

# Μεσογειακά Δάση Υπό Μεταβατικές Συνθήκες

## Mediterranean Forests in Transition

Δρ Νικόλαος Μ Φύλλας

Τομέας Οικολογίας και Ταξινομικής, Τμήμα Βιολογίας, ΕΚΠΑ  
Ecology and Global Change, School of Geography, University of Leeds



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο της Δράσης «Ενίσχυση Μεταδιδακτόρων Ερευνητών/τριών» του ΕΠΕΔΒΜ με Δικαιούχο την Γενική Γραμματεία Έρευνας και Τεχνολογίας και συγχρηματοδοτείται από το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και από Εθνικούς Πόρους.



## **Μεσογειακά Δάση Υπό Μεταβατικές Συνθήκες**

### ***Mediterranean Forests in Transition***

#### **Εισαγωγή**

Το ερευνητικό πρόγραμμα Mediterranean Forest in Transition (MEDIT) σχεδιάστηκε και υλοποιήθηκε από το Δρ Ν. Φύλλα σε συνεργασία με το Τμήμα Βιολογίας του Εθνικού και Καποδιστριακού Πανεπιστημίου Αθηνών και του School of Geography, University of Leeds. Ερευνητές από το Τμήμα Περιβάλλοντος του Πανεπιστημίου Αιγαίου, το Ινστιτούτο Ταξινόμησης και Χαρτογράφησης Εδαφών Λάρισας και το School of Geography, University of Exeter συνέβαλλαν σε επιμέρους φάσεις του προγράμματος.

Στόχοι του προγράμματος ήταν:

1. Η δημιουργία μια εκτενούς βάσης δεδομένων λειτουργικών χαρακτήρων (functional traits) των κυρίαρχων δασικών ειδών που απαντώνται στα Ελληνικά δάση.
2. Η κατανόηση της μεταβλητότητας των εν λόγω χαρακτήρων και η διερεύνηση του τρόπου που αλληλεπιδρούν με τις περιβαλλοντικές συνθήκες που επικρατούν στα δασικά οικοσυστήματα αναφοράς.
3. Η χρήση των λειτουργικών χαρακτήρων για την παραμετροποίηση μηχανιστικών μοντέλων βλάστησης, με στόχο τη διερεύνηση της δυναμικής των δασών υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής.

#### **Μεθοδολογία**

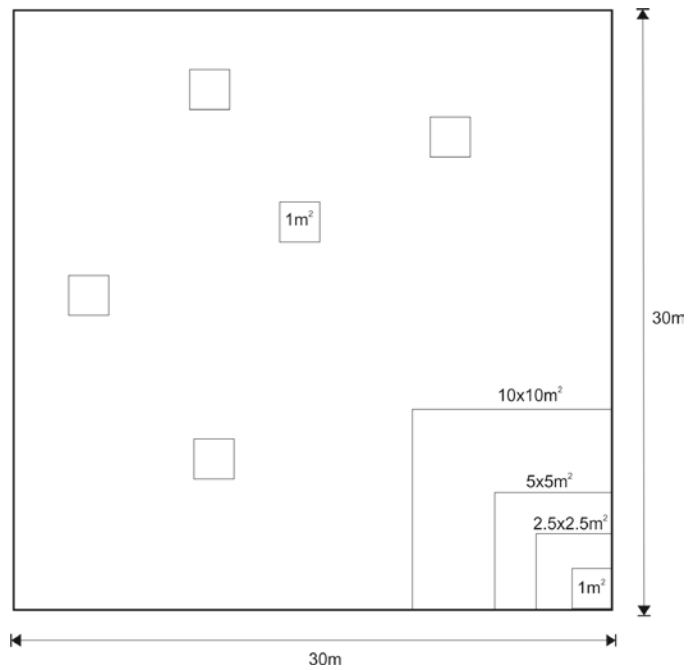
##### **Μετρήσεις Πεδίου και Εργαστηρίου**

Δημιουργήθηκε ένα πρωτόκολλο εργασιών πεδίου το οποίο εφαρμόστηκε σε 70 δειγματοληπτικές επιφάνειες σε διακριτά δασικά οικοσυστήματα ανά την Ελλάδα. Το συγκεκριμένο πρωτόκολλο περιλαμβάνει μετρήσεις πεδίου και εργαστηρίου σε τρία επίπεδα βιολογικής οργάνωσης:

- Επίπεδο Οργάνου, με μετρήσεις που αφορούν σε ιδιότητες του φύλλου και του κορμού των ειδών ενδιαφέροντος.
- Επίπεδο Ατόμου, με μετρήσεις που αφορούν στο μέγεθος και στα μακροχρόνια πρότυπα αύξησης ατόμων των ειδών ενδιαφέροντος.
- Επίπεδο Συστάδας, με μετρήσεις που αφορούν στη δομή και στη σύνθεση συστάδων που σχηματίζουν τα είδη ενδιαφέροντος.

Κατά τη διάρκεια του προγράμματος πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις σε 40 είδη δένδρων και θάμνων με καταγραφές 8982 ατόμων. Σε 643 από τα καταγεγραμμένα άτομα πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις 16 λειτουργικών χαρακτηριστικών τα οποία συνδυάστηκαν με επιμέρους μετρήσεις που αφορούν στη δομή και στις περιβαλλοντικές συνθήκες των συστάδων καθώς και στα μακροχρόνια πρότυπα αύξησης των δασικών ειδών που απαντώνται σε αυτές.

Προκειμένου να προσδιορισθεί η δομή και η σύνθεση των συστάδων μελέτης, εγκαταστάθηκε σε κάθε περιοχή δειγματοληπτική επιφάνεια εμβαδού 30x30 m<sup>2</sup> εντός της οποίας καταγράφηκαν το είδος, η στηθιαία διάμετρος (dbh) και το ύψος όλων των ατόμων με dbh μεγαλύτερη του 1 cm. Η δειγματοληπτική επιφάνεια διακρινόταν σε 5 υποπεριοχές εμβαδού 1, 6.25, 25, 100 και 900m<sup>2</sup> στις οποίες καταγραφόταν ο πλούτος των ειδών. Σε 5 διακριτές περιοχές 1 m<sup>2</sup> εκτιμήθηκε η πυκνότητα αναγέννησης των κυρίαρχων ειδών δένδρων. Σε όλες τις υποεπιφάνειες, υπολογίσθηκε ο δείκτης φυλλικής επιφάνειας (Leaf Area Index) LAI, ο οποίος αποτελεί μια ένδειξη τόσο της ιστάμενης βιομάζας όσο και της διαθεσιμότητας ηλιακής ακτινοβολίας.



Κλαδιά από δέκα τουλάχιστον άτομα εντός της συστάδας κόβονταν και τοποθετούνταν σε ένα κουβά με απιονισμένο νερό, προκειμένου να διατηρηθεί η αγωγιμότητα των φύλλων τους και να γίνουν οι μετρήσεις φωτοσύνθεσης και αναπνοής. Με τη χρήση του εξοπλισμού ανάλυσης ανταλλαγής αερίων LICOR-6400, προσδιορίστηκαν οι καμπύλες απόκρισης σε φώς και CO<sub>2</sub> και εκτιμήθηκαν μεταξύ άλλων: ο κορεσμένος ρυθμός φωτοσύνθεσης ( $A_{sat}$ ), η αναπνοή στο σκοτάδι ( $R_{dark}$ ), ο μέγιστος ρυθμός καρβοξυλίωσης ( $V_{max}$ ), ο μέγιστος ρυθμός μεταφοράς ηλεκτρονίων ( $J_{max}$ ), η αγωγιμότητα των στομάτων (gs) και ο ρυθμός διαπνοής (E).



