνθηκών θερμοκρασίας, αέρα και βροχοπτώσεων στην Ελλάδα με διάφορες τοπογραφικές και γεωγραφικές παραμέτρους. Ο κανονικοποιημένος δείκτης βλάστησης διαφοράς (NDVI) που λαμβάνεται από δορυφορικά δεδομένα MODIS Aqua χρησιμοποιείται επίσης ως γεωγραφική παράμετρος. Τα προτεινόμενα μοντέλα λειτουργούν καλύτερα για τις ετήσιες και τις ανοιξιότικες θερμοκρασίες και αποτελεσματικά για τις χειμερινές και τις φθινοπωρινές θερμοκρασίες. Ως προς τη βροχόπτωση καλύτερα προσομοιώνεται η καλοκαιρινή και φθινοπωρινή βροχόπτωση σε σχέση με την χωρική κατανομή της βροχής την άνοιξη.

Ένας σημαντικός αριθμός μελετών αναδεικνύουν το εύρος και τη δυνατότητα εφαρμογών των ΓΠΣ για την ανάδειξη χωροχρονικών μεταβολών της βροχόπτωσης και της

βλάστησης. Στόχος της παρούσας μελέτης είναι να αξιοποιήσει την ήδη υπάρχουσα γνώση και να αξιολογήσει τα επιστημονικά ευρήματα προκειμένου να στοιχειοθετήσει τη δυνατότητα αξιοποίησής τους για τον εντοπισμό χωροχρονικών μεταβολών της βροχόπτωσης και του δείκτη βλάστησης EVI στον Ελλαδικό χώρο.

Κεφάλαιο 3

Μεθοδολογία

3.1 Σκοπός

Σκοπός της παρούσας μεταπτυχιακής διατριβής είναι να γίνουν αναλύσεις στις χωροχρονικές μεταβολές και στις συσχετίσεις μεταξύ των παραμέτρων της βροχόπτωσης και της βλάστησης, ώστε μέσα από τη χρονική τους εξέλιξη και τη μεταξύ τους σύγκριση να εντοπιστούν επιμέρους μεταβολές ετήσιες, εποχικές ή και μηνιαίες αλλά και σχέσης αμφίδρομου επηρεασμού τους.

3.2 Δεδομένα

Για τις ανάγκες της μελέτης συλλέχθηκαν δεδομένα που αφορούσαν την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου, η οποία ορίστηκε ανάμεσα στις συντεταγμένες 10W, 25N, 43E και 50N. Τα αρχικά δεδομένα προήλθαν από έλευθερη βάση δεδομένων της NASA «EarthData».

Τα δεδομένα ημερήσιας βροχόπτωσης συλλέχθηκαν από τον δορυφόρο TRMM ενώ τα δεδομένα της βλάστησης, εκφρασμένα με τη μορφή του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (Enhanced Vegetation Index) (EVI), συγκεντρώθηκαν από τον αισθητήρα MODIS των δορυφόρων Terra και Aqua έχοντας την κωδικοποίηση MOD13C2 και MYD13C2 αντίστοιχα. Τα δεδομένα που συγκεντρώθηκαν έχουν προέλθει από τον ιστότοπο <https://giovanni.gsfc.nasa.gov> και αφορούν μία περίοδο μεγαλύτερη των 12 ετών, από τον Δεκέμβριο του 2002 έως και τον Δεκέμβριο του 2016.

Προκειμένου να μπορέσουν να γίνουν αναλύσεις πάνω στις χωροχρονικές μεταβολές αλλά και στις συσχετίσεις μεταξύ των δύο παραμέτρων απαραίτητη προϋπόθεση είναι τα αρχικά δεδομένα να μετατραπούν σε μία μορφή εύκολα επεξεργάσιμη και εύκολα συγκρίσιμη. Συνεπώς, τα δεδομένα που αρχικά συλλέχθηκαν με τη μορφή .NETcdf

χρειάστηκε να μετατραπούν σε αρχεία .tif που είναι πιο εύκολα διαχειρίσιμα.

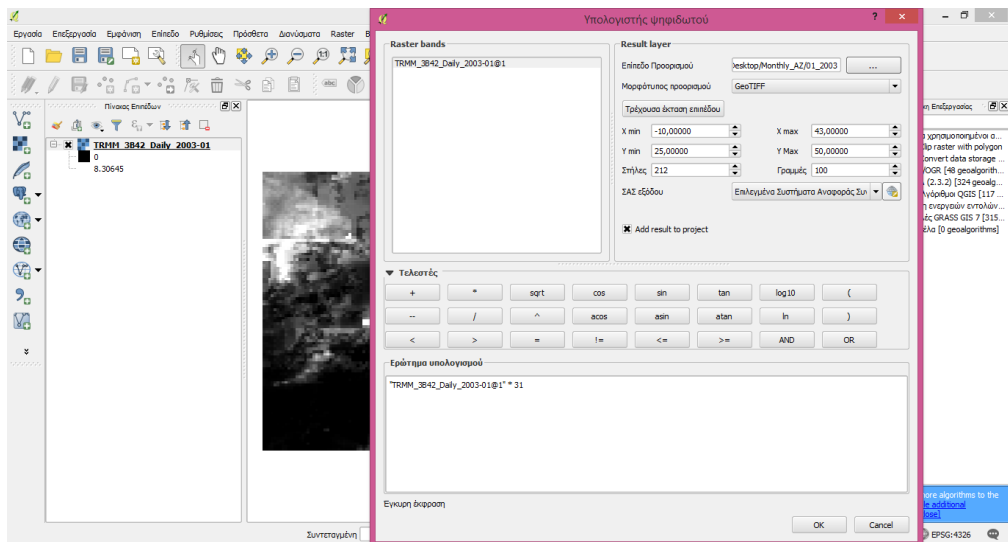
3.3 Προγράμματα που χρησιμοποιήθηκαν

Η σύνδεση των δεδομένων πραγματοποιήθηκε με το λογισμικό QGIS για την δημιουργία χαρτών ίδιων διαστάσεων και την εξαγωγή των αποτελεσμάτων. Γραφική απεικόνιση των μεταβολών της βροχόπτωσης και της βλάστησης καθώς και των μεταξύ τους συσχετίσεων έγινε με χρήση του λογισμικού Microsoft Office Excel 2010 ενώ για την στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων που προέκυψαν στα πλαίσια της συγκεκριμένης εργασίας, χρησιμοποιήθηκε το στατιστικό πακέτο Analyse-it. Η χρήση του συγκεκριμένου πακέτου αφορούσε τόσο την περιγραφική στατιστική, με την οποία δόθηκε μια εικόνα του δείγματος των παραμέτρων που μελετήθηκαν, όσο και την αντίστοιχη γραφική απεικόνιση. Για την υποστήριξη των αποτελεσμάτων έγινε βιβλιογραφική έρευνα. Κριτήριο για την επιλογή των εργασιών που αξιοποιήθηκαν στη βιβλιογραφική έρευνα αποτέλεσε πρωτίστως η δημοσίευσή τους σε έγκριτα επιστημονικά περιοδικά από διεθνείς αναγνωρισμένους οίκους όπως πχ Elsevier, Springer, Taylor and Francis, NovaPublishers, κ.α. και δευτερευόντως ο αριθμός των αναφορών κάθε εργασίας ενώ ανά περίπτωση συνυπολογίστηκε και ο συντελεστής βαρύτητας (Impact Factor) του επιστημονικού περιοδικού στο οποίο δημοσιεύτηκε η εργασία προκειμένου να διασφαλιστεί η έγκυρη διεξαγωγή συμπερασμάτων.

3.4 Διαδικασία QGIS

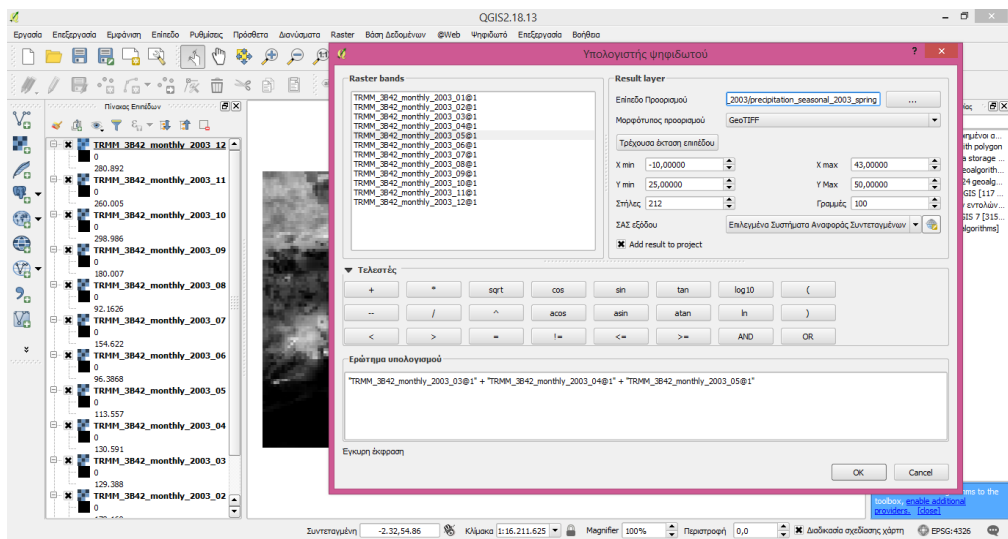
Όπως προαναφέρθηκε τα αρχεία με τα δεδομένα της βροχόπτωσης και του δείκτη EVI μετατράπηκαν σε αρχεία τύπου tif. Εν συνεχεία με τη βοήθεια του raster calculator υπολογίστηκαν για τη βροχόπτωση μηνιαίες, εποχικές και ετήσιες τιμές και για τον δείκτη βλάστησης EVI μέσες μηνιαίες, μέσες εποχικές και μέσες ετήσιες τιμές αντίστοιχα.

Για τον υπολογισμό της μηνιαίας βροχόπτωσης στο raster calculator πολλαπλασιάστηκε η μέση ημερήσια τιμή, όπως αυτή προέκυψε από το αρχείο τύπου raster TRMM_xx_Daily_xxxx-xx, επί 28,29, 30 ή 31 ανάλογα με τις ημερολογιακές ημέρες κάθε μήνα (Εικόνα 4).



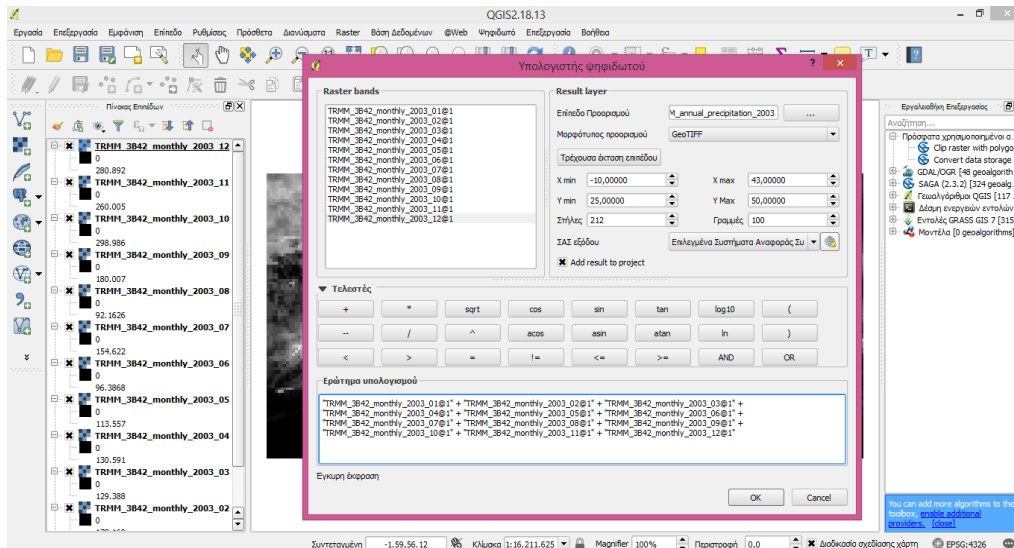
Εικόνα 4. Υπολογισμός της μηνιαίας βροχόπτωσης στο raster calculator για τον μήνα Ιανουάριο του 2003.

Κατ' αναλογία, η εποχική βροχόπτωση για κάθε έτος υπολογίστηκε στο raster calculator προσθέτοντας τον Δεκέμβρη του προηγούμενου έτους, τον Ιανουάριο και τον Φεβρουάριο για τον χειμώνα, τον Μάρτιο τον Απρίλιο και τον Μάιο για την άνοιξη, τον Ιούνιο, τον Ιούλιο και τον Αύγουστο για το καλοκαίρι και τον Σεπτέμβριο, τον Οκτώβριο και τον Νοέμβριο για το φθινόπωρο (Εικόνα 5).



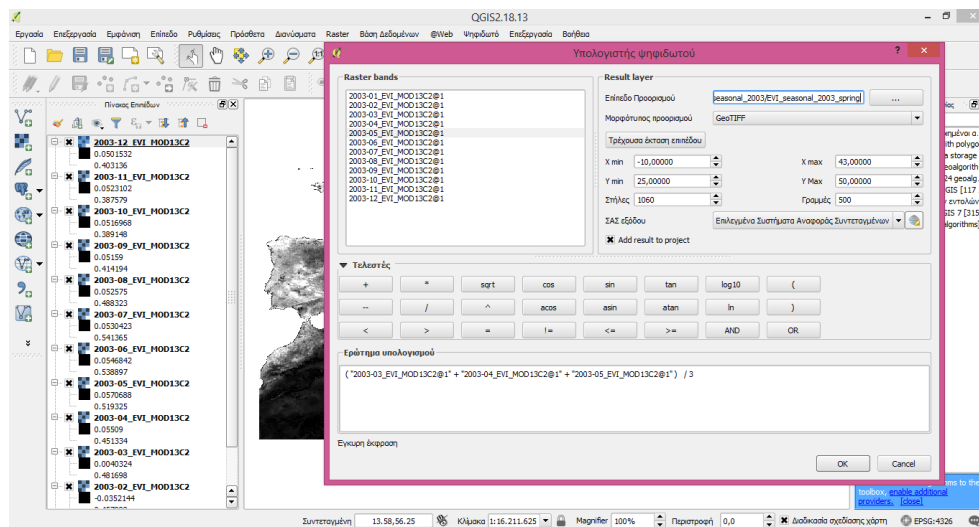
Εικόνα 5. Υπολογισμός της εποχικής βροχόπτωσης στο raster calculator για την άνοιξη του 2003.

Τέλος, για τον υπολογισμό της ετήσιας τιμής προστέθηκαν στο raster calculator οι μηνιαίες τιμές κάθε έτους όπως φαίνεται στην Εικόνα 6.



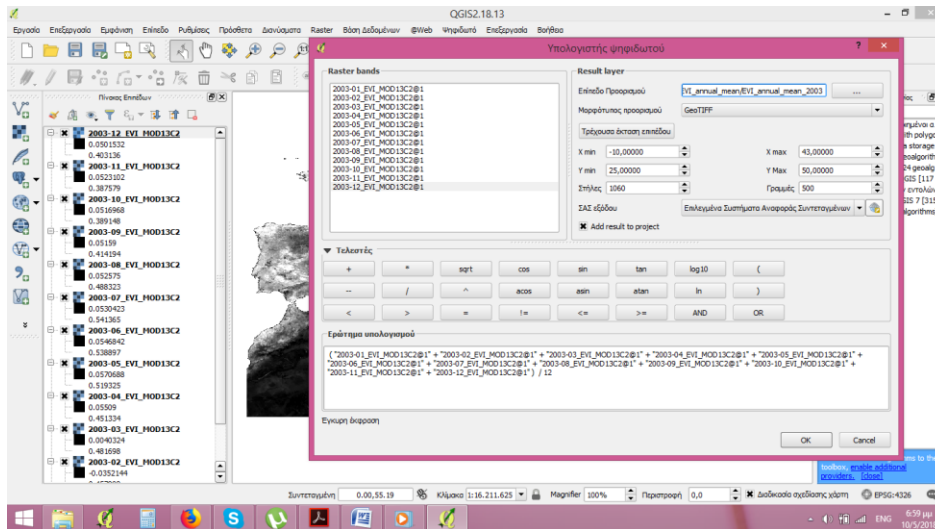
Εικόνα 6. Υπολογισμός της ετήσιας βροχόπτωσης στο raster calculator για το έτος 2003.

Όσον αφορά στα δεδομένα της βλάστησης, χρησιμοποιώντας τα αρχεία που αφορούν τις τιμές του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης υπολογίστηκε στο raster calculator η μέση εποχική τιμή προσθέτοντας τους αντίστοιχους μήνες και διαιρώντας δια τρία (Εικόνα 7)



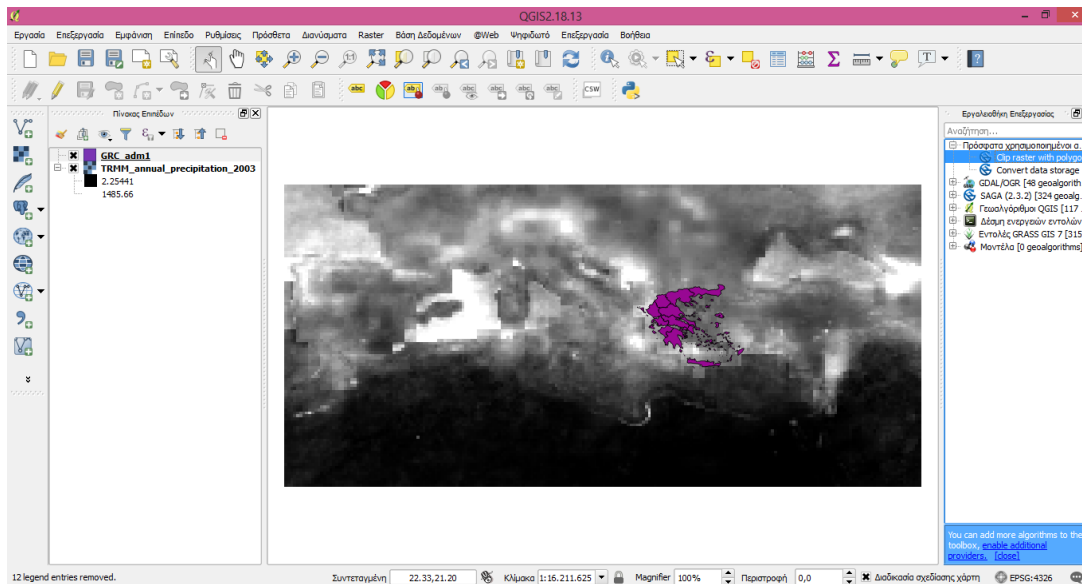
Εικόνα 7. Υπολογισμός της μέσης εποχικής τιμής του EVI για την άνοιξη του 2003.

Αντίστοιχα, η μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI στο raster calculator υπολογίστηκε προσθέτοντας τις τιμές των 12 μηνών του έτους και διαιρώντας δια 12 (Εικόνα 8).



Εικόνα 8. Υπολογισμός της μέσης ετήσιας τιμής του EVI για το έτος 2003.

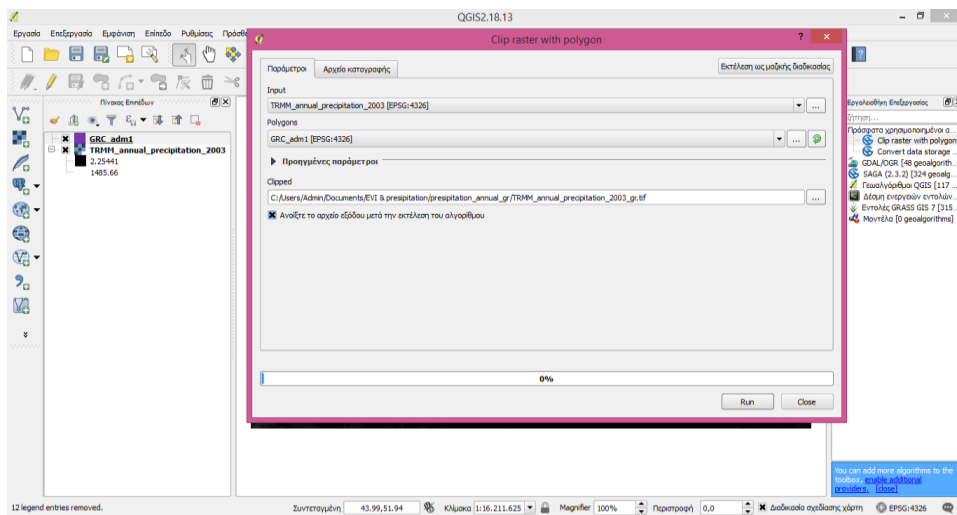
Με δεδομένο ότι η περιοχή μελέτης της παρούσας εργασίας είναι ο Ελλαδικός χώρος και ότι τα δεδομένα των δορυφόρων αφορούσαν την ευρύτερη περιοχή της Μεσογείου χρησιμοποιήθηκε το αρχείο shapfile GRC_adm1 (Εικόνα 9) για να «κόψει» τα δεδομένα στο επιθυμητό μέγεθος.



Εικόνα 9. Το αρχείο shapfile GRC_adm1 που χρησιμοποιήθηκε.

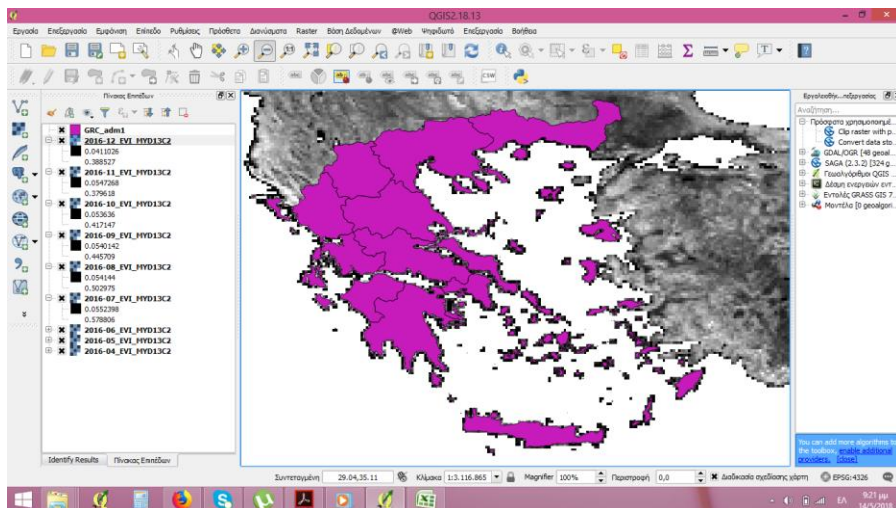
Έχοντας ορίσει ως Input κάθε φορά το αρχείο δεδομένων και ως Polygons το αρχείο shapefile καθώς και τη θέση αποθήκευσης του νέου αρχείου που θα προκύψει ακολουθήθηκε η εξής διαδικασία:

Raster → Extractor → Clipper → Run όπως φαίνεται στην εικόνα 10.



Εικόνα 10. Διαδικασία κοπής αρχείου raster με χρήση πολυγώνου.

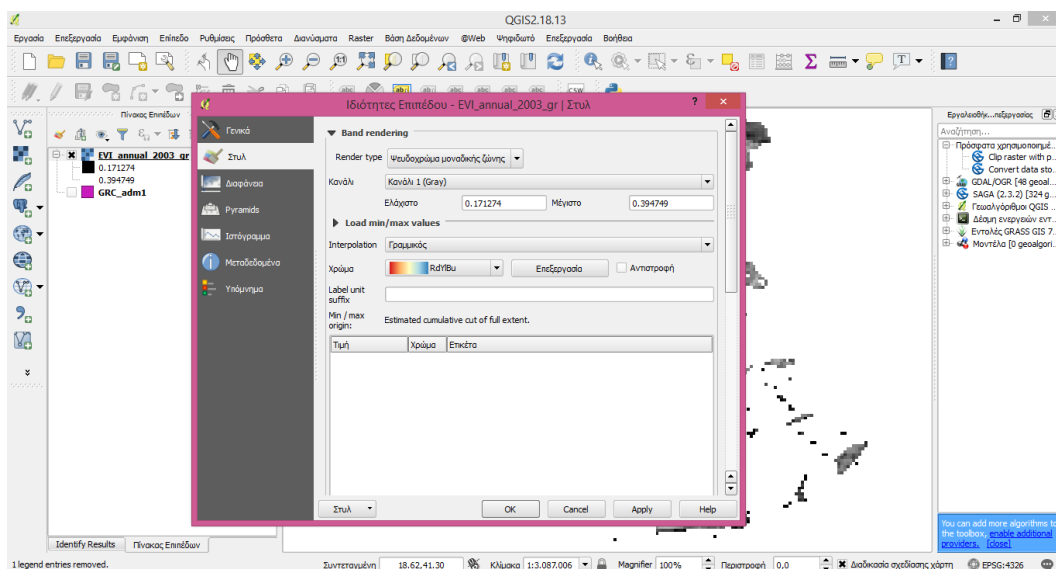
Από τη διαδικασία αυτή προέκυψαν νέα αρχεία δεδομένων που αφορούσαν αποκλειστικά τον ελληνικό χώρο. Τα αρχεία αυτά ήταν τύπου raster, με μέγεθος pixel 0.25x0.25 και 0.05X0.05 για την βροχόπτωση και για τον δείκτη EVI αντίστοιχα (Εικόνα 11).