Από τα ίδια κλαδιά γινόταν η λήψη δειγμάτων/μέτρηση των λειτουργικών χαρακτήρων ενδιαφέροντος στο πεδίο. Τα φύλλα επιλέγονταν έτσι ώστε να έχουν πλήρη έκθεση στον ήλιο. Γινόταν μέτρηση της επιφάνειας ( $L_A$ ), του πάχους ( $L_T$ ) και του υγρού βάρους τους. Στη συνέχεια τα δείγματα μεταφέρονταν στο εργαστήριο για την ποσοτικοποίηση της χημικής τους σύστασης σε C, N, P, Ca, Mg και K καθώς για μέτρηση της ειδικής φυλλικής μάζας LMA και του λόγου κορεσμένου προς ξηρού βάρους (DMC). Από τα ίδια δείγματα έγινε η μέτρηση της πυκνότητας βλαστού (WD).

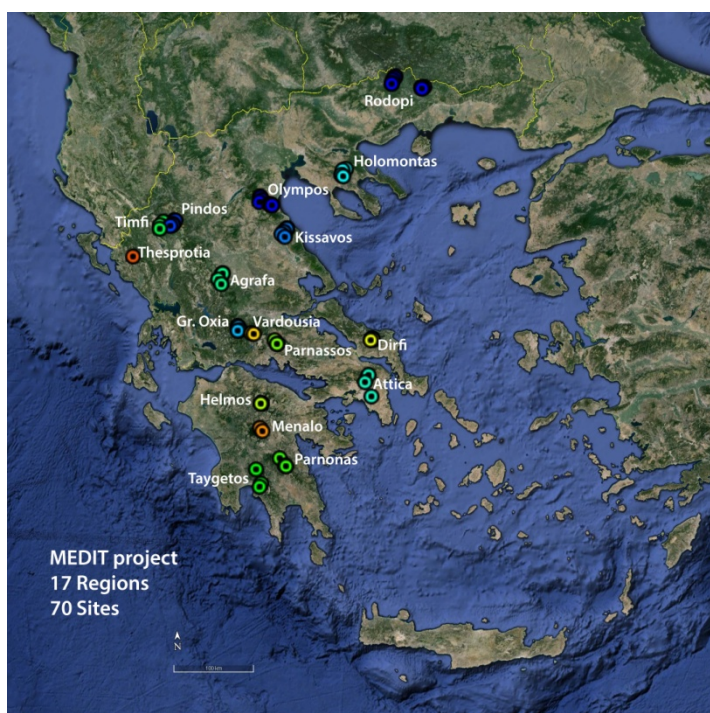
Σε τουλάχιστον 10 άτομα λαμβάνονταν πυρήνες για την εκτίμηση της ηλικίας και των προτύπων αύξησης μέσω των ετήσιων δακτυλίων. Στο εργαστήριο και έπειτα από την κατάλληλη επεξεργασία πραγματοποιήθηκε η μέτρηση της ετήσιας αύξησης με χρήση στερεοσκοπίου και τράπεζας LINTAB. Ακολουθήθηκαν κλασικές τεχνικές οπτικής διασταύρωσης, χρήσης ετών δεικτών και δενδροχρονολογικών αλγορίθμων για τον έλεγχο της ποιότητας της χρονολόγησης. Από την στατιστική επεξεργασία των παραπάνω δειγμάτων προκύπτουν δεδομένα που αφορούν στην μακροχρόνια αύξηση καθώς και στον βέλτιστο ρυθμό αύξησης των ειδών ενδιαφέροντος.



Σε κάθε μία από τις δειγματοληπτικές επιφάνειες έγινε λήψη και εδαφικού δείγματος 30cm, αφού αφαιρέθηκε ο οργανικός ορίζοντας. Τα εδαφικά δείγματα μεταφέρθηκαν στο εργαστήριο όπου πραγματοποιήθηκαν μετρήσεις κοκκομετρικής και χημική σύστασης. Μεταξύ άλλων οι σημαντικότερες εδαφικές παράμετροι που μετρήθηκαν περιλαμβάνουν τη σύσταση σε άμμο, ιλύ και άργιλο, το pH, την υδατοχωρητικότητα (WHC), την οργανική ουσία καθώς και τις συγκεντρώσεις σε N, P, Ca, Mg και K. Το βάθος των εδαφών καταγραφόταν με τη χρήση μεταλλικής ράβδου

### Βάση Δεδομένων

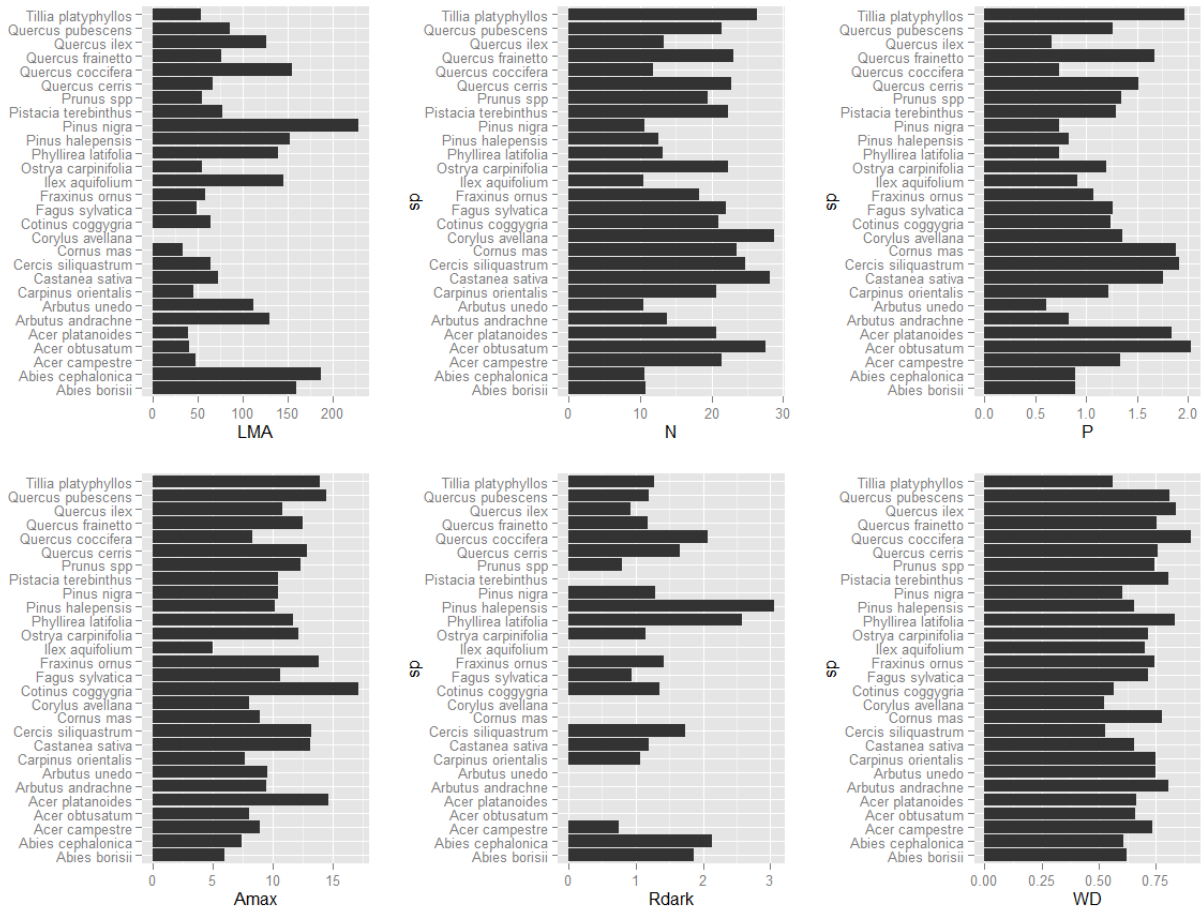
Το σύνολο των παραπάνω μετρήσεων καταχωρήθηκαν σε μία βάση δεδομένων. Η ιεραρχική δομή των μετρήσεων από επίπεδο οργάνου σε επίπεδο συστάδας διατηρήθηκε, επιτρέποντας την διασύνδεση των δεδομένων διαφορετικών επιπέδων οργάνωσης. Επιπλέον δεδομένα που αφορούν στις κλιματικές συνθήκες των περιοχών μελέτης ανακτήθηκαν από παγκόσμιες και ευρωπαϊκές βάσεις δεδομένων (WORLDCLIM, E-OBS), και συνδέθηκαν με τη βάση δεδομένων του MEDIT. Με αυτό τον τρόπο ο χρήστης της βάσης δεδομένων μπορεί να ανακτήσει μια αναλυτική περιγραφή τόσο των αβιοτικών όσο και των βιοτικών συνθηκών των περιοχών μελέτης.