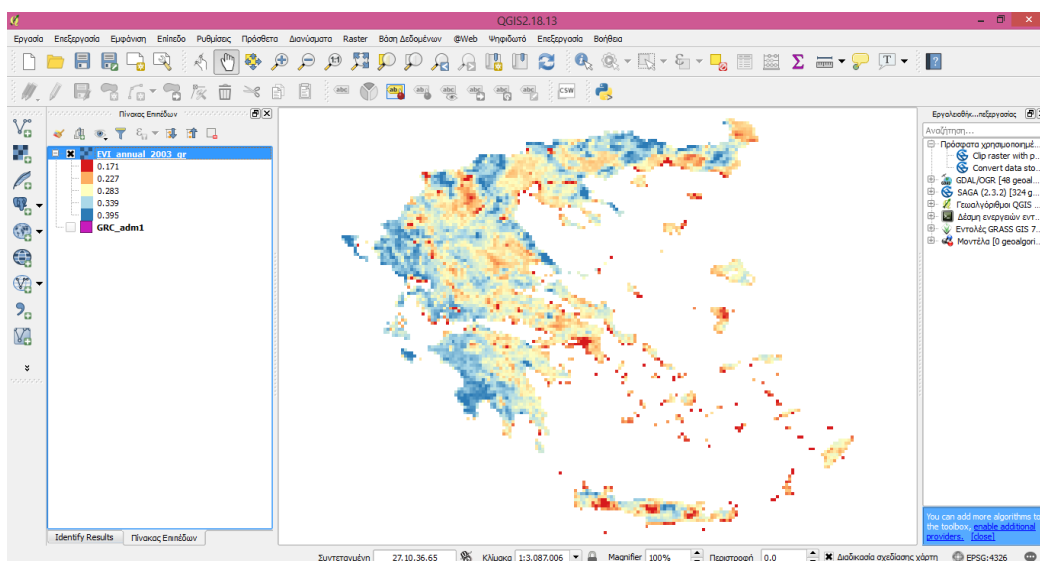
Εικόνα 11. Νέο αρχείο που θα προκύψει από το clip with polygon.

Τα νέα δεδομένα που προέκυψαν καταχωρήθηκαν σε αρχείο excel (Παράρτημα 2).

Για την ποιοτική σύγκριση των δεδομένων που προέκυψαν πραγματοποιήθηκε μετατροπή της χρωματικής κλίμακας των ψηφιοποιημένων χαρτών από γκρι σε ψευδόχρωμα (Εικόνα 12), οι διαβαθμίσεις του οποίου επισημαίνονται σε κάθε χάρτη στο αντίστοιχο υπόμνημα (Εικόνα 13).



Εικόνα 12. Αλλαγή χρωματικής κλίμακας (γκρι) των ψηφιοποιημένων αρχείων σε ψευδόχρωμα



Εικόνα 13. Ψηφιοποιημένος χάρτης σε ψευδόχρωμα και το αντίστοιχο υπόμνημα (αριστερά)

3.5 Στατιστική ανάλυση των δεδομένων

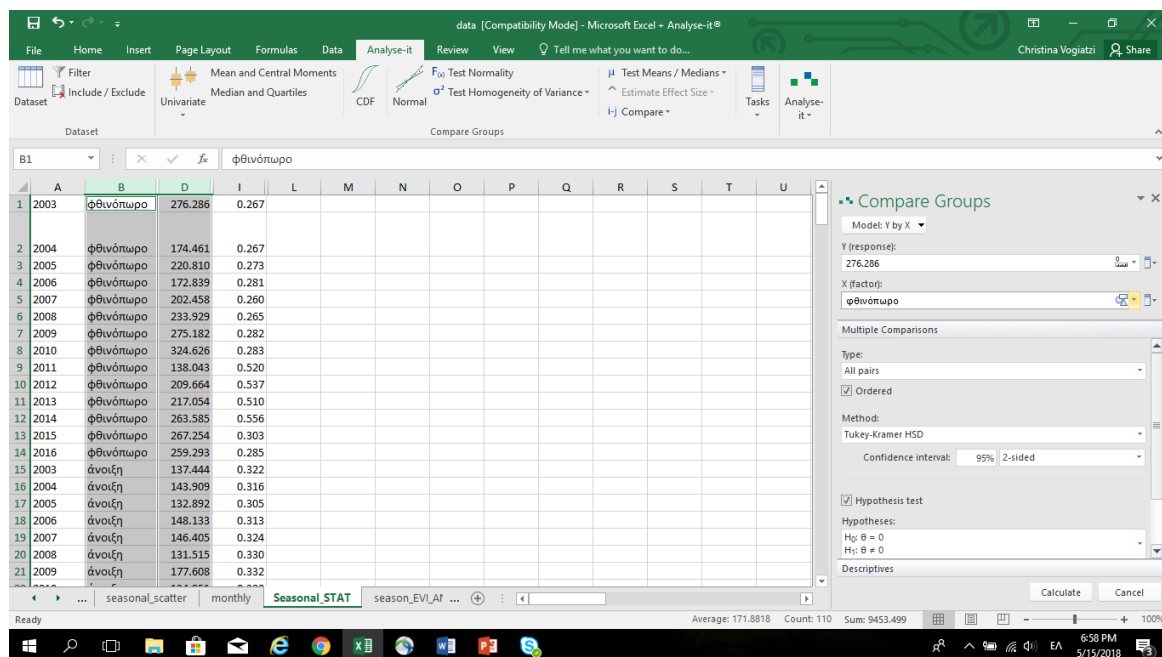
Ανάλυση Διακύμανσης ή Ανάλυση Διασποράς (ANOVA) ονομάζεται μια στατιστική μέθοδος πειραματικού σχεδιασμού, κατά την οποία, πραγματοποιείται έλεγχος υποθέσεων με στόχο να ανιχνευθούν εάν υπάρχουν διαφορές στις μέσες τιμές περισσότερων των δύο πληθυσμών. Για να δοθεί απάντηση στο συγκεκριμένο ερώτημα, κατασκευάζουμε έναν έλεγχο υποθέσεων με μηδενική υπόθεση ότι όλα τα δείγματα προέρχονται από πληθυσμούς με την ίδια μέση τιμή έναντι μιας εναλλακτικής υπόθεσης ότι τουλάχιστον δύο μέσες τιμές είναι διαφορετικές.

Σε περίπτωση που εντοπιστούν στατιστικώς σημαντικές διαφορές ανάμεσα στους μέσους όρους, το επόμενο βήμα είναι να εντοπιστούν και τα επίπεδα μεταξύ των οποίων υπάρχουν διαφορές. Για το σκοπό αυτό θα χρησιμοποιηθεί το κριτήριο Tukey HSD (Honestly Significant Difference) που θεωρείται το ασφαλέστερο κριτήριο.

Για την ανάλυση της διασποράς (ANOVA) επιλέχθηκαν τα δεδομένα από το excel και στην καρτέλα Analyse-it ακολουθείται η διαδικασία:

Statistical analysis → Compare groups → Tukey-Kramer Test

και εν συνεχεία όπως φαίνεται στην εικόνα 14 επιλέγεται το γραμμικό μοντέλο $Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$ και ορίζεται ως εξαρτημένη μεταβλητή Y η βροχόπτωση εν προκειμένω και ως ανεξάρτητη μεταβλητή οι εποχές προκειμένου να εντοπιστούν μεταξύ τους στατιστικώς σημαντικές διαφορές σε εποχικό επίπεδο σε επίπεδο σημαντικότητας $\alpha=0.05$.



Εικόνα 14. Διαδικασία καθορισμού των παραμέτρων της στατιστικής ανάλυσης ANOVA στο λογισμικό Analyse-it.

Επιλέγοντας την επιλογή boxplot στο υπομενού descriptives του comparegroups και πατώντας το κουμπί calculate εμφανίζεται πλήρης ANOVA, το αντίστοιχο boxplot καθώς και η μέση τιμή, η διάμεσος και η τυπική απόκλιση (Παράρτημα 2).

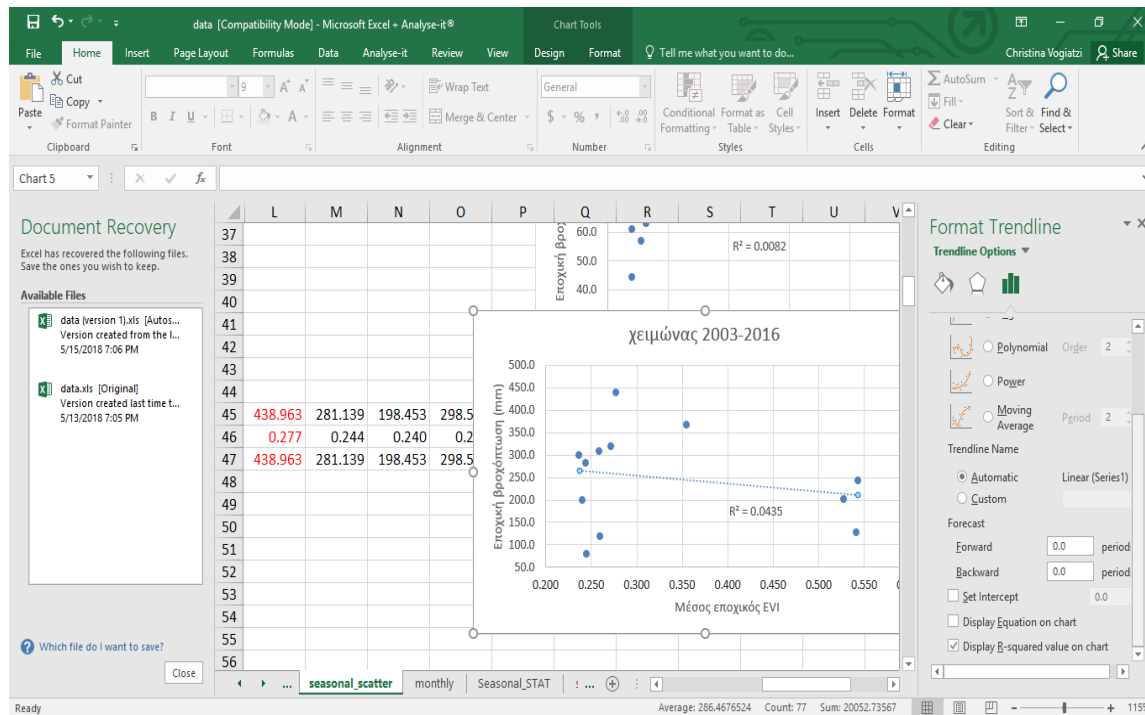
Η διαδικασία επαναλαμβάνεται επιλέγοντας ως εξαρτημένη μεταβλητή τη βροχόπτωση και ως ανεξάρτητη μεταβλητή τους μήνες για να εντοπιστούν μεταξύ τους στατιστικές σημαντικές διαφορές σε μηνιαίο επίπεδο. Η ίδια διαδικασία επαναλαμβάνεται και για τις τιμές του δείκτη EVI προκειμένου να εντοπιστούν στατιστικές σημαντικές διαφορές σε εποχικό και μηνιαίο επίπεδο αντίστοιχα.

3.6 Συσχετίσεις και συντελεστής συσχέτισης R^2

Η συσχέτιση (correlation) αναφέρεται σε μια ευρεία κατηγορία στατιστικών σχέσεων με τη συμμετοχή της εξάρτησης, αν και σε κοινή χρήση συχνότερα αναφέρεται στο βαθμό με τον οποίο δύο μεταβλητές έχουν μια γραμμική σχέση η μία με την άλλη. Είναι μία

στατιστική τεχνική που προσδιορίζει και ποσοτικοποιεί επακριβώς τη σχέση που συνδέει δύο μεταβλητές. Υπάρχουν διάφοροι συντελεστές συσχέτισης, που μετρούν το βαθμό συσχέτισης. Ο R^2 παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 1, και όσο πιο κοντά στο 1 τόσο μεγαλύτερη είναι η συσχέτιση που υπάρχει.

Με τη βοήθεια του Excel κατασκευάστηκαν γραφήματα scatter τα οποία απεικονίζουν τη συσχέτιση της βροχόπτωσης (X) και των τιμών του δείκτη EVI (Y) σε μηνιαία, εποχική και ετήσια κλίμακα. Στα γραφήματα αυτά επιλέχθηκε να εμφανίζεται η γραμμή τάσης και ο συντελεστής συσχέτισης (Εικόνα 15).



Εικόνα 15. Δημιουργία γραφήματος scatterplot στο Excel για την εποχική συσχέτιση των μεταβλητών τους χειμερινούς μήνες στο οποίο εμφανίζονται η γραμμή τάσης και ο συντελεστής συσχέτισης.

3.7 Γραφική απεικόνιση των παραμέτρων

Τέλος, έγινε ταυτόχρονη γραφική απεικόνιση των μέσων ετήσιων τιμών για τη χρονοσειρά που μελετήθηκε (2003-2016) αλλά και σε ετήσια κλίμακα με βάση τις μηνιαίες τιμές των παραμέτρων κατασκευάζοντας στο Excel γράφημα γραμμικού τύπου.

Κεφαλαίο 4

Αποτελέσματα

4.1 Ετήσια μεταβολή βροχόπτωσης και βλάστησης

Το Διάγραμμα 1 απεικονίζει μεταβολή της ετήσιας βροχόπτωσης (mm) παράλληλα με την μεταβολή της μέσης ετήσιας τιμής του δείκτη EVI για τη χρονοσειρά που μελετήθηκε στην παρούσα εργασία. Η ετήσια βροχόπτωση έχει ένα εύρος τιμών από 519.3 mm έως 865.4 mm ενώ ο δείκτης EVI κυμαίνεται μεταξύ του 0.288 και 0.556. Αναλυτικά τα δεδομένα που προέκυψαν παρατίθενται στο Παράρτημα 2. Όπως προκύπτει από το γράφημα η ετήσια βροχόπτωση εμφανίζει πολύ μεγαλύτερες διακυμάνσεις σε βάθος χρόνου σε σχέση με τον δείκτη EVI. Το χαμηλότερο ύψος βροχόπτωσης καταγράφηκε το 2007 ενώ στη συνέχεια εμφανίζει ραγδαία αύξηση από το 2008 στο 2009. Η ετήσια τιμή της ξεπερνάει τα 865 mm και παραμένει σε πολύ υψηλά επίπεδα και το 2010. Η αύξηση αυτή αποτυπώνεται με υστέρηση και στον δείκτη EVI ο οποίος ενώ εμφανίζει σχεδόν σταθερές τιμές την πρώτη εξαετία (0.291 ± 0.003) μια απότομη αύξηση της τάξεως του 70% μεταξύ του 2010 και 2011 με την τιμή του να προσεγγίζει το 0.55. Διατηρεί, δε, τις πολύ υψηλές τιμές του και για τα επόμενα 3 έτη, το 2012, 2013 και το 2014, με τιμές 0.51, 0.52 και 0.56 αντίστοιχα που είναι και η υψηλότερη τιμή του. Μετά από μία διετία με χαμηλό ύψος ετήσιας βροχόπτωσης η τιμή της αυξάνεται σημαντικά μεταξύ του 2013 και του 2014 με την ετήσια τιμή της να αγγίζει τα 845 mm. Δεδομένου, ότι η υστέρηση της απόκρισης του δείκτη EVI είναι της τάξεως των δύο ετών θα περίμενε κανείς μέσα στην επόμενη διετία (2016-2017) να εμφανιστεί αυξητική τάση στην τιμή του δείκτη. Η υστέρηση της απόκρισης του δείκτη βλάστησης είναι αναμενόμενη ειδικά σε περιπτώσεις πολυετούς βλάστησης όπως είναι τα δάση και οι πολυετείς καλλιέργειες (ελιά, αμπέλι, εσπεριδοειδή κ.α.) των οποίων η φυσιολογία έχει βραδείς και πολυσύνθετους ρυθμούς απόκρισης (Zeng, et al., 1999). Αντίστοιχη υστέρηση έχει παρατηρηθεί και μετά από 2-3 έτη συσσωρευμένης

ξηρασίας, με την υστέρηση πιθανώς να προέρχεται από τις προσαρμογές των φυτών στη μειωμένη διαθεσιμότητα νερού στο έδαφος (Oliveira et al., 2005). Η λειψυδρία επηρεάζει άμεσα και έμμεσα την ανάπτυξη της βλάστησης. Σε συνθήκες έλλειψης νερού επηρεάζεται τόσο η δομή και η λειτουργία των φυτικών κυττάρων, παραδείγματος χάριν προκαλείται το κλείσιμο των στομάτων. Επιπλέον, η έλλειψη νερού αλλάζει την ενυδάτωση των πρωτεϊνών, συμπεριλαμβανομένων προφανώς και των πρωτεϊνών που συμμετέχουν στη φωτοσύνθεση και επηρεάζει κατά συνέπεια τη λειτουργία τους. Οι μεταβολές αυτές εκτός των άλλων έχουν και ως συνέπεια την αναστολή της λειτουργίας της φωτοσύνθεσης. Επιπλέον, σε συνθήκες ξηρασίας πολλά φυτά ελαττώνουν την επιφάνεια των φύλλων τους, συστρέφοντάς τα για να μειώσουν τις απώλειες νερού λόγω διαπνοής ενώ σε ακραίες συνθήκες ξηρασίας έχει παρατηρηθεί και φυλλόπτωση ως μηχανισμός άμυνας των φυτών (Berry and Downton, 1982).

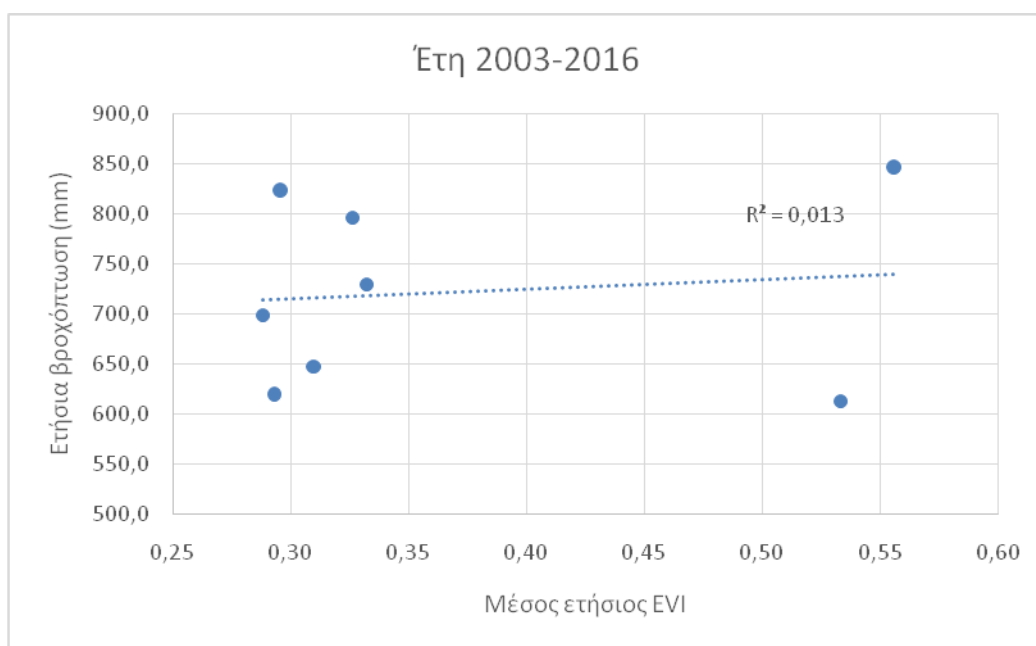


Διάγραμμα 1. Η μεταβολή της ετήσιας βροχόπτωσης (mm) (κόκκινο) και της μέσης ετήσιας τιμής του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης EVI (μπλε) για τη χρονοσειρά 2003-2016.

Η κλίση της γραμμής τάσης των τιμών της βλάστησης είναι ελαφρώς ανοδική υποδεικνύοντας μία μικρή αύξηση του ύψους βροχόπτωσης με την πάροδο των χρόνων παρά τις υφιστάμενες προβλέψεις που αναμένουν μείωση του ύψους βροχόπτωσης στον ελλαδικό χώρο λόγω της κλιματικής αλλαγής (Iglesias et al., 2007; Mavromatis, 2007;

Loukas, Vasiliades and Tzabiras, 2008). Ομοίως , αυξητική τάση εμφανίζουν και οι τιμές του δείκτη EVI και μάλιστα ο ρυθμός αύξησης είναι μεγαλύτερος σε σχέση με την παρατηρούμενη αύξηση της βροχόπτωσης. Η αύξηση αυτή πιθανόν να οφείλεται στην αύξηση και ταχεία ανάπτυξη θερμοφίλων ειδών που ευνοούνται από τις επικρατούσες κλιματικές συνθήκες (Gottfried et al, 2012).

Ακριβώς, λόγω αυτής της μεγάλης υστέρησης της η συσχέτιση (Διάγραμμα 2) μεταξύ ετήσιας βροχόπτωσης και μέσου ετήσιου βελτιωμένου δείκτη βλάστησης δεν επαρκεί ($R^2=0.0139$) για να περιγράψει πιθανή μεταξύ τους αλληλεπίδραση και να εξηγήσει το πολυσύνθετο και πολυπαραγοντικό υπόβαθρο που την διέπει.

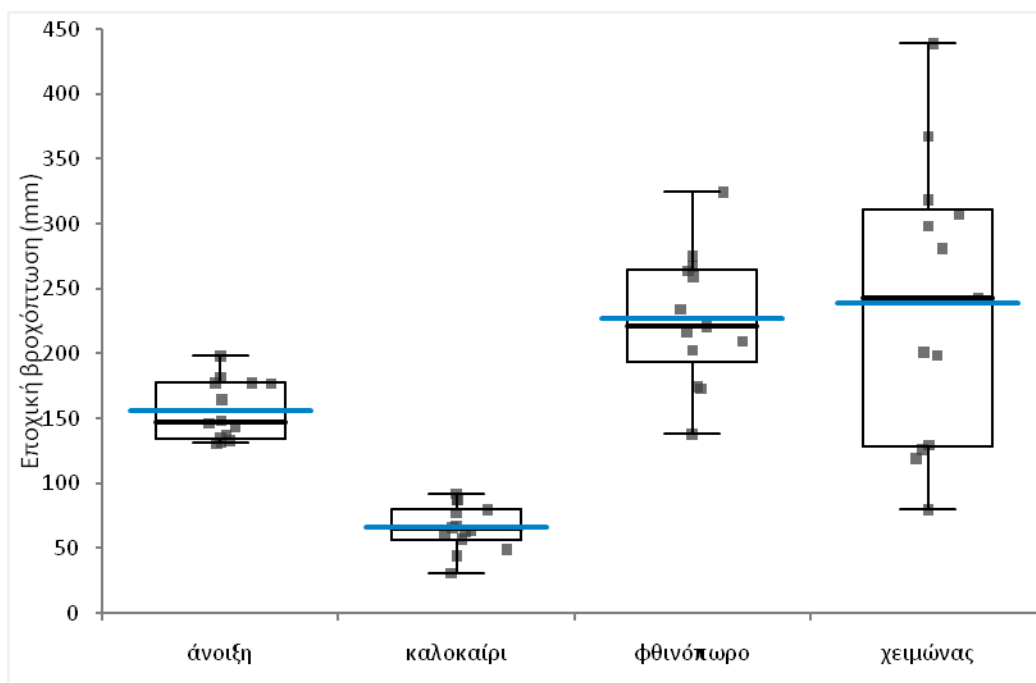


Διάγραμμα 2. Γραμμική συσχέτιση της ετήσιας βροχόπτωσης (mm) και της μέσης ετήσιας τιμής του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης EVI για τη χρονοσειρά 2003-2016.

4.2 Εποχική μεταβολή βροχόπτωσης και βλάστησης

Όπως είναι αναμενόμενο οι χαμηλότερες τιμές βροχόπτωσης καταγράφονται κατά τους θερινούς μήνες (Ιούνιο, Ιούλιο, Αύγουστο) με τη μέση τιμή τους να κυμαίνεται στα 66.1 mm (Πίνακας 1). Οι υψηλότερες τιμές καταγράφονται το φθινόπωρο (Σεπτέμβρη, Οκτώβρη, Νοέμβρη) και το χειμώνα (Δεκέμβρη, Ιανουάριο, Φεβρουάριο) με ύψη

βροχόπτωσης που φτάνουν τα 227.6 mm και 239.18 mm αντίστοιχα. Για την άνοιξη η μέση τιμή βρίσκεται κάπου ενδιάμεσα με μέση βροχόπτωση που ανέρχεται στα 156 mm. Όπως φαίνεται και στο Γράφημα 3 οι τιμές κατά τους θερινούς μήνες αλλά και την άνοιξη είναι πολύ πιο ομοιόμορφες ενώ το φθινόπωρο και ιδιαίτερα το χειμώνα οι αποκλίσεις είναι πολύ μεγαλύτερες.



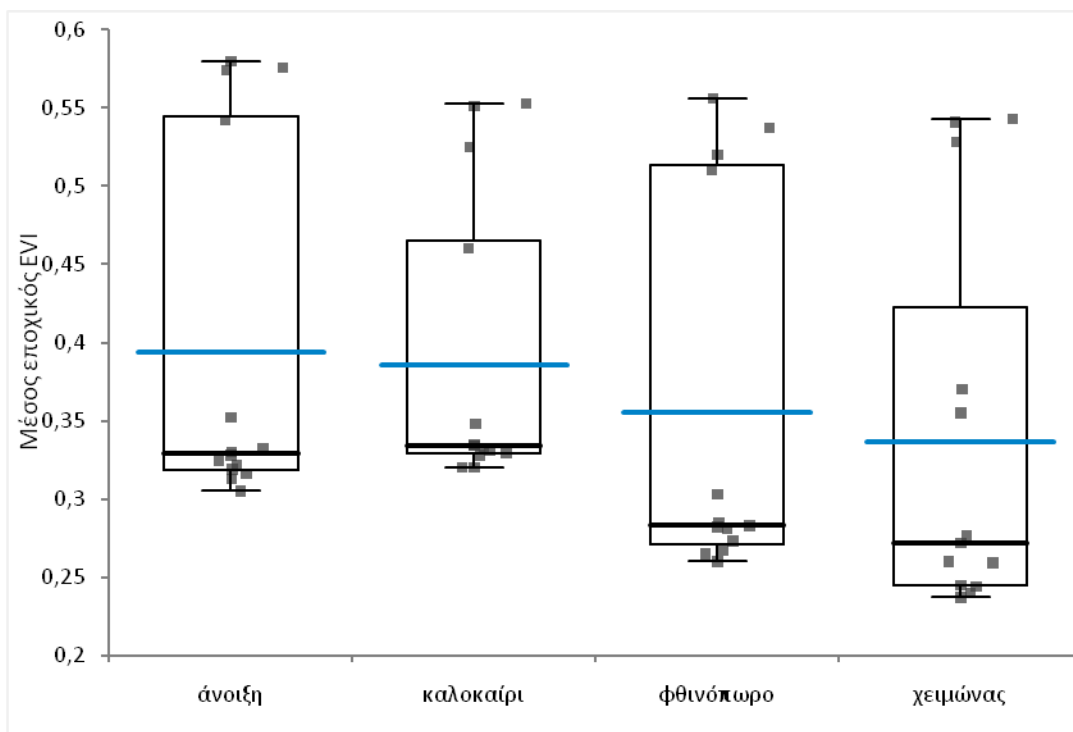
Διάγραμμα 3. Διάγραμμα τύπου boxplot που απεικονίζει τις τιμές της εποχικής βροχόπτωσης (mm), τη μέση τιμή τους (μπλε), τη διάμεσο (γκρι) και την τυπική τους απόκλιση για τα έτη 2003-2016.