# Αποτελέσματα

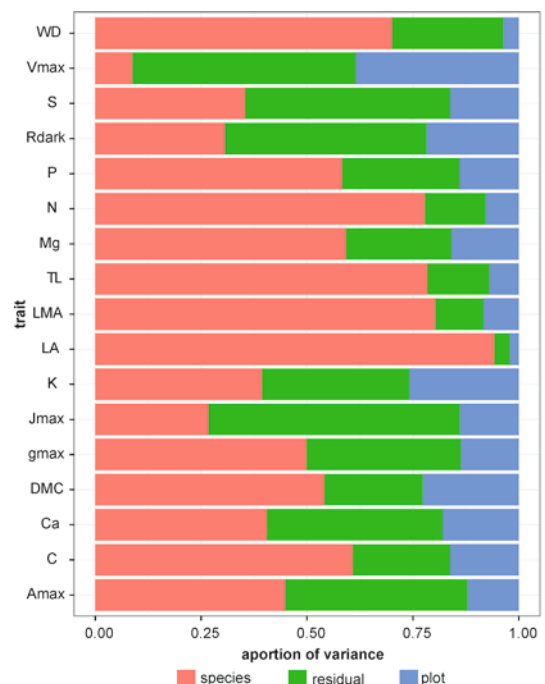
## Λειτουργικά Χαρακτηριστικά Δασικών Ειδών

Στα γραφήματα που ακολουθούν συνοψίζονται οι μέσες τιμές κάποιων βασικών λειτουργικών χαρακτήρων για τα είδη ενδιαφέροντος. Τα παρακάτω στοιχεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μια πρώτη λειτουργική περιγραφή των κυρίαρχων ειδών που απαντώνται στα Ελληνικά Δάση.



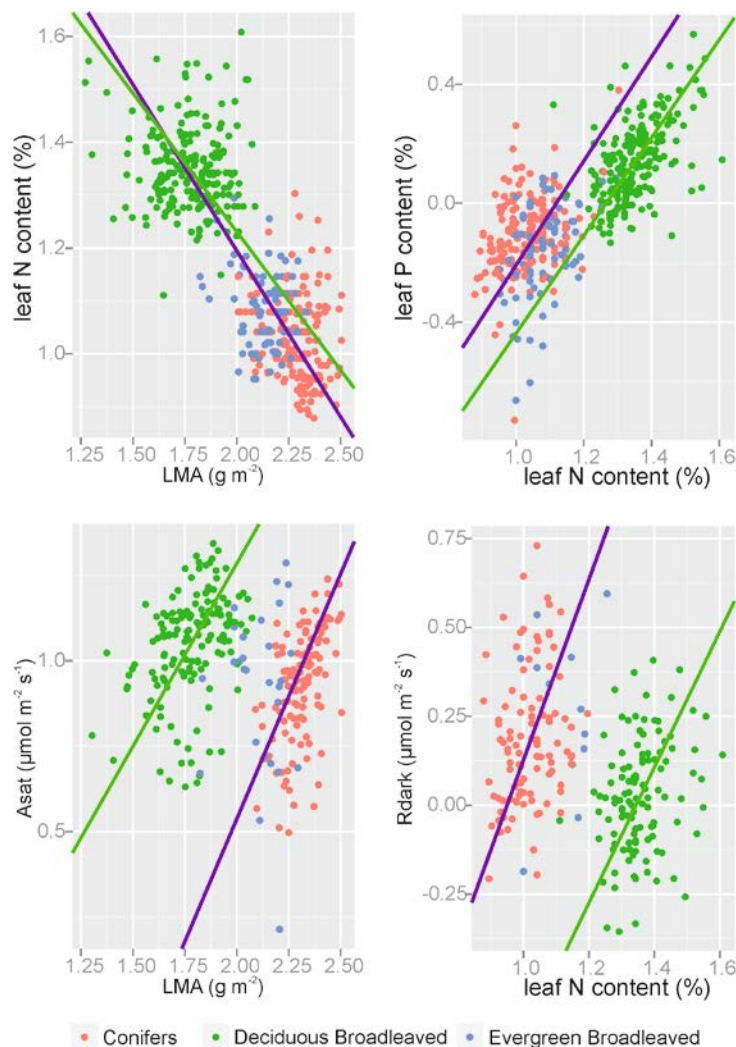
## Διακύμανση και Συσχετίσεις Λειτουργικών Χαρακτήρων

Η εκτίμηση της διακύμανσης των λειτουργικών χαρακτήρων βάσει της ταξινομικής και της γεωγραφικής θέσης τους, καταδεικνύει ότι οι περισσότεροι εξ αυτών εμφανίζουν υψηλή ταξινομική μεταβλητότητα και μικρότερη περιβαλλοντική. Για παράδειγμα χαρακτήρες όπως η επιφάνεια φύλλου, η ειδική φυλλική μάζα η περιεκτικότητα του φύλλου σε N και η πυκνότητα βλαστού εμφάνισαν ποσοστά ταξινομικής διακύμανσης μεγαλύτερα από 70%. Αυτό υπογραμμίζει την ισχυρή ενδοειδική μεταβλητότητα των συγκεκριμένων χαρακτήρων και υποδεικνύει ότι η γνώση της ταξινομικής θέσης μπορεί να



χρησιμοποιηθεί ως μια πρώτη εκτίμηση των τιμών των λειτουργικών χαρακτήρων. Σε αντίθεση, χαρακτηριστικά όπως ο ρυθμός καρβοξυλίωσης, η σκοτεινή αναπνοή και η περιεκτικότητα του φύλλου σε Κ εμφανίζουν ισχυρό περιβαλλοντικό σήμα, υπογραμμίζοντας τον ρόλο των συνθηκών αύξησης στον καθορισμό των τιμών των εν λόγω χαρακτήρων.