Η στατιστική ανάλυση (ANOVA) έδειξε ότι υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές στο εποχικό ύψος της βροχόπτωσης ($Pvalue < 0.0041$) με εξαίρεση το φθινόπωρο και το χειμώνα που η διαφορά ανάμεσα στην μέση εποχική τιμή της βροχόπτωσης δεν είναι σημαντική ($Pvalue = 0.96$). (Παράρτημα 1).

Πίνακας 1. Μέση τιμή και τυπική απόκλιση της εποχικής βροχόπτωσης (mm) και της μέσης εποχικής τιμής του δείκτη EVI για τα έτη 2003-2016.

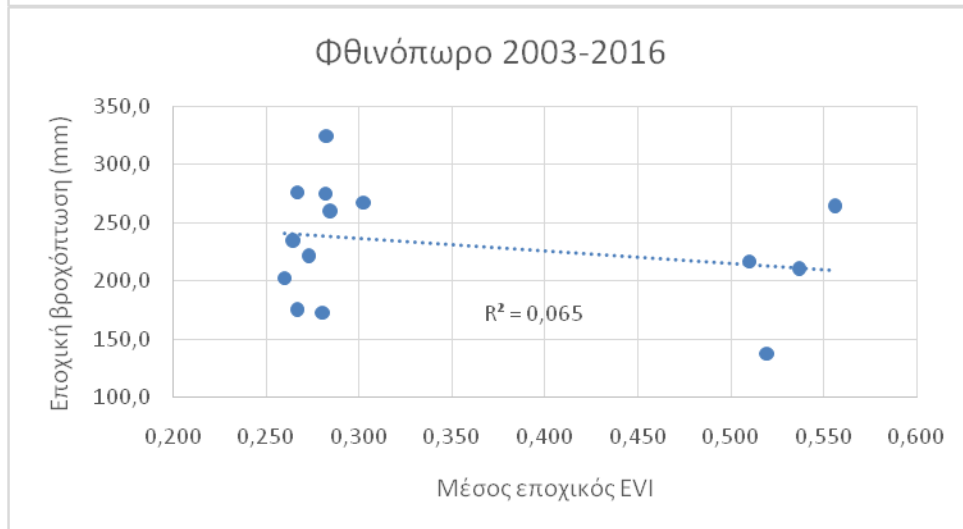
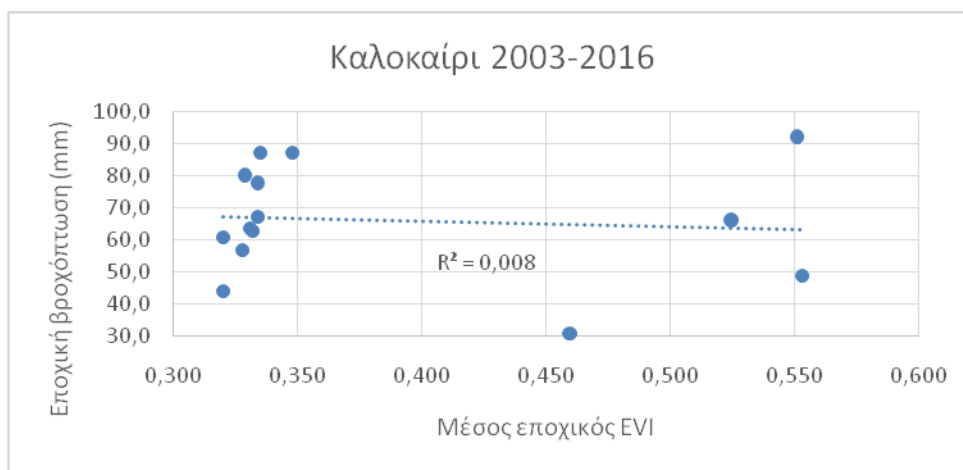
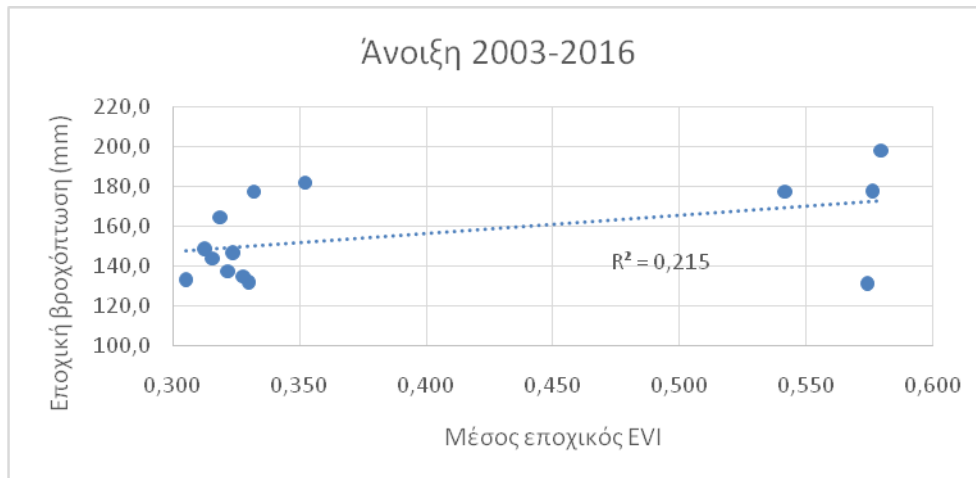
	Εποχική βροχόπτωση (mm)		Μέση εποχική τιμή του δείκτη EVI	
	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση (SD)	Μέση τιμή	Τυπική απόκλιση (SD)
άνοιξη	155.96	22.80	0.39	0.12
καλοκαίρι	66.09	17.55	0.39	0.09
φθινόπωρο	227.63	50.45	0.37	0.12
χειμώνας	239.18	108.11	0.34	0.12

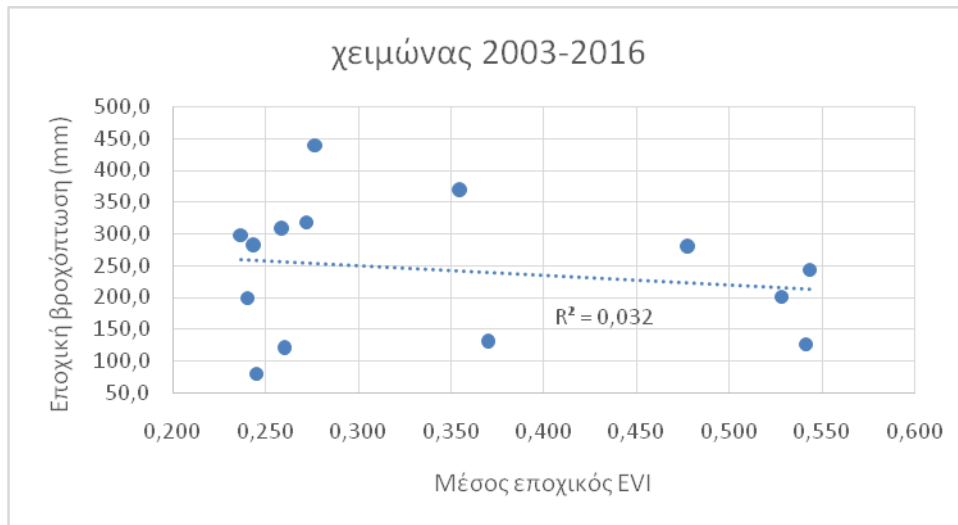
Σε αντίθεση με τη βροχόπτωση οι μέσες εποχικές τιμές του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης είναι πολύ πιο ομοιόμορφες και κυμαίνονται μεταξύ του 0.34 και 0.39 όπως φαίνεται και στον Πίνακα 1 και όπως προέκυψε και από τη στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων δεν υπάρχουν στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους ($Pvalue > 0.555$). Αυτή η ομοιομορφία των εποχικών τιμών του δείκτη EVI δείχνει μικρές μεταβολές της βλάστησης κατά τη διάρκεια του έτους. Κάτι τέτοιο είναι πιθανώς αναμενόμενο δεδομένου ότι ο ελλαδικός χώρος καλύπτεται σε μεγάλο ποσοστό από αειθαλή δάση και ελαιώνες. “Όπως έχει παρατηρηθεί και σε προϋπάρχουσες μελέτες, έχουν μικρή εποχική διακύμανση στους δείκτες βλάστησης παρά τις μεγάλες εποχικές διακυμάνσεις σε άλλες εποχικές παραμέτρους πχ στην εξατμισοδιαπνοή (Garbulsky et al., 2008). Οφείλει, ωστόσο κανείς να λάβει υπόψη του και τις πολύ μεγάλες αποκλίσεις που έχουν οι τιμές του δείκτη (Διάγραμμα 4).



Διάγραμμα 4. Διάγραμμα τύπου boxplot που απεικονίζει τις εποχικές τιμές του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (EVI), τη μέση τιμή τους (μπλε), τη διάμεσο (γκρι) και την τυπική τους απόκλιση για τα έτη 2003-2016.

Τέλος, όσο αφορά τη συσχέτιση των τιμών της εποχικής βροχόπτωσης (mm) με τις εποχικές τιμές του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (EVI) είναι εμφανές από τα διαγράμματα 5 (α-δ) ότι πολύ μικρή σχέση υπάρχει μεταξύ τους. Μόνο την άνοιξη φαίνεται να υπάρχει κάποια μικρή θετική σχέση μεταξύ της βροχόπτωσης και της βλάστησης ($R^2=0.216$) όπου παρατηρούνται ταυτόχρονα υψηλές σχετικά τιμές βροχόπτωσης και υψηλές τιμές του δείκτη EVI λόγω της έναρξης της βλαστικής περιόδου. Αντίθετα για το καλοκαίρι, αυτή η σχέση είναι αντιστρόφως ανάλογη αν και ο συντελεστής συσχέτισης είναι πολύ χαμηλός ($R^2=0.008$). Ομοίως, για το φθινόπωρο και το χειμώνα ο συντελεστής γραμμικής συσχέτισης είναι αρνητικός και ισούται με $R^2=0.066$ και $R^2=0.032$ αντίστοιχα. Η όποια αρνητική συσχέτιση πιθανόν να ερμηνεύεται εν μέρη από τις χαμηλές τιμές βροχόπτωσης κατά τη διάρκεια της βλαστικής περιόδου τους θερινούς μήνες ενώ αντίθετα το φθινόπωρο και το χειμώνα που το ύψος της βροχόπτωσης αυξάνεται παρατηρείται στη βλάστηση επίσχεση των ρυθμών ανάπτυξης λόγω της παύσης της βλαστικής περιόδου.





Διάγραμμα 5. Γραμμική συσχέτιση της εποχικής βροχόπτωσης (mm) και της μέσης εποχικής τιμής του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης EVI α) την άνοιξη, β) το καλοκαίρι, γ) το φθινόπωρο και δ) το χειμώνα για τη χρονοσειρά 2003-2016.

Ο Brando και η ερευνητική ομάδα του (2010) σε πείραμα που πραγματοποίησαν στον Αμαζόνιο αναφορικά με την εποχιακή και διαχρονική μεταβλητότητα του κλίματος και των δεικτών της βλάστησης, εντόπισαν επίσης μεταβολές στις τιμές των δεικτών βλάστησης ανάλογα με τη βροχόπτωση. Όπως και στην παρούσα μελέτη όμως, η σχέση αυτή δεν ήταν γραμμική, με τις αλλαγές των δεικτών να είναι εντονότερες κατά τη διάρκεια των περιόδων ξηρασίας. Σε ανάλογα συμπεράσματα κατέληξαν και οι Huxman et al. (2004) σε μελέτη τους που αφορούσε παγκόσμιες αλλαγές σε χερσαία οικοσυστήματα ως αποτέλεσμα των αλλαγών της βροχόπτωσης αλλά και οι Méndez-Barroso et al. (2009), οι οποίοι συμφωνούν ότι η αθροιστική εποχιακή βροχόπτωση συνδέεται άμεσα με τους δείκτες βλάστησης και εντοπίζουν μεγαλύτερη απόκριση των δεικτών κατά τις περιόδους ξηρασίας και ξηρών μουσωνικών περιόδων αντίστοιχα.

4.3 Μηνιαίες μεταβολές βροχόπτωσης και βλάστησης

Η γεωγραφική θέση της χώρας, οι μεγάλοι υδάτινοι όγκοι που την περιβάλλουν και η ύπαρξη υψηλών ορέων και οροσειρών με ποικίλες διευθύνσεις προσδίδουν μεγάλη ανομοιογένεια στη κατανομή αλλά και στο ύψος της βροχής στις διάφορες περιοχές της Ελλάδος. Σε γενικές γραμμές επικρατεί η κατανομή εκείνη που θεωρείται χαρακτηριστική

σε μεσογειακές παράλιες περιοχές, με ξηρότητα κατά τους θερινούς μήνες και με μια βροχερή περίοδο που εκτείνεται καθ' όλη την υπόλοιπη διάρκεια του έτους.

Οι μέσες τιμές της βροχόπτωσης για τους χειμερινούς μήνες της χρονοσειράς που μελετήθηκαν κυμαίνονται μεταξύ 75.7 και 89.7 mm με την υψηλότερη τιμή να σημειώνεται κατά τον μήνα Ιανουάριο και την χαμηλότερη τον μήνα Φεβρουάριο (Πίνακας 2). Παρόλα αυτά, στατιστική ανάλυση των αποτελεσμάτων δεν έδειξε στατιστικώς σημαντικές διαφορές ($Pvalue > 0.7$) μεταξύ των τιμών βροχόπτωσης κάθε μήνα για τα έτη 2003-2016. Ομοίως και για τον δείκτη EVI δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές ($Pvalue > 0.72$) ενώ οι μέσες μηνιαίες τιμές κυμαίνονται μεταξύ 0.33 και 0.37.

Πίνακας 2. Μέσες μηνιαίες τιμές (mean) και τυπική απόκλιση (sd) του ύψους βροχόπτωσης (mm) και του δείκτη EVI τους χειμερινούς μήνες των ετών 2003-2016

Μήνας	Βροχόπτωση		EVI	
	Mean	SD	Mean	SD
Δεκέμβριος	89.70	61.95	0.37	0.15
Ιανουάριος	85.05	36.32	0.33	0.13
Φεβρουάριος	75.74	31.92	0.33	0.12

Για τους μήνες της άνοιξης, η βροχόπτωση (mm) είναι χαμηλότερη από τους χειμερινούς με εύρος τιμών από 44.68 έως 68.42. Όπως έδειξε και η στατιστική ανάλυση τον Μάρτιο, οπότε και σημειώνεται η μεγαλύτερη μέση τιμή, το ύψος της βροχόπτωσης είναι σημαντικά υψηλότερο ($Pvalue < .009$) σε σχέση με τον και Απρίλιο και τον Μάιο που το ύψος της βροχόπτωσης ανέρχεται στα 42.86 και 44.68 mm αντίστοιχα (Πίνακας 3). Όπως για τον χειμώνα έτσι και για την άνοιξη, για τον δείκτη EVI δεν εντοπίστηκαν σημαντικές διαφορές ($Pvalue > 0.17$). Οι μέσες μηνιαίες τιμές αυξάνονται σταδιακά, έχουν μεγαλύτερο εύρος σε σχέση με τον χειμώνα και κυμαίνονται μεταξύ 0.35 και 0.43. Η αύξηση αυτή είναι αναμενόμενη δεδομένης της έναρξης της βλαστικής περιόδου.

Πίνακας 3. Μέσες μηνιαίες τιμές (mean) και τυπική απόκλιση (sd) του ύψους βροχόπτωσης (mm) και του δείκτη EVI τους εαρινούς μήνες των ετών 2003-2016

Μήνας	Βροχόπτωση		EVI	
	Mean	SD	Mean	SD
Μάρτιος	68.42	22.50	0.35	0.12
Απρίλιος	42.86	18.88	0.40	0.12
Μάιος	44.68	18.50	0.43	0.11

Σε σχέση με τους εαρινούς μήνες τον Ιούνιο η βροχόπτωση είναι χαμηλότερη (31.96 mm). Παρόλα αυτά είναι σχεδόν διπλάσια σε σχέση με τον Ιούλιο και Αύγουστο (Πίνακας 4) εξ' ου και εντοπίζονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές μεταξύ τους (Pvalue<0.0025). Οι τιμές του δείκτη ελάχιστα μεταβάλλονται κατά τους μήνες αυτούς (Pvalue>0.78) έχοντας τιμές 0.39, 0.39 και 0.37 για τους μήνες Ιούνιο, Ιούλιο και Αύγουστο αντίστοιχα.

Πίνακας 4. Μέσες μηνιαίες τιμές (mean) και τυπική απόκλιση (sd) του ύψους βροχόπτωσης (mm) και του δείκτη EVI τους θερινούς μήνες των ετών 2003-2016

Μήνας	Βροχόπτωση		EVI	
	Mean	SD	Mean	SD
Ιούνιος	31.95	11.35	0.39	0.09
Ιούλιος	15.51	9.25	0.39	0.09
Αύγουστος	18.62	8.52	0.37	0.09

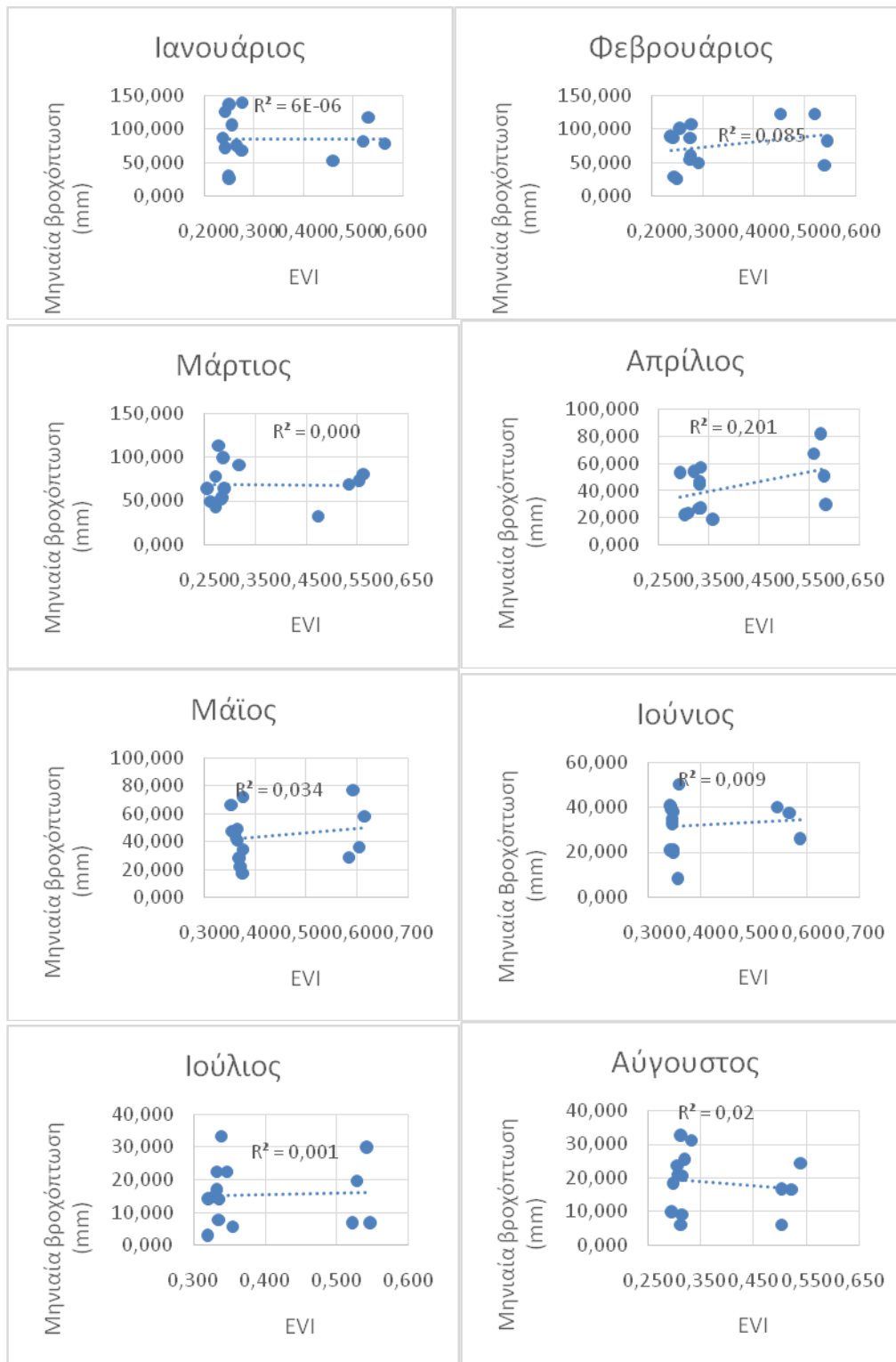
Τον Σεπτέμβριο εμφανίζεται μια ραγδαία αύξηση της βροχόπτωσης σε σχέση με τους καλοκαιρινούς μήνες, η οποία συνεχίζεται και τον Οκτώβριο και Νοέμβριο οπότε και σύμφωνα με την υπάρχουσα βιβλιογραφία η ραγδαιότητα της βροχής είναι εντονότερη στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας (ΕΜΕΚΑ, 2011). Όμως αν και ο Σεπτέμβρης έχει 65.29 mm βροχόπτωσης σε σχέση με τον Οκτώβριο και τον Νοέμβριο που έχουν 81.82 και 84.00 mm (Πίνακας 5) δεν εντοπίζονται στατιστικώς σημαντικές διαφορές (Pvalue>0.32) λόγω των μεγάλων διακυμάνσεων που εντοπίζονται στις τιμές αυτές από χρόνο σε χρόνο και διατυπώνονται μέσα από της μεγάλες τιμές της τυπικής απόκλισης (sd). Η τιμή του EVI παραμένει σχεδόν αμετάβλητη (Pvalue>0.95) αυτούς τους μήνες αν και σχετικώς μειωμένη σε σχέση με τους εαρινούς και θερινούς μήνες λόγω του τέλους της βλαστικής περιόδου

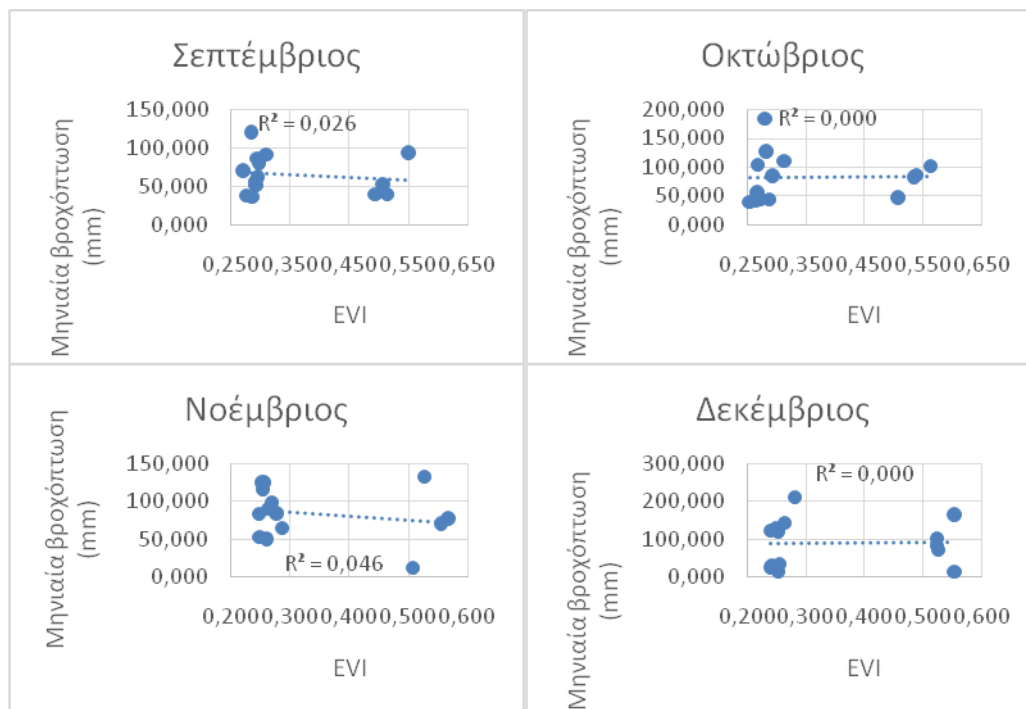
και της φυλλόπτωσης των φυλλοβόλων δέντρων και γενικώς της επίσχεση της αύξησης της κόμης των φυτών.

Πίνακας 5. Μέσες μηνιαίες τιμές (mean) και τυπική απόκλιση (sd) του ύψους βροχόπτωσης (mm) και του δείκτη EVI τους φθινοπωρινούς μήνες των ετών 2003-2016

Μήνας	Βροχόπτωση		EVI	
	Mean	SD	Mean	SD
Σεπτέμβριος	65.29	25.28	0.35	0.11
Οκτώβριος	81.82	41.56	0.35	0.12
Νοέμβριος	84.00	33.67	0.34	0.13

Για κάθε μήνα χωριστά συσχετίστηκαν οι τιμές βροχόπτωσης (mm) και οι τιμές του EVI, για τα έτη 2003-2016, και υπολογίστηκε η τιμή του συντελεστή συσχέτισης (R^2) όπως φαίνεται στο Διάγραμμα 6 (α-ιβ). Για το σύνολο των μηνών οι συντελεστές συσχέτισης ήταν πολύ κοντά στο 0 υποδεικνύοντας ότι δεν υπάρχει γραμμική συσχέτιση ανάμεσα στους δύο αυτούς παράγοντες. Εξαίρεση αποτελεί ο μήνας Απρίλιος, στον οποίο εμφανίζεται μικρή θετική συσχέτιση μεταξύ των τιμών της βροχόπτωσης και του δείκτη EVI ($R^2=0.20$), η οποία μπορεί να συνδεθεί αφενός με τις σχετικώς υψηλές τιμές της βροχόπτωσης και αφετέρου με την έναρξη της βλαστικής περιόδου.





Διάγραμμα 6. Συσχέτιση μηνιαίων τιμών βροχόπτωσης (mm) και μέσων μηνιαίων τιμών βλάστησης (δείκτης EVI) για τους μήνες (α-ιβ) Ιανουάριο-Δεκέμβριο για τα έτη 2003-2016.

Ο συντελεστής συσχέτισης των τιμών του EVI και της βροχόπτωσης επηρεαζόταν ανάλογα με την χρήση γης και την ύπαρξη ή όχι υστέρησης μεταξύ των δύο μεταβλητών. Όταν δεν υπήρχε χρονική υστέρηση ο συντελεστής συσχέτισης μειωνόταν κατά σειρά δάση>κήποι>αγροτική γη ενώ όταν υπήρχε υστέρηση μεταβαλλόταν αντίστροφα. Επίσης ανεξάρτητα από τη χρήση γης ο EVI είχε ισχυρότερη συσχέτιση με τη θερμοκρασία του αέρα από ό, τι με τις βροχοπτώσεις, υποδεικνύοντας ότι η θερμοκρασία του αέρα είχε μεγαλύτερη επίδραση στην εποχιακή διακύμανση του EVI σε σχέση με τη βροχόπτωση (Deng, Su and Liu, 2007; Peng, Huang and Wang, 2007).

Αντίθετα, σε αντίστοιχη μελέτη οι Guo et al. (2014) βρήκαν θετική συσχέτιση μεταξύ των μεταβολών στις τιμές του δείκτη EVI και στη βροχόπτωση, με τη βροχόπτωση να είναι ο κυρίαρχος παράγοντας που οδηγεί στη βλαστική ανάπτυξη. Επίσης, σύμφωνα με τα ευρήματα της συγκεκριμένης ομάδας η φθινοπωρινή βροχόπτωση έχει ισχυρή συσχέτιση με την βλαστική περίοδο την επόμενη άνοιξη. Οπότε οι φθινοπωρινές βροχοπτώσεις είναι

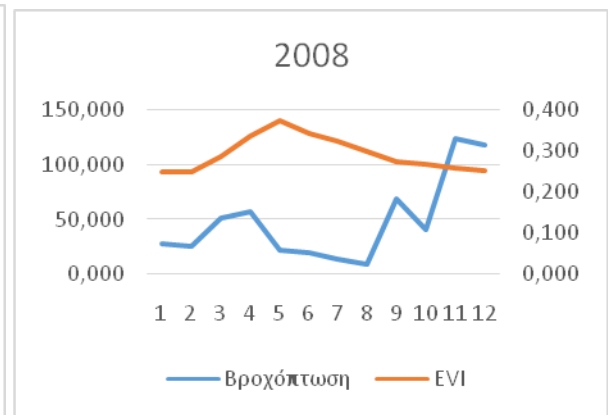
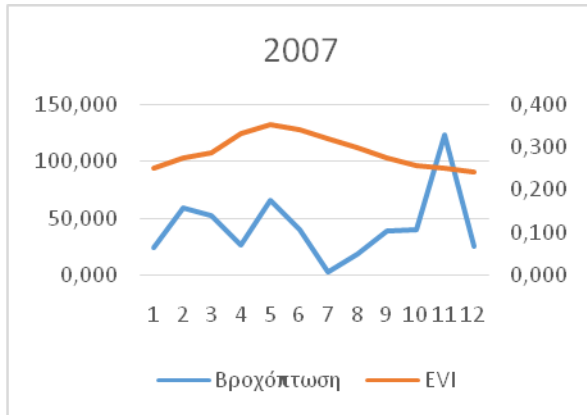
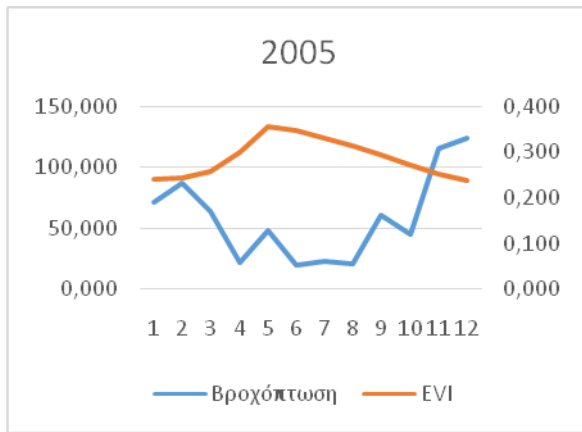
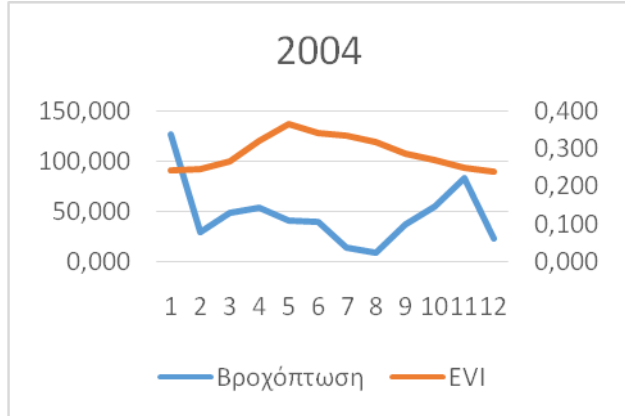
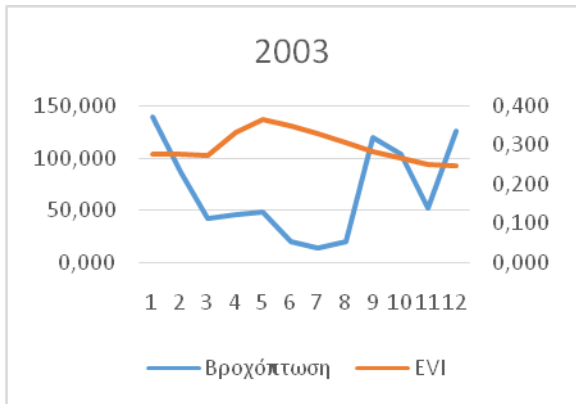
σημαντικός δείκτης και ταυτόχρονα περιοριστικός παράγοντας για την βλαστική περίοδο την επόμενη άνοιξη στην περιοχή μελέτης.

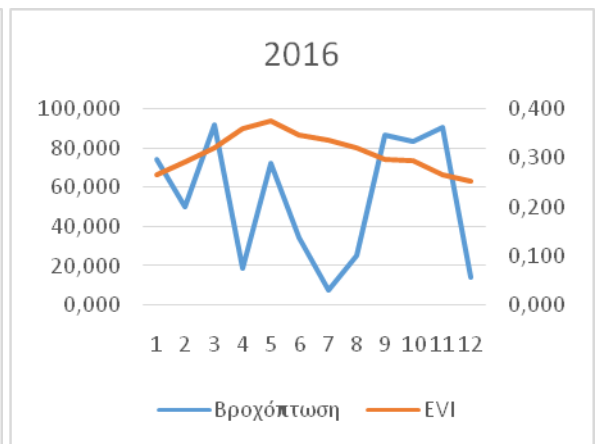
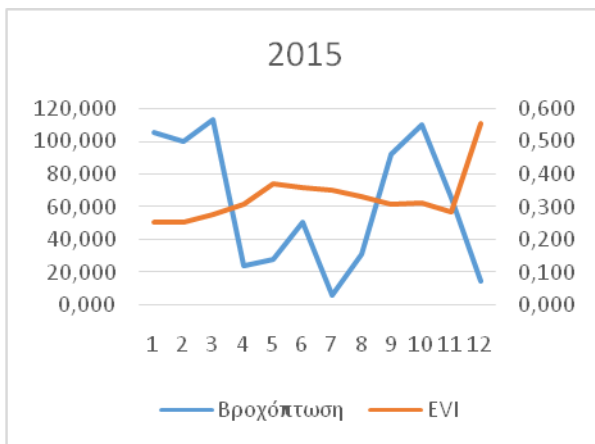
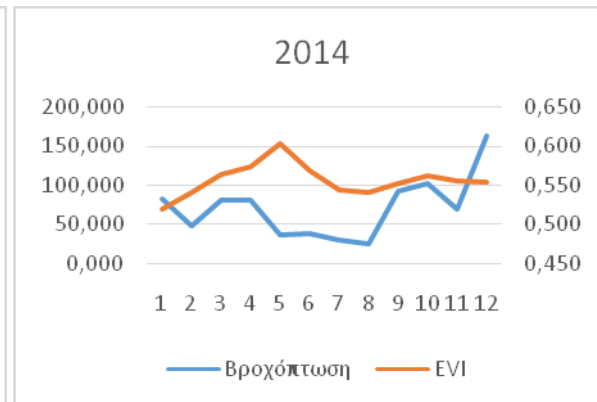
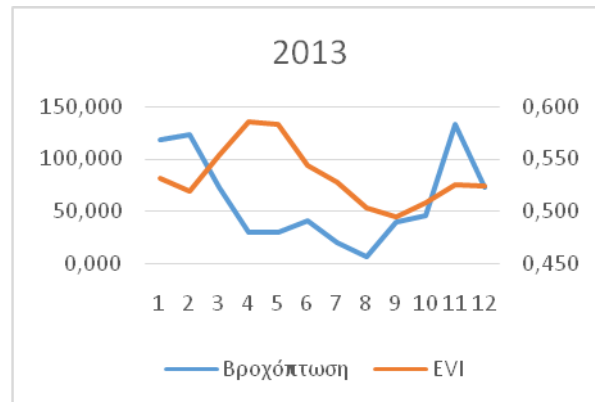
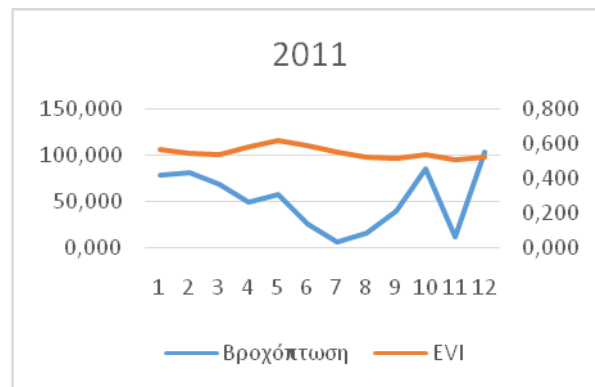
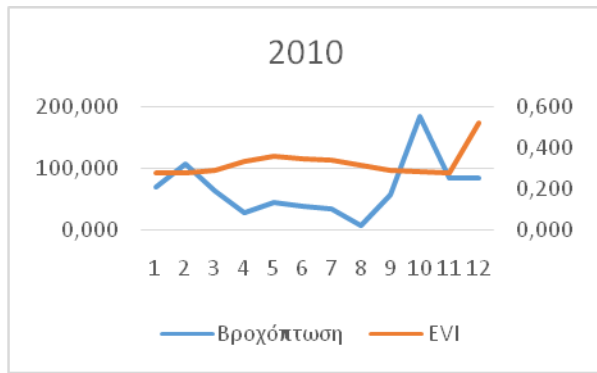
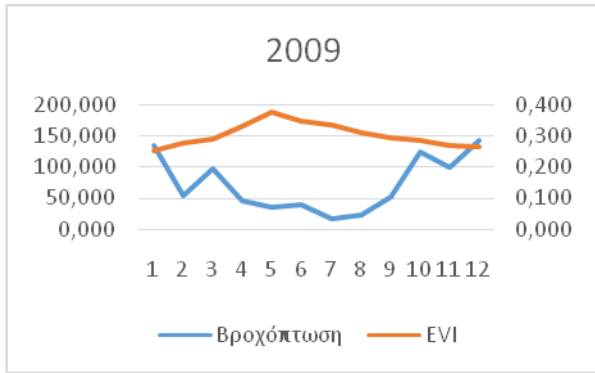
Σύμφωνα με τους Nightingale and Phinn (2003) εντοπίστηκαν επίσης διαφορές στο χρονοδιάγραμμα της απόκρισης του NDVI στην βροχόπτωση ανάλογα με τους υφιστάμενους σχηματισμούς βλάστησης. Δεδομένης της υπάρχουσας υστέρησης, η καλύτερη σχέση μεταξύ NDVI και βροχόπτωσης παρατηρήθηκε στα δάση Ευκαλύπτου ενώ ο μικρότερος συντελεστής συσχέτισης εμφανίζεται σε θαμνώδεις και άλλες δασικές. Η υστέρηση που παρατηρήθηκε ήταν κατά μέσω όρο της τάξεως των 2-4 μηνών ενώ για τις θαμνώδεις και τις δασικές εκτάσεις έφτανε μέχρι και τους 9 μήνες. Οι συσχετίσεις ήταν σημαντικά μεγαλύτερες για την αθροιστική βροχόπτωση σε σχέση με την μέση μηνιαία βροχόπτωση κι αυτό γιατί η συνολική (αθροιστική) βροχόπτωση όλων των προηγούμενων μηνών συμβάλει στην επερχόμενη αύξηση της βλαστικής ανάπτυξης και, ως εκ τούτου, και στην αύξηση των τιμών του NDVI. Για τον λόγο αυτό επιλέχθηκε και στην παρούσα μεταπτυχιακή διατριβή ως παράμετρος η αθροιστική βροχόπτωση έναντι της μέσης βροχόπτωσης.

Αντίθετα άλλες μελέτες υποστηρίζουν την ύπαρξη μεγαλύτερης συσχέτισης μεταξύ βροχόπτωσης και βλάστησης σε σχέση με τη θερμοκρασία. Ο συντελεστής συσχέτισης σε θαμνώδεις εκτάσεις ανέρχεται σε $R^2=0.68$ ενώ για τις δασικές εκτάσεις είναι πολύ μικρότερος ($R^2 = 0.39$) (Del Grosso et al., 2008).

4.4 Γραμμική απεικόνιση των μεταβολών βροχόπτωσης και βλάστησης

Οι τιμές του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης έχουν μια σταθερή περιοδικότητα για τα έτη 2003-2010 (Διάγραμμα 7), η οποία συμπίπτει και με τον κύκλο της βλάστησης και έχει μια αυξητική τάση μέχρι τον Απρίλιο οπότε και έχει συνήθως τη μέγιστη τιμή του.





Διάγραμμα 7. Γραμμική απεικόνιση της μηνιαίας βροχόπτωσης (mm) στον άξονα Υ και των τιμών του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (EVI) στον άξονα Υ' σε ετήσια κλίμακα (1-12) για τα έτη 2003-2016.

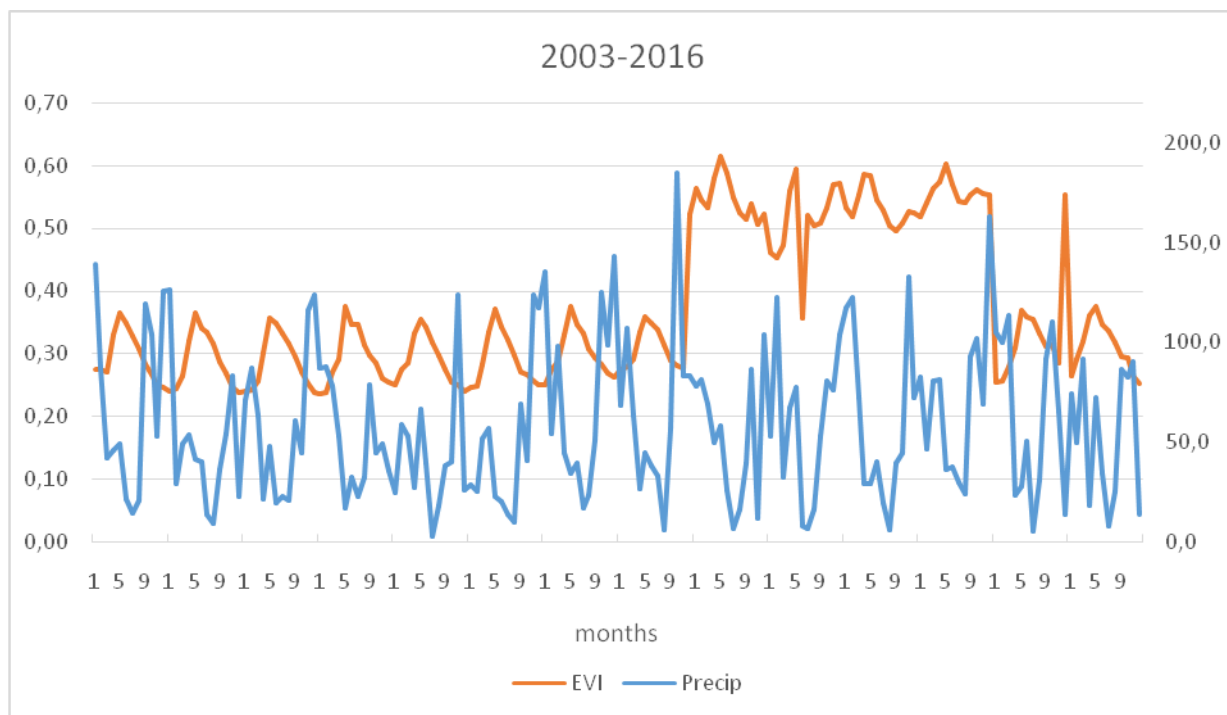
Εν συνεχεία, αρχίζει να μειώνεται μέχρι το τέλος του καλοκαιριού, πιθανών λόγω του ότι η χαμηλή βλάστηση (μακί και φρύγανα) αρχίζουν να ξεραίνονται. Από το φθινόπωρο και μετά, οπότε και παρατηρείται η φυλλόπτωση στα φυλλοβόλα είδη, ο δείκτης σταθεροποιείται στις αρχικές του τιμές. Οι τιμές της βροχόπτωσης επίσης ακολουθούν με περιοδικότητα την τάση υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης τους φθινοπωρινούς και χειμερινούς μήνες που ελαττώνεται την άνοιξη και εμφανίζει ελάχιστες τιμές Ιούλιο-Αύγουστο, πριν αυξηθεί ξανά τον Σεπτέμβρη. Παρόλα αυτά αξίζει να σημειωθεί ότι στη βροχόπτωση παρουσιάζονται πολύ μεγαλύτερες διακυμάνσεις και διαφοροποιήσεις από έτος σε έτος. Τα ευρήματα της έντονης διακύμανσης της βροχόπτωσης σε μεσογειακά κλίματα κατά τη διάρκεια του έτους, αλλά και μεταξύ των ετών υποστηρίζεται βιβλιογραφικά και από προηγούμενες μελέτες (Franco-Vizcaino et al., 2002). Πολλές πρόσφατες μελέτες για τις κλιματολογικές τάσεις καταλήγουν στο συμπέρασμα ότι η τάση στην παρατηρούμενη βροχόπτωση επηρεάζεται από τη σύνθετη λειτουργία του κλιματικού περιβάλλοντος, την ένταση της βροχόπτωσης και την εποχή (Osborn et al., 2000, Ventura et al., 2002).

Σε μηνιαίο επίπεδο, όπως έχει προκύψει και από τους συντελεστές συσχέτισης οι τιμές της βροχόπτωσης δεν φαίνεται να συσχετίζονται με τις τιμές της βλάστησης. Ίσως αυτή η μη-συσχέτιση να οφείλεται σε κάποιο βαθμό και στην υστέρηση μεταξύ των δύο μεταβλητών η οποία εν μέρη είναι εμφανής σε μηνιαίο επίπεδο. Για παράδειγμα αύξηση της βροχόπτωσης μεταξύ του 3^{ου} και 4^{ου} μήνα του 2008 αντιστοιχίζεται σε μεταβολή της αύξησης των τιμών του EVI με υστέρηση περίπου ενός μήνα. Ομοίως, μείωση της βροχόπτωσης μεταξύ του 3^{ου} και 4^{ου} το 2007 αντικατοπτρίζεται σε μεταβολή της κλίσης της καμπύλης του δείκτη EVI και αντιστοιχεί σε επίσχεση της αύξησης των τιμών του ένα μήνα μετά, μεταξύ του 4^{ου} και 5^{ου}. Ανάλογη υστέρηση των τιμών του δείκτη EVI αναφέρεται και σε άλλες μελέτες (Méndez-Barroso et al., 2009; Darmawan et al., 2014). Οι Peng, Huang and Wang (2007), σε μελέτη που πραγματοποιούν στην επαρχία Zhejiang με

βάση τα δεδομένα του MODIS-EVI και την ημερήσια βροχόπτωση από 52 μετεωρολογικούς σταθμούς το 2001-2004. Παρατήρησαν, επίσης, ότι ο EVI είχε χρονική υστέρηση κατά περίπου ένα μήνα με την βροχόπτωση. Σε μελέτη που πραγματοποιήθηκε στην υποσαχάρια Αφρική η υστέρηση υπολογίστηκε σε 4-32 ημέρες για τις τιμές του δείκτη EVI με τον συντελεστή συσχέτισης να παίρνει τις μέγιστες τιμές του φτάνοντας στο 0.56-0.80 (Jamali et al., 2011).

Αξίζει να σημειωθεί ότι η υστέρηση αυτή πιθανόν λόγω της φυσιολογίας των φυτικών ειδών που κυριαρχούν στον Ελλαδικό χώρο δεν αποτυπώνεται πάντα. Έτσι παραδείγματος χάριν θα περίμενε κανείς η υψηλή βροχόπτωση που παρατηρείται τον 9^ο του 2006 ή τον 5^ο του 2007 να αποτυπώνεται σε περαιτέρω αύξηση των τιμών του δείκτη EVI η οποία όμως δεν αποτυπώνεται γραφικά είτε γιατί έχει παρέλθει η περίοδος έντονης βλαστικής δραστηριότητας είτε γιατί τα φυτά έχουν εισέλθει σε φάση λήθαργου.

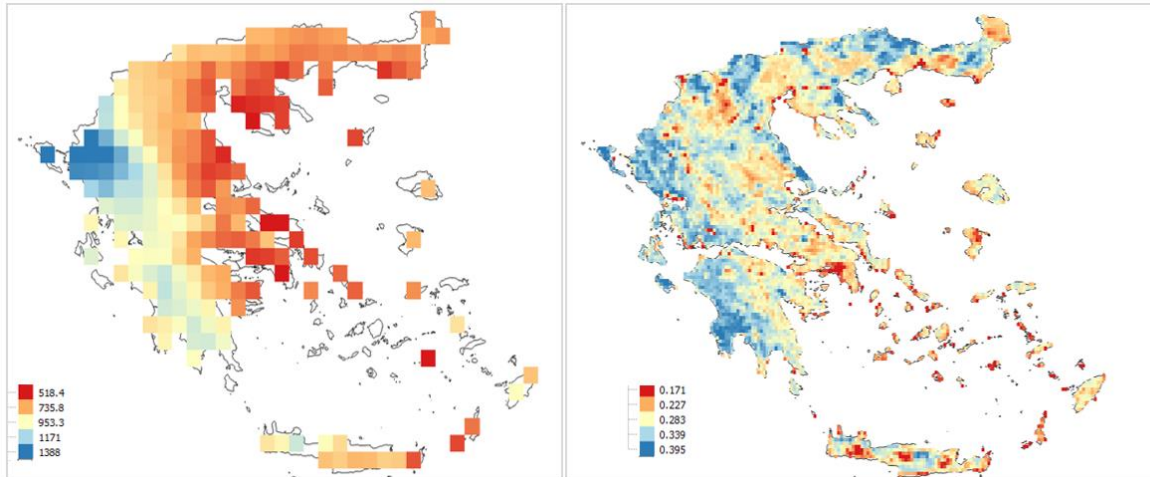
Από το 2010 και μετά οι μηνιαίες μεταβολές της βροχόπτωσης είναι πολύ πιο έντονες και εξίσου πιο εμφανής είναι η αποτύπωσή τους στις τιμές του δείκτη βλάστησης με την αντίστοιχη υστέρηση (Διάγραμμα 8). Εξίσου ακραίες διαφορές μεταξύ των ετών στις τιμές του δείκτη βλάστησης έχουν καταγραφεί και σε προηγούμενες μελέτες. Ο Méndez-Barroso και η ερευνητική ομάδα του (2009) εντόπισαν αύξηση της τάξεως του 300% στις τιμές του δείκτη EVI μετά την υγρή περίοδο μουσώνων του 2006 στο Μεξικό.



Διάγραμμα 8. Γραμμική απεικόνιση των τιμών του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης (EVI) στον άξονα X και της μηνιαίας βροχόπτωσης (mm) στον άξονα Y για τη χρονοσειρά που μελετήθηκε (2003-2016).