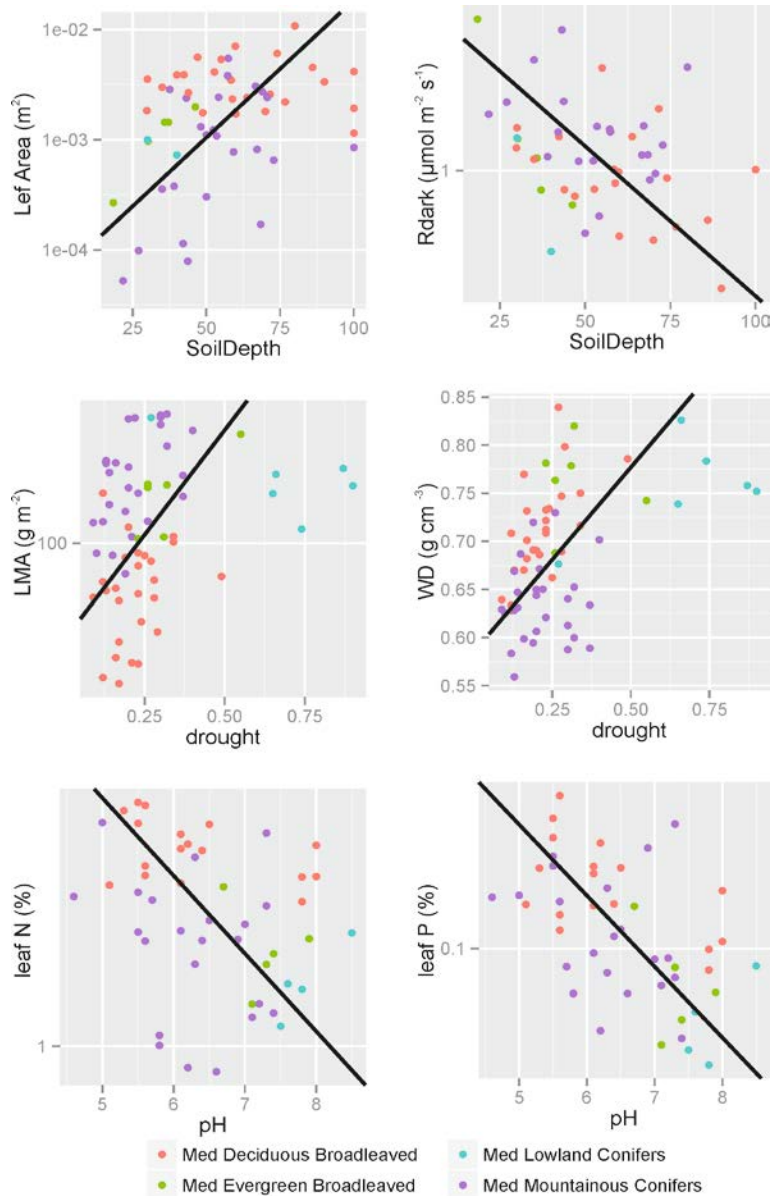
Η στατιστική ανάλυση των δεδομένων μας αναγνώρισε ισχυρές συσχετίσεις μεταξύ αρκετών λειτουργικών χαρακτήρων. Στο διπλανό διάγραμμα παραθέτονται κάποιες από τις πιο ενδιαφέρουσες. Η σχέση Ν και LMA εμφάνισε ισχυρή συσχέτιση ( $R^2=0.65$ ) με μικρότερη κλίση  $\alpha=-0.64$  από την αντίστοιχη που αναφέρεται σε παγκόσμιες βάσεις δεδομένων (-0.78). Η σχέση μεταξύ της περιεκτικότητας Ν και Ρ κατά βάρος στο φύλλο εμφάνισε συσχέτιση ( $R^2=0.54$ ) με κλίση  $\alpha=1.11$  χαμηλότερη από την παγκόσμια (1.51). Ο κορεσμένος ρυθμός φωτοσύνθεσης σχετίζεται με την LMA θετικά όταν διαχωριστούν τα είδη σε φυλλοβόλα και αιθαλή. Αν παρόλα αυτά δεν ληφθεί υπόψη αυτή η διαφοροποίηση εμφανίζεται μια αρνητική σχέση. Τέλος η σχέση μεταξύ σκοτεινής αναπνοής και περιεκτικότητας Ν παρουσιάζεται θετική με διαφοροποίηση μεταξύ φυλλοβόλων και αείφυλλων ειδών.



### Σχέσεις Λειτουργικών Χαρακτήρων - Περιβαλλοντικών Συνθηκών

Ο τρόπος με τον οποίο οι περιβαλλοντικές συνθήκες επιδρούν στη διαμόρφωση των λειτουργικών χαρακτήρων, διερευνήθηκε με τη χρήση στατιστικών μεθόδων. Προκειμένου να συνοψολογισθούν τόσο οι αβιοτικές όσο και οι βιοτικές συνθήκες χρησιμοποιήθηκε ως μεταβλητή απόκρισης ο σταθμισμένος μέσος όρος των λειτουργικών χαρακτήρων, με τους συντελεστές βαρύτητας να καθορίζονται από τη συνεισφορά του κάθε είδους στη σύνθεση των συστάδων. Ενδεικτικά αποτελέσματα αυτής της ανάλυσης συνοψίζονται στα διαγράμματα που ακολουθούν, στα οποία παρουσιάζεται η μεταβολή της μέσης τιμής των λειτουργικών χαρακτήρων με βασικές αβιοτικές μεταβλητές όπως το βάθος εδάφους, τον δείκτη ξηρασίας και το pH των δειγματοληπτικών επιφανειών.

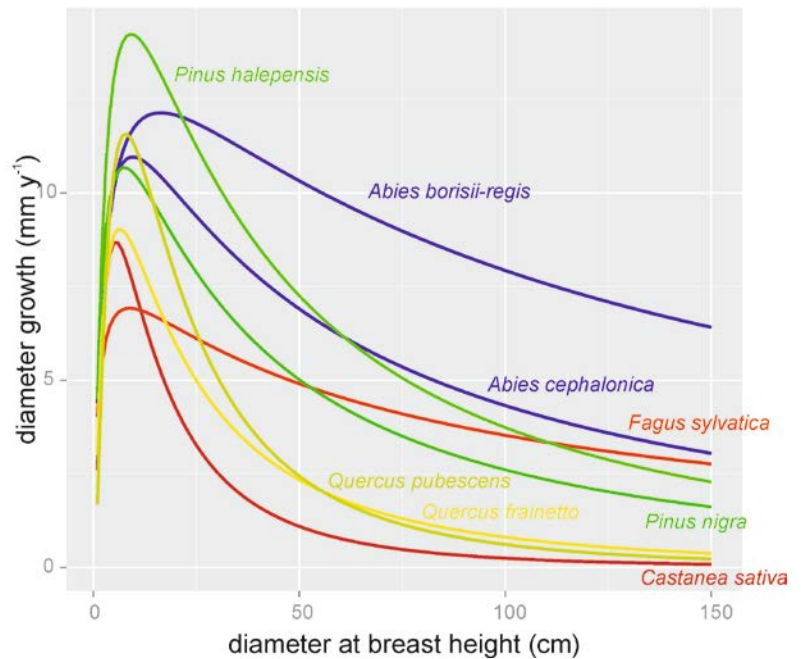
Η μέση επιφάνεια φύλλου της συστάδας αυξάνει με το βάθος εδάφους, εύρημα που κυρίως αντικατοπτρίζει την κυριαρχία των φυλλοβόλων ειδών σε βαθύτερα εδάφη. Παρόλα αυτά σε βαθύτερα εδάφη μειώνεται η μέση τιμή της σκοτεινής αναπνοής. Το συγκεκριμένο εύρημα φαίνεται να σχετίζεται με τη χαμηλότερη τιμή της ειδικής φυλλικής μάζας άρα και του μεταβολικού κόστους σε βαθύτερα εδάφη. Η ειδική φυλλική μάζα και η πυκνότητα βλαστού αυξάνει με το δείκτη ξηρασίας, εύρημα που σχετίζεται με τις πιο συντηρητικές φυτικές στρατηγικές που εμφανίζονται σε ξηρότερες συνθήκες. Τέλος, η μέση περιεκτικότητα σε N και P του φυλλώματος της συστάδας φθίνει με το εδαφικό pH. Το εύρημα αυτό υπογραμμίζει το ρόλο των εισροών από τον φυτικό ιστό στον καθορισμό των θρεπτικών του εδάφους, μιας και σε όξινα εδάφη απαντώνται είδη με χαμηλότερες κατά μάζα συγκεντρώσεις θρεπτικών.