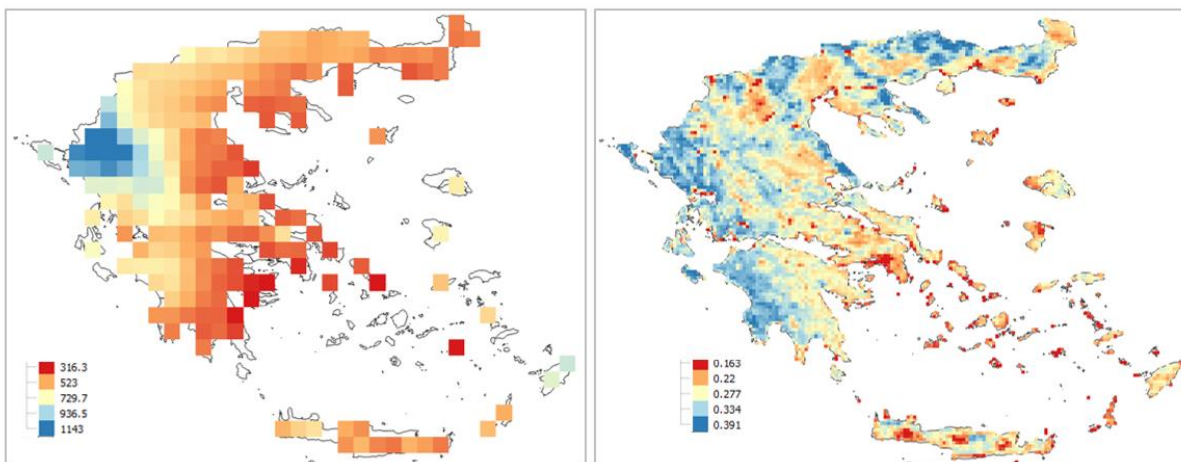
4.5 Ποιοτική σύγκριση βροχόπτωσης και βλάστησης σε ετήσια κλίμακα

Στο χάρτη της εικόνας 16 που αφορά τις τιμές της βροχόπτωσης το 2003, όπως είναι αναμενόμενο υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στη Δυτική Ελλάδα και χαμηλότερες στην Ανατολική Ελλάδα. Στις περιοχές με υψηλή βροχόπτωση, το ύψος της βαίνει μειούμενο από το Βορά προς τον Νότο. Το έτος αυτό, ιδιαίτερα χαμηλά ύψη βροχόπτωσης παρατηρούνται στην Ανατολική Στερεά Ελλάδα, στις Κυκλάδες αλλά και στη Θεσσαλία, στη Νότια Μακεδονία και στη Θράκη. Ο δείκτης βλάστησης είναι επίσης υψηλότερος στη Δυτική Ελλάδα και σε περιοχές της Ελλάδας που καλύπτονται από δασικές εκτάσεις, ελαιόδεντρα και άλλα σπυροφόρα όπως το Πήλιο και οι ορεινοί όγκοι της Μακεδονίας και της Θράκης.



Εκόνα 16. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2003

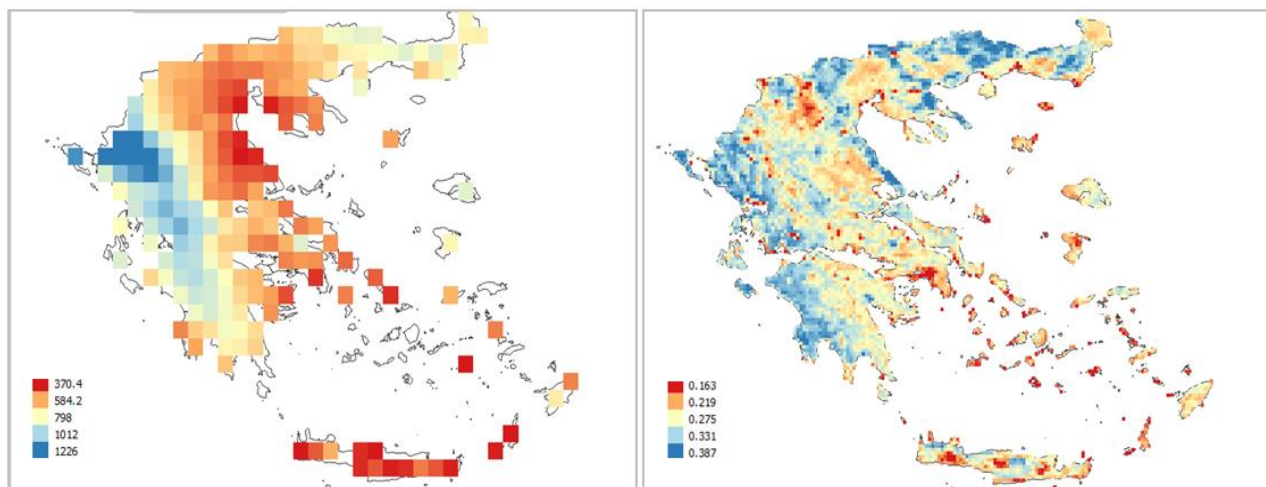
Το 2004 είναι μια χρονιά που το ύψος της βροχόπτωσης είναι πιο ομοιόμορφα κατανεμημένο. Οι υψηλότερες τιμές παρατηρούνται στα Βορειοδυτικά της Πίνδου και η χαμηλότερες στην Ανατολική Πελοπόννησο και στις Κυκλάδες. Ο δείκτης βλάστησης έχει παρόμοια κατανομή με το 2003 αν και οι τιμές του είναι ελαφρώς μειωμένες.



Εκόνα 17. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2004

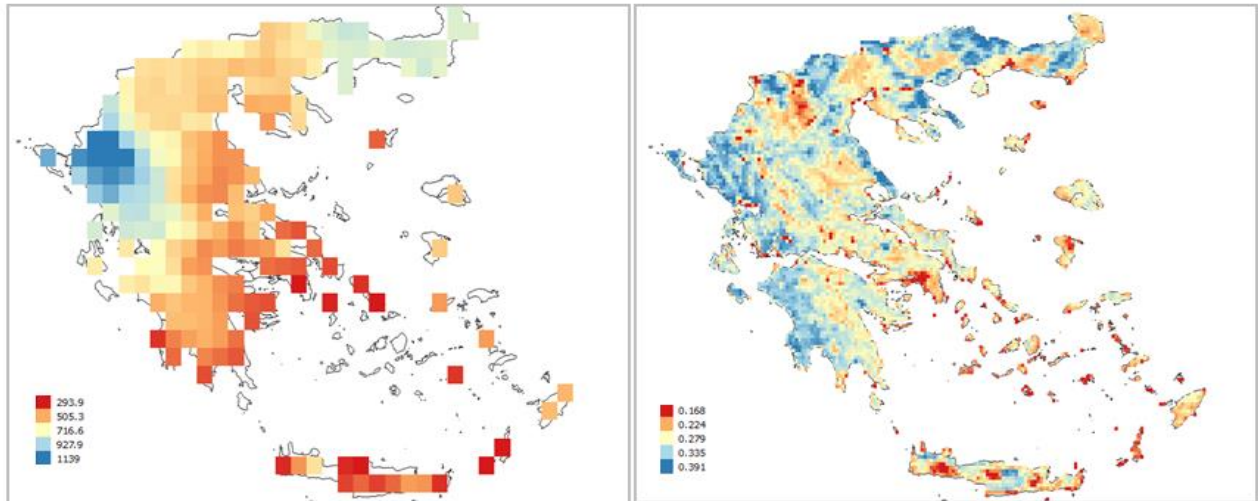
Το 2005 (Εικόνα 18) η βροχόπτωση είναι αυξημένη και κατανεμημένη πολύ πιο ομοιόμορφα κατά μήκος ολόκληρης της Δυτικής Ελλάδας. Ιδιαίτερα χαμηλό ύψος βροχής σε σχέση με τις προηγούμενες δύο χρονιές παρατηρείται στην Κρήτη. Αντίθετα, με εξαίρεση τη Θεσσαλία και τα Δωδεκάνησα, υψηλότερες τιμές βροχόπτωσης καταγράφονται στην Θράκη, στην Μακεδονία και την Ανατολική Πελοπόννησο. Παρά τις

υψηλότερες τιμές της βροχόπτωσης, ο δείκτης EVI εμφανίζει ελαφρώς μειωμένες τιμές, πιθανόν ως συνδυασμό της παρατηρούμενης υστέρησης και των χαμηλότερων τιμών βροχόπτωσης το 2004.



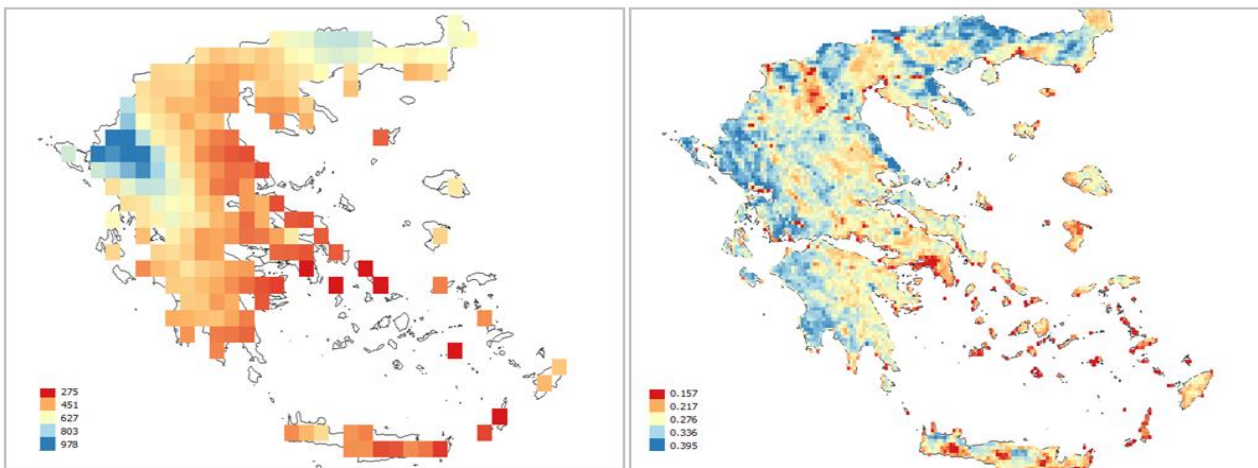
Εικόνα 18. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2005

Το έτος 2006, όσο αφορά τις τιμές της βροχόπτωσης, σταθερά παρατηρούνται πολύ υψηλές τιμές στα βορειοδυτικά της Ελλάδας, ενώ ιδιαίτερα υψηλές τιμές καταγράφονται και στη Θράκη. Το ύψος της βροχόπτωσης είναι αυξημένο τη χρονιά αυτή στην Μακεδονία αλλά και στην Θεσσαλία. Οι χαμηλότερες τιμές εμφανίζονται κυρίως στα νότια και ανατολικά με τα ελάχιστα να καταγράφονται στην Αττική, στις Κυκλάδες και στη Κρήτη. Μικρή αύξηση εμφανίζει ο δείκτης EVI, που οφείλεται κυρίως στην άνοδο των ελάχιστων τιμών στις καλλιεργούμενες περιοχές της ανατολικής Μακεδονίας και της Θεσσαλίας. Στην περίπτωση αυτή, η βλάστηση στις καλλιεργούμενες εκτάσεις, φαίνεται να έχει άμεση απόκριση στις αυξημένες τιμές της βροχόπτωσης (Εικόνα 19).



Εικόνα 19. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2006

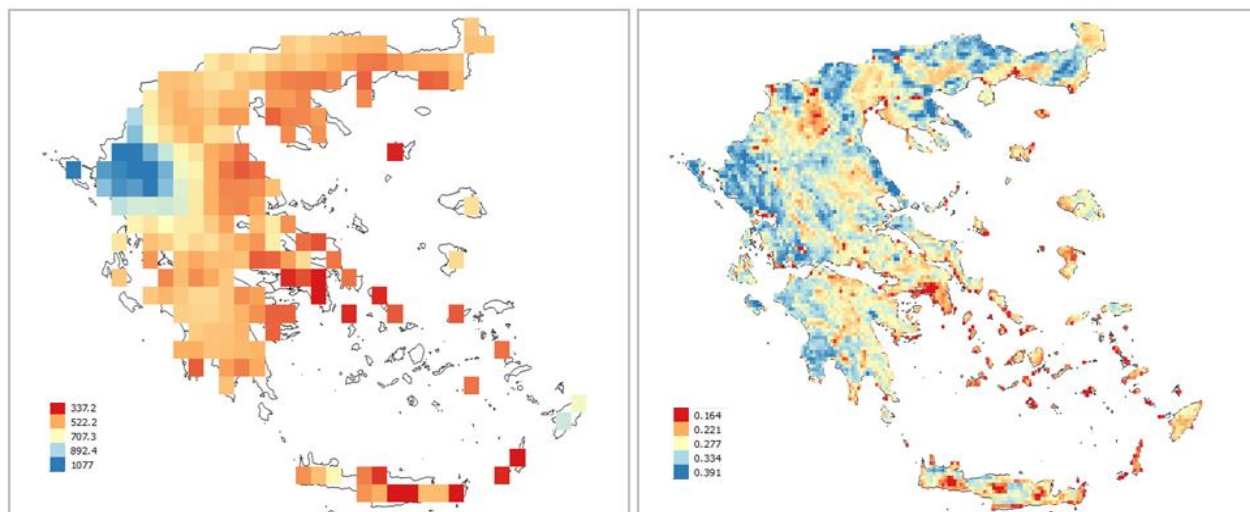
Η βροχόπτωση το 2007 εμφανίζει υψηλές τιμές μόνο στα βόρεια της χώρας, στην Ήπειρο και στην Βορειοανατολική Μακεδονία. Οι μέγιστες αυτές τιμές είναι χαμηλότερες σε σχέση με το 2006. Παρόλα αυτά η κατανομή της σε ολόκληρη τη χώρα είναι πολύ πιο ομοιόμορφη. Σε σχέση με τα δύο προηγούμενα έτη, η βροχόπτωση στην Κρήτη είναι αυξημένη και η αύξηση αυτή αποτυπώνεται και στις τιμές του δείκτη EVI (Εικόνα 20).



Εικόνα 20. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2007.

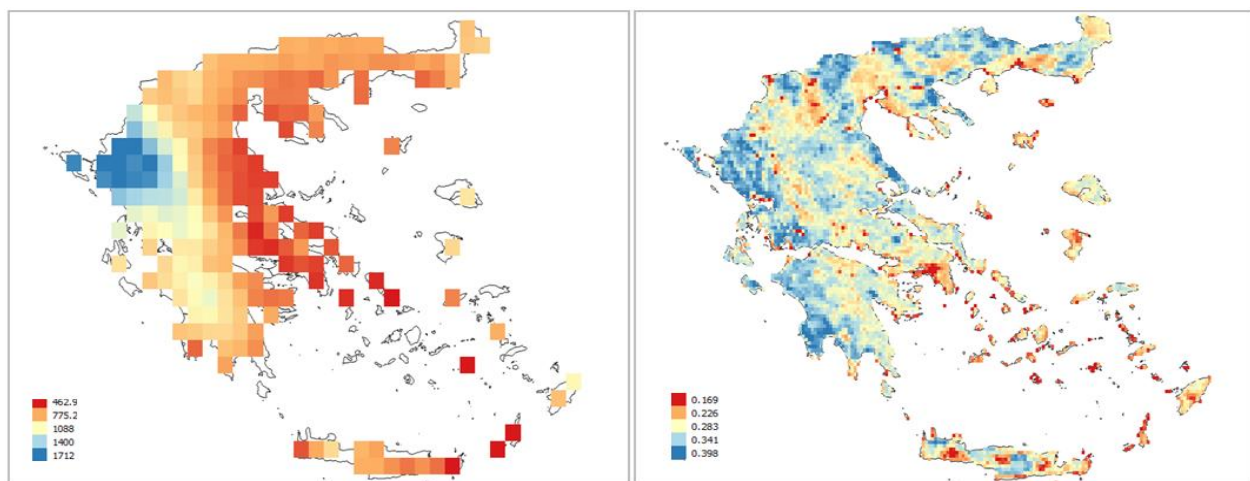
Το 2008 το ύψος της βροχόπτωσης είναι αυξημένο σε ολόκληρη τη χώρα και ιδιαίτερα στην Ανατολική Πελοπόννησο και στη Θεσσαλία σε σχέση με το 2007 (Εικόνα 21). Και τις

δύο χρονιές οι χαμηλότερες τιμές καταγράφονται στην Αττική, στις Κυκλάδες και στην ανατολική Κρήτη. Ιδιαίτερα χαμηλές τιμές βροχόπτωσης παρατηρούνται το 2008 και στην Ν. Λήμνου. Η διακύμανση στις τιμές του δείκτη EVI μεταξύ του 2007 και του 2008 είναι πολύ μικρή.



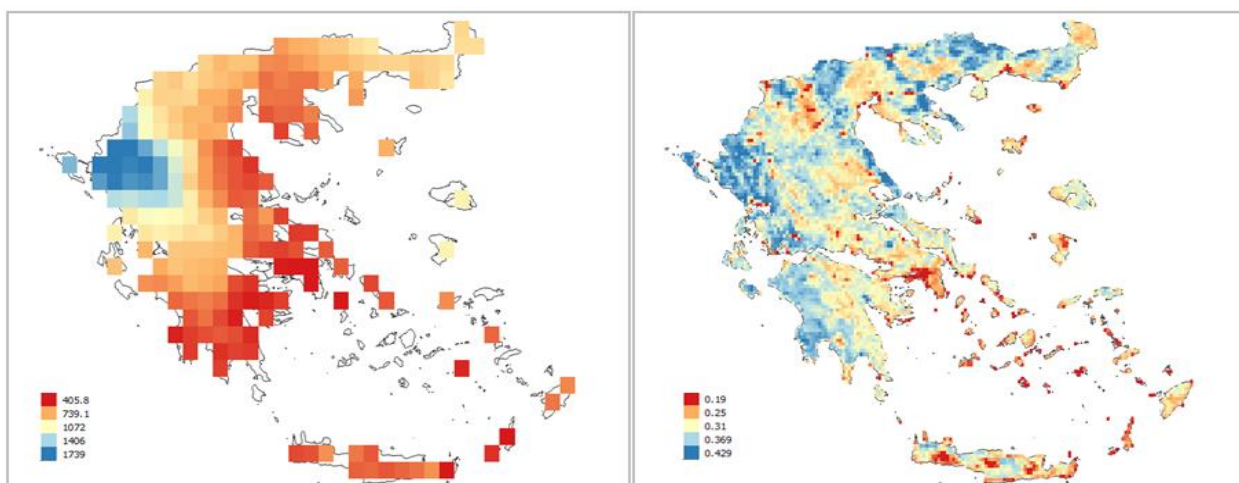
Εικόνα 21. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2008.

Οι τιμές της βροχόπτωσης το 2009 παρουσιάζουν αύξηση. Ωστόσο η αύξηση αυτή περιορίζεται στα Δυτικά της χώρας ενώ σε ολόκληρη την Ανατολική Ελλάδα η βροχόπτωση είναι αναλογικά πολύ χαμηλότερη. Οι υψηλότερες τιμές καταγράφονται στην Ήπειρο και στην Ν. Κέρκυρας. Οι υψηλότερες τιμές των βροχοπτώσεων στην Δυτική Πελοπόννησο αποτυπώνονται και στις τιμές του δείκτη EVI. Ενώ αντίστοιχα ο EVI ακολουθεί την μείωση της βροχόπτωσης στον Θεσσαλικό κάμπο (Εικόνα 22).



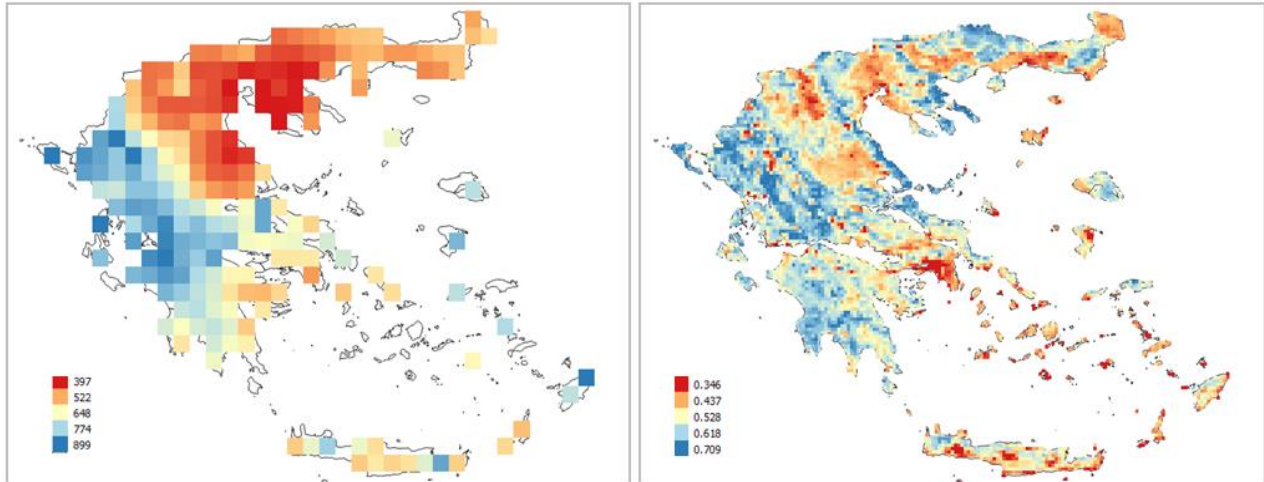
Εικόνα 22. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2009.

Το 2010 είναι μία χρονιά που με εξαίρεση τα Βορειοδυτικά και την Θράκη, χαμηλά ύψη βροχόπτωσης καταγράφονται στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας. Οι τιμές είναι ιδιαίτερα χαμηλές στην Κεντρική και Νότια Πελοπόννησο, στην Στερεά Ελλάδα, στη Θεσσαλία, στην Κεντρική Μακεδονία, τις Κυκλάδες και στην Κρήτη. Η μείωση αυτή της βροχόπτωσης αποτυπώνεται στις τιμές της βλάστησης μόνο σε μικρό ποσοστό στον κάμπο της Θεσσαλίας ενώ κατά τα άλλα παραμένει σχετικά αμετάβλητη (Εικόνα 23).



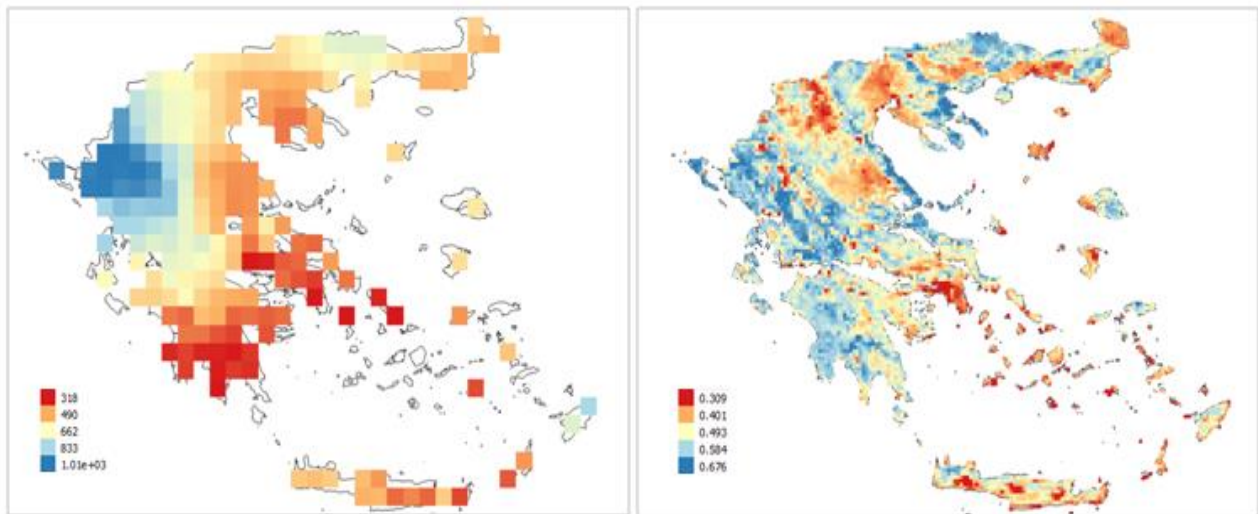
Εικόνα 23. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2010.

Το 2011 είναι μία χρονιά που διαφοροποιείται κατά πολύ σε σχέση με τα προηγούμενα έτη. Τα ύψη της βροχόπτωσης είναι μειωμένα περίπου κατά 50% σε σχέση με το 2010 και η κατανομή του διαφέρει κατά πολύ σε σχέση με την ως τώρα εικόνα. Υψηλότερες βροχοπτώσεις εντοπίζονται σε ολόκληρη τη δυτική Ελλάδα αλλά και στην Νότια Εύβοια, την Κρήτη, τα Δωδεκάνησα και τη Ν. Λέσβου. Αντίθετα, ιδιαίτερα χαμηλές τιμές παρατηρούνται στην Κεντρική Μακεδονία και δευτερευόντως στη Θεσσαλία και την Δυτική Μακεδονία. Η εικόνα αυτή αποτυπώνεται αντιστρόφως και στις τιμές του δείκτη βλάστησης, οι οποίες αυξάνουν συγκριτικά με το προηγούμενο έτος στη Νότια Πελοπόννησο και μειώνονται στη Μακεδονία (Εικόνα 24).



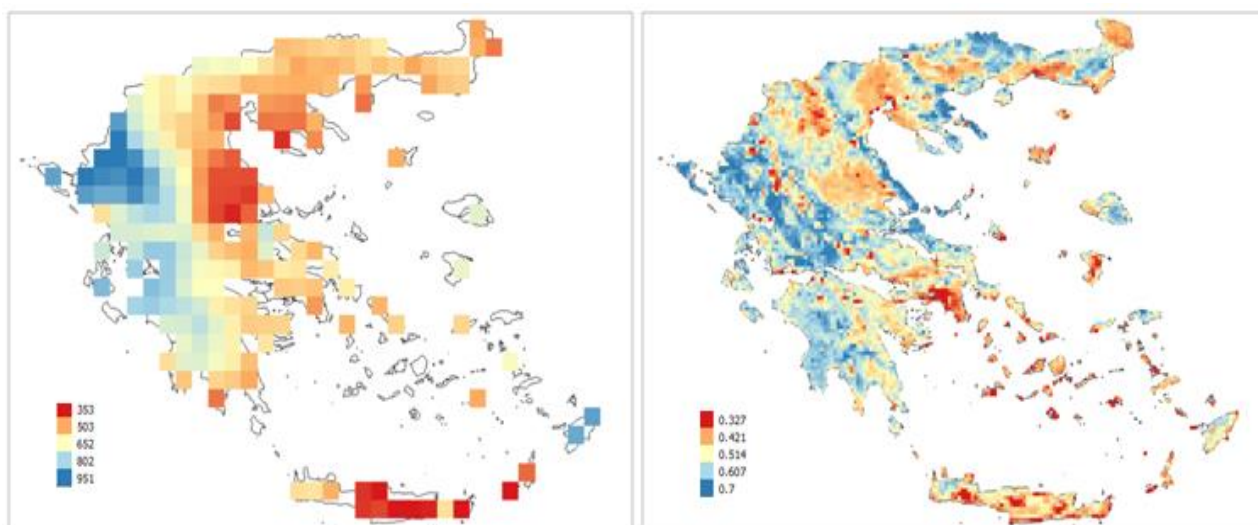
Εικόνα 24. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2011.

Η εικόνα της βροχόπτωσης το 2012 (Εικόνα 25) προσομοιάζει περισσότερο με αυτή του 2010. Αν και οι ελάχιστες τιμές παραμένουν στα ίδια επίπεδα οι μέγιστες τιμές της βροχόπτωσης αυξάνουν σε σχέση με το 2011. Τα μεγαλύτερα ύψη εντοπίζονται στα Βορειοδυτικά, ενώ υψηλές τιμές καταγράφονται και στην Ανατολική Μακεδονία. Οι χαμηλότερες τιμές εντοπίζονται στην Νότια Πελοπόννησο, στη Στερεά και στις Κυκλάδες. Οι τιμές του δείκτη EVI είναι πολύ υψηλότερες σε σχέση με το προηγούμενο έτος αν και η κατανομή τους στον Ελλαδικό χώρο παραμένει αμετάβλητη.



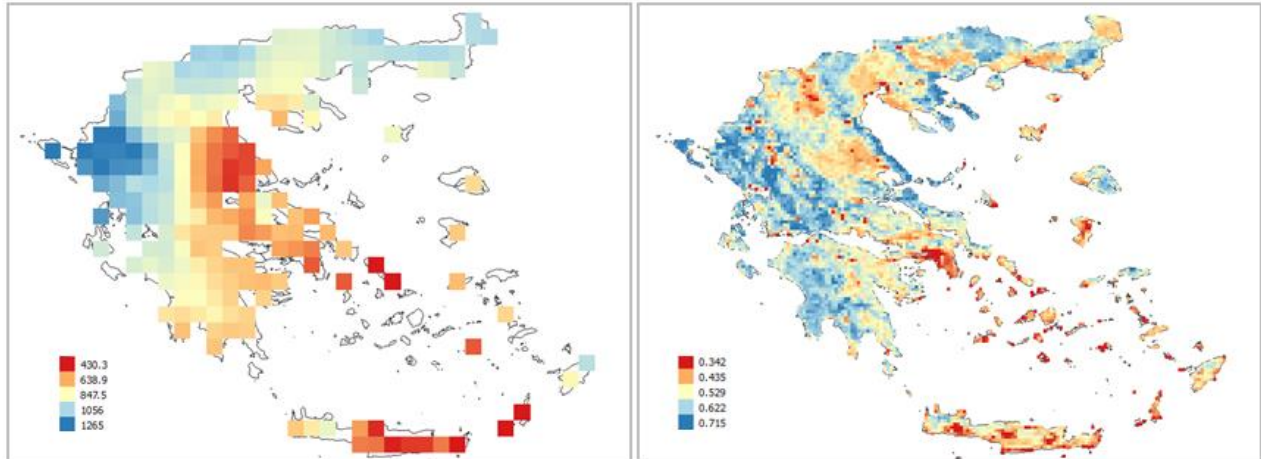
Εικόνα 25. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2012.

Το 2013 η συνολική εικόνα της κατανομής των υψηλότερων ποσοτήτων βροχόπτωσης (Εικόνα 26) ακολουθεί αυτή του 2011. Πολύ μεγάλο ύψος βροχόπτωσης καταγράφεται και στην Ν. Ρόδου. Όσο αφορά τα χαμηλότερα ύψη όμως, οι χαμηλές τιμές περιορίζονται στη Θεσσαλία και στην Κεντρική και Ανατολική Κρήτη και στην Ν. Καρπάθου. Οι μικρές διαφοροποιήσεις των τιμών του δείκτη EVI εντοπίζονται κυρίως στην Ν. Κρήτης και στη Θεσσαλία αντικατοπτρίζοντας τις χαμηλές τιμές της βροχόπτωσης.



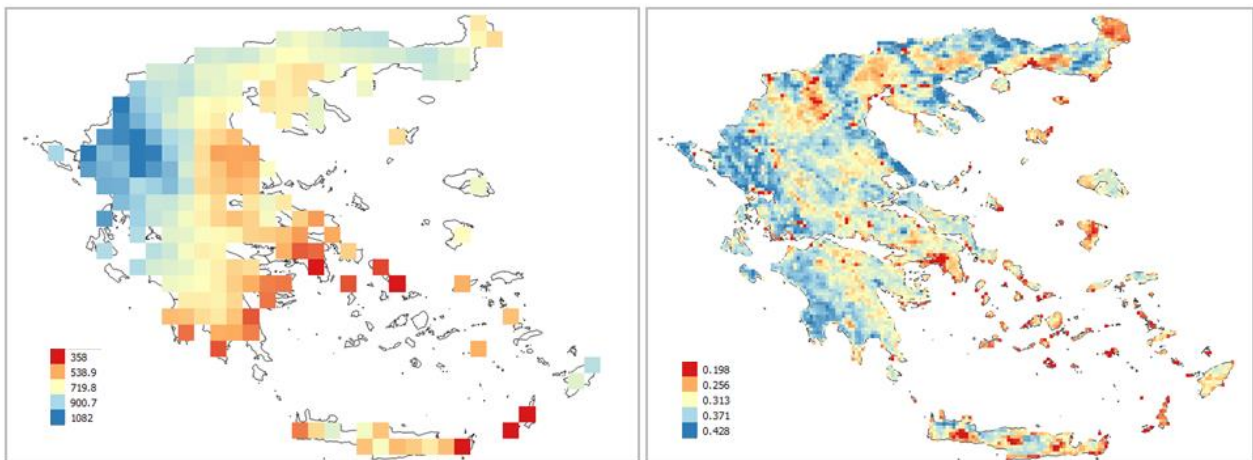
Εικόνα 26. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2013.

Το 2014 είναι μια χρονιά με μεγάλα ύψη βροχόπτωσης στο μεγαλύτερο μέρος της χώρας και ιδιαίτερα στα δυτικά και στα βόρεια. Όπως και το προηγούμενο έτος τα μικρότερα ύψη εντοπίζονται στη Θεσσαλία και στην Κεντρική και Ανατολική Κρήτη (Εικόνα 27). Αντίστοιχα, οι μικρές αυξήσεις των τιμών του δείκτη EVI εντοπίζονται κυρίως στην Κεντρική Μακεδονία και στη Θράκη όπου οι τιμές της βροχόπτωσης τη χρονιά αυτή είναι αυξημένες.



Εικόνα 27. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2014.

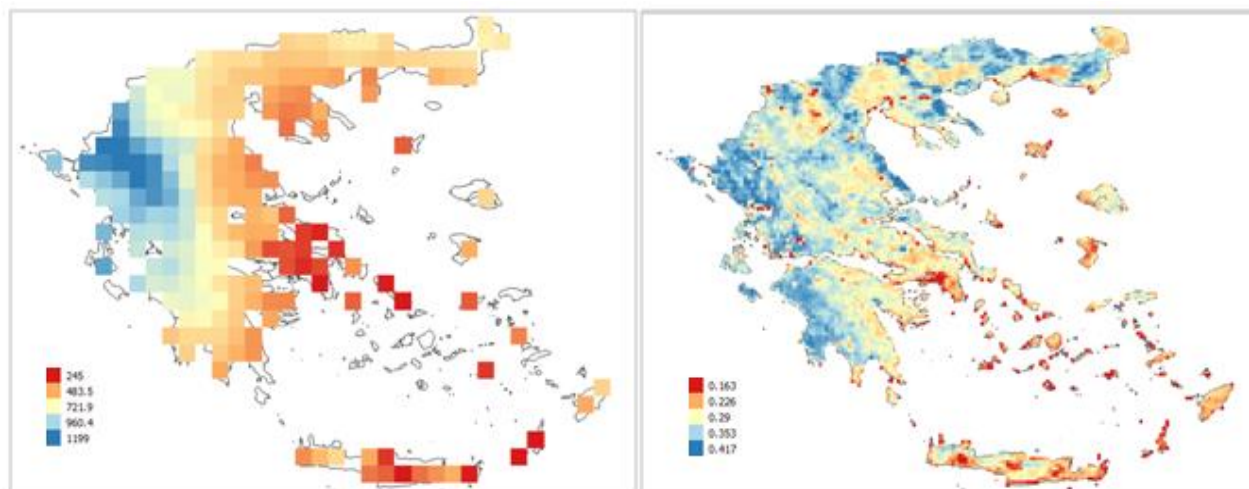
Ιδιαίτερα μεγάλα ύψη βροχόπτωσης καταγράφονται σε ολόκληρη την Ελλάδα το 2015 (Εικόνα 28). Οι μεγαλύτερες τιμές όπως πάντα εντοπίζονται στα Δυτικά και στα Βόρεια ενώ οι χαμηλότερες τιμές παρατηρούνται στην Αττική και στην νησιωτική Ελλάδα, στις Κυκλάδες, στην Ν. Κρήτης και στην Ν. Καρπάθου. Αξιοσημείωτο είναι ότι παρά τα μεγάλα ύψη βροχόπτωσης οι τιμές του δείκτη EVI είναι σημαντικά μειωμένες σε ολόκληρη τη χώρα αν και η χωρική κατανομή τους παραμένει αναλογικά αμετάβλητη.



Εικόνα 28. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2015.

Το 2016 οι τιμές της βροχόπτωσης ακολουθούν την κατανομή από δυτικά προς τα ανατολικά και από το Βορρά προς Νότο όπως αυτή περιγράφεται αναλυτικά στο

εισαγωγικό κεφάλαιο. Οι υψηλότερες τιμές εντοπίζονται στην Ήπειρο και στα νησιά του Ιονίου ενώ οι χαμηλότερες εντοπίζονται στην Στερεά Ελλάδα, στις Κυκλάδες και στην Κρήτη. Η μείωση αυτή της βροχόπτωσης αντικατοπτρίζεται και στις τιμές του δείκτη EVI (Εικόνα 29).



Εικόνα 29. Ετήσια βροχόπτωση και μέση ετήσια τιμή του δείκτη EVI για το έτος 2016.

Γενικά, άμεση απόκριση των τιμών του δείκτη EVI σε μεταβολές των τιμών της βροχόπτωσης εντοπίζονται κυρίως σε περιοχές με μη αρδευόμενες καλλιεργούμενες εκτάσεις (π.χ. αμπελώνες, σιτοβολώνες στην Κορινθία και τον Θεσσαλικό κάμπο) ή σε πολυετείς καλλιέργειες που ευνοούνται από την αύξηση του διαθέσιμου ύδατος (πχ στα πυρηνόκαρπα στην Βορειοδυτική Μακεδονία, και τα μηλοειδή στο Πήλιο). Επίσης, οι μεταβολές είναι εμφανέστερες σε οριακές περιοχές όπως η Ν. Κρήτη και η Νότια Πελοπόννησος που η τοπική χλωρίδα έχει αναπτύξει προσαρμοστικούς μηχανισμούς σε ξηροθερμικές συνθήκες οπότε αξιοποιούν άμεσα την όποια διαθέσιμη υγρασία.

Στο σημείο αυτό πρέπει να επισημανθεί ότι για την ακριβέστερη συσχέτιση των δεδομένων ποσοτικά, δηλαδή σε επίπεδο pixel, απαραίτητη προϋπόθεση είναι η μετατροπή στη χωρική ανάλυση των αρχείων, το οποίο δεν αποτέλεσε αντικείμενο της παρούσας μελέτης.

Κεφαλαίο 5

Συμπεράσματα

Αντικείμενο της παρούσης μεταπτυχιακής διατριβής είναι ο καθορισμός των χωροχρονικών μεταβολών της βροχόπτωσης και του βελτιωμένου δείκτη βλάστησης EVI στον ελλαδικό χώρο για τη χρονοσειρά που μελετήθηκε (2003-2016). Από τα αποτελέσματα που προέκυψαν είναι εμφανής μια εποχική περιοδικότητα στις τιμές του δείκτη EVI. Περιοδικότητα εμφανίζεται και στις τιμές της βροχόπτωσης αν και οι εποχικές αλλά και οι ετήσιες διακυμάνσεις στις τιμές αυτές είναι πολύ μεγαλύτερες. Ως προς τη συσχέτιση των μεταβλητών αυτών δεν φαίνεται να υπάρχει εμφανώς κάποια γραμμική σχέση, θετική ή αρνητική, μεταξύ τους. Αυτό πιθανόν να οφείλεται σε κάποιο βαθμό στην υστέρηση που υπάρχει μεταξύ τους δεδομένου ότι η όποια απόκριση των τιμών του δείκτη βλάστησης στις μεταβολές της βροχόπτωσης δεν είναι ακαριαία. Πρέπει ωστόσο να γίνει κατανοητό ότι η σχέση της βροχόπτωσης και της βλάστησης είναι πολυπαραγοντική και ως εκ τούτου ήταν αναμενόμενο η γραμμική συσχέτιση δύο μόνο παραγόντων να μην επαρκεί για να την περιγράψει παρά μόνον ίσως σε έναν πολύ μικρό βαθμό.

Η ανταπόκριση της βλάστησης στη βροχόπτωση αποτελεί μια απλουστευμένη προσέγγιση για την αποτίμηση γενικών τάσεων και υπάρχει πληθώρα μελετών που υποστηρίζουν την ύπαρξη κάποιας σχέσης μεταξύ τους (Prasad et al., 2005; Li et al., 2004; Wang et al., 2003; Chamaille-Jammes et al., 2006).

Ωστόσο, πλήθος από προηγούμενες μελέτες που περιγράφουν τη σχέση αυτή καταλήγουν σε διαφορετικά χωρικά και χρονικά μοντέλα που την περιγράφουν, υποδηλώνοντας ότι εμπλέκονται και άλλοι βιοτικοί και αβιοτικοί παράγοντες (Le Houérou et al., 1988; Wigmosta, Vail and Lettenmaier, 1994; Jobbagy et al., 2002; Verón et al., 2006; Jamali et al., 2011). Οι αβιοτικοί παράγοντες περιλαμβάνουν την θερμοκρασία, την φωτοπερίοδο, την επιφάνεια και τις ιδιότητες του εδάφους αλλά και την τοπογραφία μιας περιοχής.

Ιδιαίτερα η θερμοκρασία έχει άμεσες και έμμεσες επιδράσεις καθορίζοντας την εξατμισοδιαπνοή των φυτών, τα φυτικά είδη που ευδοκιμούν σε κάθε περιοχή, την εποχικότητα και την ημερομηνία έναρξης της καλλιεργητικής περιόδου (Schultz and Halpert, 1995; Jobbagy et al., 2002, Méndez-Barroso et al., 2009).

Μία άλλη παράμετρος που επηρεάζει και καθορίζει τη σχέση των δύο αυτών παραμέτρων, της βροχόπτωσης και της βλάστησης, συνίσταται στην επίδραση των βιοτικών χαρακτηριστικών των οικοσυστημάτων της εκάστοτε περιοχής μελέτης. Τα λειτουργικά και διαρθρωτικά χαρακτηριστικά της βλάστησης, όπως ο τύπος της κόμμης των δέντρων, η ποικιλότητα των ειδών ή το βάθος των ριζών, καθορίζουν άμεσα ή έμμεσα και τις τιμές των δεικτών βλάστησης (Huxman et al., 2004; Méndez-Barroso et al., 2009). Για παράδειγμα οι Lloret et al. (2007) έδειξαν ότι η παρουσία ή μη ξηροθερμικών καθορίζει σε μεγάλο βαθμό και την εμφάνιση ή όχι αλλαγών στο δείκτη βλάστησης κατά τη διάρκεια των ξηρότερων περιόδων. Οι Miranda et al. (2009) διαπίστωσαν επίσης υψηλή περιορισμένη απόκριση ετήσιων ειδών σε μείωση της βροχόπτωσης χάρη στην παρουσία ειδών προσαρμοσμένων στις υψηλές κλιματικές διακυμάνσεις.

Λαμβάνοντας όλες τις παραπάνω παραμέτρους γίνεται εύκολα αντιληπτό ότι για να αποτιμηθούν ακριβέστερα οι χωροχρονικές μεταβολές της βροχόπτωσης και της βλάστησης είναι απαραίτητη μια πολύ εκτενέστερη μελέτη η οποία θα συνεκτιμήσει και την επίδραση των επιμέρους παραμέτρων που αναφέρονται παραπάνω. Πόσο δε μάλλον εάν η μελέτη αυτή καλείται να περιγράψει μία περιοχή με τόσο μεγάλη βιοποικιλότητα και ποικιλομορφία στο γεωγραφικό της ανάγλυφο όπως είναι ο ελλαδικός χώρος.

Επίσης, σημαντικό εύρημα που προέκυψε από την ανάλυση των αποτελεσμάτων της παρούσας μελέτης είναι η υστέρηση ενός μηνός περίπου που εμφανίζεται στην απόκριση των μεταβολών στις τιμές του δείκτη EVI σε μεταβολές της βροχόπτωσης που έχουν προηγηθεί. Η υστέρηση, η οποία εντοπίστηκε θα πρέπει να ληφθεί υπόψη σε επόμενες μελέτες κατά τον υπολογισμό της μεταξύ τους συσχέτισης όπως έχει γίνει και σε πλήθος άλλων μελετών (Jamali, 2011; Guo et al., 2014) ώστε να υπολογιστεί με μεγαλύτερη ακρίβεια ο συντελεστής συσχέτισης και να περιγραφεί ακριβέστερα η μεταξύ τους σχέση.

Τέλος, με αφορμή την απότομη αύξηση στις τιμές του δείκτη EVI που εμφανίζεται από το τέλος του 2010 έως το 2014, αξίζει να αναζητηθούν ανάλογες τέτοιες μεταβολές και να γίνει συσχέτισή τους με άλλες παραμέτρους που ενδεχομένως να συνέβαλλαν στην αύξηση αυτή, όπως παραδείγματος χάριν ο αριθμός ημερών με ηλιοφάνεια/συννεφιά, μεταφορά σκόνης από την Σαχάρα ή ακόμα και με μακροσκοπικά γεγονότα πχ ηλιακές καταιγίδες, φαινόμενα όπως το El nino κλπ (Poveda et al., 2001; Zou and Zhai, 2004).

Βιβλιογραφία

Aggarwal, S. (2004). Principles of remote sensing. *Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology*, 23-38.

Alcamo, J., Flörke, M., & Märker, M. (2007). Future long-term changes in global water resources driven by socio-economic and climatic changes. *Hydrological Sciences Journal*, 52(2), 247-275.

Alexakis, D. D., Hadjimitsis, D. G., and Agapiou, A. (2013). Integrated use of remote sensing, GIS and precipitation data for the assessment of soil erosion rate in the catchment area of “Yialias” in Cyprus. *Atmospheric Research*, 131, 108-124.

Alexandridis, T. K., Gitas, I. Z., and Silleos, N. G. (2008). An estimation of the optimum temporal resolution for monitoring vegetation condition on a nationwide scale using MODIS/Terra data. *International Journal of Remote Sensing*, 29(12), 3589-3607.

Alverson, K., Bradley, R., Briffa, K., Cole, J., Hughes, M., Larocque, I., ...andTudhope, S. (2001). Disappearing evidence: The need for a global paleoclimate observing system. *Global Change Newsletter*, 46, 2-6.

Anderson, R. G., Canadell, J. G., Randerson, J. T., Jackson, R. B., Hungate, B. A., Baldocchi, D. D., ... and Diffenbaugh, N. S. (2011). Biophysical considerations in forestry for climate protection. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 9(3), 174-182.

Anderson, R. G., Jin, Y., and Goulden, M. L. (2012). Assessing regional evapotranspiration and water balance across a Mediterranean montane climate gradient. *Agricultural and forest meteorology*, 166, 10-22.

Arnell, N. W., Livermore, M. J., Kovats, S., Levy, P. E., Nicholls, R., Parry, M. L., and Gaffin, S. R. (2004). Climate and socio-economic scenarios for global-scale climate change impacts assessments: characterising the SRES storylines. *Global Environmental Change*, 14(1), 3-20.

Ashiq, M. W., Zhao, C., Ni, J., and Akhtar, M. (2010). GIS-based high-resolution spatial interpolation of precipitation in mountain–plain areas of Upper Pakistan for regional climate change impact studies. *Theoretical and Applied Climatology*, 99(3-4), 239.

Baret, F., and Guyot, G. (1991). Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. *Remote sensing of environment*, 35(2-3), 161-173.

Bartzokas, A., Metaxas, D. A., and Ganas, I. S. (1994). Spatial and temporal sea-surface temperature, covariances in the mediterranean. *International Journal of Climatology*, 14(2), 201-213.

Bar-Matthewsa, M., Ayalona, A., Kaufmanb, A., andWasserburgc, G. J. (1999). The Eastern Mediterranean paleoclimate as a reflection of regional events: Soreq cave, Israel. *Earth and Planetary Science Letters*, 166, 85-95.

Bernherdson, T. (1992) *Geographic Information Systems*. Arendal, Norway, VIAK IT.

Berry, J. A., and Downton, W. J. S., (1982). Environmental regulation of photosynthesis. In *Photosynthesis* (pp. 263-343).

Biggs, T.W., P.S. Thenkabail, M.K. Gumma, C.A. Scott, G.R. Parthasaradhi, H.N. Turrall, 2006, Irrigated area mapping in heterogeneous landscapes with MODIS time series, ground truth and census data. Krishna Basin, India. *International Journal of Remote Sensing*, 27, 4245–4266.

Birth, G. S., and McVey, G. R. (1968). Measuring the Color of Growing Turf with a Reflectance Spectrophotometer 1. *Agronomy Journal*, 60(6), 640-643.

Bounoua, L., Collatz, C.J., Los, S.O., Sellers, P.J., Dazlich, D.A., Tucker, C.J. and Randall, D.A. (2000). Sensitivity of climate to NDVI changes. *Journal of Climate*, 13, 2277–2292.

Brando, P. M., Goetz, S. J., Baccini, A., Nepstad, D. C., Beck, P. S., and Christman, M. C. (2010). Seasonal and interannual variability of climate and vegetation indices across the Amazon. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(33), 14685-14690.

Brunetti, M., Maugeri, M., Monti, F., and Nanni, T. (2006). Temperature and precipitation variability in Italy in the last two centuries from homogenised instrumental time series. *International journal of climatology*, 26(3), 345-381.

Brunsell, N. A. (2006). Characterization of land-surface precipitation feedback regimes with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 100(2), 200-211.

Campbell, J.(1996) *Introduction to Remote Sensing*. 2nd Edition, The Guilford Press, New York.

Chamaille-Jammes, S., Fritz, H., and Murindagomo, F. (2006). Spatial patterns of the NDVI–rainfall relationship at the seasonal and inter-annual time scales in an African savanna. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (23), 5185–5200.

Chapman, L., andThornes, J. E. (2003). The use of geographical information systems in climatology and meteorology. *Progress in physical geography*, 27(3), 313-330.

Crowley, T. J. (2000). Causes of climate change over the past 1000 years. *Science*, 289(5477), 270-277.

Darmawan, S., Takeuchi, W., Shofiyati, R., Sari, D. K., andWikantika, K. (2014). Seasonal

analysis of precipitation, drought and Vegetation index in Indonesian paddy field based on remote sensing data. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 20, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.

Del Grosso, S., Parton, W., Stohlgren, T., Zheng, D., Bachelet, D., Prince, S., ... & Olson, R. (2008). Global potential net primary production predicted from vegetation class, precipitation, and temperature. *Ecology*, *89*(8), 2117-2126.

Deng, F., Su, G., and Liu, C. (2007). Seasonal variation of MODIS vegetation indexes and their statistical relationship with climate over the subtropic evergreen forest in Zhejiang, China. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *4*(2), 236-240.

Diodato, N. (2005). The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. *International journal of Climatology*, *25*(3), 351-363.

Di, L., Rundquist, D. C., and Han, L. (1994). Modelling relationships between NDVI and precipitation during vegetative growth cycles. *International Journal of Remote Sensing*, *15*(10), 2121-2136.

Eagleson, P. S. (1970). *Dynamic hydrology*. New York, McGraw-Hill.

Ellis, E. A., Nair, P. K. R., Linehan, P. E., Beck, H. W., and Blanche, C. A. (2000). A GIS-based database management application for agroforestry planning and tree selection. *Computers and Electronics in Agriculture*, *27*(1-3), 41-55.

EMEKA, 2011. The environmental, economic and social impacts of climate change in Greece. *Economic Research Department, Bank of Greece, June*. Climate Change Impacts Study Committee

Fang, J., Piao, S., Zhou, L., He, J., Wei, F., Myneni, R. B., ... & Tan, K. (2005). Precipitation patterns alter growth of temperate vegetation. *Geophysical research letters*, 32(21).

Feidas, H., Karagiannidis, A., Keppas, S., Vaitis, M., Kontos, T., Zanis, P., ...and Anadranistakis, E. (2014). Modeling and mapping temperature and precipitation climate data in Greece using topographical and geographical parameters. *Theoretical and applied climatology*, 118(1-2), 133-146.

Franco-Vizcaino, E., Escoto-Rodriguez, M., Sosa-Ramirez, J., and Minnich, R. A. (2002). Water balance at the southern limit of the Californian mixed-conifer forest and implications for extreme-deficit watersheds. *Arid Land Research and Management*, 16(2), 133-147.

Gao, B. C. (1996). NDWI—A normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. *Remote sensing of environment*, 58(3), 257-266.

Garbulsky, M. F., Peñuelas, J., Papale, D., and Filella, I. (2008). Remote estimation of carbon dioxide uptake by a Mediterranean forest. *Global Change Biology*, 14(12), 2860-2867.

Gibelin, A. L., andDéqué, M. (2003). Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model. *Climate Dynamics*, 20(4), 327-339.

Gibson, P. and Power, C. (2000). *Introductory Remote Sensing: Digital Image Processing and Applications*. NewYork, Routledge.