### Πρότυπα Αύξησης Δασικών Ειδών

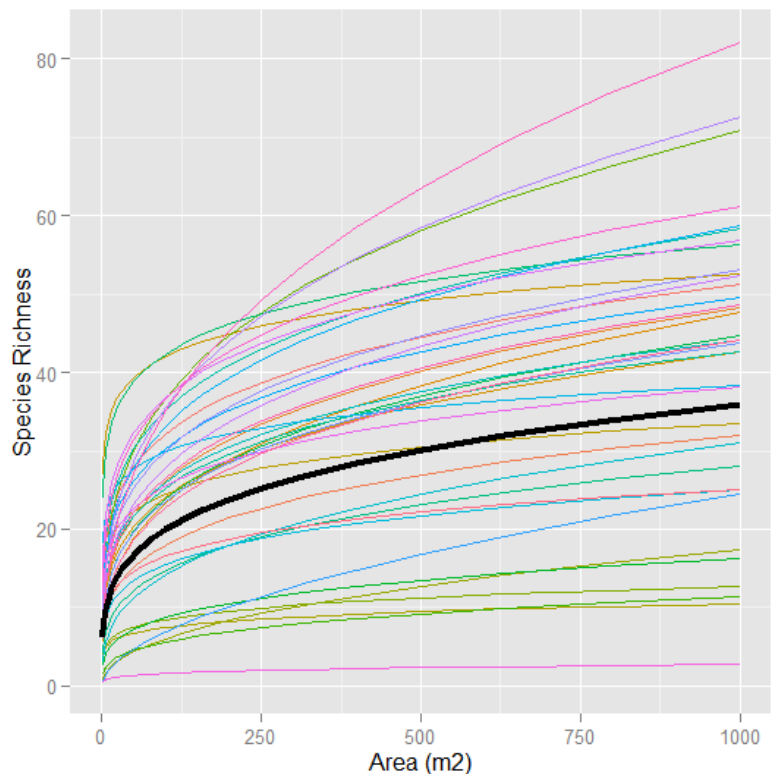
Οι μετρήσεις του πλάτους ετήσιων δακτυλίων χρησιμοποιήθηκαν για την εκτίμηση των λεγόμενων καμπυλών βέλτιστης αύξησης. Στο γράφημα που ακολουθεί παρουσιάζονται οι εν λόγω καμπύλες για κάποια βασικά είδη δένδρων που απαντώνται στα δασικά οικοσυστήματα της Ελλάδας. Οι συγκεκριμένες καμπύλες εκφράζουν την αναμενόμενη αύξηση που θα είχε ένα άτομο του εκάστοτε είδους σε συνθήκες πλήρους διαθεσιμότητας των απαραίτητων πόρων για την ανάπτυξή του και σε συνθήκες απουσίας ανταγωνισμού. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για εμπειρική εκτίμηση της αύξησης των δασικών συστάδων ενώ στα πλαίσια του προγράμματος MEDIT εφαρμόζονται για την παραμετροποίηση του μηχανιστικού μοντέλου μικρής κλίμακας GREFOS. Το ύψος της καμπύλης εκφράζει την μέγιστη τιμή αύξησης διαμέτρου που μπορεί να επιτευχθεί από άτομα ενός είδους, ενώ το εύρος της καμπύλης εκφράζει το χρονισμό της αύξησης με μικρές τιμές να παρατηρούνται σε πρόσκοπα είδη και μεγαλύτερες σε είδη που ακολουθούν πιο συντηρητικές στρατηγικές.

Στο διπλανό γράφημα παρουσιάζονται οι καμπύλες βέλτιστης αύξησης για τυπικά είδη δένδρων που απαντώνται στην Ελλάδα. Σημειώνεται ότι οι καμπύλες αύξησης που παρουσιάζονται έχουν εκτιμηθεί από το σύνολο των διαθέσιμων δεδομένων χωρίς να λαμβάνεται υπόψη η διακύμανση μεταξύ γεωγραφικών περιοχών. Το *P. halepensis* εμφανίζει την υψηλότερη τιμή απόλυτης αύξησης ενώ το *F. sylvatica* την χαμηλότερη. Περαιτέρω πληροφορίες για τις καμπύλες αύξησης καθώς και εκτιμήσεις των αντιστοιχών συντελεστών μπορούν να διατεθούν για τις περιοχές μελέτης.