Gong, P., and Xu, B. (2003). Remote sensing of forests over time. In: Wulder M.A. and Franklin, S.E. (eds) *Remote sensing of forest environments*. Boston, MA, Springer, pp. 301-333.

Gottfried, M., Pauli, H., Futschik, A., Akhalkatsi, M., Barančok, P., Alonso, J. L. B., ... & Krajčí, J. (2012). Continent-wide response of mountain vegetation to climate change. *Nature Climate Change*, 2(2), 111.

Gouvas, M., and Sakellariou, N. (2011). *Climate and forest vegetation of Greece*. National Observatory of Athens, Institute of Environmental Research and Sustainable Development, Athens. Technical Report: 01/2011.

Guillevic, P., Koster, R.D., Suarez, M.J., Bounoua, L., Collatz, G.J., Los, S.O. and Mahanama, S.P.P. (2002). Influence of the interannual variability of vegetation on the surface energy balance: a global sensitivity study. *Journal of Hydrometeorology*, 3 (6), 617–629.

Guo, W., Ni, X., Jing, D., and Li, S. (2014). Spatial-temporal patterns of vegetation dynamics and their relationships to climate variations in Qinghai Lake Basin using MODIS time-series data. *Journal of Geographical Sciences*, 24(6), 1009-1021.

Holm, A. M., Cridland, S. W., and Roderick, M. L. (2003). The use of time-integrated NOAA NDVI data and rainfall to assess landscape degradation in the arid shrubland of Western Australia. *Remote Sensing of Environment*, 85(2), 145-158.

Hongbo, W., Yanqiu, X., Wei, S., and Licun, L. (2010). Precipitation Estimation Based on MODIS Vegetation Index: A Case Study of Heilongjiang Province [J]. *Journal of Northeast Forestry University*, 11, 025.

Houborg, R., Fisher, J. B., and Skidmore, A. K. (2015). Advances in remote sensing of vegetation function and traits. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 43, 1-6.

Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote sensing of environment*, 25(3), 295-309.

Huete, A. R., Jackson, R. D., and Post, D. F. (1985). Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. *Remote sensing of environment*, 17(1), 37-53.

Huxman, T.E., Smith, M.D., Fay, P.A., Knapp, A.K., Shaw, M.R., Loik, M.E., Smith, S.D., Tissue, D.T., Zak, J.C., Weltzin, J.F., Pockman, W.T., Sala, O.E., Haddad, B.M., Harte, J., Koch, G.W., Schwinning, S., Small, E.E., Williams, D.G., 2004. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. *Nature* 429, 651–654.

Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F., & Moneo, M. (2007). Challenges to manage the risk of water scarcity and climate change in the Mediterranean. *Water Resources Management*, 21(5), 775-788.

Jackson, R. B., Randerson, J. T., Canadell, J. G., Anderson, R. G., Avissar, R., Baldocchi, D. D., ... and Hungate, B. A. (2008). Protecting climate with forests. *Environmental Research Letters*, 3(4), 044006.

Jamali, S., Seaquist, J., Ardö, J., and Eklundh, L. (2011). Investigating temporal relationships between rainfall, soil moisture and MODIS-derived NDVI and EVI for six sites in Africa. *Savanna*, 21(3), 547-553.

Jazim, A. A. (2006). A monthly six-parameter water balance model and its application at arid and semiarid low yielding catchments. *Engineering Science*, 19, 65-82.

Jensen, J. R., (2005) *Introductory Digital Image Processing*, pp. 310-311

Jiang, Z., Huete, A. R., Didan, K., and Miura, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. *Remote sensing of Environment*, 112(10), 3833-3845.

Ji, L., and Peters, A. J. (2007). Performance evaluation of spectral vegetation indices using a statistical sensitivity function. *Remote Sensing of Environment*, 106(1), 59-65.

Jobbagy, E.G., Sala, O.E., and Paruelo, J.M. (2002). Patterns and controls of primary production in the Patagonian steppe: a remote sensing approach. *Ecology*, 83, 307-319.

Karaca, M., Deniz, A., and Tayanç, M. (2000). Cyclone track variability over Turkey in association with regional climate. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, 20(10), 1225-1236.

Karpouzos, D. K., Kavalieratou, S., and Babajimopoulos, C. (2010). Trend analysis of precipitation data in Pieria Region (Greece). *European Water*, 30, 31-40.

Karteris, M.A., (2004). *Environmental Remote Sensing*. Faculty of Forestry and Natural Environment, Aristotle University of Thessaloniki.

Katagis, T., I. Gitas, T. Alexandridis, C. Topaloglou, N. Silleos (2006). Developing MODIS time series for monitoring vegetation condition: preliminary results. In: Proceedings of 26th Symposium of European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL), 29 May - 2 June, Warsaw, Poland.

Kazakis, N., Mavrommatis, Th., and Voudouris, K. (2008). Changes in extreme hydrological event frequencies in Greece. *9th Conference of Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics*, Thessaloniki, 887-894.

Knapp, A. K., Fay, P. A., Blair, J. M., Collins, S. L., Smith, M. D., Carlisle, J. D., ... & McCarron, J. K. (2002). Rainfall variability, carbon cycling, and plant species diversity in a mesic grassland. *Science*, 298(5601), 2202-2205.

Kolios, S., Vorobev, A. V., Vorobeva, G. R., and Stylios, C. (2017). WebGIS Applications for Weather, Marine, and Atmospheric Environments. In: *GIS and Environmental Monitoring*. Springer, Cham, pp. 47-88.

Kolios, S., and Kalimeris, A. (2017). Annual and Monthly Precipitation Variability in the Ionian Islands Using 16-Year TRMM Data. In: Karacostas T., Bais A. and Nastos P. (eds)

Perspectives on Atmospheric Sciences. Springer, Cham, pp. 491-496

Kouli, M., Soupios, P., and Vallianatos, F. (2009). Soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*, 57(3), 483-497.

Koutsias, N., and Karteris, M. (2003). Classification analyses of vegetation for delineating forest fire fuel complexes in a Mediterranean test site using satellite remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 24(15), 3093-3104.

Koutsogiannis, D. (2002). *Precipitation*. Notes of Hydrometeorology, IPPS Water Resources Science and Technology, Department of Water Resources, NTUA.

Krichak, S. O., Tsidulko, M., and Alpert, P. (2000). Monthly synoptic patterns associated with wet/dry conditions in the eastern Mediterranean. *Theoretical and Applied Climatology*, 65(3-4), 215-229.

Labeyrie, L., Cole, J., Alverson, K., and Stocker, T. (2003). The history of climate dynamics in the Late Quaternary. In: Alverson K.D., Pedersen T.F. and Bradley R.S. (eds) *Paleoclimate, Global Change and the Future*. Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 33-61.

Le Houérou, H.N., Bingham, R.L., and Skerbek, W. (1988). Relationship between the variability of primary production and the variability of annual precipitation in world arid lands. *Journal of Arid Environments* 15, 1-18.

Li, D., Lewis, J., Rowland, J., Tappan, G., Tieszen, L.L., 2004. Evaluation of land performance in Senegal using multi-temporal NDVI and rainfall series. *Journal of Arid Environments* 59 (3), 463-480.

Lloret, F., Lobo, A., Estevan, H., Maisongrande, P., Vayreda, J., and Terradas, J. (2007). Woody plant richness and NDVI response to drought events in Catalanian (northeastern Spain) forests. *Ecology*, 88, 2270-2279.

Loukas, A., Vasiliades, L., & Tzabiras, J. (2008). Climate change effects on drought severity. *Advances in Geosciences*, 17, 23-29.

Makrogiannis, T.I. and Sahsamanoglou, H.S. (2004). General Meteorology. Thesaloniki, Haris publications.

Maris, (n.d.). Technical Hydrology, Chapter 2: Precipitation. Available from: <https://eclass.duth.gr/modules/document/file.php/OPE02163/%CE%A5%CE%A6%CE%A0%CE%9A%CE%B5%CF%86.%202%CE%BF%CE%9A%CE%B1%CF%84%CE%B1%CE%BA%CF%81%CE%B7%CE%BC%CE%BD%CE%AF%CF%83%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%B1.pdf> [Accessed 19th May 2018]

Markogianni, V., Dimitriou, E., and Kalivas, D. P. (2013). Land-use and vegetation change detection in Plastira artificial lake catchment (Greece) by using remote-sensing and GIS techniques. *International Journal of Remote Sensing*, 34(4), 1265-1281.

Maniatis, G. (1996). *Geographical Information Systems of Land – Cadastre*. Thesaloniki, Ziti.

Maphobbyist, (2011). Mediterranean climate. Available from: https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%B5%CF%83%CE%BF%CE%B3%CE%B5%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CF%8C_%CE%BA%CE%BB%CE%AF%CE%BC%CE%B1#/media/File:KoppenclassificationworldmapCs.png [Accessed 19th May 2018]

Marquínez, J., Lastra, J., and García, P. (2003). Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. *Journal of hydrology*, 270(1-2), 1-11.

Mavromatis, T., and Stathis, D. (2011). Response of the water balance in Greece to temperature and precipitation trends. *Theoretical and Applied Climatology*, 104, 13-24.

Mavromatis, T. (2007). Drought index evaluation for assessing future wheat production in Greece. *International Journal of Climatology*, 27(7), 911-924.

Meehl, G. A., Karl, T., Easterling, D. R., Changnon, S., Pielke Jr, R., Changnon, D., ...and Mearns, L. O. (2000). An introduction to trends in extreme weather and climate events: observations, socioeconomic impacts, terrestrial ecological impacts, and model projections. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 81(3), 413-416.

Méndez-Barroso, L. A., Vivoni, E. R., Watts, C. J., and Rodríguez, J. C. (2009). Seasonal and interannual relations between precipitation, surface soil moisture and vegetation dynamics in the North American monsoon region. *Journal of hydrology*, 377(1-2), 59-70.

Metaxas, D. A., Philandras, C. M., Nastos, P. T., and Repapis, C. C. (1999). Variability of precipitation pattern in Greece during the year. *Fresenius Environmental Bulletin*, 8(1), 001-006.

Meteoclub (2010). Climate Rating of Greece by Köppen-Geiger Available from: <http://www.meteoclub.gr/themata/egkyklopedia/2618-klimatiki-katataksi-elladas> [Accessed 19th May 2018]

Miliaresis, G. (2003). *Photointerpretation-Remote Sensing*. Athens, Ion Publisher. ISBN, 960-411.

Mimikou, M. (1990). Regional analysis of hydrological variables in Greece. *IAHS (1990)*, 195-201.

Miranda, J.D., Padilla, F.M., Lázaro, R., and Pugnaire, F.I. (2009). Do changes in rainfall patterns affect semiarid annual plant communities? *Journal of Vegetation Science*, 20, 269-276.

Moran, M. S., Clarke, T. R., Inoue, Y., & Vidal, A. (1994). Estimating crop water deficit using the relation between surface-air temperature and spectral vegetation index. *Remote sensing of environment*, 49(3), 246-263.

Naoum, S., and Tsanis, I. K. (2004). Orographic precipitation modeling with multiple linear regression. *Journal of Hydrologic Engineering*, 9(2), 79-102.

NASA, (2017). *NASA – What's the Difference Between Weather and Climate?* Available from: https://www.nasa.gov/mission_pages/noaa-n/climate/climate_weather.html [Accessed 19th May 2018]

Nastos, P. T., & Zerefos, C. S. (2008). Decadal changes in extreme daily precipitation in Greece. *Advances in Geosciences*, 16, 55-62.

Nastos, P. T., and Zerefos, C. S. (2009). Spatial and temporal variability of consecutive dry and wet days in Greece. *Atmospheric Research*, 94(4), 616-628.

Nightingale, J. M., and Phinn, S. R. (2003). Assessment of relationships between precipitation and satellite derived vegetation condition within South Australia. *Geographical Research*, 41(2), 180-195.

Ninyerola, M., Pons, X., and Roure, J. M. (2000). A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques. *International Journal of Climatology*, 20(14), 1823-1841.

Oliveira, R.S., Dawson, T.E., Burgess, S.S.O., and Nepstad, D.C. (2005). Hydraulic redistribution in three Amazonian trees. *Oecologia*, 145, 354–363.

Osborn, T. J., and Hulme, M. (2002). Evidence for trends in heavy rainfall events over the UK. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 360(1796), 1313-1325.

Parkinson, C. L., Ward, A., and King, M. D. (2006). Earth science reference handbook: a guide to NASA's earth science program and earth observing satellite missions. Washington, D.C., National Aeronautics and Space Administration. Available from: <https://eosps0.gsfc.nasa.gov/sites/default/files/publications/2006ReferenceHandbook.pdf> [Accessed 19th May 2018]

Peng, D. L., Huang, J. F., and Wang, X. Z. (2007). Correlation analysis of regional vegetation seasonal fluctuation and climate factors based on MODIS-EVI. *Ying yong sheng tai xue bao= The journal of applied ecology*, 18(5), 983.

Pennington, D. D., and Collins, S. L. (2007). Response of an aridland ecosystem to interannual climate variability and prolonged drought. *Landscape Ecology*, 22(6), 897-910.

Poveda, G., Jaramillo, A., Gil, M. M., Quiceno, N., & Mantilla, R. I. (2001). Seasonally in ENSO-related precipitation, river discharges, soil moisture, and vegetation index in Colombia. *Water resources research*, 37(8), 2169-2178.

Pradhan, B., and Youssef, A. M. (2010). Manifestation of remote sensing data and GIS on landslide hazard analysis using spatial-based statistical models. *Arabian Journal of Geosciences*, 3(3), 319-326.

Prasad, V. K., Anuradha, E., and Badarinath, K. V. S. (2005). Climatic controls of vegetation vigor in four contrasting forest types of India—evaluation from National Oceanic and Atmospheric Administration’s Advanced Very High Resolution Radiometer datasets (1990–2000). *International Journal of Biometeorology*, 50(1), 6-16.

Rodriguez-Puebla, C., Encinas, A. H., Nieto, S., and Garmendia, J. (1998). Spatial and temporal patterns of annual precipitation variability over the Iberian Peninsula. *International Journal of Climatology*, 18(3), 299-316.

Salinas-Zavala, C.A., Douglas, A.V., and Diaz, H.F. (2002). Interannual variability of NDVI in northwest Mexico: associated climatic mechanisms and ecological implications. *Remote Sensing of Environment*, 82 (2–3), 417–430.

Silleos, N., Perakis, K., and Petsanis, G. (2002). Assessment of crop damage using space remote sensing and GIS. *International Journal of Remote Sensing*, 23, pp. 417– 427.

Sivakumar, M. V. K., Roy, P. S., Harmsen, K., and Saha, S. K. (2004). Satellite remote sensing and GIS applications in agricultural meteorology. In: *Proceedings of the Training Workshop in Dehradun, India. AGM-8, WMO/TD* (No. 1182).

Schultz, P. A., & Halpert, M. S. (1995). Global analysis of the relationships among a vegetation index, precipitation and land surface temperature. *Remote Sensing*, 16(15), 2755-2777.

Stathis, D., (2015). *Courses on Forest Meteorology and Climatology*. [ebook] Athens: Hellenic Academic Libraries Link. Available at: <http://hdl.handle.net/11419/4657>.

Stefanakis, E. (2003). *Geographic data bases and Geographic Information Systems*. Athens, Papasotiriou.

TEIIN, 2018. Land ecosystems of Greece.

Tsanis, I. K., and Gad, M. A. (2001). A GIS precipitation method for analysis of storm kinematics. *Environmental Modelling and Software*, 16(3), 273-281.

Tucker, C.J. (1979). Red and Photographic Infrared Linear Combinations for Monitoring Vegetation. *Remote Sensing of the Environment*, 8, 127-150.

Tucker, C. J., Newcomb, W. W., Los, S. O., and Prince, S. D. (1991). Mean and inter-year variation of growing season normalized difference vegetation index for the sahel 1981-1989. *International Journal of Remote Sensing*, 12(6), 1133-1135.

Vaiopoulos, D., Skianis, G. A., and Nikolakopoulos, K. (2004). The contribution of probability theory in assessing the efficiency of two frequently used vegetation indices. *International Journal of Remote Sensing*, 25(20), 4219-4236.

Ventura, F., Pisa, P. R., and Ardizzoni, E. (2002). Temperature and precipitation trends in Bologna (Italy) from 1952 to 1999. *Atmospheric Research*, 61(3), 203-214.

Verbesselt, J., Hyndman, R., Newnham, G., and Culvenor, D. (2010). Detecting trend and seasonal changes in satellite image time series. *Remote sensing of Environment*, 114(1), 106-115.

Verón, S.R., Paruelo, J.M., and Oesterheld, M. (2006). Assessing desertification. *Journal of Arid Environments*, 66, 751-763.

Vicente-Serrano, S. M. (2007). Evaluating the impact of drought using remote sensing in a Mediterranean, semi-arid region. *Natural Hazards*, 40(1), 173-208.

Voudouris, K., Mavrommatis, T., and Antonakos, A. (2007). Hydrologic balance estimation using GIS in Korinthia prefecture, Greece. *Advances in Science and Research*, 1, 1-8.

Wang, J., Rich, P. M., and Price, K. P. (2003). Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the central Great Plains, USA. *International journal of remote sensing*, 24(11), 2345-2364.

Wang, W., Anderson, T.B., Phillips, N., Kaufman, K.R., Potter, C. and Myneni, B.R. (2006). Feedbacks of vegetation on summertime climate variability over the North American Grasslands. Part I: statistical analysis. *Earth Interactions*, 10 (17), 1-27.

Weltzin, J. F., Loik, M. E., Schwinning, S., Williams, D. G., Fay, P. A., Haddad, B. M., ... & Pockman, W. T. (2003). Assessing the response of terrestrial ecosystems to potential changes in precipitation. *AIBS Bulletin*, 53(10), 941-952.

Wigmosta, M. S., Vail, L. W., & Lettenmaier, D. P. (1994). A distributed hydrology-vegetation model for complex terrain. *Water resources research*, 30(6), 1665-1679.

Xinmei, H., Lyons, T.J., Smith, R.C.G., Hacker, J.M. and Schwerdtfeger, P. (1993). Estimation of surface energy balance from radiance surface temperature and NOAA-AVHRR sensor reflectances over agricultural and native vegetation. *Journal of Applied Meteorology*, 32 (8), 1441-1449.

Zhang, X., and Srinivasan, R. (2010). GIS-based spatial precipitation estimation using next generation radar and raingauge data. *Environmental Modelling and Software*, 30, 1-8.

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

Zeng, N., Neelin, J. D., Lau, K. M., & Tucker, C. J. (1999). Enhancement of interdecadal climate variability in the Sahel by vegetation interaction. *Science*, 286(5444), 1537-1540.

Zisou, A. (2007). *Introduction to Geographical Information Systems ArcGIS/ArcView*. Athens, Stamouli publishers.

Zou, X. K., & Zhai, P. M. (2004). Relationship between vegetation coverage and spring dust storms over northern China. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 109(D3).

Παράρτημα 1

1. ANOVA και Tuckey test για εποχικές διαφορές στις τιμές της βροχόπτωσης όπως προέκυψαν από την στατιστική ανάλυση των δεδομένων με το στατιστικό πακέτο Analyse it.

N 54		276.286 by φθινόπωρο		
	N	Mean	Mean SE*	SD
άνοιξη	14	155.9601	16.10515	22.8016
καλοκαίρι	14	66.0879	16.10515	17.5504
φθινόπωρο	13	227.6306	16.71311	50.4513
χειμώνας	13	239.1802	16.71311	108.1111
Pooled	54			60.2600

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
χειμώνας - καλοκαίρι	173.0923	111.4097 to 234.7749	23.20999		<0.0001 ¹
φθινόπωρο - καλοκαίρι	161.5427	99.8601 to 223.2253	23.20999		<0.0001 ¹
άνοιξη - καλοκαίρι	89.8721	29.3426 to 150.4017	22.77612		0.0014 ¹
χειμώνας - άνοιξη	83.2202	21.5376 to 144.9027	23.20999		0.0041 ¹
φθινόπωρο - άνοιξη	71.6705	9.9880 to 133.3531	23.20999		0.0168 ¹
χειμώνας - φθινόπωρο	11.5496	-51.2649 to 74.3641	23.63590		0.9613 ²

H0: $\theta = 0$
The difference between the means of the populations is equal to 0.
H1: $\theta \neq 0$
The difference between the means of the populations is not equal to 0.
¹ Reject the null hypothesis in favour of the alternative hypothesis at the 5% significance level.
² Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.

2. ANOVA και Tuckey test για εποχικές διαφορές στις τιμές της βλάστησης

N 54		0.267 by φθινόπωρο			
	N	Mean	Mean SE*	SD	
άνοιξη	14	0.3938	0.03027	0.1151	
καλοκαίρι	14	0.3857	0.03027	0.0922	
φθινόπωρο	13	0.3555	0.03141	0.1225	
χειμώνας	13	0.3362	0.03141	0.1219	
Pooled	54			0.1132	

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

by φθινόπωρο	Minimum	1st Quartile	Median	3rd Quartile	Maximum
άνοιξη	0.305	0.3188	0.3290	0.5447	0.580
καλοκαίρι	0.320	0.3289	0.3340	0.4654	0.553
φθινόπωρο	0.260	0.2710	0.2830	0.5133	0.556
χειμώνας	0.237	0.2447	0.2720	0.4227	0.543

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
άνοιξη - χειμώνας	0.0576	-0.0584 to 0.1735	0.04362		0.5551 ¹
καλοκαίρι - χειμώνας	0.0495	-0.0664 to 0.1654	0.04362		0.6702 ¹
άνοιξη - φθινόπωρο	0.0382	-0.0777 to 0.1542	0.04362		0.8168 ¹
καλοκαίρι - φθινόπωρο	0.0302	-0.0857 to 0.1461	0.04362		0.8997 ¹
φθινόπωρο - χειμώνας	0.0193	-0.0987 to 0.1374	0.04442		0.9722 ¹
άνοιξη - καλοκαίρι	0.0081	-0.1057 to 0.1218	0.04280		0.9976 ¹

H0: $\theta = 0$
The difference between the means of the populations is equal to 0.
H1: $\theta \neq 0$
The difference between the means of the populations is not equal to 0.
¹ Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.




3. ANOVA και Tuckey test για μηνιαίες διαφορές στις τιμές της βροχόπτωσης κατά τους χειμερινούς μήνες

N		42			
Precip by Month	N	Mean	Mean SE*	SD	
1	14	85.0540	12.12606	36.3193	
2	14	75.7393	12.12606	31.9156	
12	14	89.6964	12.12606	61.9519	
Pooled	42			45.3716	

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
12 - 2	13.9571	-27.8227 to 55.7370	17.14884		0.6968 ¹
1 - 2	9.3147	-32.4652 to 51.0946	17.14884		0.8505 ¹
12 - 1	4.6424	-37.1374 to 46.4223	17.14884		0.9604 ¹

H0: $\theta = 0$

The difference between the means of the populations is equal to 0.

H1: $\theta \neq 0$

The difference between the means of the populations is not equal to 0.

¹ Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.




4. ANOVA και Tuckey test για μηνιαίες διαφορές στις τιμές της βλάστησης κατά τους χειμερινούς μήνες

N		43			
EVI by Month	N	Mean	Mean SE*	SD	
1	14	0.3294	0.03543	0.1265	
2	14	0.3344	0.03543	0.1205	
12	15	0.3674	0.03423	0.1479	
Pooled	43			0.1326	

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
12 - 1	0.0380	-0.0819 to 0.1579	0.04926		0.7229 ¹
12 - 2	0.0330	-0.0869 to 0.1529	0.04926		0.7825 ¹
2 - 1	0.0050	-0.1169 to 0.1269	0.05010		0.9945 ¹

H0: $\theta = 0$

The difference between the means of the populations is equal to 0.

H1: $\theta \neq 0$

The difference between the means of the populations is not equal to 0.

¹ Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.

5. ANOVA και Tuckey test για μηνιαίες διαφορές στις τιμές της βροχόπτωσης κατά τους εαρινούς μήνες

Precip by Month	N	Mean	Mean SE*	SD
3	14	68.4188	5.35630	22.4996
4	14	42.8638	5.35630	18.8830
5	14	44.6776	5.35630	18.4981
Pooled	42			20.0415

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
3 - 4	25.5550	7.1001 to 44.0099	7.57496		0.0047 ¹
3 - 5	23.7411	5.2862 to 42.1961	7.57496		0.0090 ¹
5 - 4	1.8139	-16.6411 to 20.2688	7.57496		0.9689 ²

H0: $\theta = 0$

The difference between the means of the populations is equal to 0.

H1: $\theta \neq 0$

The difference between the means of the populations is not equal to 0.

¹ Reject the null hypothesis in favour of the alternative hypothesis at the 5% significance level.

² Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.

6. ANOVA και Tuckey test για μηνιαίες διαφορές στις τιμές της βλάστησης κατά τους εαρινούς μήνες

EVI by Month	N	Mean	Mean SE*	SD
3	14	0.3524	0.03093	0.1194
4	14	0.3958	0.03093	0.1184
5	14	0.4328	0.03093	0.1092
Pooled	42			0.1157

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
5 - 3	0.0804	-0.0262 to 0.1870	0.04375		0.1706 ¹
4 - 3	0.0434	-0.0632 to 0.1500	0.04375		0.5858 ¹
5 - 4	0.0370	-0.0696 to 0.1436	0.04375		0.6772 ¹

H0: $\theta = 0$

The difference between the means of the populations is equal to 0.

H1: $\theta \neq 0$

The difference between the means of the populations is not equal to 0.

¹ Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.

7. ANOVA και Tuckey test για μηνιαίες διαφορές στις τιμές της βροχόπτωσης κατά τους θερινούς μήνες

N		42			
Precip by Month	N	Mean	Mean SE*	SD	
6	14	31.9545	2.61495	11.3517	
7	14	15.5111	2.61495	9.2565	
8	14	18.6222	2.61495	8.5235	
Pooled	42			9.7842	

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
6 - 7	16.4434	7.4337 to 25.4531	3.69809		0.0002 ¹
6 - 8	13.3323	4.3226 to 22.3420	3.69809		0.0025 ¹
8 - 7	3.1111	-5.8986 to 12.1208	3.69809		0.6799 ²

H0: $\theta = 0$

The difference between the means of the populations is equal to 0.