### Πρότυπα Ποικιλότητας Δασικών Οικοσυστημάτων στην Ελλάδα

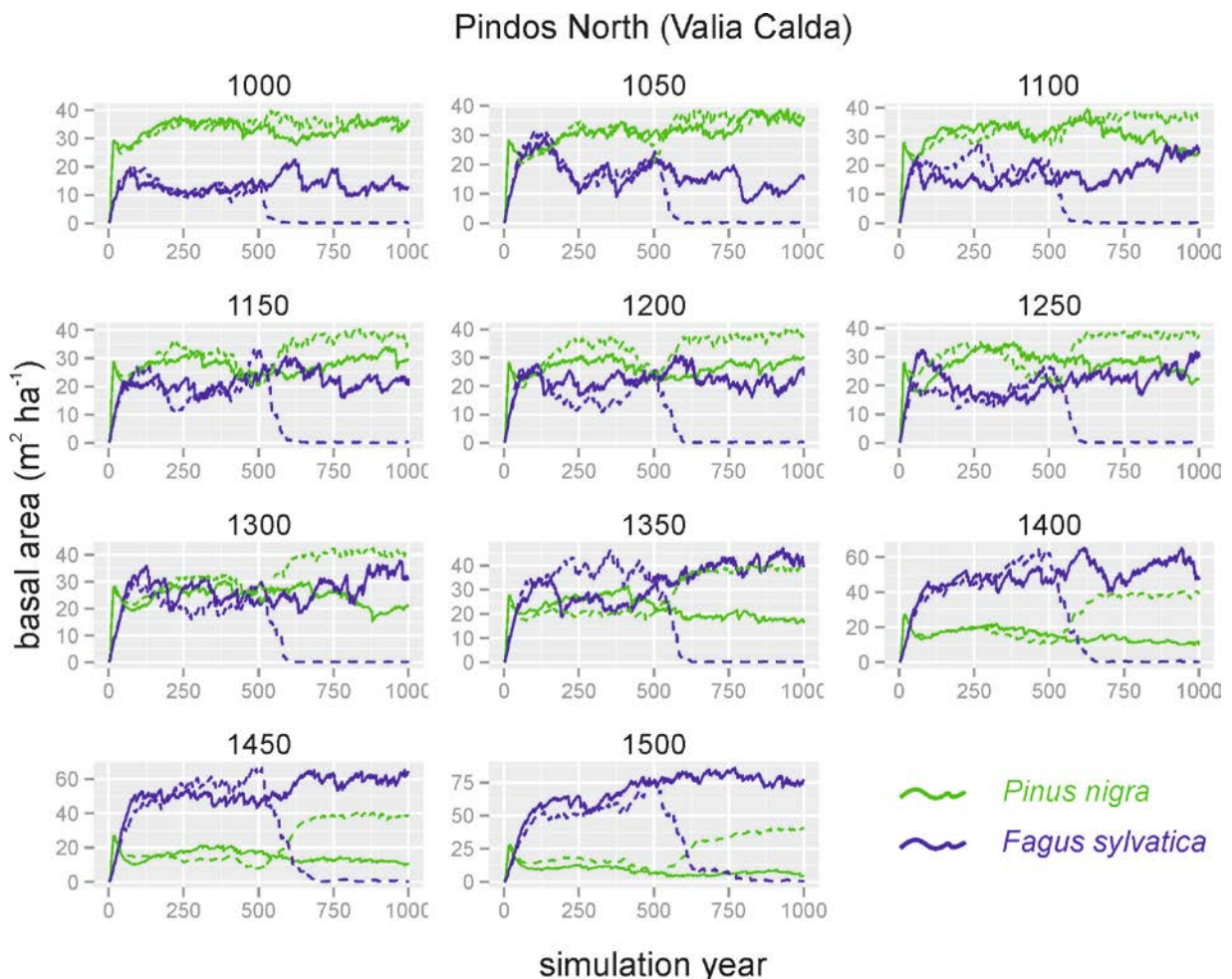
Η ανάλυση των μετρήσεων του πλούτου των ειδών σε σχέση με την επιφάνεια πραγματοποιήθηκε με τη χρήση του εκθετικού μοντέλου. Οι εκτιμήσεις των συντελεστών  $Z$  &  $\log C$  χρησιμοποιούνται συχνά σε εργασίες κατανόησης και εκτίμησης της ποικιλότητας των ειδών ανά γεωγραφική περιοχή. Όσον αφορά στην κλίση της καμπύλης ( $Z$ ), η οποία εκφράζει τον ρυθμό με τον οποίο απαντώνται νέα είδη καθώς αυξάνει το εμβαδόν της δειγματοληπτικής επιφάνειας, η μέση τιμή ανήλθε σε  $Z=0.256$ . Η συγκεκριμένη εκτίμηση βρίσκεται κοντά στις τιμές αναφοράς 0.310 κωνοφόρων δασών στην Καλιφόρνια και 0.197... 0.307 των μακί στην Ανατολική Μεσόγειο. Σημειώνεται ότι παρατηρήθηκε σημαντική διακύμανση στις εν λόγω εκτιμήσεις μεταξύ των δειγματοληπτικών επιφανειών με τιμές από 0.096 έως 0.554.





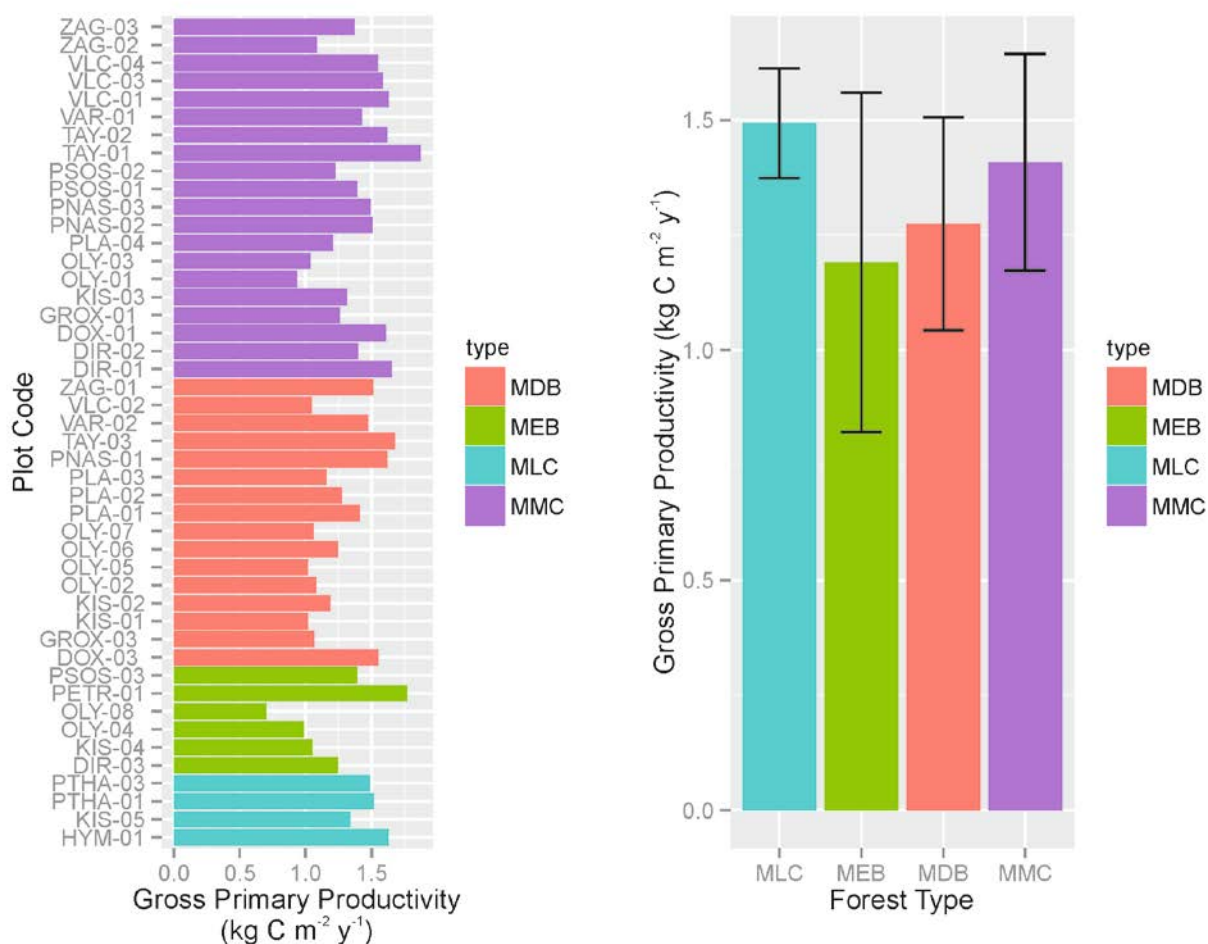
## Προσομοιώσεις της Δυναμικής των Δασών σε τοπική κλίμακα

Η βάση δεδομένων που δημιουργήθηκε στα πλαίσια του προγράμματος χρησιμοποιήθηκε για την παραμετροποίηση του μοντέλου δυναμικής των δασικών διακένων GREFOS. Πιο συγκεκριμένα, εφαρμόστηκαν οι αλλομετρικές σχέσεις ύψους-διαμέτρου, οι μέσες τιμές λειτουργικών χαρακτήρων όπως η LMA και η WD για την εκτίμηση της επιφάνειας φυλλώματος και της θνησιμότητας αντίστοιχα, καθώς και τα πρότυπα βέλτιστης αύξησης. Επιλέχθηκαν 5 περιοχές μελέτης όπου και εφαρμόστηκε το μοντέλο τόσο για συνθήκες σταθερού όσο και μεταβαλλόμενου κλίματος. Ενδεικτικά παρουσιάζονται τα αποτελέσματα από την εφαρμογή του μοντέλου στην περιοχή Βάλια Κάλντα στον Εθνικό Δρυμό Βόρειας Πίνδου. Τα διαγράμματα που ακολουθούν συνοψίζουν την χρονική εξέλιξη της ιστάμενης βιομάζας ανά είδος και υψόμετρο. Παρατηρείται ότι το μοντέλο επιτυγχάνει μια ικανοποιητική προσομοίωση των προτύπων της βλάστησης κατά μήκος μιας υψομετρικής βαθμίδας από τα 1000 έως τα 1500 m, με κυριαρχία της *P. nigra* στα χαμηλά και της *F. sylvatica* στα μεγαλύτερα υψόμετρα. Υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής (διακεκομμένες γραμμές) προσομοιώνεται αλλαγή στα πρότυπα της βλάστησης με υποχώρηση της οξιάς και κυριαρχία της μαύρης πεύκης. Αντίστοιχα αποτελέσματα παρατηρήθηκαν και στις υπόλοιπες περιοχές μελέτης, με κεντρικό εύρημα την ισχυρότερη μείωση της παραγωγικότητας στα μικρότερα υψόμετρα αλλά ισχυρότερη αλλαγή στην σύνθεση της κοινότητας στα μεγαλύτερα υψόμετρα, λόγω της υψομετρικής μετατόπισης των ανθεκτικών στην ξηρασία ειδών.



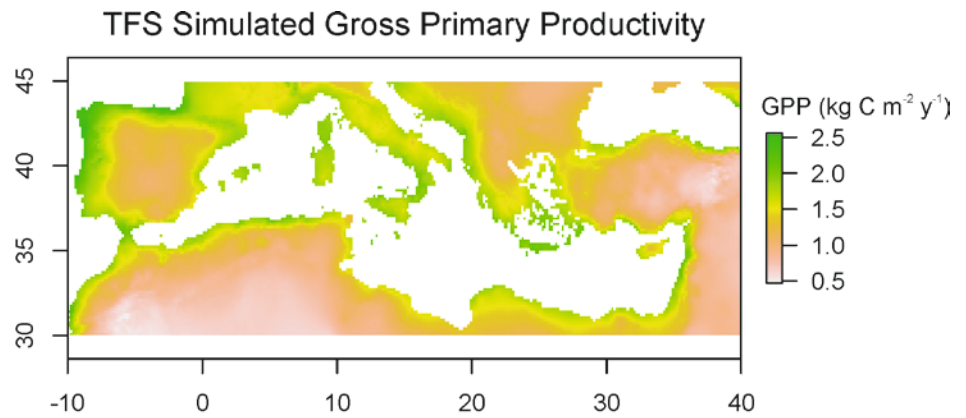
## Προσομοιώσεις της Δυναμικής των Δασών σε μεγάλη κλίμακα

Οι σχέσεις μεταξύ των λειτουργικών χαρακτήρων αλλά και η κατανομή τους ανά περιοχή μελέτης χρησιμοποιήθηκαν για την παραμετροποίηση του υβριδικού μοντέλου δυναμικής της βλάστησης TFS. Το μοντέλο εφαρμόστηκε σε όλες τις περιοχές μελέτης του προγράμματος MEDIT με στόχο την πρόβλεψη των προτύπων μεικτής και καθαρής πρωτογενούς παραγωγικότητας υπό συνθήκες σταθερού και μεταβαλλόμενου κλίματος. Με την νέα παραμετροποίηση το TFS παρουσίασε ικανοποιητικά αποτελέσματα υπό συνθήκες σημερινού κλίματος. Στο διάγραμμα και τον πίνακα που ακολουθούν συνοψίζονται τα αποτελέσματα του μοντέλου για την εκτίμηση της καθαρής πρωτογενούς παραγωγικότητας (GPP) ανά τύπο οικοσυστήματος. Υψηλότερη GPP εμφανίζεται στα κωνοφόρα ενώ η χαμηλότερη στα πλατύφυλλα φυλλοβόλα.



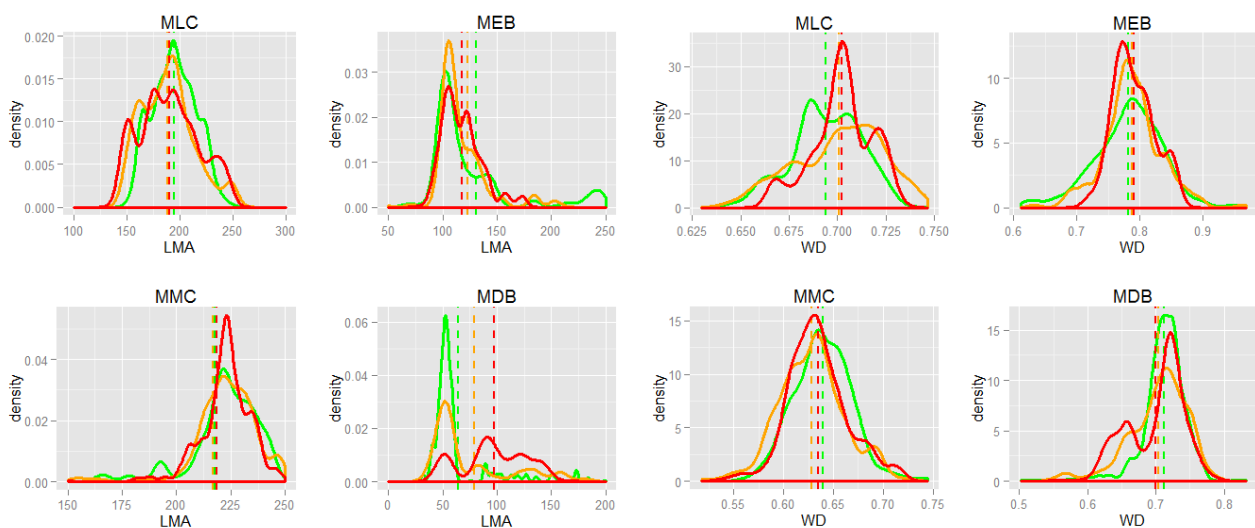
Forest Type	GPP (kgCm <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> ) in literature	GPP (kgCm <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> ) simulated	NPP (kgCm <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> ) in literature	NPP (kgCm <sup>-2</sup> y <sup>-1</sup> ) simulated
Med Lowland Conifers	1.38...1.59	1.49±0.12	0.67...0.75	0.94±0.17
Med Evergreen Broadleaved	1.24...1.36	1.19±0.37	0.58...0.80	0.74±0.25
Med Deciduous Broadleaved	1.12...1.37	1.27±0.23	0.57...0.74	0.71±0.12
Med Mountainous Conifers	1.20...1.64	1.41±0.24	0.69...0.78	0.93±0.17