H1: $\theta \neq 0$

The difference between the means of the populations is not equal to 0.

¹ Reject the null hypothesis in favour of the alternative hypothesis at the 5% significance level.

² Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.

8. ANOVA και Tuckey test για μηνιαίες διαφορές στις τιμές της βλάστησης κατά τους θερινούς μήνες

N		42			
EVI by Month	N	Mean	Mean SE*	SD	
6	14	0.3946	0.02547	0.0939	
7	14	0.3916	0.02547	0.0947	
8	14	0.3709	0.02547	0.0972	
Pooled	42			0.0953	

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
6 - 8	0.0238	-0.0640 to 0.1115	0.03601		0.7876 ¹
7 - 8	0.0208	-0.0670 to 0.1085	0.03601		0.8330 ¹
6 - 7	0.0030	-0.0847 to 0.0907	0.03601		0.9962 ¹

H0: $\theta = 0$

The difference between the means of the populations is equal to 0.

H1: $\theta \neq 0$

The difference between the means of the populations is not equal to 0.

¹ Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.




9. ANOVA και Tukey test για μηνιαίες διαφορές στις τιμές της βροχόπτωσης κατά τους φθινοπωρινούς μήνες

N		42		
Precip by Month	N	Mean	Mean SE*	SD
9	14	65.2937	9.12857	25.2809
10	14	81.8165	9.12857	41.5603
11	14	83.9959	9.12857	33.6677
Pooled	42			34.1560

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
11 - 9	18.7021	-12.7500 to 50.1543	12.90975		0.3265 ¹
10 - 9	16.5228	-14.9293 to 47.9749	12.90975		0.4148 ¹
11 - 10	2.1794	-29.2728 to 33.6315	12.90975		0.9844 ¹

H0: $\theta = 0$

The difference between the means of the populations is equal to 0.

H1: $\theta \neq 0$

The difference between the means of the populations is not equal to 0.

¹ Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.




10. ANOVA και Tukey test για μηνιαίες διαφορές στις τιμές της βλάστησης κατά τους φθινοπωρινούς μήνες

N		42		
EVI by Month	N	Mean	Mean SE*	SD
9	14	0.3550	0.03223	0.1076
10	14	0.3519	0.03223	0.1217
11	14	0.3408	0.03223	0.1314
Pooled	42			0.1206

* Standard error of the mean based on the pooled sample variance.

Multiple Comparisons

Tukey-Kramer all pairs comparisons

Contrast	Mean difference	Simultaneous 95% CI	SE	0	p-value
9 - 11	0.0142	-0.0968 to 0.1253	0.04558		0.9479 ¹
10 - 11	0.0111	-0.1000 to 0.1221	0.04558		0.9680 ¹
9 - 10	0.0031	-0.1079 to 0.1142	0.04558		0.9974 ¹

H0: $\theta = 0$

The difference between the means of the populations is equal to 0.

H1: $\theta \neq 0$

The difference between the means of the populations is not equal to 0.

¹ Do not reject the null hypothesis at the 5% significance level.

Παράρτημα 2

1. Ετήσιες μέγιστες, ελάχιστες, αθροιστικές και μέσες τιμές καθώς και τυπικές αποκλίσεις της βροχόπτωσης και βλάστησης που προέκυψαν από την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων στο QGIS.

Year	Precipitation					EVI intex value			
	max	sum	mean	min	stddev	max	Mean	min	stddev
2003	1452.810	822.583	68.549	448.344	204.401	0.466	0.296	0.005	0.053
2004	1200.423	578.119	48.177	227.272	178.925	0.457	0.289	0.005	0.056
2005	1282.882	698.492	58.208	189.330	217.166	0.463	0.288	0.020	0.054
2006	1164.110	618.433	51.536	170.543	192.551	0.450	0.293	0.019	0.053
2007	1057.441	519.280	43.273	232.046	146.607	0.474	0.290	0.005	0.056
2008	1208.076	581.193	48.433	299.564	164.019	0.458	0.291	0.011	0.055
2009	1757.765	865.413	72.118	405.451	286.800	0.467	0.302	0.008	0.054
2010	1837.312	796.044	66.337	283.977	320.797	0.498	0.326	0.022	0.058
2011	958.821	627.349	52.279	381.227	147.857	0.808	0.548	0.047	0.095
2012	1048.324	593.406	49.451	209.100	177.743	0.757	0.509	0.027	0.096
2013	1022.957	612.395	51.033	200.926	150.742	0.766	0.533	0.020	0.095
2014	1332.140	845.210	70.434	316.309	205.890	0.812	0.556	0.067	0.093
2015	1147.930	729.416	60.785	238.113	162.661	0.491	0.332	0.019	0.056
2016	1261.487	646.911	53.909	134.521	237.662	0.503	0.310	0.010	0.061

2. Εποχικές μέγιστες, ελάχιστες, αθροιστικές και μέσες τιμές καθώς και τυπικές αποκλίσεις της βροχόπτωσης και βλάστησης που προέκυψαν από την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων στο QGIS.

Year	season	precipitation					EVI intex value			
		max	sum	mean	min	stddev	max	mean	min	stddev
2003	autumn	748.808	276.286	92.095	62.010	114.784	0.478	0.267	0.016	0.062
2004		434.994	174.461	58.154	24.660	91.062	0.483	0.267	0.010	0.066
2005		423.397	220.810	73.603	54.960	83.635	0.479	0.273	0.025	0.062
2006		492.243	172.839	57.613	20.717	76.246	0.492	0.281	0.022	0.061
2007		399.967	202.458	67.486	38.939	68.940	0.486	0.260	0.020	0.063
2008		502.259	233.929	77.976	42.642	87.296	0.473	0.265	0.015	0.065
2009		683.011	275.182	91.727	77.690	126.119	0.486	0.282	0.020	0.062
2010		926.264	324.626	108.209	103.616	168.374	0.508	0.283	0.025	0.065
2011		269.193	138.043	46.014	61.336	41.356	0.828	0.520	0.048	0.122
2012		474.639	209.664	69.888	75.751	91.740	0.824	0.537	0.128	0.120
2013		453.804	217.054	72.351	16.267	92.414	0.789	0.510	0.006	0.123
2014		508.659	263.585	87.862	35.288	88.759	0.836	0.556	0.131	0.115
2015		469.583	267.254	89.085	64.936	79.519	0.515	0.303	0.015	0.066
2016		660.708	259.293	86.431	18.833	142.215	0.500	0.285	0.015	0.073
2003	spring	261.203	137.444	45.815	62.706	31.931	0.540	0.322	-0.021	0.063
2004		381.891	143.909	47.970	34.549	68.468	0.528	0.316	-0.025	0.063
2005		296.219	132.892	44.297	25.470	44.879	0.494	0.305	-0.015	0.060
2006		329.035	148.133	49.378	48.960	53.079	0.579	0.313	0.007	0.059
2007		351.036	146.405	48.802	35.697	49.884	0.533	0.324	-0.004	0.065

2008		284.607	131.515	43.838	44.460	36.590	0.591	0.330	0.000	0.064
2009		454.415	177.608	59.203	56.368	73.186	0.544	0.332	-0.015	0.061
2010		345.418	134.951	44.984	6.060	61.813	0.514	0.328	-0.011	0.060
2011		302.540	177.123	59.041	98.153	42.208	0.781	0.576	-0.020	0.087
2012		405.331	177.411	59.137	20.370	79.865	0.785	0.542	-0.054	0.094
2013		306.871	130.970	43.657	44.318	52.685	0.775	0.574	-0.080	0.090
2014		380.180	198.159	66.053	58.372	71.498	0.789	0.580	-0.005	0.090
2015		275.442	164.722	54.907	45.041	41.641	0.549	0.319	-0.011	0.057
2016		362.206	182.199	60.733	26.820	79.146	0.608	0.352	0.001	0.069
2003	summer	135.180	56.892	18.964	0.000	34.063	0.670	0.328	-0.004	0.095
2004		191.691	63.666	21.222	0.053	46.311	0.652	0.331	0.002	0.100
2005		263.985	62.967	20.989	0.000	52.955	0.672	0.332	-0.006	0.102
2006		251.793	87.172	29.057	0.000	61.352	0.687	0.335	0.001	0.101
2007		165.978	60.812	20.271	0.000	41.398	0.705	0.320	-0.017	0.104
2008		141.300	44.208	14.736	0.000	25.317	0.672	0.320	-0.004	0.102
2009		214.467	79.803	26.601	0.000	54.739	0.695	0.329	-0.013	0.103
2010		225.111	77.438	25.813	1.893	45.783	0.695	0.334	-0.014	0.107
2011		137.172	49.005	16.335	0.330	28.589	0.885	0.553	-0.028	0.136
2012		93.282	31.015	10.338	0.000	18.841	0.824	0.460	0.029	0.125
2013		191.246	65.910	21.970	0.000	40.801	0.874	0.525	-0.055	0.142
2014		226.531	91.838	30.613	3.270	61.059	0.903	0.551	-0.044	0.147
2015		155.845	87.294	29.098	0.000	40.545	0.709	0.348	-0.002	0.103
2016		180.321	67.211	22.404	0.000	35.562	0.688	0.334	-0.003	0.108

2003	winter	832.943	438.963	146.321	229.496	145.511	0.549	0.277	-0.009	0.077
2004		742.244	281.139	93.713	106.491	100.411	0.520	0.244	-0.019	0.069
2005		428.583	198.453	66.151	49.651	82.786	0.498	0.240	-0.042	0.070
2006		683.964	298.511	99.504	75.300	138.094	0.504	0.237	-0.035	0.067
2007		370.158	119.254	39.751	19.607	58.664	0.530	0.260	0.014	0.067
2008		272.781	79.846	26.615	7.589	49.313	0.552	0.245	-0.410	0.069
2009		637.018	307.403	102.468	121.634	109.844	0.509	0.259	-0.050	0.068
2010		667.193	318.532	106.177	106.020	111.845	0.545	0.272	0.000	0.074
2011		578.688	242.915	80.972	76.938	98.251	0.835	0.543	-0.018	0.115
2013		247.033	126.144	42.048	21.127	45.410	0.815	0.541	-0.070	0.117
2014		361.272	201.247	67.082	79.614	72.908	0.793	0.528	0.053	0.118
2015		623.716	367.380	122.460	131.319	114.242	0.584	0.355	0.030	0.078
2016		331.670	129.556	43.185	20.761	66.908	0.598	0.370	0.055	0.077

3. Μηνιαίες μέγιστες, ελάχιστες, αθροιστικές και μέσες τιμές καθώς και τυπικές αποκλίσεις της βροχόπτωσης και βλάστησης που προέκυψαν από την επεξεργασία των αρχικών δεδομένων στο QGIS.

Year		Precipitation				EVI intex value			
		max	mean	min	stddev	max	mean	min	stddev
2002	12	433.843	212.341	49.411	66.409	0.572	0.280	-0.001	0.077
2003	1	326.231	139.381	9.720	66.411	0.590	0.275	-0.054	0.084
2003	2	240.518	87.241	6.570	48.865	0.693	0.276	-0.071	0.081
2003	3	162.939	42.170	0.000	30.790	0.672	0.272	-0.150	0.074
2003	4	95.875	45.971	12.960	11.477	0.679	0.331	-0.028	0.079
2003	5	115.291	49.304	0.450	23.719	0.698	0.364	-0.032	0.086
2003	6	70.552	21.274	0.000	15.002	0.724	0.348	-0.031	0.104
2003	7	45.377	14.644	0.000	13.046	0.715	0.329	-0.017	0.100
2003	8	51.276	20.974	0.000	14.075	0.660	0.307	0.018	0.090
2003	9	327.838	119.309	27.390	52.591	0.568	0.284	0.003	0.075
2003	10	324.560	103.972	0.900	62.275	0.502	0.267	0.000	0.067
2003	11	169.728	53.005	0.000	26.823	0.523	0.250	0.023	0.067
2003	12	243.588	125.338	21.420	47.309	0.481	0.247	0.024	0.071
2004	1	486.994	126.275	42.930	54.689	0.638	0.241	-0.087	0.075
2004	2	108.549	29.526	0.000	21.249	0.550	0.245	-0.082	0.068
2004	3	191.529	49.248	0.900	36.398	0.517	0.264	-0.085	0.067
2004	4	109.015	53.393	9.724	20.481	0.641	0.320	-0.034	0.074
2004	5	106.763	41.269	0.090	20.716	0.666	0.364	-0.018	0.099
2004	6	143.862	40.350	0.000	32.905	0.661	0.341	-0.009	0.105
2004	7	47.086	14.144	0.000	11.709	0.659	0.335	-0.008	0.106
2004	8	36.992	9.172	0.000	8.498	0.650	0.316	0.016	0.101
2004	9	104.258	36.655	0.000	26.557	0.621	0.287	0.006	0.086
2004	10	134.893	54.521	0.000	33.540	0.512	0.268	0.012	0.072
2004	11	226.620	83.286	0.000	46.761	0.477	0.247	0.012	0.065

2004	12	196.792	22.556	0.000	25,097	0.495	0.238	0.014	0.069
2005	1	206.254	71.114	0.000	40.714	0.543	0.241	-0.121	0.073
2005	2	262.314	87.058	5.850	52.064	0.882	0.243	-0.170	0.077
2005	3	158.334	63.367	3.240	28.974	0.501	0.257	-0.138	0.066
2005	4	90.074	21.788	0.000	15.390	0.564	0.301	-0.041	0.065
2005	5	121.610	47.737	0.000	19.789	0.732	0.356	-0.024	0.100
2005	6	51.722	19.744	0.000	12.961	0.728	0.348	-0.012	0.108
2005	7	115.513	22.574	0.000	25.227	0.689	0.332	-0.015	0.108
2005	8	112.222	20.649	0.000	23.143	0.678	0.315	0.009	0.100
2005	9	127.162	60.492	0.000	26.076	0.614	0.295	0.024	0.084
2005	10	122.013	44.634	3.510	26.195	0.483	0.271	0.027	0.065
2005	11	320.011	115.684	17.070	66.289	0.480	0.253	0.024	0.065
2005	12	374.417	123.651	6.630	88.635	0.495	0.238	0.011	0.071
2006	1	144.100	86.999	4.050	27.813	0.694	0.236	-0.086	0.071
2006	2	208.260	87.861	15.840	39.945	0.601	0.238	-0.131	0.066
2006	3	195.636	77.970	3.690	39.377	0.957	0.271	-0.174	0.075
2006	4	112.852	52.821	2.550	20.066	0.541	0.292	-0.041	0.068
2006	5	41.589	17.342	0.000	11.773	0.691	0.376	-0.020	0.099
2006	6	89.258	32.273	0.000	23.343	0.754	0.346	-0.015	0.108
2006	7	115.513	22.574	0.000	25.227	0.712	0.346	0.009	0.108
2006	8	81.331	32.325	0.000	21.604	0.645	0.314	0.009	0.099
2006	9	247.631	79.050	5.237	36.795	0.619	0.297	0.021	0.086
2006	10	122.013	44.634	3.510	26.195	0.717	0.286	0.021	0.067
2006	11	145.434	49.155	0.000	31.883	0.488	0.260	0.024	0.060
2006	12	107.010	35.429	0.000	23.804	0.584	0.254	0.021	0.073
2007	1	118.485	24.838	0.000	25.801	0.525	0.251	-0.012	0.070
2007	2	155.970	58.987	0.000	32.495	0.531	0.275	-0.029	0.068
2007	3	170.564	52.799	3.060	28.617	0.561	0.286	-0.067	0.070
2007	4	99.714	27.090	0.000	17.184	0.613	0.332	-0.007	0.079
2007	5	114.010	66.516	17.922	17.793	0.751	0.354	-0.022	0.111

2007	6	87.720	39.847	0.000	21.171	0.778	0.343	-0.025	0.115
2007	7	43.652	2.837	0.000	5.720	0.708	0.319	-0.020	0.107
2007	8	76.260	18.128	0.000	22.865	0.630	0.298	-0.006	0.098
2007	9	96.131	38.576	0.000	24.560	0.579	0.275	0.002	0.085
2007	10	86.440	40.197	8.756	11.889	0.551	0.255	0.009	0.071
2007	11	271.807	123.684	22.714	48.182	0.510	0.251	0.027	0.068
2007	12	68.196	25.781	2.508	13.412	0.568	0.241	0.027	0.072
2008	1	106.459	28.379	0.000	23.785	0.568	0.247	-0.100	0.073
2008	2	128.640	25.687	0.000	26.559	0.548	0.248	-0.111	0.068
2008	3	171.078	51.691	0.000	27.586	0.581	0.283	-0.138	0.068
2008	4	95.213	57.186	24.120	15.525	0.657	0.334	-0.002	0.073
2008	5	116.032	22.638	0.000	15.080	0.730	0.372	-0.023	0.101
2008	6	61.231	20.578	0.000	14.522	0.736	0.342	-0.034	0.114
2008	7	49.026	13.924	0.000	10.794	0.687	0.322	-0.014	0.106
2008	8	83.010	9.706	0.000	11.691	0.612	0.297	0.007	0.092
2008	9	127.631	69.148	0.000	27.820	0.546	0.272	0.003	0.078
2008	10	131.803	41.098	0.000	30.322	0.506	0.266	-0.012	0.068
2008	11	271.807	123.684	22.714	48.182	0.522	0.256	0.018	0.069
2008	12	318.892	117.474	30.330	46.269	0.521	0.251	0.006	0.067
2009	1	293.580	135.483	20.400	54.267	0.810	0.251	-0.089	0.073
2009	2	186.388	54.446	0.000	37.919	0.581	0.276	-0.178	0.076
2009	3	265.524	98.130	7.470	50.848	0.542	0.288	-0.088	0.075
2009	4	135.810	44.931	1.620	24.965	0.652	0.331	-0.017	0.077
2009	5	70.187	34.547	4.320	15.082	0.740	0.375	-0.024	0.097
2009	6	123.266	39.259	0.000	28.033	0.723	0.347	-0.030	0.109
2009	7	86.087	16.808	0.000	13.302	0.727	0.332	-0.019	0.109
2009	8	71.296	23.735	0.000	20.787	0.665	0.308	0.010	0.096
2009	9	120.781	51.308	12.113	26.273	0.647	0.294	-0.001	0.082
2009	10	311.124	124.983	9.180	57.760	0.511	0.283	0.021	0.069
2009	11	334.799	98.891	6.210	72.616	0.517	0.268	0.017	0.068

2009	12	273.263	142.891	50.220	37.333	0.585	0.262	0.024	0.080
2010	1	209.667	68.600	0.000	51.373	0.771	0.276	-0.075	0.077
2010	2	262.789	107.041	8.190	60.428	0.652	0.279	-0.142	0.075
2010	3	176.045	63.319	0.000	32.392	0.525	0.291	-0.049	0.072
2010	4	88.075	26.748	0.000	18.039	0.586	0.334	-0.007	0.070
2010	5	104.274	44.885	0.000	20.504	0.743	0.359	-0.032	0.104
2010	6	98.522	38.002	0.000	22.014	0.970	0.348	-0.045	0.116
2010	7	115.954	33.282	0.000	24.099	0.708	0.338	-0.032	0.109
2010	8	44.178	6.154	0.000	7.420	0.649	0.314	0.013	0.101
2010	9	202.897	56.778	1.073	35.420	0.599	0.290	0.023	0.086
2010	10	382.248	184.773	58.673	66.654	0.848	0.281	0.035	0.073
2010	11	397.089	83.076	16.972	79.833	0.510	0.278	-0.012	0.067
2010	12	210.306	83.388	9.450	46.462	0.851	0.522	-0.017	0.131
2011	1	244.939	78.126	0.000	45.425	0.863	0.563	-0.049	0.119
2011	2	211.260	81.401	23.933	39.556	0.873	0.544	-0.142	0.119
2011	3	169.005	68.860	10.052	28.112	0.866	0.533	-0.039	0.116
2011	4	130.110	50.068	20.207	20.375	0.854	0.580	0.000	0.092
2011	5	105.626	58.196	7.500	17.526	0.872	0.615	-0.059	0.110
2011	6	59.413	25.760	0.000	12.895	0.894	0.588	-0.069	0.137
2011	7	51.810	6.599	0.000	8.385	0.888	0.548	-0.048	0.140
2011	8	64.626	16.646	0.000	13.796	0.883	0.524	-0.113	0.139
2011	9	106.446	39.593	0.000	16.875	0.876	0.514	0.005	0.135
2011	10	194.227	86.307	30.556	36.301	0.882	0.538	-0.012	0.137
2011	11	92.970	12.143	0.000	14.781	0.859	0.507	0.093	0.122
2011	12	237.165	103.650	14.442	47.442	0.851	0.522	-0.017	0.131
2012	1	244.761	52.833	0.720	39.446	0.823	0.461	-0.062	0.172
2012	2	228.965	122.483	57.330	39.822	0.827	0.452	-0.081	0.165
2012	3	113.627	32.684	3.060	21.753	0.796	0.473	-0.041	0.131
2012	4	157.727	67.407	0.000	31.793	0.836	0.559	-0.073	0.100
2012	5	186.940	77.320	1.684	45.978	0.878	0.593	-0.057	0.121

2012	6	30.120	7.919	0.000	6.507	0.732	0.356	-0.041	0.110
2012	7	25.338	6.727	0.000	6.869	0.879	0.521	-0.048	0.139
2012	8	38.364	16.369	0.000	9.174	0.861	0.503	-0.041	0.136
2012	9	155.571	52.809	0.000	29.821	0.851	0.508	0.079	0.131
2012	10	228.711	80.604	14.580	49.700	0.851	0.533	0.085	0.134
2012	11	157.592	76.251	28.568	30.124	0.848	0.569	0.068	0.119
2012	12					0.850	0.572	-0.063	0.116
2013	1	266.201	117.287	18.900	59.831	0.918	0.532	-0.094	0.136
2013	2	238.901	122.360	19.710	44.700	0.833	0.519	-0.055	0.131
2013	3	199.736	72.398	6.840	35.670	0.836	0.553	-0.098	0.118
2013	4	85.600	29.447	5.400	16.126	0.842	0.585	-0.065	0.096
2013	5	75.085	29.125	3.809	12.950	0.876	0.583	-0.078	0.122
2013	6	165.464	40.033	0.000	28.605	0.883	0.544	-0.065	0.142
2013	7	54.524	19.701	0.000	15.082	0.885	0.528	-0.049	0.148
2013	8	53.412	6.176	0.000	8.240	0.859	0.503	-0.052	0.140
2013	9	72.470	39.670	0.000	16.066	0.851	0.495	0.039	0.135
2013	10	125.942	44.853	0.960	26.605	0.817	0.508	0.039	0.129
2013	11	299.975	132.531	9.436	67.846	0.859	0.526	-0.061	0.130
2013	12	137.790	72.318	0.000	32.822	0.826	0.524	-0.061	0.129
2014	1	168.784	82.311	11.610	29.910	0.838	0.519	-0.035	0.127
2014	2	149.237	46.618	0.000	26.408	0.803	0.540	-0.058	0.119
2014	3	156.702	80.566	8.010	25.660	0.836	0.563	-0.007	0.106
2014	4	159.346	81.053	0.900	34.802	0.831	0.573	0.002	0.102
2014	5	93.502	36.539	1.440	25.448	0.884	0.603	-0.009	0.127
2014	6	116.776	37.722	3.270	25.206	0.897	0.569	-0.059	0.152
2014	7	84.645	29.748	0.000	21.263	0.909	0.543	-0.069	0.150
2014	8	75.234	24.368	0.000	19.113	0.906	0.541	-0.004	0.149
2014	9	177.849	92.566	1.440	40.078	0.889	0.552	0.128	0.138
2014	10	245.104	101.736	0.000	43.364	0.862	0.562	0.070	0.125
2014	11	185.203	69.284	0.000	29.787	0.812	0.555	0.099	0.113

2014	12	285.914	162.699	76.424	39.909	0.823	0.554	0.035	0.115
2015	1	231.033	104.964	6.120	47.460	0.511	0.255	-0.056	0.068
2015	2	270.823	99.716	7.560	48.410	0.486	0.256	-0.122	0.068
2015	3	219.311	113.162	36.941	28.105	0.508	0.279	-0.197	0.070
2015	4	67.327	23.656	0.000	16.939	0.594	0.309	-0.072	0.072
2015	5	66.030	27.903	0.000	10.171	0.712	0.370	-0.013	0.093
2015	6	93.884	50.397	0.000	24.776	0.743	0.359	-0.019	0.107
2015	7	19.625	5.763	0.000	5.548	0.735	0.354	0.002	0.109
2015	8	62.756	31.134	0.000	18.346	0.671	0.333	0.011	0.099
2015	9	153.940	91.675	5.280	32.079	0.611	0.311	0.013	0.085
2015	10	184.670	110.350	30.629	28.354	0.609	0.314	0.011	0.074
2015	11	202.862	65.228	0.000	40.900	0.452	0.286	0.022	0.063
2015	12	149.076	14.117	0.000	25.014	0.823	0.554	0.035	0.115
2016	1	195.372	74.166	0.900	42.098	0.518	0.264	-0.118	0.070
2016	2	143.817	49.925	0.000	33.023	0.521	0.291	0.016	0.066
2016	3	162.109	91.499	0.000	33.977	0.600	0.320	0.020	0.072
2016	4	83.390	18.534	0.000	18.599	0.662	0.360	-0.006	0.081
2016	5	151.400	72.166	2.250	36.168	0.756	0.375	-0.012	0.111
2016	6	78.547	34.205	0.000	17.766	0.703	0.346	-0.027	0.116
2016	7	36.850	7.830	0.000	8.559	0.700	0.336	0.002	0.111
2016	8	69.483	25.175	0.000	18.961	0.667	0.319	0.016	0.102
2016	9	198.455	86.483	0.000	56.430	0.565	0.296	0.016	0.085
2016	10	229.848	82.769	0.951	50.317	0.525	0.294	0.008	0.081
2016	11	252.365	90.040	15.840	50.582	0.507	0.265	0.015	0.076
2016	12	149.076	14.117	0.000	25.014	0.484	0.252	0.023	0.074