Στη συνέχεια έγινε αναγωγή των προσομοιώσεων σε γεωγραφική κλίμακα Μεσογείου. Ο χάρτης που ακολουθεί παρουσιάζει την εκτίμηση της GPP υπό συνθήκες σταθερού κλίματος. Παρατηρείται

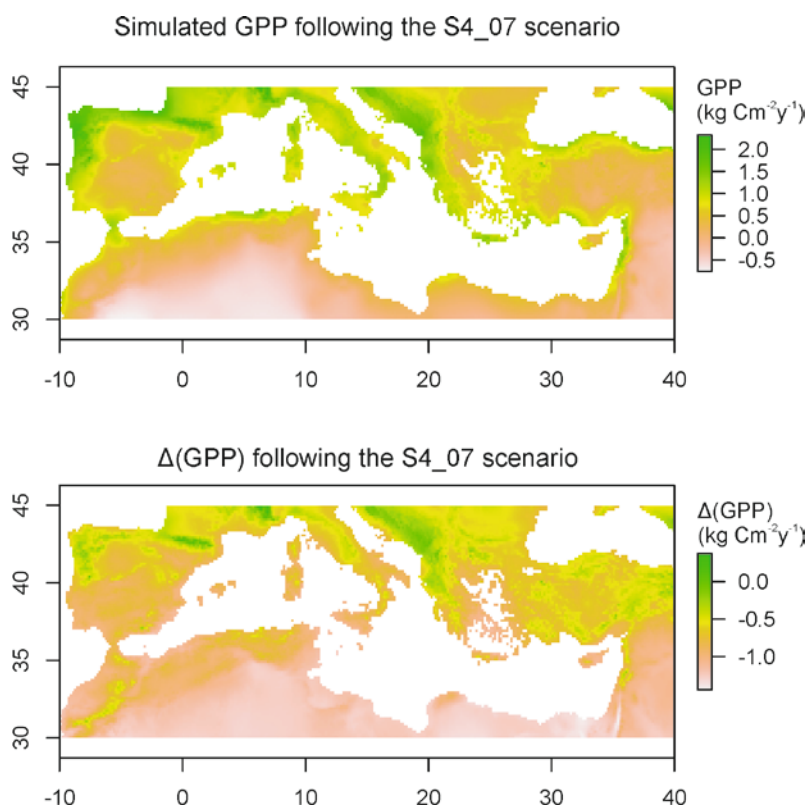


η έντονη επίδραση των γεωγραφικών προτύπων της βροχόπτωσης, η οποία για τα Μεσογειακά οικοσυστήματα σχετίζεται με την διαθεσιμότητα υδατικών πόρων.

Τέλος δημιουργήθηκαν 6 σενάρια κλιματικής αλλαγής βάσει των προβλέψεων εκπομπών CO<sub>2</sub> του IPCC. Τα σενάρια αυτά αντιστοιχούν σε αύξηση της θερμοκρασίας από 1 έως 4 °C και μείωση της βροχόπτωσης από 10 έως 30%. Διατηρώντας την εποχικότητα και την μεταβλητότητα του κλίματος κάθε περιοχής, το TFS εφαρμόστηκε για κάθε ένα από τα 6 σενάρια προκειμένου να διερευνηθούν οι πιθανές αλλαγές στα πρότυπα παραγωγικότητας καθώς και στη δομή των δασικών οικοσυστημάτων ενδιαφέροντος. Στα διαγράμματα που ακολουθούν συνοψίζονται οι αλλαγές στην κατανομή και στις μέσες τιμές της ειδικής φυλλικής επιφάνειας (LMA) και της πυκνότητας βλαστού (WD), για κάθε τύπο οικοσυστήματος υπό σταθερές (πράσινο), ήπια μεταβαλλόμενες (πορτοκαλί) και ακραία μεταβαλλόμενες (κόκκινο) κλιματικές συνθήκες. Παρατηρείται ότι οι βασικές αλλαγές αναμένονται στα φυλλοβόλα πλατύφυλλα (MDB) δάση, με σημαντική αύξηση της LMA γεγονός που υποδηλώνει πιθανές αλλαγές σε αείφυλλα συστήματα. Ταυτόχρονα προσομοιώνονται αλλαγές στην μέση πυκνότητα βλαστού στα χαμηλού υψομέτρου κωνοφόρα (MLC), εύρημα που θα μπορούσε να υποδηλώνει την επικράτηση πιο συντηρητικών στρατηγικών όπως αυτές που χαρακτηρίζουν τα αείφυλλα πλατύφυλλα.



Η αναγωγή των αποτελεσμάτων του TFS, σε κλίμακα Μεσογείου, υπό συνθήκες κλιματικής αλλαγής συνοψίζεται στους χάρτες που ακολουθούν. Ενδεικτικά παραθέτονται τα αποτελέσματα για την επίδραση της αλλαγής του κλίματος υπό ένα ακραίο σενάριο αύξησης της θερμοκρασίας κατά 4 °C και μείωσης της ετήσιας βροχόπτωσης κατά 30%. Στον πρώτο χάρτη παρατηρείται η μείωση της καθαρής πρωτογενούς παραγωγικότητας στις περισσότερες περιοχές της Μεσογείου ενώ στο δεύτερο η διαφορά της με τις παρούσες συνθήκες. Αύξηση αναμένεται μόνο σε ορισμένες ορεινές περιοχές, στις οποίες επί του παρόντος η θερμοκρασία αποτελεί τον περιοριστικό παράγοντα για την αύξηση.



## Συμπεράσματα

Στα πλαίσια του ερευνητικού προγράμματος MEDIT δημιουργήθηκε μια εκτενής βάση δεδομένων που περιγράφει τα αβιοτικά και βιοτικά χαρακτηριστικά των κυριότερων τύπων δασικών οικοσυστημάτων στην Ελλάδα, με ευρεία γεωγραφική κάλυψη από τον Ταΰγετο έως την Ροδόπη. Μια βασική καινοτομία είναι ότι η βάση δεδομένων στηρίζεται σε ένα κοινό πρωτόκολλο μετρήσεων που εφαρμόστηκε συστηματικά σε όλες τις περιοχές μελέτης. Ποσοτικοποιήθηκαν και αναλύθηκαν τα βασικά λειτουργικά χαρακτηριστικά που χρησιμοποιούνται στις σύγχρονες οικοφυσιολογικές μελέτες, με κεντρικό εύρημα την επιβεβαίωση ενός κεντρικού άξονα διακύμανσης κατά μήκος του οποίου τα είδη ακολουθούν ταχείες ή συντηρητικές στρατηγικές ζωής. Το συγκεκριμένο εύρημα σε συνδυασμό με τις εμπειρικές σχέσεις που δημιουργήθηκαν για τους λειτουργικούς χαρακτήρες ενδιαφέροντος, χρησιμοποιήθηκαν για την επιτυχή προσομοίωση της δυναμικής των δασικών οικοσυστημάτων στην Ελλάδα με χρήση δύο μοντέλων διεργασιών. Υπό σενάρια αλλαγής κλίματος τα αποτελέσματα των προσομοιώσεων συγκλίνουν στην αναμενόμενη μείωση της παραγωγικότητας των δασικών οικοσυστημάτων, ιδιαίτερα σε περιοχές χαμηλών υψομέτρων, καθώς και στην αλλαγή της σύνθεσης των κοινοτήτων, με αντικατάσταση των λιγότερο ανθεκτικών σε ξηρασία ειδών από ξηρανθεκτικότερα.